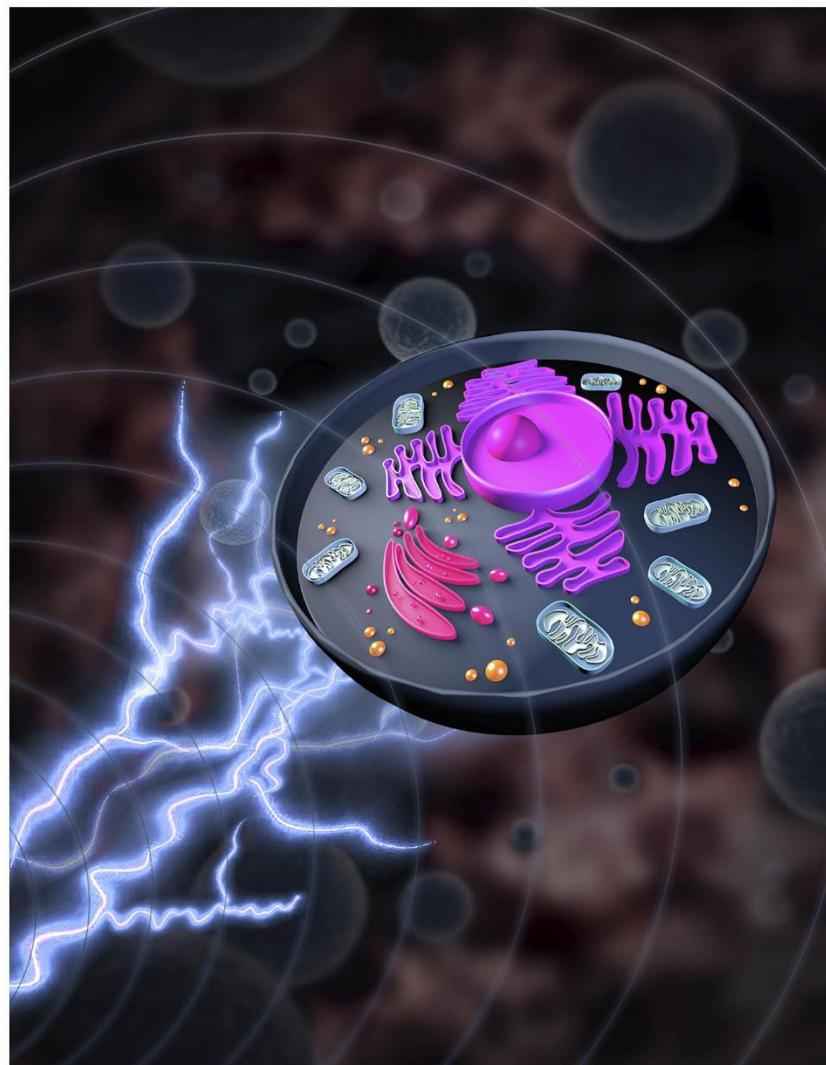


Electroestimulación Inducida Por Campos Electromagnéticos Pulsados

Bases Biofísicas, Efectos Biológicos y su Aplicación Clínica





Graciela Mejía Astorga, ingeniero bioquímico de profesión, por la UAM-Iztapalapa, desde niña amaba las ciencias naturales y en la preparatoria se enamoró de la bioquímica, como ella dice “no habría podido estudiar otra cosa”. Estos conocimientos la han llevado a analizar y desmenuzar la base bioquímica de la electroestimulación inducida y hoy por hoy es considerada la máxima autoridad en electroestimulación inducida por CEMP, de habla hispana.



“Tú siempre logras lo que te propones”, esa fue el lema que el **Maestro en Ciencias Jorge Blancas Núñez**, que recibió de su padre, Don Juan Blancas, esta sencilla frase ha sido su estandarte y en memoria de su querido padre, efectivamente logra lo que se propone, como es el caso del diseño y fabricación de los generadores de campos electromagnéticos, entre muchos cientos de desarrollos científicos, que mejor referente de colaboración en libro para esclarecer las bases de la física de esta terapéutica.



La juventud no es un obstáculo, para ser un experto, como lo es el caso del **Lic. En Terapia Física Saúl Velázquez Camacho**, comprometido e incansable, luchando contra la adversidad desde muy pequeño, se ha formado por si mismo y ha aprovechado cada oportunidad que le ofrece la vida, con una actitud positiva y alegre. Su brillante formación académica, dentro de la reconocida Universidad Autónoma de Querétaro, su experiencia con pacientes, pero sobre todo su amplio conocimiento de la aplicación clínica de la electroestimulación inducida, lo sitúan como el gran experto en el área.

.ELECTRONIC SOLUTIONS, S DE R.L. DE C.V.

Electroestimulación Inducida

Por Campos Electromagnéticos Pulsados

Bases Biofísicas, Efectos Biológicos y su Aplicación Clínica

Graciela Mejía Astorga

Jorge Blancas Núñez

Saúl Velázquez Camacho

México, 2019

Electroestimulación Inducida por Campos Electromagnéticos Pulsados.

Bases biofísicas, efectos biológicos y su aplicación clínica.

Mejía A. Graciela, Blancas N. Jorge, Velázquez C. Saúl. México,

Primera edición,

© Electronic Solutions. 2019,

181 p.

ISBN:

Rústica

La presentación y disposición de

Electroestimulación Inducida por Campos Electromagnéticos Pulsados.

Bases biofísicas, efectos biológicos y su aplicación clínica

Son propiedad del editor. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método, ya sea electrónico o mecánico (fotocopiado, grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información) sin consentimiento por escrito del editor.

© Electronic Solutions S de RL de CV

Tel: 442-727-0563 y 442-980-0824

Impreso en México 2019

ISBN:

Prólogo

Cuando, en 2006, conocí los *campos electromagnéticos pulsantes, de frecuencias extremadamente bajas* (CEMP), y observé que se mencionaban aplicaciones en el área de la salud, realmente me sentí escéptica, me era difícil comprender la interacción de estos campos electromagnéticos con la materia viva. Como soy una convencida de que, para poder hablar de algo, hay que conocerlo bien, pedí a la empresa Electronic Solutions se me capacitara en el área y me di a la tarea de investigar, estudiar, revisar, preguntar y hacer todo lo necesario, para entender por qué los CEMP son un agente terapéutico. Al respecto encontré una gran cantidad de información, sobre todo en inglés, localicé estudios científicos, revisiones, metaanálisis, etc, que poco a poco me llevaron a descubrir el mundo fascinante y efectivo de los campos electromagnéticos pulsados.

En 2009, junto con el insigne Maestro en Ciencias Jorge Blancas Núñez, concluimos que el efecto de los CEMP sobre el tejido vivo era la inducción de microcorrientes eléctricas, esto fue corroborado por la Organización Mundial de la Salud en 2010, en forma independiente, lo cual nos llenó de gran satisfacción.

También, me percaté de que la información en español era escasa, en México no se había entendido el efecto real de los campos electromagnéticos pulsantes y además se le confundía con la aplicación de imanes, lo más grave fue que a la aplicación de CEMP se les llamaba “magnetoterapia” y se les incluía dentro del grupo de “medicinas alternativas”, cajón a donde van a caer muchas terapéuticas, que aún no cuentan con una base científica desarrollada.

Una vez que descubrí, y debo mencionar que, de la mano del M. en C. Jorge Blancas Núñez, el gran potencial de los campos electromagnéticos pulsados, como una terapéutica viable, segura y probada, el reto era transmitir esta información a los profesionales de la salud. Explicar sus efectos diciendo solo que: desinflaman, calman el dolor y reactivan la función celular, suena más a especulativo que a explicación científica, además las leyes de la física involucradas, los conceptos bioquímicos y todo el conjunto de información implicada, son imposibles de explicar en una breve charla.

Para poder llegar a los profesionales de la salud, decidimos generar un curso, que poco a poco se fue nutriendo, hasta llegar a ser un curso de actualización con aval institucional. De los apuntes de ese curso, surge este libro, en un esfuerzo conjunto con mis coautores, para entregar a los interesados, información ordenada, estructurada, multidisciplinaria, científica y clara, que los vaya llevando de la mano a comprender por qué la **electroestimulación inducida por campos electromagnéticos variables en el tiempo, de frecuencias extremadamente bajas**, es una herramienta poderosa para el profesional de la salud. Esperamos cumplir con nuestro objetivo y deseamos que los estudiosos de este libro lo aprovechen y disfruten.

Prefacio

Los patrones de vida en México han cambiado con los años, en poco más de medio siglo la población mexicana se convirtió de eminentemente rural a urbana, con ello cambiaron sus hábitos de alimentación, de actividad física, su calidad de vida, sus esquemas de envejecimiento, etc.

Estos cambios han aparejado cambios en la salud y en las causales de enfermedad y mortalidad, a un ritmo que la medicina convencional no ha podido seguir.

Los cambios en la alimentación familiar, debido a que la mujer ha tenido la necesidad de integrarse a la población económicamente activa y dedica menos tiempo al hogar; la menor actividad física de los niños, ocasionada incluso por los problemas de seguridad, que los obliga a permanecer en sus casas; el incremento de la esperanza de vida al nacer, que acarrea como consecuencia una mayor población de más de 60 años; la contaminación ambiental y la gran cantidad de tóxicos y agentes xenobióticos a los que está expuesta la población, en las ciudades como: conservadores, solventes, insecticidas caseros, aromatizantes, ftalatos, etc; y muchos otros factores han conducido a que los padecimientos crónico-degenerativos, se presenten con mayor frecuencia en la población en general y en poblaciones cada vez más jóvenes.

Una de las características de estas enfermedades, es que son sistémicas, es decir no se afecta un solo miembro u órgano, sino a todo el organismo, por ejemplo: la obesidad que acarrea daño a las articulaciones, mayor incidencia de diabetes, hipertensión etc. La diabetes, causa daños a riñones, hígado y ojos, así como hipertensión, etc. La hipertensión es causante de problemas como: insuficiencia cardiaca, infarto al miocardio o accidentes cerebro vasculares; como vemos es una gran cadena de daños.

Si tomamos en cuenta que los adultos mayores de 50 años de la actualidad fueron niños que vivieron en condiciones más sanas, con mayor actividad física, con alimentación de menor carga calórica, etc. ¿Qué podemos esperar de los niños de ahora, con hábitos de gran sedentarismo, alimentación hipercalórica, con grandes cantidades de sodio, con un pobre consumo de verduras y frutas, expuestos además a situaciones de estrés y ansiedad?

Actualmente se presenta la necesidad de una medicina preventiva y correctiva de las enfermedades que se conocen como crónico-degenerativas, esos padecimientos con los que debemos “aprender a vivir”, según la alopatía y que son “normales” en la edad adulta y la vejez, son incapacitantes y muchas veces requieren de tratamientos costosos.

Este libro, tiene como objetivo presentar lo que se considera la medicina del futuro: la **electroestimulación inducida por campos electromagnéticos variables en el tiempo, de frecuencias extremadamente bajas**, (CEMP), ella constituye una herramienta poderosa en el tratamiento de las enfermedades crónicas, incapacitantes y costosas, tanto para el sistema de salud, como para la economía familiar.

Este libro no intenta ser un tratado exhaustivo de medicina, física, fisiología, bioquímica médica o fisioterapia, sino que expone y engarza los conceptos de estas ciencias, que explican las bases biofísicas de la electroestimulación inducida, sus efectos bioquímicos, y su aplicación clínica, basado todo en una plataforma científica, que permita separar esta terapéutica de las medicinas alternativas, sin bases científicas aún desarrolladas, así como evitar la confusión de esta terapéutica con la aplicación de imanes. La **electroestimulación inducida**, mediante campos electromagnéticos variables en el tiempo, ha sido objeto de intenso estudio desde los años 50 del siglo pasado en todo el mundo, llegó a México alrededor de los años ochenta y su penetración en la medicina ha sido lenta, uno de los objetivos de este libro es precisamente acelerar dicha penetración. Los autores han puesto todo su interés en que la obra brinde a los médicos y profesionales de la salud, el conocimiento estructurado y claro de una terapéutica segura, con muy pocas restricciones, prácticamente sin contraindicaciones y que hasta la fecha no ha reportado efectos secundarios tóxicos, que, siendo además económica, les permitirá proporcionar a sus pacientes una solución a los padecimientos crónico-degenerativos y una mejor calidad de vida, así como una terapéutica preventiva.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.- CAMBIOS DEMOGRÁFICOS Y EPIDEMIOLOGÍA.....	1
Objetivo.....	1
Evolución de la población	1
Tamaño de la población en México	1
Esperanza de vida al nacer.....	2
El envejecimiento poblacional	3
Prevalencia de las enfermedades en México.	6
Las enfermedades crónicas causales de muerte.....	8
Enfermedades cardiovasculares (ECV)	8
La cardiopatía coronaria (CHD, por sus siglas en inglés)	9
La insuficiencia cardíaca	9
Las arritmias.....	9
Las enfermedades de las válvulas cardíacas.....	9
La arteriopatía periférica	9
La presión arterial alta (hipertensión).	9
Accidente cerebrovascular	9
La cardiopatía congénita	10
Diabetes Mellitus.....	10
Cáncer	13
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).	15
Otras enfermedades crónicas	16
Osteoporosis	16
Artritis Reumatoide (AR).	18
Artrosis.	19
Lumbalgias.....	20
Prevención, promoción de la salud y conclusión.	22
CAPÍTULO 2.- HISTORIA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA ELECTROESTIMULACIÓN INDUCIDA POR CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PULSADOS, (CEMP).....	25
Evolución de los campos electromagnéticos pulsados en el tiempo.....	25
Yasuda y Fukada y el efecto piezoelectrónico	25
Andrew Basset y la aprobación de la Foods and Drugs Administration (FDA)	27
Situación actual a nivel Internacional	29
La OMS	29
Las tendencias de los CEMP a nivel mundial	30
Las Asociaciones Internacionales	31
BEMS	31
EBEA	31
BioEM	32
Situación en México.....	32
Dr. Luis Cañedo Dorantes	33
Electronic Solutions, los equipos SenCa	33
El Maestro en Ciencias Jorge Blancas Núñez	33
La Ingeniera Bioquímica Graciela Mejía Astorga	34

CAPÍTULO 3.- BASES BIOFÍSICAS DE LA ELECTROESTIMULACIÓN INDUCIDA POR CEMP.....37

Objetivo.....	37
Fundamentos de electricidad.....	37
Corriente Eléctrica	37
Frecuencia	39
Periodo	39
Magnetismo.....	40
Imanes naturales	40
Imanes artificiales	40
Electroimanes.....	40
Polos de un imán y unidades de inducción magnética.	41
Propiedades magnéticas de los materiales	41
Materiales Diamagnéticos	41
Materiales paramagnéticos	42
Materiales ferromagnéticos.....	42
Electromagnetismo y su historia	43
William Gilbert	43
Alessandro Volta (1774)	43
Luigi Galvani	43
Hans Christian Oersted	44
André-Marie Ampère	44
Michael Faraday	45
La ley de inducción electromagnética de Faraday.....	45
James Clerk Maxwell.....	46
El Espectro Electromagnético.....	46
El efecto piezoelectrónico.....	48
Los experimentos de Yasuda y Fukada	48
Métodos de Electroestimulación	49
Acoplamiento resistivo, óhmico o galvánico	49
Acoplamiento capacitivo	50
El Condensador eléctrico.....	50
Capacitancia de un condensador	50
Acoplamiento inductivo y Coeficiente de Inducción.....	51
Modelo explicativo de la electroestimulación inducida por CEMP.....	53
Límites de seguridad de CEMP	54
Los Generadores de campos electromagnéticos pulsados marca SenCa	55
CAPÍTULO 4.- BIOENERGÉTICA	57
Objetivo.....	57
Conceptos termodinámicos.....	57
Sistemas:	57
Energía interna y energía de Gibbs	58

Metabolismo y El ATP: la molécula de la vida	59
Metabolismo	59
Catabolismo.....	60
Anabolismo	60
El ATP, la molécula de la vida	60
Fuentes de ATP.....	61
Leyes de la termodinámica	62
Primera ley de la termodinámica.....	62
Segunda ley de la termodinámica	63
Energía de Gibbs.....	65
Conclusión	66
CAPÍTULO 5.- METABOLISMO CELULAR.....	67
Objetivo	67
Conceptos básicos.....	67
Iones e ionización	67
Polaridad de las moléculas	67
Los lípidos	68
Tipos de movimientos de los lípidos:	70
Las proteínas	71
Estructura de la membrana celular	72
Funciones de la membrana celular	73
Sistemas de transporte en la membrana celular	73
Los electrolitos	73
Permeabilidad de la membrana celular	74
Difusión simple o pasiva	75
Proteínas transportadoras y acarreadores	75
Difusión facilitada	76
Transporte Activo.....	76
Transporte activo mediado por ATPasa Na^+/K^+	76
Potencial de reposo transmembranal	77
El potencial de acción.....	78
Metabolismo celular	78
Trabajo del sodio en las células	78
El Na^+ como <i>simporter</i> :	79
El Na^+ como <i>antiporter</i> :.....	79
Intercambiador Na^+ - Ca^{2+}	79
Intercambiador Na^+ - H^+	80
CAPÍTULO 6.- LESIÓN CELULAR	81
Objetivo	81
Definición de Enfermedad	81

Desarrollo de la lesión celular	82
i. Disminución de la síntesis de ATP, con incremento de la relación ADP/ATP	83
i. Activación de la glucólisis anaerobia con disminución del pH:	83
ii. La falta de energía lleva a una pobre actividad de la bomba de sodio, con aumento del sodio y agua intracelulares	83
iii. Dilatación de retículo endoplásmico.....	83
iv. Contracción de las mitocondrias.....	84
v. Mayor hinchazón celular.....	84
vi. Aumento de la permeabilidad de la membrana.....	84
vii. Crecimiento de las mitocondrias	85
viii. Las proteínas no se desprenden de los lisosomas antes de ser digeridos.....	85
ix. El calcio invade las mitocondrias y forma depósitos de fosfato de calcio cerca de la membrana mitocondrial interna.....	85
x. Otras mitocondrias se llenan de un material denso, floculado.....	85
xi. La membrana plasmática forma envolturas alrededor de algunos organelos, en especial donde hay invaginaciones.	85
xii. Las hidrolasas lisosómicas, atacan y destruyen diversas estructuras celulares. En este nivel de daño se presenta la muerte celular.	85

CAPÍTULO 7.- EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA ELECTROESTIMULACIÓN INDUCIDA POR CEMP...87

1. Objetivo:	87
2. Efectos biológicos	87
Nivel 1: Efectos de la electroestimulación <i>inducida por CEMP</i> sobre la membrana celular.....	88
Potenciales Sinápticos y Oscilaciones intrínsecas	90
Potenciales de acción	92
Nivel 2: Efectos de las corrientes <i>inducidas</i> por CEMP en la salud y la diferenciación celular.	93
En células sanas:	93
En células lesionadas:	93
En células indiferenciadas:	93
Nivel 3: Efectos de las corrientes <i>inducidas</i> por CEMP sobre el metabolismo	95
Efectos de corrientes <i>inducidas</i> sobre Metabolismo del calcio.....	95
Resultados de la aplicación de las corrientes inducidas por CEMP sobre osteoporosis y mecanismo de remodelación ósea.	96
Conclusiones de la aplicación de corrientes inducidas en metabolismo óseo:	100
Resultados sobre la secreción de factores de crecimiento.	100
Sobre el factor de crecimiento similar a la insulina IGF-I y IGF-II	104
Sobre la secreción del factor de crecimiento transformante beta TGF-β	105
Sobre factores de crecimiento que actúan en hipoxia e inflamación	105
Sobre los factores de crecimiento que intervienen en el proceso de reparación de tejidos.	106
Nivel 4: En el incremento en la síntesis de diversos metabolitos y otros efectos.	110
Las corrientes <i>inducidas</i> por CEMP son vasodilatadoras de la microvasculatura arteriolar hasta un 9%	110
Las corrientes <i>inducidas</i> por CEMP estimulan la diferenciación, maduración y proliferación de fibroblastos.	111
Incremento en la síntesis de colágeno.....	112
Se estimula la angiogénesis.....	112
Incremento en la síntesis de ADN.....	113
Otros efectos:	113
Nivel 5: Efectos sobre los signos de enfermedades	113

CAPÍTULO 8.- APLICACIÓN CLÍNICA DE LA ELECTROESTIMULACIÓN INDUCIDA POR CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PULSADOS.....115

Objetivo.....	115
----------------------	------------

A. Método de valoración e intervención.....	115
Modelo de intervención.....	116
1. Examinación	116
2. Exploración física	118
3. Evaluación	120
4. Diagnóstico.....	121
5. Plan de intervención y Pronóstico.....	121
a) Proceso de rehabilitación.....	121
Reparación del deterioro o lesión estructural.....	121
Reducción de la limitación funcional:.....	122
Disminución o eliminación de la discapacidad:.....	123
Prevención de lesiones y enfermedades.....	123
b) Pronóstico	123
6. Tratamiento	123
7. Resultados o rehabilitación óptima	124
Conclusión de inciso A.....	124
B. La electroestimulación inducida por CEMP y otros agentes físicos en rehabilitación.....	125
Definición de agentes físicos y modalidad terapéutica, en rehabilitación:.....	125
Corrientes inducidas por CEMP y agentes de calentamiento superficial.....	128
Corrientes inducidas por CEMP y agentes de enfriamiento.....	128
Corrientes inducidas por CEMP y Tracción	128
Corrientes inducidas por CEMP y compresión	128
Corrientes inducidas por CEMP y láser terapéutico	129
Corrientes inducidas por CEMP y ultrasonido, corrientes eléctricas conducidas o cámara hiperbárica.....	129
C. Parámetros de aplicación de las corrientes inducidas por CEMP	129
a) La evaluación y el diagnóstico	129
b) El Coeficiente de inducción.....	130
c) La frecuencia de emisión [Hertz].....	130
d) El tiempo de aplicación: minutos, horas y la periodicidad	130
e) El área del cuerpo expuesta a las corrientes inducidas por CEMP.	131
f) La conductividad del tejido [Siemens por metro].....	131
D. Indicaciones de la electroestimulación inducida por CEMP para fisioterapia.....	132
E. Casos clínicos de la aplicación de la Electroestimulación Inducida por CEMP.	133
Caso clínico de CEMP En Fisioterapia	133
Caso 1- Lumbalgia de origen biomecánico	133
Examinación	133
Exploración y Evaluación.....	133
Diagnóstico	134
Plan de Tratamiento y pronostico.....	134
Resultados	136
Caso 2- Dolor en rodillas y diabetes tipo 1	137
Examinación	137
Exploración y Evaluación.....	137
Diagnóstico	139
Plan de Tratamiento y pronóstico.....	139
Resultados	140
Caso 3.- Esguince de tobillo	143
Examinación	143
Exploración y Evaluación.....	143
Diagnóstico	144
Plan de Tratamiento y pronóstico.....	144
Resultados	145
Caso 4- Gonartrosis	146
Examinación	146

Exploración y Evaluación	146
Diagnóstico.....	147
Plan de Tratamiento y pronóstico	147
Resultados.....	148
Caso 5- Lumbalgia degenerativa.....	149
Examinación	149
Exploración y Evaluación	149
Diagnóstico.....	150
Plan de tratamiento y pronóstico	150
Resultados.....	151
Caso 6.- Dolor en cervicales	152
Examinación	152
Exploración y Evaluación	152
Diagnóstico.....	153
Plan de Tratamiento y pronóstico	153
Resultados.....	154
Casos clínicos de CEMP en medicina	155
Caso 7.- Niño con asma de larga evolución.....	155
Examinación	155
Exploración y Evaluación	155
Plan de Tratamiento y pronóstico	155
Resultados.....	155
Conclusiones	155
Caso 8.- Quemadura de segundo grado.	155
Examinación	155
Exploración y Evaluación	156
Plan de Tratamiento y pronóstico	156
Resultados.....	156
CONCLUSIÓN GENERAL	157
BIBLIOGRAFÍA.....	159
IMPRESO EN MÉXICO, 2019.....	165

CAPÍTULO 1. - Cambios Demográficos y Epidemiología.

Ing. Bioq. Graciela Mejía Astorga

Objetivo

Revisaremos la evolución poblacional en México y como esto ha modificado el estilo de vida de las personas, con el objetivo de mostrar los cambios de la salud en el país, así como las necesidades actuales de la población en materia de salud, examinaremos la prevalencia de enfermedades que, en la actualidad, la medicina convencional no ha podido solucionar, así como los escenarios futuros, esperados para México. Esto reflejará el área de oportunidad en la aplicación de los CEMP.

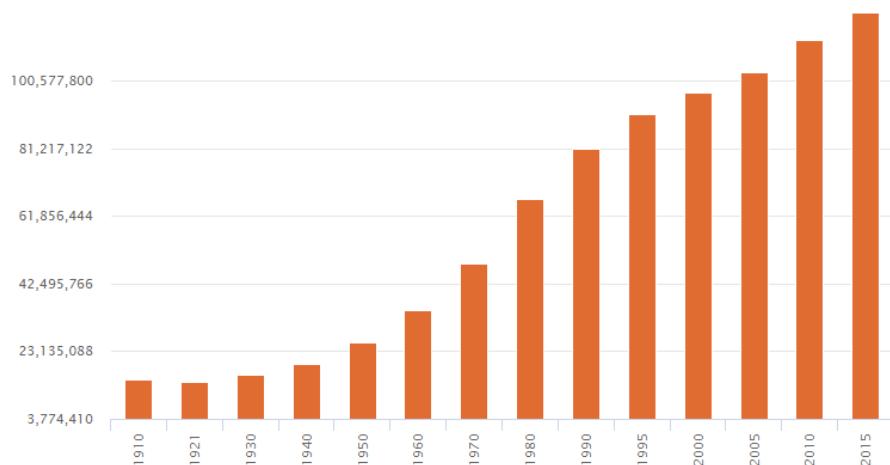
Evolución de la población

Como ya mencionamos, las características de la población en México han cambiado sustancialmente en los últimos 80 años, desde la cantidad de habitantes, pasando por su ubicación, rural o urbana; su tasa de natalidad, su mortalidad y las causas de esta. Tres variables que nos resultan muy útiles para ver estos cambios son, el número de habitantes, la esperanza de vida al nacer y el envejecimiento poblacional.

Tamaño de la población en México

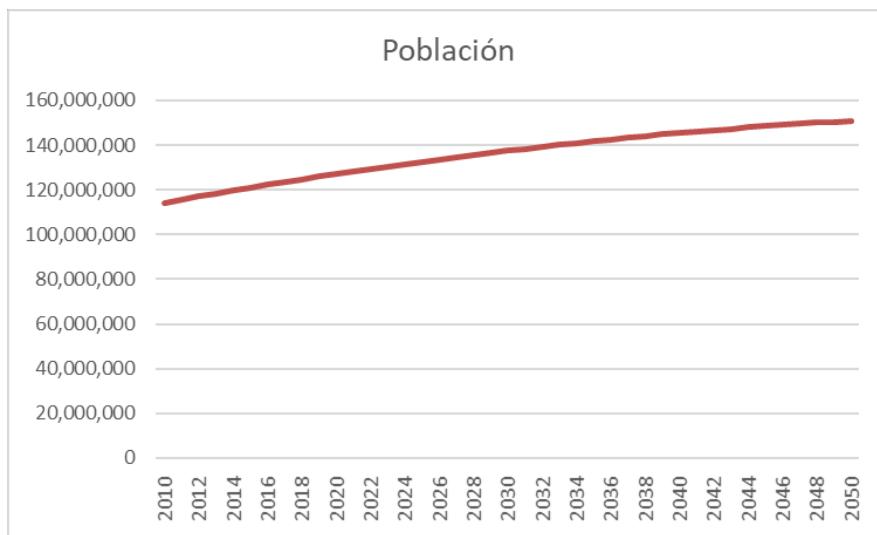
Según INEGI (2015) la población en México, para 2015, alcanzó la cifra de 119.53 millones de habitantes (Ilustración 1), de los cuales 51.4% eran mujeres y 48.6% hombres, es decir, había 94.4 hombres por cada 100 mujeres. Con una media de edad de 27 años, México es un país de jóvenes y envejece lentamente.

ILUSTRACIÓN 1.- MÉXICO, NÚMERO DE HABITANTES. (INEGI, CUENTAME , 2015)



A pesar de las políticas de población, aun con la reducción de la tasa de natalidad, el crecimiento poblacional seguirá siendo importante como puede verse en la ilustración 2. De acuerdo con INEGI (2016) en 2020 México tendrá alrededor de 127 millones de habitantes y para 2025 serán 132.5 aproximadamente y todos demandarán servicios de salud.

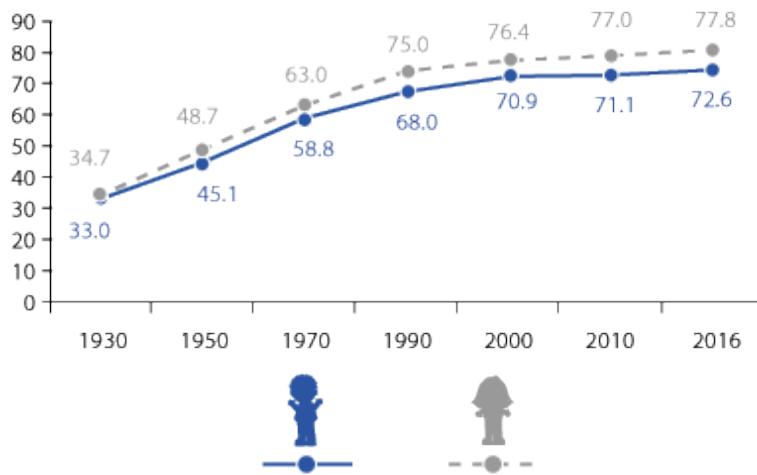
ILUSTRACIÓN 2.- MÉXICO, PROYECCIONES DE POBLACIÓN PARA 2050 (INEGI 2016)



Esperanza de vida al nacer

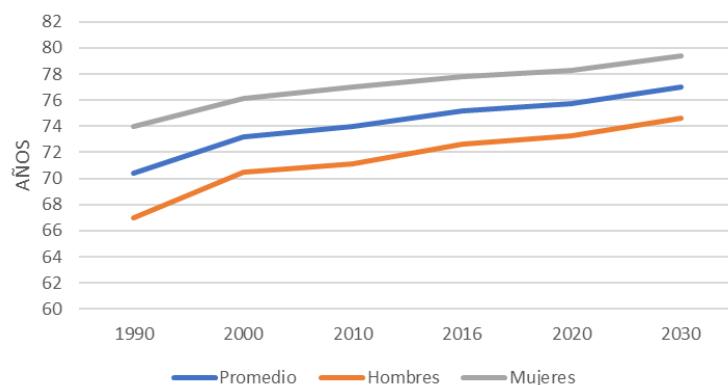
En México, la esperanza de vida ha aumentado considerablemente. En 1930 las personas vivían en promedio 34 años, tiempo después en 1970 este indicador se ubicó en 61 años; en el año 2000 fue de 74 y en 2016 es de casi 75.2 años. Es decir, de 1930 a 2016 los mexicanos vivimos 41 años más. (Ilustración 3)

ILUSTRACIÓN 3.- MÉXICO, ESPERANZA DE VIDA AL NACER (INEGI 2016).



De acuerdo con el INEGI (2016), para 2030 se estima que la esperanza de vida al nacer (EVN) llegará en promedio a los 77 años, sin embargo, si separamos esta esperanza de vida por sexos, veremos que los hombres se mantendrán por abajo del promedio, prácticamente mantendrán la misma esperanza de vida actual, no siendo el caso de las mujeres, que alcanzarán esperanzas de vida de casi 80 años, como se muestra en la Ilustración 4.

**ILUSTRACIÓN 4.- MÉXICO, PRONÓSTICO DE LA ESPERANZA DE VIDA AL NACER,
SEGUN SEXO. DE 1990 A 2030 (INEGI 2016)**



El envejecimiento poblacional

La disminución de la mortalidad, el aumento de la esperanza de vida al nacer y la reducción de la natalidad, están dando lugar a un proceso conocido como envejecimiento poblacional, que implica una participación creciente de los adultos mayores en la estructura poblacional.

De acuerdo con los datos de INEGI (2016), para 1950, (Ilustración 5,) vemos una pirámide delgada, donde las poblaciones jóvenes e infantil son preponderantes. Para 1970, (Ilustración 6), hay un gran crecimiento de la población infantil y se inician los programas de control natal.

Para el año 2000, (Ilustración 7), en comparación con los años 1950 y 1970, la base de esta estructura muestra un adelgazamiento debido al descenso en la contribución de la población infantil. La población de jóvenes y adultos en edad reproductiva atraviesa por una etapa de crecimiento heredada de los períodos de alta fecundidad de los años 70 y 80.

Para 2010, la pirámide de población en México evidencia el crecimiento de la cantidad de personas mayores de 60 años. (Ilustración 8)

Para 2015 el 11.5% de la población tenía 60 años o más, aproximadamente 14.35 millones de personas. (Ilustración 9).

De acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO 2015) se estima que para 2030 la población mayor de 60 años corresponderá al 16 % de la población total, es decir alrededor de 21.99 millones de habitantes. Según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (2012), para 2050 la población mayor de 60 años corresponderá al 28% de la población total, dando como resultado 42.23 millones de habitantes. Esta será una población, en su mayoría, no económicamente activa o dentro de la economía informal, que demandará servicios de salud y atención de la familia.

ILUSTRACIÓN 5.- MEXICO, ESTRUCTURA POBLACIONAL 1950

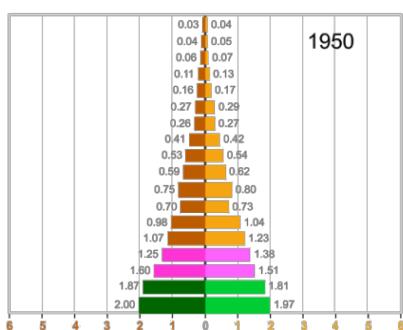


ILUSTRACIÓN 6.- MÉXICO, ESTRUCTURA POBLACIONAL DE 1970

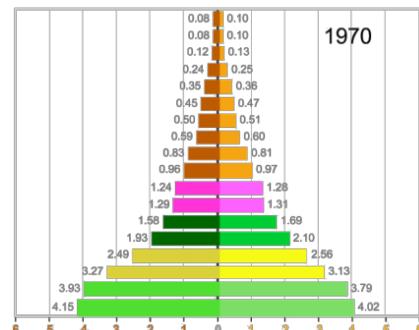


ILUSTRACIÓN 7.- MÉXICO, ESTRUCTURA POBLACIONAL DE 2000

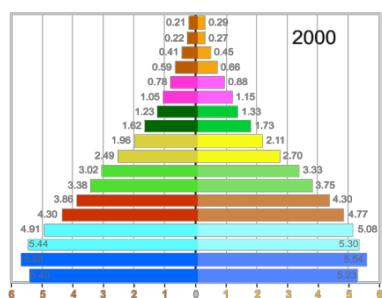


ILUSTRACIÓN 8.- MÉXICO, ESTRUCTURA POBLACIONAL DE 2010

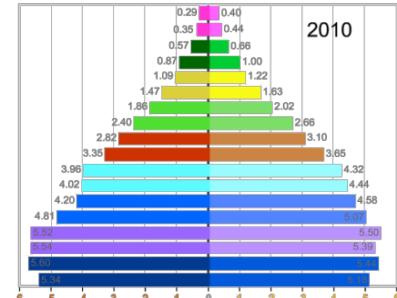
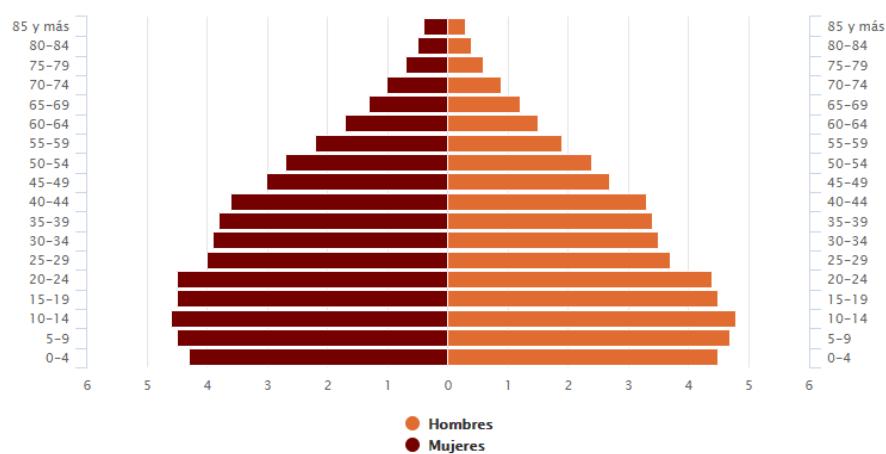


ILUSTRACIÓN 9.- MÉXICO, ESTRUCTURA POBLACIONAL DE 2015 (INEGI 2016)



Según la OMS (2017) a nivel mundial la proporción de adultos mayores de 60 años pasará de 90 millones a 200 millones, lo que representa un aumento del 12% al 22%.

El envejecimiento de la población es más rápido en la actualidad que en años precedentes, hoy, 8 de cada 100 personas en el mundo son mayores de 65 años (Mejías, 2017). A pesar de sus diferencias, todos los

países apuntan a tener mayores proporciones de adultos mayores. Los siguientes mapas de la CONAPO (2004) presentan un panorama del proceso de envejecimiento a nivel mundial. (Ilustración 10 y 11).

ILUSTRACIÓN 10.- PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN DE 20 AÑOS Y MAS A NIVEL MUNDIAL, AÑO 2000 (CONAPO, ENVEJECIMIENTO DE LA POBLACIÓN DE MÉXICO RETO DEL SIGLO XXI, 2004)

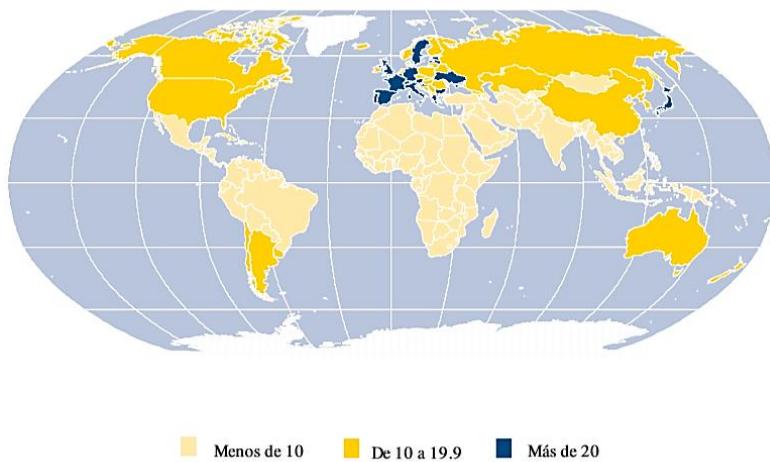
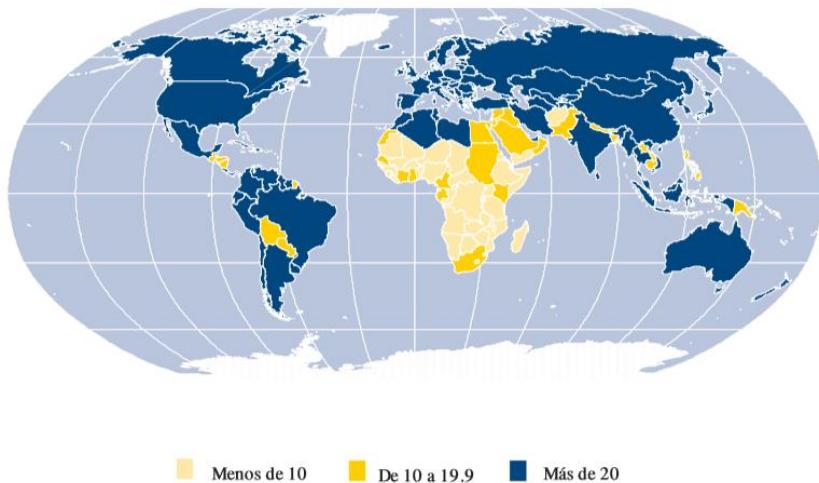


ILUSTRACIÓN 11.- PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN DE 20 AÑOS Y MÁS, A NICVEL MUNDIAL, AÑO 2050 (CONAPO, ENVEJECIMIENTO DE LA POBLACIÓN DE MÉXICO RETO DEL SIGLO XXI, 2004)



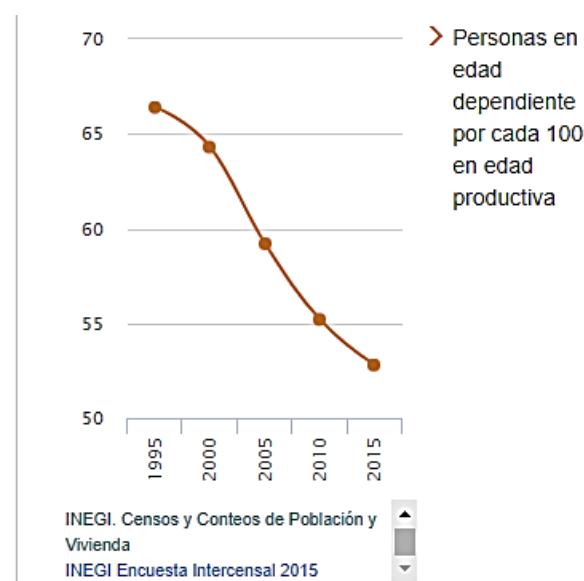
El envejecimiento de la población puede tomarse como un éxito de las políticas de salud pública, pero también significa un reto, pues este hecho impacta no sólo en el Sistema de Salud, sino que impone desafíos a la organización y economía familiar, así como cargas adicionales de trabajo para los cuidados y atención del adulto mayor.

En la ilustración 12 se muestran datos de INEGI (2015) que nos indican como se ha reducido considerablemente la población dependiente, por cada 100 en edad productiva, seguramente debido al incremento de la población femenina en la población económicamente activa, y a que las edades de jubilación se han incrementado; sin embargo, aun en 2015 por cada 100 personas en edad productiva, había 52.8 dependientes, es decir más de la mitad de la población depende del resto de la población para satisfacer sus necesidades, entre niños y adultos mayores.

Envejecer con salud es algo que nos debe enorgullecer como sociedad, hay informes que hablan con naturalidad de los 120 años como edad límite de supervivencia para quienes nazcan en las próximas décadas (Mejías, 2017). Pero ¿realmente nos estamos preparando para esto? A esta edad pensaríamos que se pueden emprender nuevas actividades, como estudios o antiguas aficiones, sin embargo, al parecer hay un factor que condiciona en gran medida las posibilidades de seguir teniendo calidad de vida y ese factor es **la salud**.

Los principales problemas de salud que afectan a las personas de esta edad son enfermedades no transmisibles. En cuanto a las causas de discapacidad tenemos, fundamentalmente: el deterioro sensorial, el dolor muscular y articular, la diabetes y trastornos psicológicos como: depresión o demencia (Salud O. M., 2017). Por lo tanto, vemos que, con el tiempo, manifiestan necesidades más específicas, y que la salud es su principal preocupación. Devolverles independencia es un reto difícil, sin embargo, no es imposible.

ILUSTRACIÓN 12.- MÉXICO, PERSONAS EN EDAD DEPENDIENTE, POR CADA 100 EN EDAD PRODUCTIVA. 2



Esta generación necesita reinventar sus vidas: encontrar nuevas maneras de pasar su tiempo, nuevos modelos de ahorro y sobre todo actividades que les permitan preservar la vitalidad mientras envejecen (Furlong, 2007). Gracias a la calidad, cantidad y disponibilidad de los servicios médicos, las personas de 60 años o más tienen el destino de su salud en sus manos y el reto consiste en descubrir cómo ayudarlos a organizar sus vidas alrededor del cuidado de sí mismos. Ellos reconocen que llevar una vida sana es importante, pero les resulta difícil descubrir en qué consiste (Furlong 2007). El hecho de adoptar nuevos dispositivos médicos, como lo son los Campos Electromagnéticos Pulsantes, (CEMP), nos confirma la llegada de una nueva época en la cual la biotecnología y la medicina se combinan para dar respuesta a los problemas de salud.

Prevalencia de las enfermedades en México.

Es muy interesante notar, que en la primera mitad del siglo XX los problemas reproductivos, (maternidad) y las enfermedades infectocontagiosas, relacionadas con la desnutrición fueron las principales causas de muerte, correspondiendo a un 70 % de las defunciones totales. Las muertes por accidentes y homicidios correspondían apenas a un 10% y las muertes por enfermedades no transmisibles, como cáncer, diabetes, infartos, etc; correspondían al 20 %. (Ilustración 13)

Sin embargo, dados los cambios poblacionales, la urbanización, la mejoría en la calidad de vida, y la mayor higiene, estos factores nos llevaron a otro esquema, cómo podemos ver, hay un cambio radical para 2005, para entonces en nuestro país predominaban como causas de muerte las enfermedades no transmisibles, es decir, aquellas que se consideran crónico-degenerativas, con un 77 % de las muertes totales, y son padecimientos más difíciles y costosos de tratar que las infecciones comunes. (Ilustración 14)

ILUSTRACIÓN 13.- MEXICO, CAUSAS DE MUERTE POR TIPOS DE PADECIMIENTO, 1955

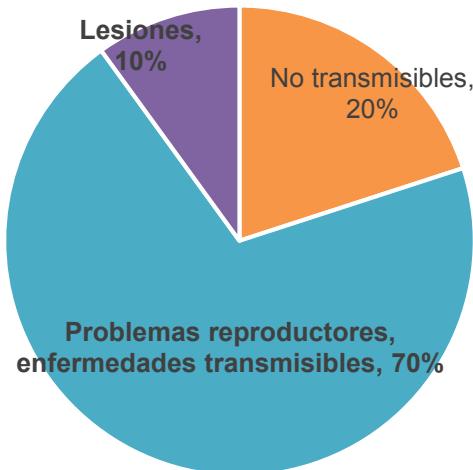
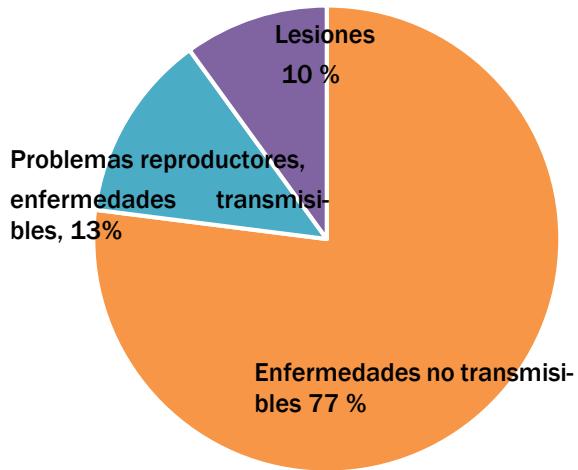


ILUSTRACIÓN 14.- MÉXICO, CAUSAS DE MUERTE POR TIPOS DE PADECIMIENTOS, 2005



Catorce años después, a pesar de los constantes cambios sociodemográficos, sabemos que las principales causas de muerte, siguen siendo las enfermedades crónicas, compiten cuatro o cinco de ellas por los primeros lugares cada año, no obstante, al enfocarnos en el número de defunciones y el porcentaje que estos representan, podemos encontrar en los primeros sitios a las enfermedades del corazón, diabetes mellitus, cáncer, enfermedades pulmonares, cerebrovasculares y renales; como sabemos cada una de ellas es considerada como degenerativa y potencialmente mortal. En la tabla 1 se presentan las principales causas de muerte en México para el año 2016, son las más actualizadas proporcionadas por INEGI (2016).

Tabla 1.-Causas de defunción en México, 2016. (INEGI, Estadísticas de mortalidad, 2016)

Principales causas	No. De Defunciones	%
Total	655,688	100
Enfermedades del corazón	128,731	19.63
Enfermedades isquémicas del corazón	88,144	13.44
Diabetes mellitus	98,521	15.03
Tumores malignos	79,514	12.13
Accidentes	37,184	5.67
De tráfico de vehículos de motor	16,035	2.45
Enfermedades del hígado	35,718	5.45
Enfermedad alcohólica del hígado	11,863	1.81
Enfermedades cerebrovasculares	34,106	5.20
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	21,057	3.21
Agresiones	20,762	3.17

Influenza y neumonía	18,889	2.88
Insuficiencia renal	13,300	2.03
Ciertas afecciones originadas en el periodo perinatal	12,992	1.98
Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas	9,364	1.43
Desnutrición y otras deficiencias nutricionales	7,076	1.08
Lesiones auto infligidas intencionalmente	6,425	0.98
Bronquitis crónica y la no especificada, enfisema y asma	4,940	0.75
Enfermedad por virus de la inmunodeficiencia humana	4,756	0.73
Enfermedades infecciosas intestinales	3,754	0.57
Anemias	3,553	0.54
Síndrome de dependencia del alcohol	3,167	0.48
Septicemia	2,932	0.45
Síntomas, signos y hallazgos anormales clínicos y de laboratorio, no clasificados en otra parte	10,994	1.68
Las demás causas	97,953	14.94

Las enfermedades crónicas causales de muerte.

Las enfermedades crónicas no transmisibles son uno de los mayores retos que enfrenta el sistema de salud en México, lo son por varios factores: el gran número de casos afectados, su creciente contribución a la mortalidad general, son la causa más frecuente de incapacidad prematura y la complejidad y costo elevado de su tratamiento. Tienen como única razón de su cronicidad, el que su origen no radica en ningún agente externo, de acción inmediata, como lo puede ser un microorganismo patógeno, sino que es una alteración vital originada en nuestro metabolismo, en muchas ocasiones, por agentes externos cuyo efecto tóxico se va acumulando a lo largo de los años, y no podemos recuperarnos espontáneamente de los daños causados en el organismo. Dada su importancia y a que es un área de oportunidad de los CEMP, a continuación, presentamos una revisión de las principales enfermedades crónico-degenerativas.

Enfermedades cardiovasculares (ECV)

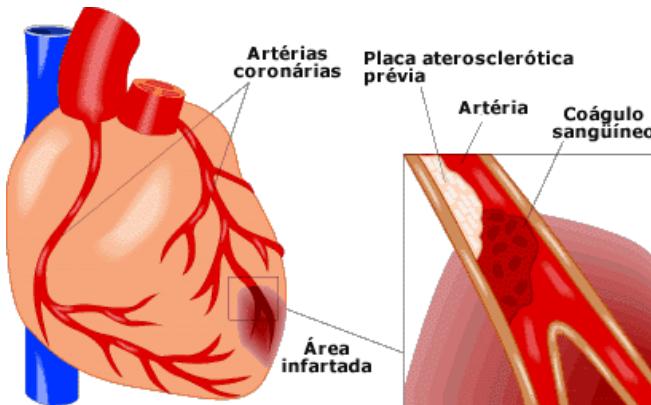
De acuerdo con las estadísticas de INEGI (2016) las Enfermedades cardiovasculares (ECV), constituyen la primera causa de muerte en el país. Estos problemas a menudo se deben a la aterosclerosis, la cual ocurre cuando la grasa y el colesterol se acumulan en las paredes del vaso sanguíneo o arteria. Esta acumulación se llama placa, con el tiempo, la placa puede estrechar los vasos sanguíneos y causar problemas en todo el cuerpo. Si una arteria resulta obstruida, esto puede llevar a que se presente un ataque cardíaco o un accidente cerebrovascular.

Según los Institutos Nacionales de Salud en Estados Unidos (2018) la enfermedad cardiovascular es un término amplio para problemas en el corazón y los vasos sanguíneos y engloba los siguientes tipos:

La cardiopatía coronaria (CHD, por sus siglas en inglés)

Es el tipo más común de enfermedad cardíaca y sucede cuando se acumula placa en las arterias que conducen al corazón. También se llama arteriopatía coronaria (CAD, por sus siglas en inglés). Cuando se estrechan las arterias, el corazón no puede recibir suficiente sangre y oxígeno. Una arteria bloqueada puede causar un ataque cardíaco. Con el tiempo, la cardiopatía coronaria puede debilitar el miocardio y provocar insuficiencia cardíaca o arritmias. (Ilustración 15).

ILUSTRACIÓN 15.-ISQUEMIA CARDIACA



La insuficiencia cardíaca

Ocurre cuando el miocardio se vuelve rígido o débil. No puede bombear suficiente sangre oxigenada, lo cual causa síntomas en todo el cuerpo. La enfermedad puede afectar el lado derecho o el lado izquierdo del corazón. Es muy frecuente que ambos lados del corazón estén comprometidos. La hipertensión arterial y la arteriopatía coronaria son causas comunes de la insuficiencia cardíaca.

Las arritmias

Son problemas con la frecuencia cardíaca (pulso) o el ritmo cardíaco. Esto ocurre cuando el sistema eléctrico del corazón no funciona correctamente. El corazón puede palpitarse demasiado rápido, demasiado lento o en forma irregular. Algunos problemas del corazón, como un ataque cardíaco o una insuficiencia cardíaca, pueden causar problemas con el sistema eléctrico del corazón. Algunas personas nacen con una arritmia.

Las enfermedades de las válvulas cardíacas

Ocurren cuando una de las cuatro válvulas en el corazón no funciona correctamente. La sangre puede escaparse a través de la válvula en la dirección equivocada (llamado regurgitación), o es posible que una válvula no se abra lo suficiente y bloquee el flujo sanguíneo (llamado estenosis). Un latido cardíaco inusual, llamado soplo cardíaco, es el síntoma más común. Algunos problemas del corazón, como un ataque cardíaco, una cardiopatía o una infección, pueden causar enfermedades de las válvulas del corazón. Algunas personas nacen con problemas de válvulas cardíacas.

La arteriopatía periférica

Ocurre cuando las arterias de las piernas y los pies se estrechan debido a la acumulación de placa. Las arterias estrechas reducen o bloquean el flujo sanguíneo. Cuando la sangre y el oxígeno no pueden llegar a las piernas, esto puede lesionar los nervios y tejidos.

La presión arterial alta (hipertensión).

Es una enfermedad cardiovascular que puede conducir a otros problemas tales como ataque cardíaco, insuficiencia cardíaca y accidente cerebrovascular.

Accidente cerebrovascular

Es causado por la falta de flujo sanguíneo al cerebro. Esto puede suceder debido a un coágulo de sangre que viaja a los vasos sanguíneos en el cerebro o un sangrado en el cerebro. El accidente cerebrovascular tiene muchos de los mismos factores de riesgo que una cardiopatía.

La cardiopatía congénita

Es un problema con la estructura y funcionamiento del corazón que está presente al nacer. Este término puede describir muchos problemas diferentes que afectan el corazón.

Los principales factores de riesgo relacionados con las enfermedades cardiovasculares son: el consumo excesivo de grasa de origen animal, el sobrepeso, el tabaquismo, la hipertensión arterial, el sedentarismo, el estrés y la diabetes, por lo tanto, se requiere de una medicina integral para su tratamiento. A continuación, presentamos la tabla 2, muy ilustrativa de la carga por enfermedades cardiovasculares en México:

Tabla 2.- Carga por enfermedades cardiovasculares en México. (Rosas, Efraín, & Borrero, 2017)
El INEGI, en 2013, informó de 113,240 defunciones; 1 cada 4.5 minutos
El IMSS, en 2014, informó 38,675 defunciones; 1 cada 12 minutos
El 30% de la mortalidad total en el IMSS es por enfermedades cardiovasculares (ECV)
Las ECV son la primera causa de consulta en primer nivel y segunda causa en segundo nivel
Afectan a la población económicamente activa
La insuficiencia cardiaca tiene más mortalidad que le cáncer de mama, prostático y cérvico uterino juntos.

Estas cifras son muy claras y dicen mucho de la importancia de las ECV como causa de muerte en México, y es importante reducir las posibilidades de presentar alguna de ellas. Mas adelante mostraremos como los CEMP son una importante herramienta en la prevención y tratamiento de las enfermedades cardiovasculares.

Diabetes Mellitus

De acuerdo con el INEGI, (2016), la diabetes mellitus es la segunda causa de muerte en México, tanto en hombres como en mujeres. La población en México de personas con diabetes rondó los 11.3 millones, para 2016, y continuará creciendo a un ritmo importante, como puede observarse en la tabla 3, de acuerdo con las encuestas de salud:

TABLA 3.-MÉXICO, PROPORCIÓN DE ADULTOS CON DIAGNÓSTICO PREVIO DE DIABETES

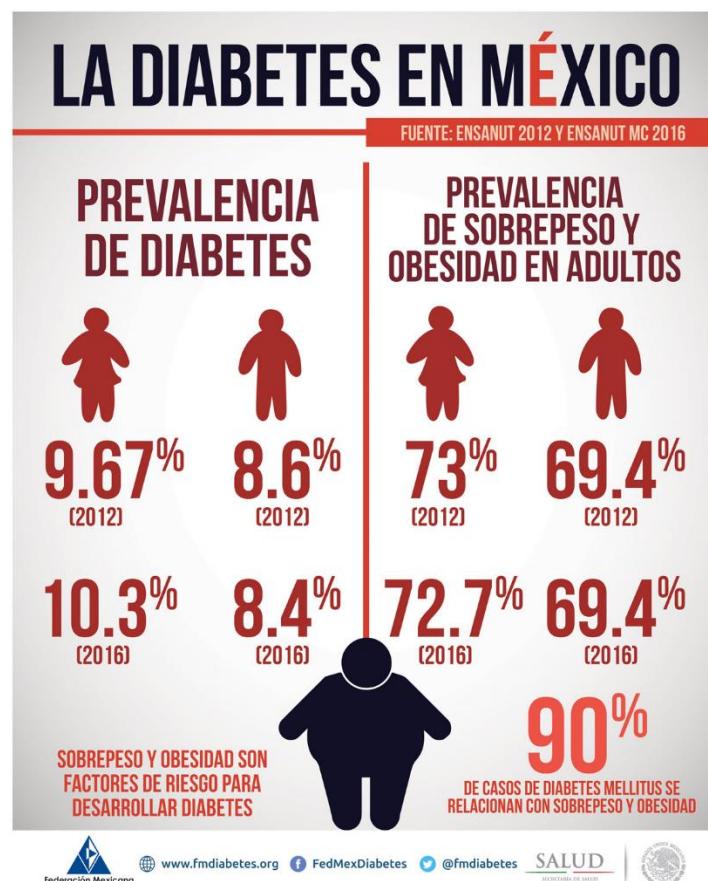
Año	% de la población	Encuesta
2000	5.8	ENSA 2000
2006	7	ENSANUT 2006
2012	9.2	ENSANUT 2012
2016	9.35	ENSANUT MC 2016

Sin embargo, el porcentaje de personas adultas con diabetes podría ser el doble, de acuerdo con la evidencia previa sobre el porcentaje de personas con diabetes que no conoce su condición, además según la Federación Mexicana de Diabetes (2018), dicha enfermedad está íntimamente relacionada al sobrepeso u obesidad, ya que el 90% de los casos se relacionan con estos factores. (Ilustración 16)

Podemos observar, en esta ilustración, que la prevalencia de la obesidad en los adultos es alarmante, rondando el 70%, para ambos sexos y va en aumento, así que las cifras de diabetes, en México, podrían dispararse en los próximos años.

Como podemos advertir en la ilustración 17, la diabetes se asocia a otras enfermedades realmente complejas, incapacitantes, que ponen en peligro la vida del paciente; es la causa principal de hospitalización, e incrementa el riesgo de morir por diversos padecimientos, como las cardiopatías, las enfermedades cerebrovasculares y la insuficiencia renal.

ILUSTRACIÓN 16.- MÉXICO, PREVALENCIA DE LA DIABETES EN MÉXICO (FEDERACIÓN MEXICANA DE DIABETES, 2018).



También se reporta la presencia de úlceras, lo que ocurrió en el 9.1 % de los pacientes. Según ENSANUT (2016) la diabetes mellitus es la causa más importante de amputación de miembros inferiores, de origen no traumático, y la principal causa de ceguera. (Ilustración 18). La Neuropatía es una complicación que afecta al 50% de las personas con diabetes. Daña principalmente al sistema nervioso periférico, autónomo y a los nervios craneales. Comúnmente lesiona los axones que conducen los impulsos con pérdida de la mielina que envuelve algunos nervios.

En México, el 15 % de los enfermos de diabetes, alrededor de 1.4 millones de personas, desarrollarán *pie diabético* en los próximos años, cifras realmente alarmantes. El pie diabético, es un conjunto de factores caracterizado por la ulceración de la piel, y está puede ser superficial o profunda. Se desencadena por una combinación de neuropatía sensorial motora, pues las personas dejan de sentir y podrían no percibir un daño en los tejidos, como el del calor intenso. La atrofia muscular de los dedos lleva a cambios biomecánicos, como el cambio de apoyo, pues los dedos se flexionan y la cabeza de los metatarsianos recibe mayor presión, por lo tanto, hay un roce constante que produce callosidades. Aunado a esto, la anhidrosis provoca adelgazamiento, sequedad y agrietamiento de los pies lo que lleva a las úlceras. Finalmente, el fallo vascular impide una adecuada respuesta inmune, lo que provoca la infección y la consecuente amputación.

ILUSTRACIÓN 17.- ENFERMEDADES RELACIONADAS CON LA DIABETES

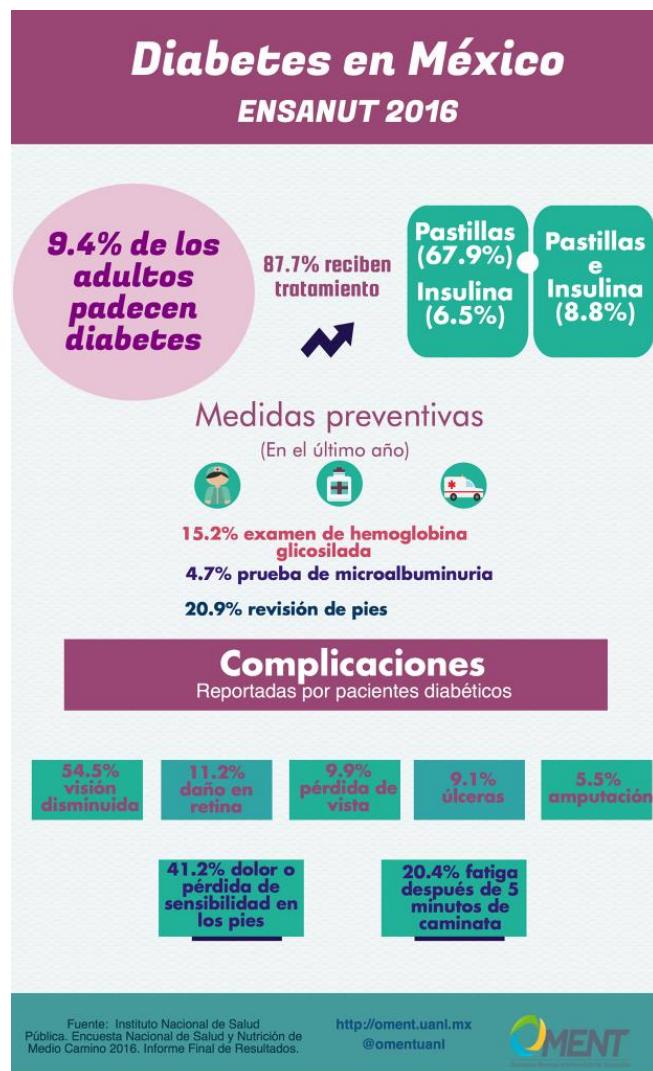
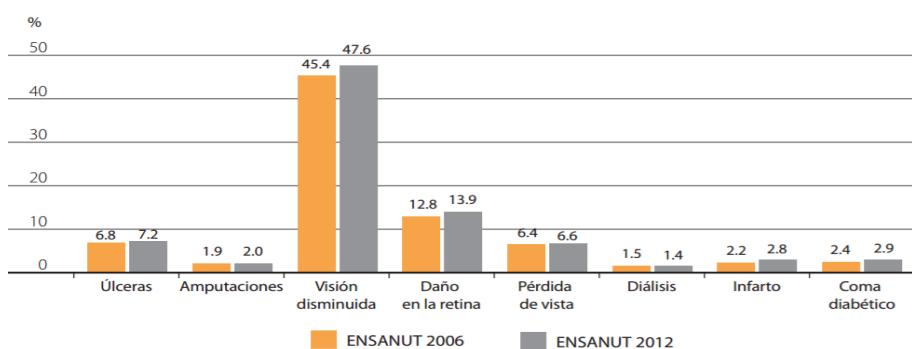


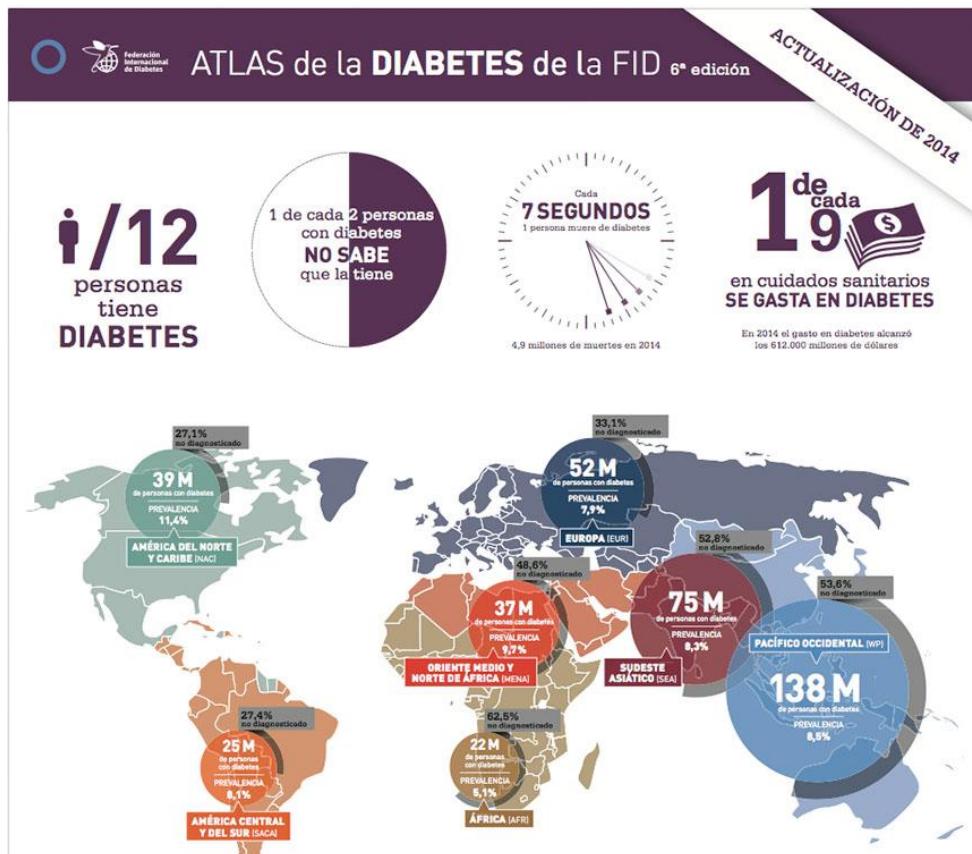
Ilustración 18.- México, Complicaciones reportadas por los pacientes diabéticos (ENSANUT 2013).



A nivel mundial, de acuerdo al Atlas de la Diabetes de la Federación Internacional de Diabetes (2014) (Ilustración 19), México se encontraba en la zona de mayor incidencia de diabetes, en América del Norte y aún se encuentra ahí; un dato interesante es que se calcula que en esa zona un 27.1 % de las personas con diabetes, no están diagnosticadas, pero un dato aún más relevante es que una de cada dos personas, a nivel mundial, no sabe que tiene diabetes.

Podemos ver además que hay zonas en el sudeste asiático, en el Pacífico occidental y en África, donde el porcentaje de población sin diagnosticar es realmente alto.

ILUSTRACIÓN 19.- ATLAS DE LA DIABETES (FID, 2014).



Llegamos a la conclusión que la diabetes es una alteración sistémica del organismo, que demanda la intervención de diversos especialistas y cambios en los hábitos de vida del paciente, por lo tanto, se requiere una medicina integral. Un área de oportunidad para los CEMP, ya que su aplicación incrementa el flujo sanguíneo, llevando oxígeno y nutrientes a las extremidades, disminuyendo o eliminando las neuropatías, además acelerará la cicatrización de las úlceras. Así mismo actuará sobre el tejido nervioso, reparando dicho tejido.

Cáncer

En el caso del cáncer, tomando en cuenta los tumores malignos, observamos que se posiciona como la cuarta causa de muerte en mujeres y en hombres (ENSANUT 2013). Cáncer es el nombre que se da a un conjunto de enfermedades relacionadas, hay más de 100 tipos de enfermedades que se engloban bajo este término. En todos los tipos de cáncer, algunas de las células del cuerpo empiezan a dividirse sin detenerse y se diseminan a los tejidos de alrededor.

ILUSTRACIÓN 20.- ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS DEL CÁNCER EN MÉXICO (2017)

ALGUNOS ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS DEL CÁNCER EN MÉXICO



Normalmente, las células humanas crecen y se dividen para formar nuevas células a medida que el cuerpo las necesita. Cuando las células normales envejecen o se dañan, mueren, en un proceso llamado apoptosis y células nuevas las remplazan; en el cáncer, este proceso ordenado de apoptosis se descontrola. A medida que las células se hacen más y más anormales, las células viejas o dañadas sobreviven cuando deberían morir, y células nuevas se forman cuando no son necesarias. Estas células adicionales pueden dividirse sin interrupción y pueden formar masas que se llaman tumores, el cáncer puede empezar casi en cualquier lugar del cuerpo humano.

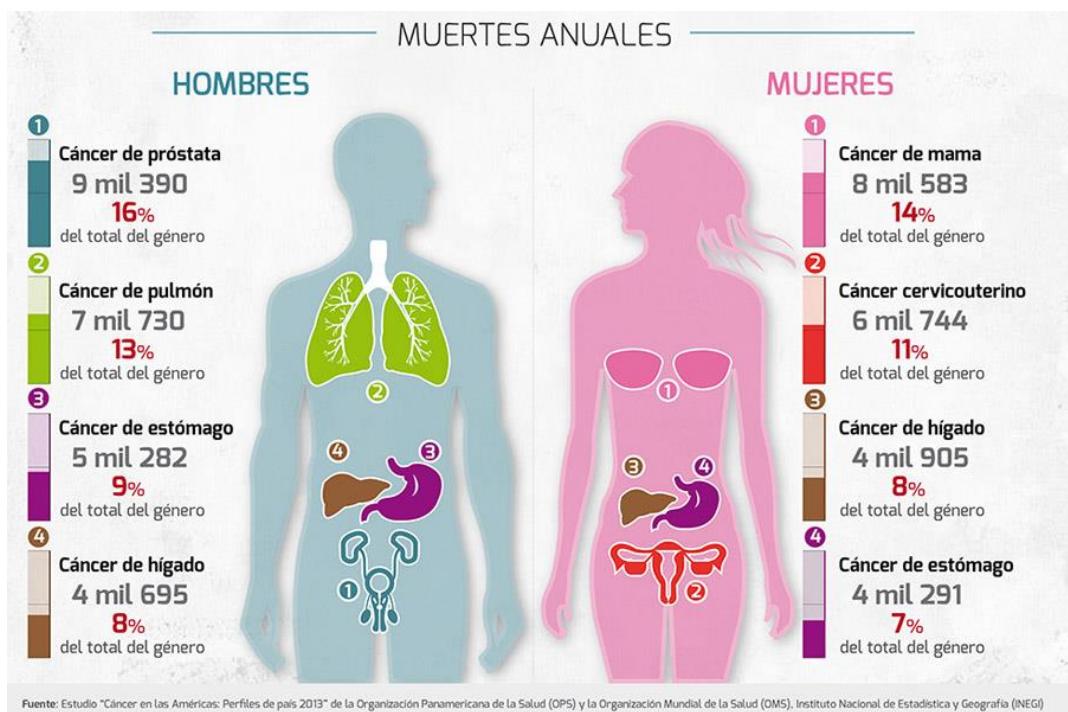
Muchos cánceres forman tumores sólidos, los cuales son masas de tejido. Los cánceres de la sangre, como las leucemias, en general no forman tumores sólidos. Los tumores cancerosos son malignos, lo que significa que se pueden extender a los tejidos cercanos o los pueden invadir. Además, al crecer estos tumores, algunas células cancerosas pueden desprenderse y moverse a lugares distantes del cuerpo por medio del sistema circulatorio o del sistema linfático y formar nuevos tumores lejos del tumor original.

Las principales causas de cáncer son agentes externos, físicos como las radiaciones ultravioletas y ionizantes; agentes químicos como el humo de tabaco o el arsénico (contaminante del agua embotellada) y agentes biológicos como los virus, bacterias y parásitos. También son causales el consumo de alcohol y la obesidad.

En México las cifras son significativas, de acuerdo con la Secretaría de Salud para 2017 fue la tercera causa de muerte, 14 de cada 100 fallecimientos fueron por esta enfermedad y la expectativa de vida de quienes la padecen es de alrededor de 63 años. (Ilustración 20)

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2017), los tumores más comunes son: cáncer de mama, cáncer de próstata, cáncer cérvico uterino, cáncer de colon y cáncer de pulmón. (Ilustración 21)

ILUSTRACIÓN 21.- PRINCIPALES TIPOS DE CÁNCER, PARA AMÉRICA LATINA



Esta es un área de oportunidad formidable, para los campos electromagnéticos pulsantes, ya que estas patologías responden rápidamente a su aplicación, además los CEMP protegen de los efectos dañinos de los tratamientos como la quimioterapia y radiación.

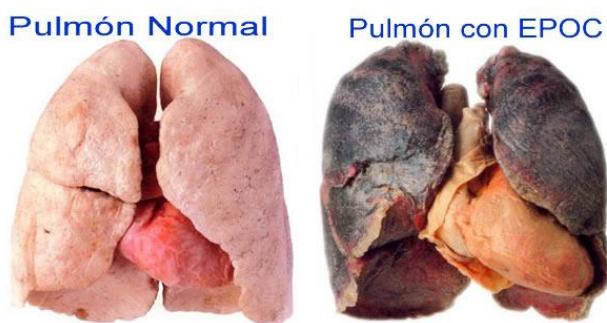
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

De acuerdo con el INEGI (2016) la Enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC) ocupa el quinto lugar como causa de muerte en México. La principal manifestación de esta enfermedad es la dificultad para respirar y se presenta después de los primeros 10 años de adicción al tabaco, con un consumo de 10 o más cigarrillos por día, pues a diferencia de otros órganos, el pulmón se degenera rápidamente. Por ello, la persona que fuma acelera este proceso de degeneración en la función pulmonar. Sin embargo, según el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER, 2017) la predisposición genética para presentar esta enfermedad es muy importante.

La EPOC es una enfermedad que causa incapacidad física, los pacientes dependen del consumo de oxígeno por lo menos 18 horas al día, lo cual limita sus actividades cotidianas. Las enfermedades pulmonares crónicas, como la EPOC, conllevan a una afectación del corazón, que se conoce como interacción cardiopulmonar. (INER, 2017)

La causa principal de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es el tabaquismo y el cocinar con carbón o leña. La inhalación en el ambiente laboral de polvos, gases, humos y sustancias químicas constituyen otros factores de riesgo, generando en el pulmón alteraciones más que evidentes. (Ilustración 22)

ILUSTRACIÓN 22.- PULMÓN SANO VS. PULMÓN CON EPOC



Otras enfermedades crónicas

A continuación, analizaremos otras enfermedades crónicas, que si bien no son causa importante de defunción, si representan una causa importante de discapacidad y su importancia radica en las consecuencias médicas, sociales y económicas asociadas, además tienen un gran impacto en la calidad de vida e independencia funcional de la población. Son enfermedades en donde los CEMP tienen una gran oportunidad de ser una terapéutica de segundo orden, complementaria al tratamiento farmacológico o fisioterapéutico, apoyándolos y potencializando sus efectos, dando la oportunidad al paciente de tener una mejor calidad de vida, con independencia.

Osteoporosis

La osteoporosis se define como una enfermedad caracterizada por una baja fortaleza ósea y un deterioro estructural del tejido óseo, con un consecuente incremento de fragilidad del hueso y susceptibilidad para la fractura. Representa la enfermedad metabólica ósea más frecuente y constituye un problema de salud pública en el mundo (Secretaría de Salud, 2013). (Ilustración 23)

No existen estadísticas recientes, pero en México se realizó un estudio, en el 2010, apoyado por la Fundación Internacional de Osteoporosis, con datos de personas mexicanas, en el cual se estimó que 17% de las mujeres y 9% de los hombres, mayores de 50 años, tenían osteoporosis en la columna lumbar, y 16% de mujeres y 6% de hombres también mayores de 50 años tenían osteoporosis en la cadera. Una de cada 12 mujeres de más de 50 años sufrirá fractura de cadera. El número total de casos de fractura de cadera fue de aproximadamente 21,000 en el año 2005 y se espera que alcance 110,055 casos en el año 2050, un aumento del 431% (Secretaría de Salud, 2013). El riesgo de caída aumenta significativamente con la edad y se estima que de 15 a 30% de las personas mayores de 65 años, se caen al menos 1 vez al año. Se recomienda a toda la población, en especial a las pacientes con osteoporosis, la práctica de ejercicio físico, eliminación de hábitos tóxicos, dieta equilibrada, aporte adecuado de calcio y vitamina D. (Pérez, 2011). Información más detallada sobre la osteoporosis, nos la proporciona la infografía de la ilustración 23.

Los CEMP son una herramienta muy eficaz para detener y revertir la osteoporosis, los estudios científicos, que analizaremos más adelante, demuestran que los CEMP elevan la actividad osteoblástica del hueso, es decir estimulan la toma de calcio por el hueso, aumentando el número de trabéculas del hueso esponjoso¹. Una situación que debe tomarse en cuenta es que la densidad ósea mejora sustancialmente con la aplicación de los CEMP, sin embargo, una vez que se suspende la aplicación, el efecto de los CEMP dura aproximadamente tres meses, reiniciándose la pérdida de masa ósea. Lo que se establece con esto es que en la osteoporosis debe mantenerse la aplicación indefinidamente. Otra consideración importante es que la aplicación de los CEMP en conjunto con la terapia farmacológica es la mejor opción, para la osteoporosis.

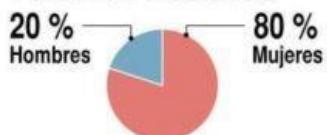
¹ Cada una de las pequeñas prolongaciones óseas entrecruzadas que forman una malla ósea y que limitan, compartimentando, las cavidades medulares del tejido esponjoso.

ILUSTRACIÓN 23.- INFOGRAFÍA DE LA OSTEOPOROSIS

Osteoporosis, una amenaza silenciosa

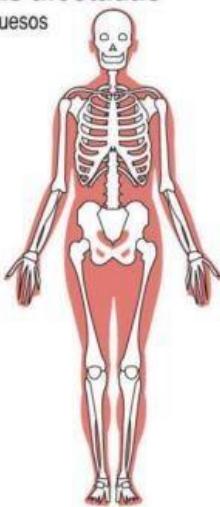
Esta enfermedad consiste en la pérdida de la masa ósea y la disminución de la densidad del hueso, que se vuelve más frágil, exponiéndose a fracturas y otras patologías.

Personas afectadas



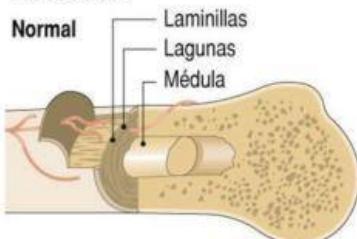
Zonas afectadas

- Los huesos



El hueso

Normal



Con osteoporosis

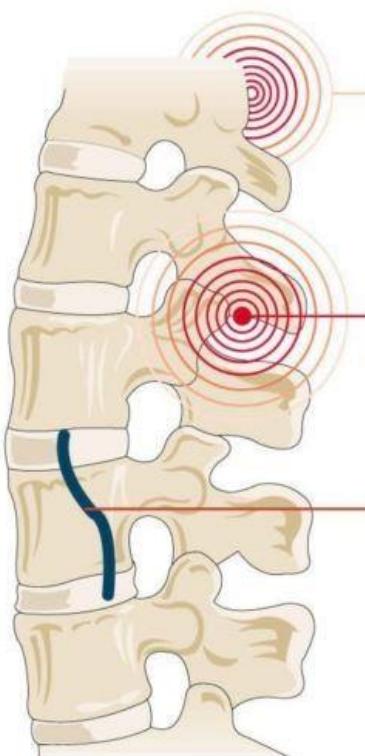


Los factores de riesgo

- Mujeres: post-menopausia y mayor aún si esta se presenta antes de los 45 años.
- Haberse practicado ligadura de trompas, cuando no se han recibido estrógenos.
- Vida inactiva, fumar, tomar alcohol o café.
- Consumo de esteroides o anticonvulsivos.
- Haber padecido enfermedades hepáticas o renales.
- Deficiencia de estrógeno.
- Antecedentes familiares.

Los mayores peligros

Deformación de la columna vertebral



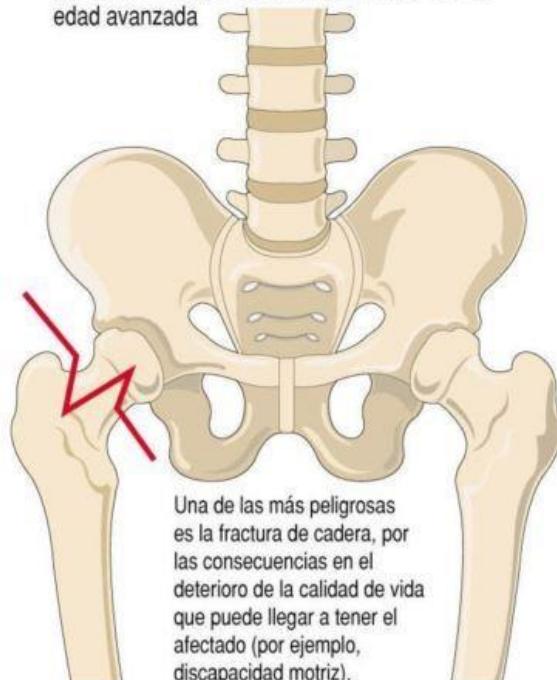
En las fases iniciales, no existen síntomas evidentes, sólo se presentan dolores aislados en la espalda.

A medida que avanza la enfermedad los dolores se hacen más intensos.

En la última fase, la columna vertebral sufre deformaciones, la posición del torso se desvía y los dolores se agudizan.

Aumento de la posibilidad de fracturas

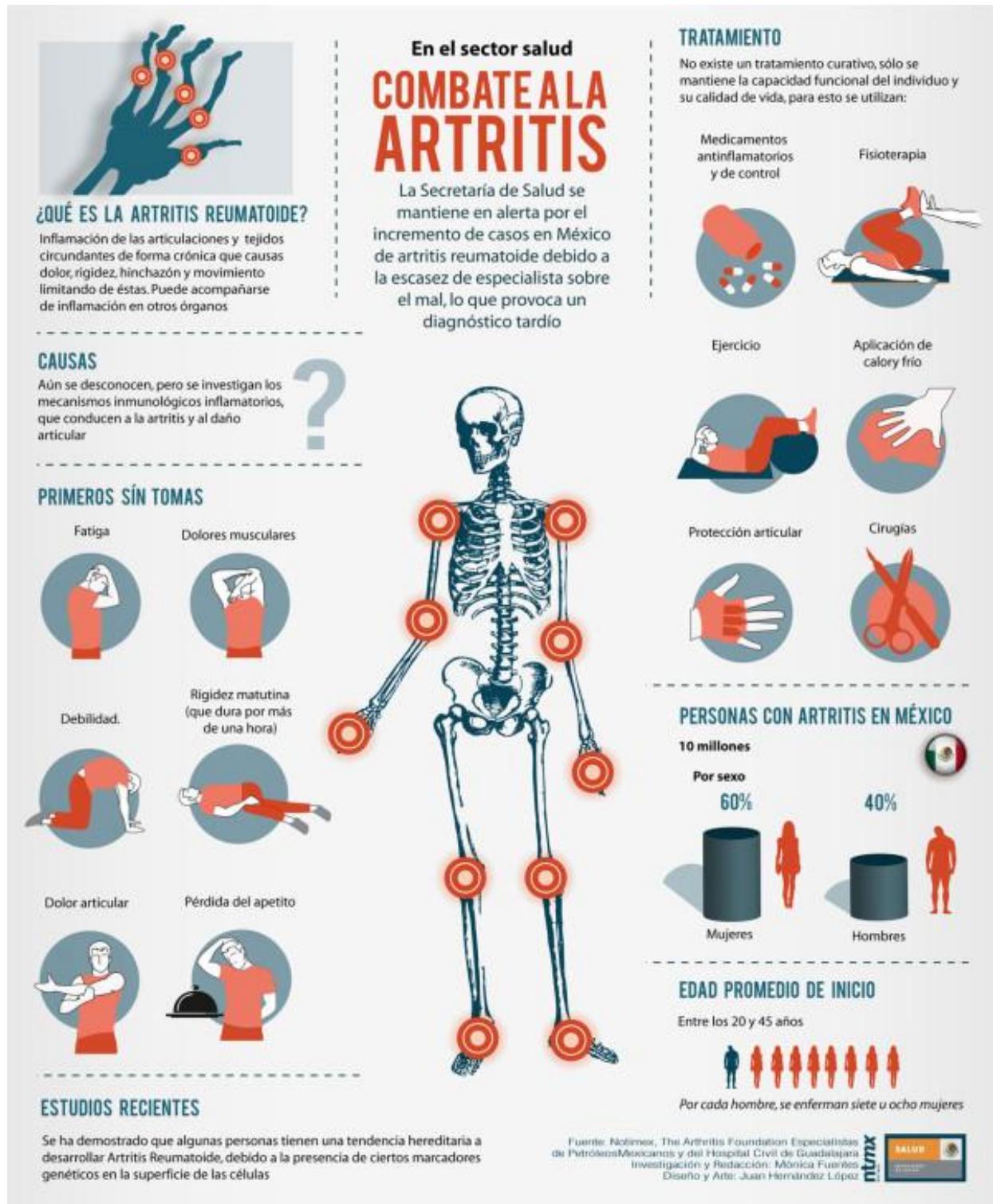
Al aumentar la fragilidad pueden producirse fracturas que tienen riesgos colaterales en pacientes de edad avanzada



Artritis Reumatoide (AR).

La Artritis Reumatoide (AR) es una enfermedad caracterizada por la inflamación crónica, autoinmune, sistémica, simétrica, de pequeñas y grandes articulaciones. Su principal órgano afectado es la membrana sinovial. (Ilustración 24)

ILUSTRACIÓN 24.- INFOGRAFÍA SOBRE ARTRITIS REUMATOIDE EN MÉXICO.



En la mayoría de los casos, el curso es progresivo y conduce al daño articular irreversible, lo que tiene como consecuencia el deterioro funcional de los pacientes, la disminución de la calidad de vida y una mortalidad prematura. (Ilustración 25).

**ILUSTRACIÓN 25.- ARTRITIS REUMATOIDE EN LA MANO,
PROGRESIÓN DEL DAÑO (FREEPIK, 2016)**

Rheumatoid Arthritis in Hand



La artritis reumatoide afecta al 1% de la población mundial, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2016). Cifras de la Organización Panamericana de la Salud (2015) indican que hay 34 millones de personas con discapacidad permanente y 140 millones con discapacidad temporal en Latinoamérica a causa de las enfermedades reumáticas.

En México, las enfermedades reumáticas ocupan el primer lugar como causa de incapacidad permanente por enfermedad general. Según los datos del INEGI (2016) respecto a la población en México, se calcula que deben de existir entre 270,000 a 900,000 pacientes con AR. La incidencia en mujeres ocurre entre los 40 y los 60 años.

En México, se estima que la AR tiene una prevalencia del 1,6% y afecta principalmente al grupo etario con mayor capacidad laboral y productiva, lo que se ve reflejado en altos índices de discapacidad laboral y pensión por invalidez que generan un alto impacto en la economía, sin mencionar la disminución en la calidad de vida de los pacientes.

El tratamiento temprano de la AR incrementa la probabilidad de controlar el proceso inflamatorio y reducir el daño estructural (Secretaría de Salud, 2010). Los pacientes con AR además cursan con ateroesclerosis acelerada, lo que conlleva un mayor riesgo de morbi-mortalidad cardiovascular. En mujeres existe tres veces más riesgo de presentar infarto al miocardio (Secretaría de Salud, 2010).

La aplicación de CEMP en pacientes con AR, permite recuperar el cartílago dañado, controlar el dolor, disminuir la inflamación, mejora la movilidad y elasticidad de las articulaciones. Al incrementar el flujo sanguíneo, permitirá una mejor oxigenación de las extremidades, dando lugar a una menor deformación de manos y pies.²

Artrosis.

La artrosis es una enfermedad que afecta a las articulaciones, y es una de las patologías más frecuentes, es una enfermedad crónica y es muy común. Se caracteriza por la pérdida progresiva del cartílago de la articulación debido a su desgaste. Este desgaste del cartílago se ve favorecido por el uso de la articulación y el paso del tiempo. Además, el deterioro del cartílago depende de otros factores que, aparte de la edad, contribuyen a lesionarlo (Terra.com, s.f.). (Ilustración 26)

² Graciela Mejía Astorga ,2019.

ILUSTRACIÓN 26.- INFOGRAFÍA DE ARTROSIS

La lenta amenaza de la artrosis

REF: Normal / Con artrosis

¿Qué es la artrosis?

La artrosis es una enfermedad degenerativa de las articulaciones y que produce el desgaste del cartílago.

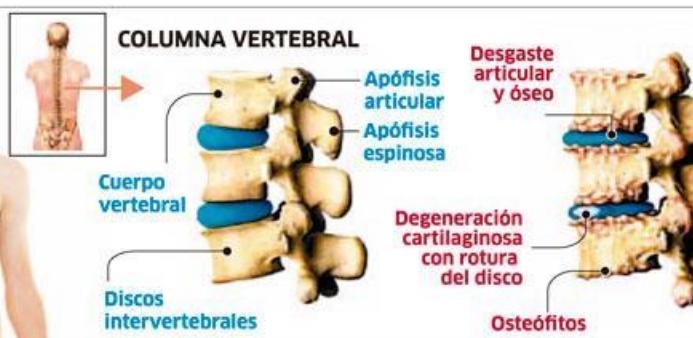
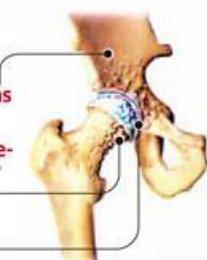
Causas

Anormalidad de las células que sintetizan los componentes del cartílago, como colágeno y proteoglicanos, además del sobrepeso o el levantamiento constante de peso.

CADERA

Iliaco
Cabeza del fémur
Pubis
Isquión

Cuerpo del fémur
Hueso de la cadera y cabeza del fémur concavernas o geodas osteoporóticas
Osteófitos o sobrecrecimiento del hueso y del cartílago
Disminución de la línea interarticular

**RODILLA**

Fémur
Línea interarticular
Cartílago normal
Tibia
Peroné
Osteófitos
Pérdida de la línea interarticular por destrucción del cartílago
Deformación ósea y articular

Prevención:

Es recomendable llevar una dieta sana y equilibrada, realizar ejercicio físico moderado. Los deportes de contacto, como el fútbol o el rugby, no se recomiendan a aquellas personas con artrosis.

Fuentes: Diversas.

LA REP

La enfermedad aparece gradualmente con el paso del tiempo, de tal forma que afecta a 80% de personas mayores de 60 años. En México la prevalencia de la enfermedad, en este grupo, es de 7.4 millones y de acuerdo con datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2015) podemos estimar que este número aumentará para 2050 a 20 millones.

Además de la edad, este padecimiento es causado por sobrepeso u obesidad, como sabemos presente en el 70 % de nuestra población, así como menopausia, genética, traumatismos al realizar actividades deportivas de alto impacto, pequeños traumas físicos a causa de movimientos repetitivos, esfuerzos excesivos o posturas inadecuadas. (Rivero, s.f.)

El tratamiento ideal para un paciente con osteoartritis debe ser multidisciplinario y cumplir con los objetivos de aliviar el dolor, disminuir la discapacidad, mejorar la funcionalidad articular, así como la calidad de vida del paciente con la menor toxicidad, (Rivero, s.f.). Estos objetivos se cumplen con la aplicación de los CEMP, que permitirán aliviar el dolor, disminuir la inflamación, incrementar la formación de colágeno y cartílago, mejorando la calidad de vida del paciente, sin tener efectos secundarios tóxicos.³

Lumbalgias

La lumbalgia es la presencia de dolor en la región lumbar, es decir, en la espalda y cintura, que con frecuencia se recorre a los glúteos y muslos, generalmente se presenta después de realizar un gran esfuerzo con una postura inadecuada, como, por ejemplo, después de cargar cosas muy pesadas sin protección de la columna o después de una caída o golpe muy fuerte. (Ilustración 27). Se trata de un problema muy frecuente que afecta aproximadamente a 80 de cada 100 personas y se incrementa en aquellas que padecen de obesidad. En nuestro país es una de las patologías que provoca mayores pérdidas en las empresas. Se trata de un serio

³ Graciela Mejía Astorga, 2019.

problema de salud ya que es la principal causa de incapacidad laboral, temporal o permanente en adultos jóvenes, con gran repercusión social, económica, familiar y laboral.

ILUSTRACIÓN 27- INFOGRAFÍA DE LA LUMBALGIA



Las causas de la lumbalgia son multifactoriales, desde sobrepeso, hernia discal, artrosis, cargar cosas pesadas, mala postura, sin embargo, las causas más comunes se resumen en la tabla 4.

TABLA 4.- CAUSAS DE LA LUMBALGIA

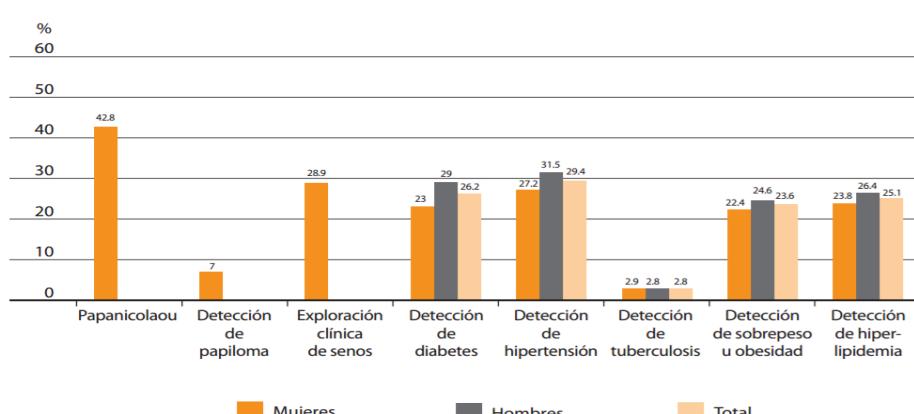
Causas	Síntomas
Distensión muscular	Es un dolor fuerte en la parte inferior de la espalda después de realizar alguna actividad o movimiento puntual. El dolor puede estar acompañado de dificultad para moverse y puede llegar a la parte superior del muslo, pero rara vez llega por debajo de la rodilla
Hernia discal	Compresión de una raíz nerviosa al desplazarse el disco intervertebral. El dolor baja hasta la nalga, la pierna y el pie (ciática). Es un dolor persistente, peor en la pierna que en la parte baja de la espalda. (Ilustración 28).
Discartrosis	Es un deterioro de los discos intervertebrales. Generalmente el dolor se alivia con frecuentes cambios de posición y empeora al sentarse, Ilustración 29.
Espondilolistesis	Es el deslizamiento hacia delante de una vértebra. Entre los síntomas puede haber dolor irradiado hacia nalgas y cara posterior de muslos. Es frecuente sensación de cansancio en las piernas y tensión de músculos isquiotibiales.
Artrosis de articulaciones facetares	En estos casos hay una zona dolorosa a la palpación y pérdida de flexibilidad. El dolor es más pronunciado a primera hora de la mañana y al final del día
Estenosis del canal lumbar	Los nervios pueden verse comprimidos al salir de la columna vertebral lo cual causa el dolor de pierna.
Aplastamiento vertebral	Aparece el dolor de forma repentina, el cual empeora al estar de pie o caminar. Como regla general debe considerarse la posibilidad de un aplastamiento vertebral luego de cualquier aparición repentina de dolor de espalda en adultos mayores de 50 años, especialmente en mujeres posmenopáusicas con osteoporosis.

Los CEMP son una buena herramienta para disminuir o desaparecer la lumbalgia, al aplicarse se incrementa la síntesis de colágeno, lo cual nos lleva al fortalecimiento de tejidos blandos (músculos, ligamentos y tendones), esto permite recuperar el espacio intervertebral, (el espacio entre vértebras), desapareciendo las protrusiones discales; además estimula la formación de cartílago, desinflama y calma el dolor. Como mejora la densidad ósea, en caso de deterioro óseo, hay una buena recuperación de dicho tejido.

Prevención, promoción de la salud y conclusión.

Efectuar un programa de prevención de salud, es labor de un equipo interdisciplinario de profesionales, cuyo objetivo es modificar dichos estilos de vida poco saludables. Uno de los datos más importantes arrojado por las encuestas nacionales de salud es la escasa participación de la población en programas de detección temprana de ciertas condiciones de salud y de diferentes factores de riesgo. (Ilustración 28).

ILUSTRACIÓN 28.- MÉXICO. PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN DE 20 AÑOS O MÁS, QUE RECIBIÓ ATENCIÓN MÉDICA EN LOS SERVICIOS PREVENTIVOS EN 2012, SEGÚN TIPO DE SERVICIO.



De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2016) la promoción de la salud permite que las personas tengan un mayor control de su propia salud. Ayuda a proteger la salud y la calidad de vida, mediante la prevención y solución de las principales causales de enfermedad.

Así mismo, requiere de políticas que hagan de la salud un aspecto central, tener en cuenta las repercusiones sanitarias y dar prioridad a evitar que la gente enferme o se lesione. Además, las personas han de adquirir conocimientos, aptitudes e información que les permitan elegir opciones saludables, por ejemplo, con respecto a su alimentación y a los servicios de salud que necesitan.

El liderazgo y el compromiso del profesional de salud son esenciales para una planificación urbana saludable y para poner en práctica medidas preventivas. Esta inversión supone una disminución de costos de atención sanitaria y discapacidad.

En conclusión, a lo largo del capítulo podemos ver como los cambios demográficos llevaron a cambios en los patrones de vida de la población, incluida la salud, estos cambios nos beneficiaron al alcanzar una mayor esperanza de vida, puesto que contamos con mayores herramientas para prevenir y combatir las enfermedades, no obstante los nuevos hábitos urbanos (alimenticios, de higiene, etc.) así como las urbes altamente contaminadas, están llevando a la población a presentar enfermedades crónicas, de difícil manejo, a edades más tempranas. En este capítulo podemos concluir que:

- Vemos que la población mayor de 60 años seguirá creciendo, sobre todo por la enorme población que se encuentra en este momento entre los 20 y 40 años, y que en los próximos veinte años demandarán servicios de salud para enfermedades que por ahora se consideran crónicas.
- Serán las mujeres las que más demanda impondrán, ya que este grupo mostrará mayor esperanza de vida.
- Las enfermedades crónicas comienzan a presentarse en poblaciones más jóvenes, debido a malos hábitos y a la constante exposición a ambientes xenobióticos, es decir no solo los mayores de 60 años requerirán atención médica por estas causas.

- d) Las enfermedades preponderantes para tratar serán, cáncer, diabetes, problemas cardiovasculares, y problemas respiratorios, que impondrán una gran carga al sistema de salud pública y a la economía y vida familiar.
- e) La diabetes, que por ahora incide en un porcentaje de alrededor del 9% de la población, se incrementará hasta porcentajes del 70%, en los próximos 20 a 30 años, ya que está íntimamente relacionada con el sobrepeso y la obesidad, que actualmente alcanza cifras promedio del 70%.
- f) El uso de *electroestimulación inducida* por campos electromagnéticos pulsantes aparece como una herramienta poderosa en el tratamiento de las enfermedades crónicas, aliviando los síntomas y devolviendo la funcionalidad a las células lesionadas, estimulando al cuerpo en sentido de su propia curación. Esta tecnología tiene pues un gran campo de oportunidad ya sea como una terapia primaria o bien como complementaria a otras terapéuticas.

CAPÍTULO 2.- Historia y situación actual de la electroestimulación inducida por campos electromagnéticos pulsados, (CEMP).

Graciela Mejía Astorga

Evolución de los campos electromagnéticos pulsados en el tiempo

Aunque sabemos que se utilizaron campos magnéticos fijos, provenientes de imanes, como terapia a lo largo de la historia, por ejemplo, médicos de la antigua Grecia, China, Japón y Europa aplicaron con éxito materiales naturales magnéticos en su práctica diaria, realmente **no podemos, ni debemos, considerar el uso de imanes como antecedentes de la terapia de campos electromagnéticos pulsantes**, esto se explica claramente porque el **campo magnético de un imán no es pulsante**, es decir, no varía en el tiempo, esa es la gran diferencia o la diferencia básica, que separa estas dos tecnologías, estas diferencias se explicarán más ampliamente en el capítulo III, sobre las bases biofísicas.

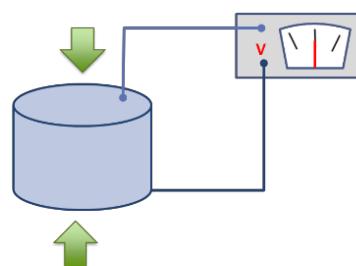
Desde los trabajos de Oersted (1813) que vinculan la electricidad con el magnetismo, hasta James Clerk Maxwell (1831-1879), quien establece el concepto de campo electromagnético variable en el tiempo y que no puede existir un campo magnético variable sin un campo eléctrico asociado, estos son realmente los conceptos de la física que sientan las bases de la *electroestimulación inducida* por CEMP.

El primer antecedente clínico, de aplicación, se ubica en el siglo XIX con Lente, (F.D., 1850), quien utiliza la corriente eléctrica continua o galvánica para tratar fracturas, no unidas, con éxito, sin embargo, sus intentos se quedan sin encontrar resonancia en la comunidad médica.

Yasuda y Fukada y el efecto piezoelectrónico

A finales de la segunda guerra mundial, en Japón, dos investigadores Yasuda y Fukada (Yasuda, 1954), estudian ampliamente las propiedades eléctricas del tejido óseo, y descubren el efecto piezoelectrónico en el hueso. Estos investigadores descubren que al comprimir o descomprimir un trozo de hueso, seco, podían medir un voltaje⁴, a esto le llaman *efecto piezoelectrónico del hueso*. (Ilustración 29)

ILUSTRACIÓN 29.- EFECTO PIEZOELECTRICO EN EL HUESO



1947: Yasuda y Fukada descubren el efecto piezoelectrico

⁴ Un voltaje es una fuerza electromotriz, es decir, una fuerza que mueve electrones, por lo cual podemos esperar que se presente una corriente eléctrica.

Con base en esto Yasuda y Fukada (1957) plantean la siguiente hipótesis: [la actividad eléctrica endógena, observada en el hueso al comprimirse o descomprimirse, es el mediador de las respuestas de reparación y remodelación adaptativa a la carga mecánica] y plantean [una señal eléctrica exógena podría estimular la misma respuesta]. Cabe mencionar que esta investigación se refiere al tejido óseo seco, no *in vivo*.

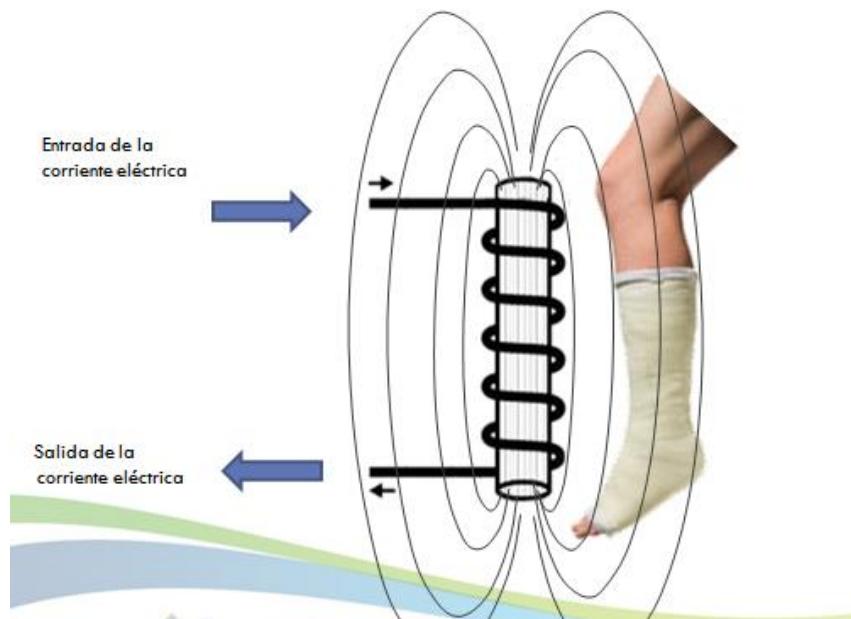
Yasuda y Fukada llevan a cabo experimentos y comprueban su hipótesis, ya que, al imponer una corriente eléctrica sobre el hueso, se daba lugar a la formación de tejido óseo en forma acelerada. Con esto se explica también que el ejercicio, como la marcha, producirá impulsos eléctricos endógenos, dando lugar al crecimiento del tejido óseo, permitiendo esto establecer la hipótesis de que el crecimiento selectivo de tejido óseo, que se conoce por remodelación, está conducido por los impulsos eléctricos endógenos, a los que llaman "*corrientes de lesión*". En un principio la forma de aplicar las corrientes era a través de electrodos (Ilustración 30), los cuales no pueden implantarse dentro del cuerpo humano, pues serían invasivos, dolorosos y riesgosos.

Buscando formas más amables de aplicar estas corrientes eléctricas dentro del tejido vivo, los investigadores introducen la inducción electromagnética, que se basa en la ley de inducción de Fáraday, en este caso no se requiere de electrodos con la cual pueden aplicarse estas corrientes eléctricas, sin tocar al paciente, no es invasiva, dolorosa, puede aplicarse a través de escayolas, con implantes metálicos y sin riesgo de infección. (Ilustración 31).

ILUSTRACIÓN 30.- ANTIGUOS DISPOSITIVOS DE CORRIENTES DIRECTAS



ILUSTRACIÓN 31.- INDUCCIÓN ELECTROMÁGNÉTICA.



Esta modalidad se trasladó, primero a Rumania y a la antigua Unión Soviética y rápidamente a Europa. Para 1960, casi todos los países europeos diseñaron y fabricaron sistemas de electroestimulación inducida por campos magnéticos pulsados. (Markov, 1982).

Andrew Basset y la aprobación de la Foods and Drugs Administration (FDA)

Veinte años más tarde de la publicación de Fukada & Yasuda, dos escuelas estadounidenses, la del profesor Andrew Basset de la Universidad de Columbia, y la de los doctores Zacharias Friedenberg y Carl Brighton, del Servicio Médico de la USA Naval, llevan a cabo estudios al respecto.

El profesor Basset realizó estudios, en principio, sobre el metabolismo óseo, en donde comprobaba que los esfuerzos mecánicos en el tejido *in vivo* daban lugar a un incremento de oxígeno, justificando así lo saludable que para el buen estado de las piezas óseas supone el ejercicio de la marcha. Posteriormente comprobaba que los esfuerzos mecánicos se traducían en la aparición de potenciales eléctricos (Pilla, 2007), algo ya establecido por Yasuda.

Durante la década de 1970, el equipo de Andrew Basset introdujo un nuevo enfoque para el tratamiento de las fracturas tardías, que emplea una señal bifásica muy específica de baja frecuencia. Esta señal fue permitida por la Foods and Drugs Administration (FDA) para la aplicación en los Estados Unidos, sólo para no-uniones (fracturas recalcitrantes), (Bassett, Pawluk, & Pilla, 1974). También en la década de los 70's Basset observó que ciertos tipos de campos electromagnéticos variables en el tiempo afectaban el flujo de salida de calcio y el influjo en el tejido cerebral.

Durante los años 80 y principios de los 90, se definieron varios mecanismos de acción celulares y subcelulares cuando los biosistemas se expusieron a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja, y aunque se aplicaron campos electromagnéticos con una gran variedad de características, se concluyó que era el campo eléctrico asociado, más que el componente magnético, el que ejerció el efecto principal (Blanchard, 2018).

A continuación, se presenta una línea de tiempo con la que iremos observando la evolución de los CEMP en el tiempo (Ilustraciones 32, 33 y 34).

ILUSTRACIÓN 32.- LINEA DE TIEMPO DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CEMP



El primer libro sobre magnetoterapia, escrito por N. Todorov, fue publicado en Bulgaria en 1982 y resume la experiencia de utilizar campos electromagnéticos para el tratamiento de 2700 pacientes, con 33 patologías diferentes (Markov, 1982). Posteriormente, como había sido detallado por Markov, se establece que el movimiento de electrones (exhibidos en células excitables) hará que los iones se muevan hacia los campos eléctricos, desde estímulos externos, afectando ostensiblemente la fisiología de la célula, es decir, se ha demostrado que una corriente eléctrica puede causar una despolarización de células excitables por el movimiento forzado de iones a través de la membrana celular. Según Markov, lo que el campo eléctrico y el campo magnético tienen en común es el movimiento forzado de iones. Esta conclusión fue un gran avance en la comprensión de los efectos de los CEMP en el tejido vivo. (Ilustración 36).

En los 80's la FDA permitió el uso de campos electromagnéticos de radiofrecuencia pulsada (PRF) para el tratamiento del dolor y el edema en tejidos blandos. (Pilla, 2007)

**ILUSTRACIÓN 33.- LÍNEA DE TIEMPO DE
LA EVOLUCIÓN DE LOS CEMP, EM EL MUNDO**



Alrededor del año 2000, Brighton, siguiendo los hallazgos de Basset, postuló que los canales transmembrana están involucrados en las respuestas a los campos electromagnéticos, y Panagopoulos sugirió de manera similar una hipótesis por la cual los campos electromagnéticos aplicados externamente causaban que los iones dentro de una célula vibraran, lo que obligaba a las compuertas de voltaje dentro de una membrana a abrirse o cerrarse, y por lo tanto afectaba la fisiología de la célula (Blanchard, 2018).

En 2007, Markov asumió que quizás los CEMP podrían alterar directamente la unión y / o transporte de iones, alterando posiblemente la cascada de procesos biológicos relacionados con el crecimiento y la reparación de los tejidos. Esto fue además concluido por el trabajo de Ross et al.

En 2008, Funk y colaboradores mostraron que los campos eléctricos (EF) representan fuerzas en la superficie de las moléculas, las membranas celulares e incluso todo el cuerpo, mientras que los campos magnéticos (MF) penetran más profundamente dentro de la célula e influyen en los productos químicos y en las reacciones bioquímicas. Su conclusión fue que los MF se dirigían principalmente a la membrana celular, explicó además que los resultados muy probablemente apuntaban a un efecto MF sobre la tasa de unión de iones o ligandos. También propusieron que la reorientación de las moléculas durante la exposición a MF dio como resultado la deformación de los canales de iones incrustados, alterando así su cinética de activación.

En 2010 la Organización mundial de la salud reconoce que “los únicos efectos de los campos electromagnéticos variables en el tiempo, sobre el tejido vivo, son las corrientes farádicas inducidas”. En la línea de tiempo de la ilustración 37, podemos ver el

Continúa habiendo mucha investigación a nivel internacional, tanto a nivel básico, en células, como en animales y en humanos, aplicado a diferentes patologías, sin embargo, consideramos que el siguiente paso es la caracterización exacta de los dispositivos médicos, en cuanto a su campo eléctrico, para que los estudios puedan ser comparables.⁵

ILUSTRACIÓN 34.- LÍNEA DE TIEMPO DE EVOLUCIÓN DE LOS CEMP



⁵ Graciela Mejía Astorga, 2019.

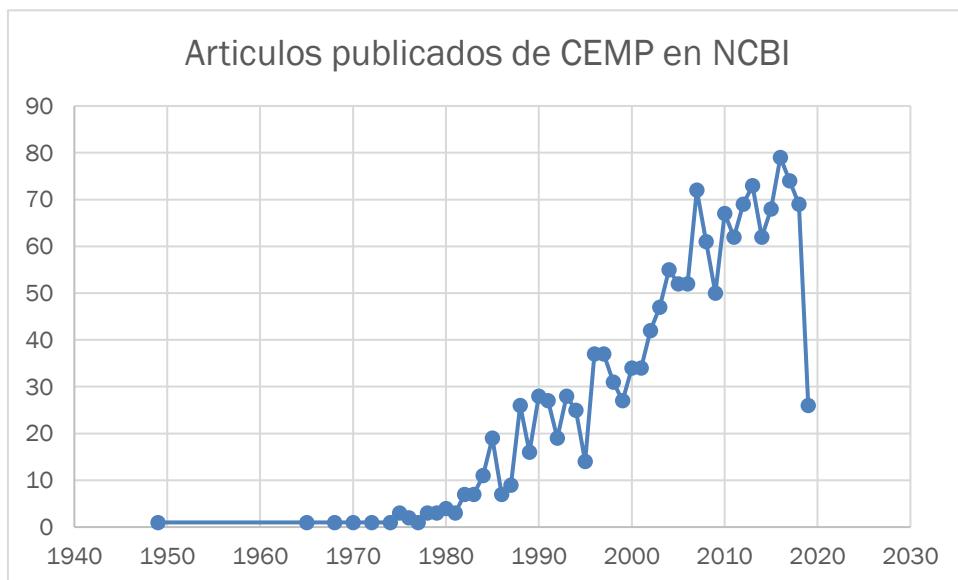
Situación actual a nivel Internacional

Ahora se acepta comúnmente que los campos electromagnéticos débiles, de frecuencias extremadamente bajas, son capaces de iniciar varios procesos de curación en patologías como no-uniones, alivio del dolor, esclerosis múltiple y la enfermedad de Parkinson (Rosch y Markov 2004).

Cabe señalar que, hasta ahora, el enfoque de la comunidad médica para la electroestimulación inducida por CEMP, es como una terapia coadyuvante, especialmente para el tratamiento de una gran variedad de patologías del sistema músculo esquelético y otras lesiones. Hay un gran cuerpo de ciencia básica y evidencia clínica de que los campos electromagnéticos variables en el tiempo pueden modular la función celular y tisular de una manera fisiológica y clínicamente significativa (Rosch y Markov 2004).

La terapia de CEMP es conocida a nivel mundial como Pulsed Electromagnetic Fields Therapy (PEMF, por sus siglas en inglés), de la cual existen, tan solo en el NCBI, alrededor de 1436 artículos científicos. (Ilustración 35). Solo en España, México y países de habla hispana, es conocida como Magnetoterapia, lo cual le ha hecho más daño que beneficiarla, en su aceptación, al ser confundida con la aplicación de imanes.

Ilustración 35.- Crecimiento de las publicaciones de artículos científicos, anuales, sobre los CEMP 1950-2019. (PubMed, 2019)



Como podemos ver en la ilustración, a partir de 1980 hay un rápido crecimiento en el número de artículos publicados a nivel mundial, sobre investigación de campos electromagnéticos pulsados, ya sea investigación básica, estudios en animales o estudios clínicos en humanos. Actualmente el 4 % de las patentes sobre dispositivos médicos, en el mundo, se refieren a Magnetoterapia.

La OMS

Hasta 2009, en occidente, no se conocían las condiciones bajo las cuales las señales biofísicas de los CEMP podrían ser reconocidas por las células, con el fin de modular el funcionamiento celular y tisular, las comunidades científicas y médicas todavía carecían de la comprensión de que los diferentes campos electromagnéticos aplicados a diferentes tejidos podrían causar diferentes efectos. En enero de 2010, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que “**los únicos efectos de los campos magnéticos variables en el tiempo, sobre el tejido vivo, son las corrientes farádicas inducidas**”, reconociendo, finalmente, que el efecto básico del cual se desprenden todos los demás efectos biológicos de la electroestimulación inducida, por estos campos, son las corrientes farádicas (alternas).

La OMS (2018) dice, además:

- Los campos eléctricos se generan en presencia de una carga eléctrica y su intensidad se mide en volts por metro (V/m).
- En el organismo se producen corrientes eléctricas minúsculas debidas a las reacciones químicas de las funciones corporales normales. Los nervios emiten señales mediante la transmisión de

Historia y Situación Actual de la Electroestimulación Inducida

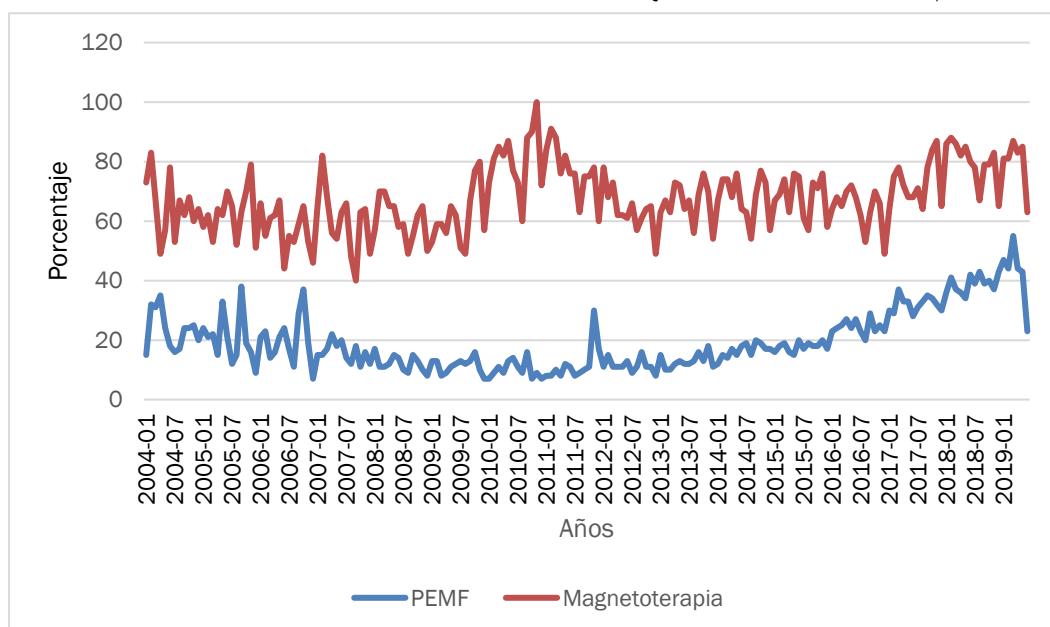
impulsos eléctricos, en la mayoría de las reacciones bioquímicas, desde la digestión a las actividades cerebrales, se produce una reorganización de partículas cargadas. Incluso el corazón presenta actividad eléctrica.

- Los campos electromagnéticos de frecuencias extremadamente bajas inducen corrientes circulantes en el organismo, que estimulan estos procesos biológicos. En los últimos 30 años, se han publicado aproximadamente 25.000 artículos sobre los efectos biológicos y aplicaciones médicas de la radiación no ionizante. (OMS, 2018).

Las tendencias de los CEMP a nivel mundial

Debido a que ahora contamos con herramientas como Google Trends, es posible explorar las tendencias de los CEMP a nivel mundial, buscando con diversos términos o vocablos, que son los que utilizan las personas interesadas en este tema, en los buscadores de internet, por ejemplo, PEMF, magnetoterapia o terapia magnética. A continuación, les presentaremos los diferentes gráficos, según el término de búsqueda. (Ilustración 36)

ILUSTRACIÓN 36.- COMPARATIVOS EN TÉRMINOS DE BUSQUEDA A NIVEL MUNDIAL, EN GOOGLE



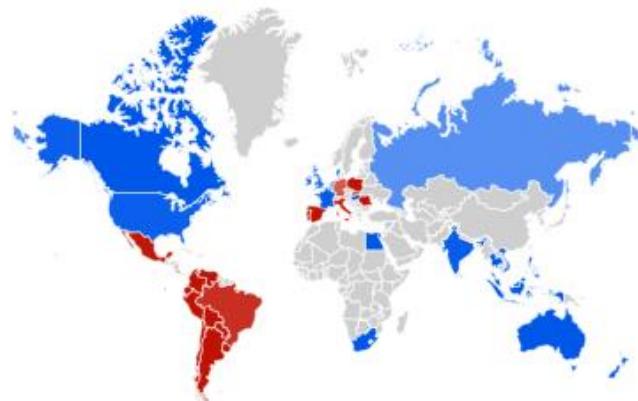
Los números reflejan el interés de búsqueda en relación con el valor máximo de un gráfico en una región y un periodo determinados. Un valor de 100 indica la popularidad máxima de un término, mientras que 50 y 0 indican que un término es la mitad de popular en relación con el valor máximo o que no había suficientes datos del término, respectivamente. (Trends, 2019)

La ilustración 36, nos indica que, en los países de lenguas de origen latino, se utiliza mucho más el término magnetoterapia, pero además que esta terapéutica se busca mucho más en estos países, que, en los países de habla inglesa, o en otros países.

Buscando ahora por los países o regiones donde más se buscan estos dos términos, tenemos el mapa de la ilustración 37.

ILUSTRACIÓN 37.- PRINCIPALES PAÍSES DONDE SE BUSCAN LOS TERMINOS PEMF O MAGNETOTERAPIA

● PEMF ● magnetoterapia



La intensidad del color representa el porcentaje de búsquedas [MÁS INFORMACIÓN](#)

Los principales países de habla inglesa, donde se busca más el término PEMF son: Canadá, Nueva Zelanda, Singapur, Australia y Sudáfrica; Estados Unidos ocupa el lugar 18 y México el lugar 25.

Los principales países donde se busca el término magnetoterapia son: Italia, Argentina, Eslovaquia, España y Paraguay. México ocupa el lugar 16 de esta lista.

No hay estadísticas de China, ya que este país no permite la entrada de Google a su territorio.

Como conclusión general vemos que esta terapéutica está difundida en todo el mundo y crece el interés por ella.

Las Asociaciones Internacionales

Es importante que sepamos que existen organizaciones internacionales dedicadas al estudio y la investigación de los CEMP, aquí hablaremos de 2 principales asociaciones en bioelectromagnetismo; BEMS y EBEA (por sus siglas en inglés).

BEMS

Se trata de La Sociedad Bioelectromagnética, BEMS, la cual promueve el intercambio de ideas para avanzar en la ciencia de los campos electromagnéticos naturales y aplicados en biología y medicina.

La Sociedad Bioelectromagnética, se estableció en 1978 como una organización independiente de científicos, médicos e ingenieros interesados en las interacciones de los campos electromagnéticos con sistemas biológicos y físicos. Es una sociedad internacional con miembros de, aproximadamente, 40 diferentes países y regiones de todo el mundo. Su actual presidente es Andrew Wood (Australia) y su consejo de administración reúne expertos específicamente de países como: Nueva Zelanda, Francia, Suiza, Japón, Sudáfrica, Canadá, Reino Unido y propiamente Estados Unidos. Se estableció como una organización sin ánimo de lucro en el Distrito de Columbia, USA, (BEMS, 2017).

EBEA

La European Bioelectromagnetics Association (EBEA), es una asociación científica sin ánimo de lucro, fundada en diciembre de 1989 por científicos de diferentes países europeos. Su actual presidente es la Dra. Isabelle Lagroye. Sus objetivos básicos son: promover el desarrollo del bioelectromagnetismo en Europa; fomentar el intercambio de metodología y resultados en bioelectromagnética para facilitar la colaboración entre

Historia y Situación Actual de la Electroestimulación Inducida

los científicos europeos, especializados en las diversas disciplinas; y entre los científicos europeos y científicos en el resto del mundo; proporcionar información fiable sobre los avances en esta nueva área de la ciencia; informar acerca de los posibles riesgos para la salud por la exposición a fuentes electromagnéticas en el trabajo, entornos domésticos o generales. (EBEA, 2017)

BioEM

Ambas instituciones se unieron en un solo organismo, BioEM para llevar a cabo, la **Reunión Anual Conjunta**, que tiene como objetivo presentar y avanzar en la investigación, de alta calidad, en aspectos de bioelectromagnetismo, para hacer frente a las aplicaciones médicas, problemas de salud, y los reglamentos asociados a los CEMP, así como desarrollos e innovaciones tecnológicas.

La BioEM (Ilustración 38), cuenta con invitados y conferencias plenarias, impartidas por científicos de renombre mundial, una variedad de sesiones especiales y mesas redondas alineadas con los temas más urgentes en el campo del bioelectromagnetismo, así como sesiones técnicas informativas, sesiones de carteles, y funciones sociales.

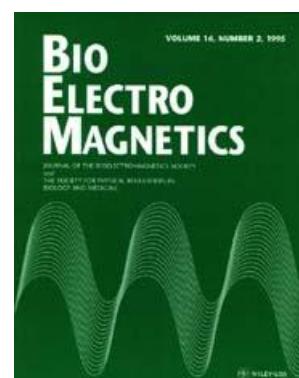
Las competencias estudiantiles son un foco de la conferencia. Estudiantes de todo el mundo tienen la oportunidad de presentar su trabajo en una sesión oral o póster, y la creación de redes con la comunidad del bioelectromagnetismo.

Como dijimos, esta reunión se lleva a cabo cada año en una ciudad importante del mundo, para consultar la fecha y sede del año en curso, visite la página web: www.bioem.org.

ILUSTRACIÓN 38.- REUNIÓN ANUAL CONJUNTA (BEMS Y EBEA) 2019



BioEM también publica su revista anual, de circulación internacional que se especializa en la investigación biológica, bioquímica, biofísica, epidemiológica y clínica en la interacción de sistemas biológicos con los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos con frecuencias de cero (DC). Está patrocinado por la Sociedad Bioelectromagnética y publicado por John Wiley publicaciones periódicas, Inc., y es la revista oficial de BEMS y EBEA. Se publica los trabajos experimentales y teóricos, así como los comentarios y críticas que ofrecen nuevos conocimientos sobre los conceptos de las interacciones campo-organismo. La revista también da la bienvenida a los papeles en los factores, físicos mecánicos o de otro tipo, que puedan dar lugar a una mejor comprensión de las interacciones bioelectromagnéticas. (BioEM, 2018).



Situación en México

Los campos electromagnéticos pulsados se conocen en México desde el siglo pasado, desde los años 80 comenzaron a fabricarse generadores de campos electromagnéticos, con mayor o menor fortuna; al desconocer los fabricantes los efectos de inducción se interesaron más en la intensidad del campo magnético, pensando en que ese era el agente físico que tenía efectos terapéuticos.

Según Google Trends los principales estados donde se busca esta tecnología son en orden descendente: Puebla, Jalisco, Yucatán, Nuevo León, CDMX, Michoacán, Veracruz, Estado de México, Guanajuato y San Luis Potosí.

No obstante, en todo México se busca esta terapéutica, como lo hemos podido constatar, por el origen de los participantes a este curso, tanto para uso comercial como para uso en casa. En el país se ha desarrollado investigación en este tema a partir de este siglo, por ejemplo, se publicaron algunas tesis de especialización en la biblioteca virtual de la UNAM, una tesis centró su investigación en el efecto de los CEMP sobre el dolor de la columna lumbar (Esquivias, 2016). Otra tesis es la presentada por la Dra. Ana Aurora Lugo Pon (Pon, 2008), sobre el tratamiento profiláctico de la migraña con CEMP.

Dr. Luis Cañedo Dorantes

Sin embargo, otros esfuerzos se han llevado a cabo en forma científica y sistemática. Un ejemplo es el trabajo desarrollado por el Dr. Luis Cañedo Dorantes, eminente médico cirujano, egresado de la UNAM, Dr. En bioquímica por la facultad de química de la UNAM y con estudios de postdoctorado en biología molecular, por la Universidad de California. Quien, alrededor de 1995, inicia estudios de los campos electromagnéticos, buscando un tratamiento para promover la cicatrización de úlceras de origen diabético, sobre todo en heridas crónicas de miembros inferiores. Su innovación incluyó la utilización de campos electromagnéticos de frecuencias extremadamente bajas, "especialmente configurados para co-estimular selectivamente células inmunes circulantes, que viajan por la sangre a la úlcera diabética. En el sitio de la herida, estas células aumentan su adhesión al endotelio, (una capa de células que recubre el interior de los vasos sanguíneos), donde liberan citocinas, así como factores de crecimiento, que promueven la creación de nuevos vasos sanguíneos, (angiogénesis) y aceleran la cicatrización" (Dorantes, 2009).

ILUSTRACIÓN 39.- EL DR. LUIS CAÑEDO DORANTES



Las investigaciones del Dr. Dorantes (Ilustración 39) se han llevado a cabo en instituciones como el Hospital Juárez de la Ciudad de México, el Instituto de Enfermedades Respiratorias, el Hospital Central Sur de Pemex, el Hospital Universitario de la Universidad Autónoma de Nuevo León, y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) (Cañedo Dorantes L, 2015) .

Electronic Solutions, los equipos SenCa

La empresa Electronic Solutions, S. de R.L. de C.V., es una empresa mexicana asentada en la ciudad de Querétaro, con más de 13 años en el mercado. Desarrollar investigación en el rubro del bioelectromagnetismo en México es uno de los principales objetivos de Electronic Solutions, y así mismo lograr la colaboración con las asociaciones internacionales, en beneficio de la población de México. Otro de sus objetivos es transmitir información científica sobre las bases físicas y biológicas de la electroestimulación inducida por CEMP, a los profesionales de la salud.

A partir de 2007, el esfuerzo tecnológico más importante sobre CEMP, en México, ha sido llevado a cabo por la empresa Electronic Solutions, la empresa se ha caracterizado por ser una desarrolladora de tecnología tanto en el ámbito industrial como en el área médica. En su laboratorio de diseño y desarrollo, se han perfeccionado diversos modelos de generadores de campos electromagnéticos variables en el tiempo de frecuencias extremadamente bajas, optimizando cada vez más su capacidad de inducción electromagnética, para cumplir con los estándares internacionales de operación.

El Maestro en Ciencias Jorge Blancas Núñez

El Maestro en Ciencias en Bioelectrónica, Jorge Blancas Núñez, (Ilustración 40), es egresado del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV). Es un reconocido investigador y desarrollador de

Historia y Situación Actual de la Electroestimulación Inducida

tecnología, en México, ha participado y dirigido más de doscientos desarrollos tecnológicos, para diferentes instancias, como el Centro Nacional de Metrología (CENAM), donde fungió como coordinador científico. En esta institución desarrollo la electrónica de control de Patrón Nacional de Longitud, *Metro Patrón*, posicionando con esto a México, como el primer país latinoamericano en contar con su propio desarrollo de *Metro Patrón*, esto hace veinticinco años.

Ha sido catedrático en importantes instituciones de educación superior, como la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, en CINVESTAV, de la Escuela Nacional de Físico Matemáticas del IPN, del Instituto Tecnológico de Monterrey, y de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Ha dirigido más de veinte tesis de maestría y licenciatura, cediendo generosamente su conocimiento a las nuevas generaciones.

Liderada por el M. en C. Jorge Blancas, el área técnica de la empresa Electronic Solutions, ha diseñado y fabricado diversos dispositivos electrónicos, muchos de ellos dirigidos al área industrial, como controles de temperatura y humedad para cámaras de prueba de refrigeradores, controles de velocidad para motores, filtros de frecuencias armónicas de la línea eléctrica, sistemas de control, para plantas de tratamiento de agua, diseño de plafón para la distribución de aire acondicionado, fuentes de corriente para un sistema de bobinas de Helmholtz, desarrollo así mismo diversos modelos de generadores de campos electromagnéticos pulsados, con la tecnología más apropiada, para que cumplan con la capacidad de inducción conveniente, las normas de seguridad establecidas y que permitan un procedimiento eficaz, seguro y obviamente rápido.

Pensando en la comodidad de los usuarios el M. en C. Jorge Blancas Núñez desarrolló aplicadores de campos electromagnéticos pulsados, ligeros, portátiles, estéticos, que pueden ser utilizados veinticuatro horas continuas y fáciles de operar, que no producen ruido, además, son productos que cumplen las normas de seguridad internacionales, sin riesgos de calentamiento o de electrocución.

ILUSTRACIÓN 40.- M. EN C. JORGE BLANCAS NÚÑEZ



ILUSTRACIÓN 41.- ING. BIOQUÍMICO GRACIELA MEJÍA ASTORGA



La Ingeniera Bioquímica Graciela Mejía Astorga

Egresada de la Universidad Autónoma Metropolitana, es una investigadora nata, autodidacta, y cuenta con gran capacidad de transmitir conocimientos; por eso cuando Electronic Solutions se dio cuenta de la necesidad de informar, a los profesionales de la salud y al público en general en México, de los beneficios de esta terapéutica, mostrando que es una tecnología científica, con bases sólidas desarrolladas, encargó a la Ing. Graciela Mejía, (Ilustración 41), dentro de su departamento de capacitación médica, llevar a cabo la traducción y revisión de las últimas investigaciones científicas, publicadas a nivel nacional e internacional, en el afán de divulgar los resultados de dichas investigaciones y de capacitar a los profesionales de la salud, al menor costo viable, para llevar los beneficios de esta terapéutica a la mayor población posible, en México.

Lo expuesto en el párrafo anterior dio origen al curso de actualización *Electroestimulación Inducida por campos Electromagnéticos Pulsantes, Bases Biofísicas, Efectos Biológicos y su Aplicación Clínica*, el cual se lleva a cabo desde el año 2012, acumulando más de 11 ediciones. Este curso cuenta con el aval de una

institución altamente reconocida, la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Querétaro y de los apuntes de este curso, surge este libro, que es el primer libro editado, en español, sobre *electroestimulación inducida* por CEMP. Otra estrategia de divulgación fue desarrollar también videos sobre el tema, que se encuentran disponibles en internet, sin costo alguno.

Ambos científicos, a lo largo del tiempo, han desmenuzado los aspectos biofísicos de los campos electromagnéticos pulsantes y han establecido parámetros específicos de frecuencia e intensidad, adecuados para la seguridad del paciente y la eficacia del tratamiento. Por ejemplo, el M en C Jorge Blancas desarrolló aparatos con altos coeficientes de inducción, esto incrementa la eficacia del tratamiento y disminuye el tiempo requerido de terapia y como ya dijimos, muy seguros.

Han impulsado así una de las mejores modalidades terapéuticas que existen actualmente, puesto que, como sabemos, no es invasiva y no produce efectos de calor o dolor, tiene muy pocas restricciones y no ha reportado efectos secundarios tóxicos, a través de los casi 70 años desde su aparición.

El M. en C. Jorge Blancas nos reafirma la importancia de fabricar equipos con alta tecnología y calidad, poniendo en alto la ingeniería mexicana, pensando ante todo en el bienestar del paciente, su comodidad y acceso. La ingeniera Graciela Mejía, nos invita a los profesionales de la salud, a investigar más allá de la información superficial, proporcionada por los fabricantes y llegar a conocer en forma profunda los efectos biológicos de la electroestimulación por CEMP, y darnos cuenta del beneficio que tienen en la práctica médica y fisioterapéutica.

CAPÍTULO 3.- Bases Biofísicas de la Electroestimulación Inducida por CEMP.

M. en C. Jorge Blancas Núñez

Objetivo

El objetivo principal de este capítulo es conocer los conceptos de la física que explican por qué los campos electromagnéticos pulsados (CEMP), son capaces de generar una electroestimulación en los tejidos biológicos; para esto, primeramente revisaremos los conceptos básicos de la física involucrados en el proceso de inducción de la electroestimulación, comenzando con los conceptos de electricidad y magnetismo; haremos una breve reseña histórica de los científicos que desarrollaron el estudio del electromagnetismo hasta llegar a los experimentos de Yasuda y Fukada, quienes iniciaron la investigación de los efectos de los campos electromagnéticos en el tejido vivo, para finalmente llegar al modelo teórico propuesto por Electronic Solutions, que explica el proceso de inducción de las corrientes de estimulación, mediante la aplicación de los CEMP, no sin antes explicar el concepto de coeficiente de inducción y los límites de seguridad permitidos para la exposición a los CEMP.

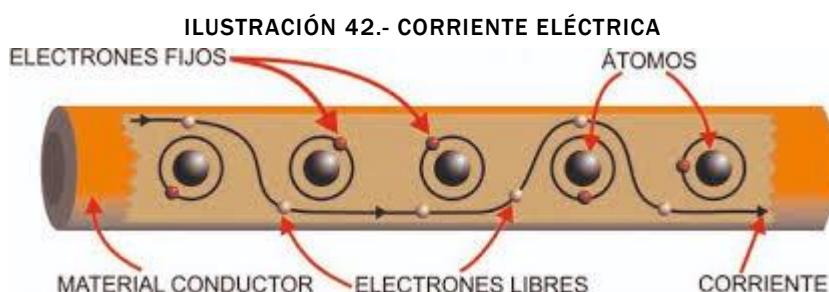
Fundamentos de electricidad

Iniciaremos revisando las diferentes variables, su definición y unidades, que nos permitirán definir los parámetros con los cuales trabajan los CEMP.

Corriente Eléctrica

La corriente eléctrica es un flujo de electrones, (Ilustración 42), también llamados carga eléctrica, formalmente se define como la cantidad de carga eléctrica por unidad de tiempo de acuerdo con la ecuación 3.1.

$$I = q/t \quad (\text{Ecuación 3.1})$$



La unidad de corriente eléctrica en el sistema internacional de unidades es el **Ampere**, que se define como el flujo de **un Coulomb por segundo**. El **Coulomb** por su parte es la unidad de carga eléctrica; un electrón presenta una carga eléctrica de:

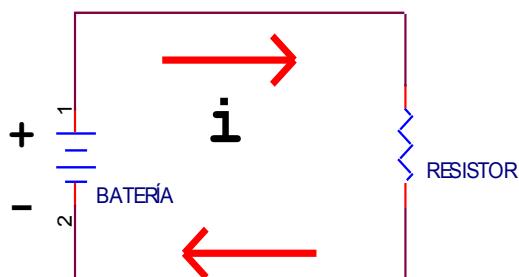
$$e^- = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Coulombs}$$

Es decir que un ampere es el paso de 6.2414×10^{18} electrones en un segundo (Resnick, Halliday, & Krane, 2002).

Es importante resaltar que la corriente eléctrica real, es decir el flujo de los electrones, tiene dirección hacia el polo positivo del circuito, sin embargo, por motivos históricos y didácticos, en muchos libros se utiliza la llamada corriente convencional que va del polo positivo hacia el polo negativo de un circuito (Ilustración 43).

Aquí ya estamos introduciendo el concepto de circuito eléctrico el cual es un camino o trayectoria, por el cual debe pasar esta corriente eléctrica. Finalmente, como era de esperarse, estos electrones requieren de una fuerza que los mueva, esta fuerza se conoce como la **fuerza electromotriz FEM**, cuyo significado se describe por sí solo, es la fuerza que se requiere para que se establezca una corriente eléctrica en un circuito, debemos señalar que esta **FEM** recibe diferentes denominaciones, y se conoce como **tensión eléctrica, diferencia de potencial** o simplemente **voltaje eléctrico**.

ILUSTRACIÓN 43.- CIRCUITO ELECTRICO DE CORRIENTE DIRECTA.
LAS FLECHAS INDICAN EL SENTIDO CONVENCIONAL DE LA CORRIENTE



A la corriente eléctrica que circula en un solo sentido, como es el caso de la ilustración 43, se le denomina **corriente directa**, abreviado **CD**, en mucha literatura también se le conoce como corriente galvánica; las fuentes de CD son las pilas o baterías electroquímicas, también las fuentes de alimentación electrónicas.

Por otro lado, cuando la corriente cambia de sentido de manera periódica y alterna se le denomina **corriente alterna**, abreviado **CA**, también llamada corriente farádica en algunos textos (Ilustraciones 44 y 45).

ILUSTRACIÓN 44.- FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE CA

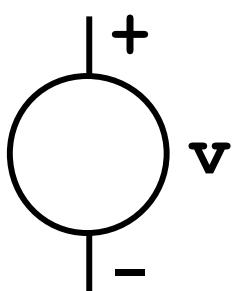
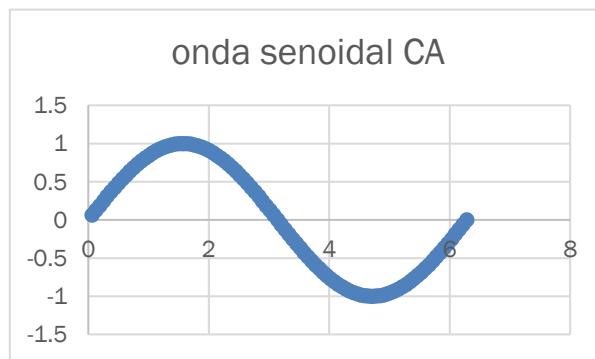


ILUSTRACIÓN 45.- ONDA SENOIDAL DE CA



La fuente de alimentación de corriente alterna más habitual es la alimentación eléctrica de las instalaciones residenciales y/o industriales, en nuestro país contamos con una tensión de 127 Volts.

Frecuencia

Es el número de veces que sucede o se repite un evento en un determinado tiempo, por lo tanto, la frecuencia es un número, y requiere de la presencia de un hecho que se repite, por ejemplo, la frecuencia cardiaca, que es el número de veces que se contrae el corazón durante un minuto (Ilustración 46), entre 60 y 100 latidos por minuto. La frecuencia se mide en ciclos por segundo, o en Hertz [Hz]. En nuestro país el suministro eléctrico tiene una frecuencia de 60Hz (Ilustración 47). Donde Vpp es la **amplitud** de la señal.

ILUSTRACIÓN 46.- FRECUENCIA CARDIACA

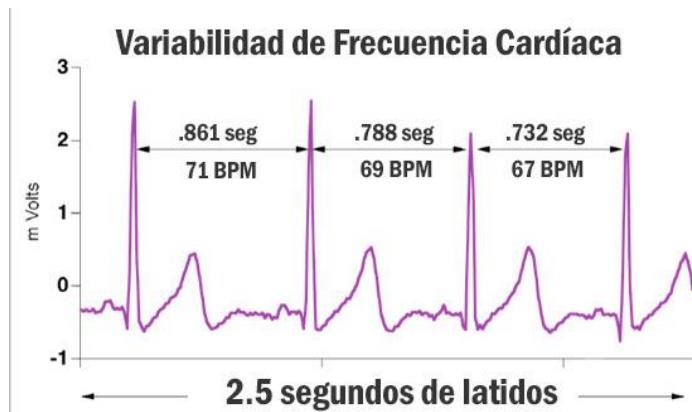
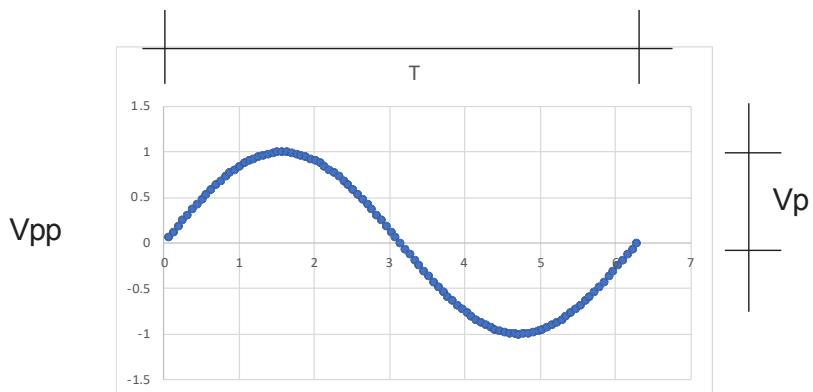


ILUSTRACIÓN 47.- AMPLITUD

VPP= TENSIÓN PICO A PICO; T= PERÍODO; VP= ES LA TENSIÓN PICO



Periodo

El periodo de una señal es el tiempo que dura un ciclo y se mide en segundos, el periodo es el inverso de la frecuencia (Ecuación 3.2). Existen otras fuentes de corriente alterna como lo son algunos instrumentos electrónicos en los que se puede variar su amplitud y su frecuencia, es decir podemos trabajar a frecuencias distintas a la frecuencia de la línea eléctrica.

$$T = \frac{1}{f} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Magnetismo

Imanes naturales

Los imanes permanentes naturales, están formados de minerales que tienen la propiedad de atraer pequeños trozos de hierro o a otros imanes; se encontró cierto mineral en Magnesia Asia Menor con esta propiedad y de ahí fue nombrado magnetita, de donde se derivó el término magnetismo. También se encontró que, si un trozo de magnetita se suspendía libremente de un hilo, este siempre se orientaba con uno de sus lados apuntando hacia el norte, en la antigüedad se utilizó esta propiedad en la navegación. En la actualidad los imanes naturales prácticamente no se utilizan (Ilustración 48).

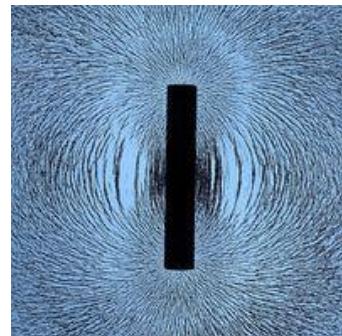
ILUSTRACIÓN 48.- IMÁN NATURAL



Imanes artificiales

Una de las formas de producir un imán artificial es cuando con un imán frotamos una barra de hierro en una misma dirección, esta barra adquirirá la propiedad de atraer pequeños trozos de hierro, por lo que la barra se habrá convertido ella misma en un imán permanente (Ilustración 49).

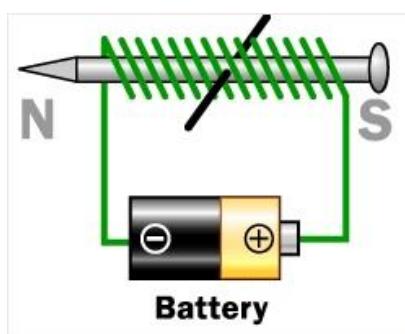
ILUSTRACIÓN 49.- IMÁN ARTIFICAL.



Electroimanes

Los electroimanes son imanes artificiales; como veremos más adelante, una de las aplicaciones de la Ley de Ampere, es la de producir un imán mediante la aplicación de una corriente eléctrica en un conductor eléctrico, a este tipo de imanes se les conoce como **electroimanes** y tienen una gran aplicación a nivel industrial, (Ilustración 50).

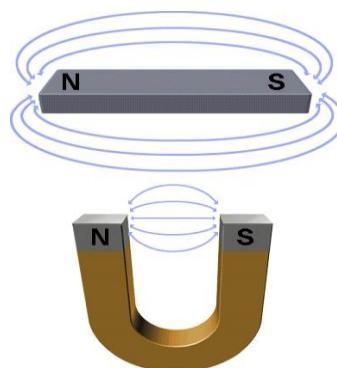
ILUSTRACIÓN 50.- EJEMPLOS DE ELECTROIMÁN O ELECTROMAGNETOS



Polos de un imán y unidades de inducción magnética.

Si a un imán en forma de barra, se le sumerge en un contenedor de limaduras de hierro, éstas son atraídas y se adhieren principalmente en los extremos del imán, y no al centro de la barra. Se observa que la propiedad de atracción se confina en los extremos, los cuales reciben el nombre de polos. Cuando se suspende un imán con un hilo, este tiende a orientarse norte-sur, el lado del imán que apunta hacia el norte geográfico se llama **polo norte** magnético, el lado opuesto se denomina **polo sur** magnético (Ilustración 51). Gracias a esta propiedad, Gilbert⁶ pudo deducir que la tierra es un gran imán. Cuando dos imanes se encuentran cercanos, se observan fuerzas de atracción o repulsión, resumiendo: Los polos magnéticos del mismo nombre se repelen y los de polos opuestos se atraen.

ILUSTRACIÓN 51.- POLOS DE UN IMÁN



La unidad de inducción magnética o densidad de flujo magnético o campo magnético B en el sistema internacional de unidades (SI), es el Tesla (abreviado T). (Ecuación 3.3)

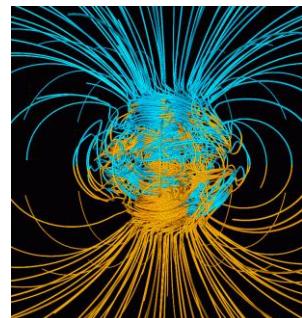
$$1 \text{ tesla} = 1 \text{ newton}/(\text{coulomb} \cdot \text{metro}/\text{segundo}) = \text{newton}/(\text{ampere} \cdot \text{metro}) \quad (3.3)$$

$$1 T = 10,000 G \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

También, una unidad comúnmente utilizada para definir al campo magnético, y que no pertenece al Sistema Internacional de Unidades, es el Gauss [G].

Un Tesla es igual a 10,000 G (diez mil Gauss) (Ecuación 3.4). La Intensidad del campo magnético de la tierra, se puede considerar constante con un promedio de intensidad de 0.45 G, en donde todos vivimos inmersos (Ilustración 52).

ILUSTRACIÓN 52.- SIMULACIÓN POR COMPUTADORA DE LAS LÍNEAS DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE, EN UN PERÍODO ESTÁNDAR ENTRE INVERSIÓNES (GLATZMAIER).



Propiedades magnéticas de los materiales

Los materiales se pueden clasificar según su respuesta a los campos magnéticos, aplicados externamente, como: diamagnéticos, paramagnéticos o ferromagnéticos.

Materiales Diamagnéticos

⁶ William Gilbert, (1544–1603) fue un filósofo natural y médico inglés. Es considerado uno de los pioneros del estudio científico del magnetismo. Su obra maestra es *De Magnete* (1600), el primer libro importante sobre Física publicado en Inglaterra. Introdujo el término electricidad a partir de sus estudios sobre electrostática. (Wikipedia, 2019)

El diamagnetismo es la propiedad de todos los materiales de oponerse al campo magnético aplicado. Al aplicar un campo se producen momentos magnéticos opuestos a él. En 1847 Michael Faraday descubrió que una muestra de bismuto era repelida por un imán potente, a este comportamiento lo denominó **diamagnetismo**. Se trata de un efecto muy débil de medir, que presentan algunas sustancias (Ilustración 53) y tabla 4.

ILUSTRACIÓN 53.- MATERIAL DIAMAGNÉTICO

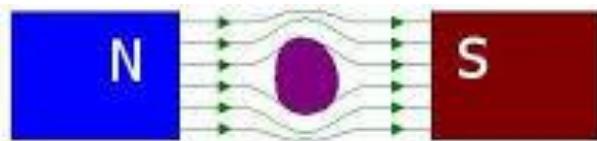


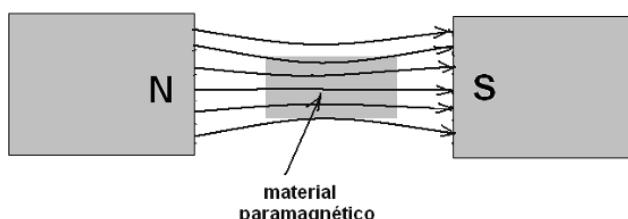
TABLA 5.- ALGUNOS MATERIALES DIAMAGNÉTICOS

Bismuto	Dióxido de carbono
Cobre	Agua
Diamante	Plomo
Oro	Hidrógeno
Mercurio	Benceno
Plata	Naftaleno
Sodio	

Materiales paramagnéticos

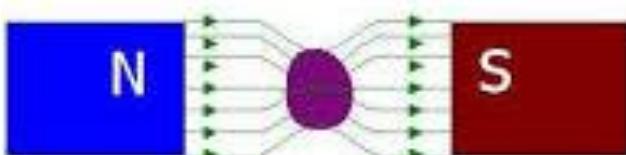
Son sustancias cuyos átomos poseen momento magnético. Al aplicar un campo externo, los dipolos se orientan ligeramente dando una magnetización en la dirección del campo, este efecto desaparece al dejar de aplicar el campo magnético (Ilustración 54). Cuando en un átomo, o en una molécula, aparecen electrones en un mismo nivel con espines paralelos (por ejemplo ↑↑), sus campos magnéticos se reforzarán mutuamente y estaremos ante una sustancia paramagnética, ejemplo aluminio, oxígeno, magnesio, el titanio, wolframio etc. Al contrario, si los espines son antiparalelos (por ejemplo ↑↓) los efectos magnéticos se cancelan y los espines se cancelan y los átomos son diamagnéticos (Cañamero, 2004).

ILUSTRACIÓN 54.- MATERIALES PARAMAGNÉTICOS



Materiales ferromagnéticos

ILUSTRACIÓN 55.- MATERIALES FERROMAGNÉTICOS



Estos materiales son fácilmente magnetizables, esto quiere decir que, bajo la influencia de un campo magnético externo, sus dominios se orientan en el mismo sentido que el campo magnético externo, y ellos mismos se convierten en un imán; además después de retirar este campo magnético externo, siguen presentando el mismo comportamiento de un imán, es decir quedan magnetizados. Ejemplos de materiales ferromagnéticos: el fierro, Cobalto, Níquel, el dióxido de cromo, algunas aleaciones de tungsteno (Ilustración 55).

Electromagnetismo y su historia

En esta sección haremos una breve reseña histórica de los principales científicos involucrados en el desarrollo del conocimiento de los campos electromagnéticos, también conoceremos a los científicos que iniciaron el estudio de la interacción de las corrientes eléctricas y el tejido vivo.

William Gilbert

Físico y médico inglés (1544-1603), estudia la electrostática y el magnetismo; en su obra “**De Magnete**” publicada en 1600, explica sus experimentos que lo llevan a determinar que la tierra es un gran imán, que los polos magnéticos son inseparables, define que la fuerza de atracción entre ciertas partículas al frotarlas es una fuerza eléctrica, también descubre que los imanes al calentarlos pierden su magnetismo, (temperatura de Curie) (Ilustración 56). (Wikipedia, 2019)

ILUSTRACIÓN 56.-
WILLIAM GILBERT (1544- 1603).



Alessandro Volta (1774)

Físico italiano que inventa la pila eléctrica en 1774, lo cual es un gran avance para su época, ya que antes de esto solo se experimentaba con electricidad estática, proveniente de la fricción. En su honor la unidad de tensión eléctrica recibe el nombre de Volt dentro del sistema internacional de unidades (Ilustraciones 57 y 58).

ILUSTRACIÓN 57.- ALESSANDRO VOLTA



ILUSTRACIÓN 58.- PILA ELECTRICA DESARROLLADA POR VOLTA



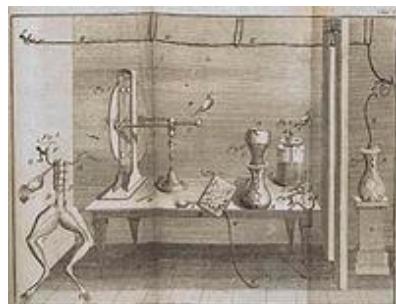
Luigi Galvani

En 1780 los experimentos de **Luigi Galvani** (médico, fisiólogo y físico italiano), (Ilustración 59), lo llevaron a determinar que **los impulsos nerviosos son de carácter eléctrico**; se hizo famoso con sus demostraciones prácticas en las que, aplicando una pequeña corriente eléctrica en la médula espinal de una rana muerta, producía contracciones musculares, incluso en miembros separados del cuerpo (Ilustración 60). Los trabajos de Galvani son quizás los primeros experimentos repetibles donde se observaron fenómenos eléctricos, estímulo-respuesta, en un organismo

ILUSTRACIÓN 59.- LUIGI GALVANI (1737-1798)

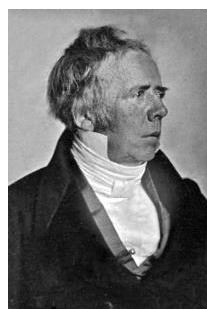


ILUSTRACIÓN 60.- ELECTROESTIMULACIÓN EXPERIMENTAL DE LUIGI GALVANI.

**Hans Christian Oersted**

Los experimentos de Oersted, físico y químico danés, en 1813 lo llevaron a observar que la aguja imantada de una brújula se desviaba cuando ésta se encontraba cerca de un alambre por el que circulaba una corriente eléctrica, demostrando la existencia de un campo magnético, en torno a un conductor, por el que circula una corriente eléctrica (Ilustración 64).

Oersted da inicio al estudio de los fenómenos electromagnéticos al poner de manifiesto la interacción entre electricidad y magnetismo, sus trabajos fueron como simple observador de los fenómenos sin llegar a formular alguna relación matemática que los describiera, sin embargo, sentó las bases para trabajos posteriores.

ILUSTRACIÓN 61.-
HANS CHRISTIAN OERSTED
(1777-1851)**André-Marie Ampère**

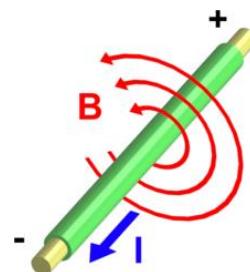
André-Marie Ampere fue un matemático y físico francés. Basado en las aportaciones de Oersted, Ampere fue capaz, en solo una semana, de elaborar una amplia base teórica, para explicar este nuevo fenómeno. Esta línea de trabajo le llevó a formular una ley empírica del electromagnetismo, conocida como ley de Ampere (1825), que describe matemáticamente la fuerza magnética existente entre dos corrientes eléctricas. Su desarrollo matemático de la teoría electromagnética no sólo sirvió para explicar hechos conocidos con anterioridad, sino también para predecir nuevos fenómenos todavía no descritos en aquella época. No sólo teorizó sobre los efectos macroscópicos del electromagnetismo, sino que además intentó construir un modelo microscópico que explicara toda la fenomenología electromagnética, basándose en la teoría de que el magnetismo es debido al movimiento de cargas en la materia (adelantándose mucho a la posterior teoría electrónica de la materia).

Ampere fue asimismo el primer científico que sugirió cómo medir la corriente: mediante la determinación de la desviación sufrida por un imán al paso de una corriente eléctrica (anticipándose de este modo al galvanómetro). Su vida, influida por la ejecución de su padre en la guillotina el año 1793 y por la muerte de su primera esposa en 1803, estuvo teñida de constantes altibajos, con momentos de entusiasmo y períodos de desasosiego. En su honor, la unidad de intensidad de corriente en el Sistema Internacional de Unidades lleva su nombre. (Vidas., 2019), (Ilustración 62 y 63).

ILUSTRACIÓN 62.- ANDRE MARIE AMPÉRE (1775-1836)



ILUSTRACIÓN 63.- LEY DE AMPÉRE: UNA CORRIENTE ELÉCTRICA PRODUCE UN CAMPO MAGNÉTICO.



Ampere postuló que la intensidad del campo magnético es proporcional a la corriente que lo genera (Ilustración 70). **La ley de Ampere**, considerando un campo magnético estático y una corriente eléctrica invariante en el tiempo, está dada por la ecuación 3.5:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_s \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

Donde \vec{B} es la densidad del flujo magnético en Teslas o Gauss y I es la densidad de la corriente eléctrica en ampere por metro cuadrado. (Ecuación 3.5).

Michael Faraday

Notable físico y químico inglés, (Ilustración 64), uno de los físicos más destacados del siglo XIX, sobresalió en el campo de la química, con descubrimientos como el benceno y las primeras reacciones de sustitución orgánica conocidas, en las que obtuvo compuestos clorados de cadena carbonada a partir de etileno. Basándose en los experimentos de Oersted, Faraday logró desarrollar el primer motor eléctrico conocido.

Observó que un imán en movimiento a través de una bobina induce en ella una corriente eléctrica, lo cual le permitió describir matemáticamente la ley que rige la producción de electricidad por un imán. Los descubrimientos de Faraday fueron determinantes en el avance que pronto iban a experimentar los estudios sobre el electromagnetismo. Posterioras aportaciones que resultaron definitivas para el desarrollo de la física, como es el caso de la teoría del campo electromagnético introducida por James Clerk Maxwell, se fundamentaron en la labor pionera que había llevado a cabo Michael Faraday. (Vidas., 2019)

ILUSTRACIÓN 64.- MICHAEL FARADAY (1791-1867)



La ley de inducción electromagnética de Faraday

Faraday postuló su ley en 1831. La inducción electromagnética es el fenómeno en el que se genera una tensión eléctrica o fuerza electromotriz, por medio de un campo magnético variable en el tiempo, matemáticamente se puede expresar como:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

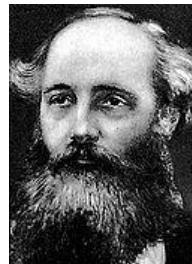
James Clerk Maxwell

Físico escocés, (Ilustración 65), en la etapa más fructífera de su carrera, ingresó en la Royal Society (1861). En 1871 fue nombrado director del Cavendish Laboratory. Publicó dos artículos, clásicos dentro del estudio del electromagnetismo, y desarrolló una destacable labor tanto teórica como experimental en termodinámica; las relaciones de igualdad entre las distintas derivadas parciales de las funciones termodinámicas, denominadas relaciones de Maxwell están presentes de ordinario en cualquier libro de texto de la especialidad. Sin embargo, son sus aportaciones al campo del electromagnetismo las que lo sitúan entre los grandes científicos de la historia. Maxwell introdujo el concepto de onda electromagnética, que permite

una descripción matemática adecuada, de la interacción entre electricidad y magnetismo, mediante sus célebres ecuaciones que describen y cuantifican los campos de fuerzas. Su teoría sugirió la posibilidad de generar ondas electromagnéticas en el laboratorio, hecho que corroboró Heinrich Hertz en 1887, ocho años después de la muerte de Maxwell, y que posteriormente supuso el inicio de la era de la comunicación rápida a distancia. (Vidas., 2019).

Maxwell complementó la *Ley de Ampere*, la cual pertenece a una de las cuatro famosas ecuaciones de Maxwell, igualmente conocida como **Ley generalizada de Ampere**, ya que considera también la contribución de los campos eléctricos variantes en el tiempo, quedando como:

ILUSTRACIÓN 65.-
JAMES CLERK MAXWELL (1831-1879)



$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} \quad [\text{Ecuación 3.7}]$$

Donde ϵ_0 es la permitividad eléctrica del vacío, μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, \mathbf{E} es el campo eléctrico; esta ecuación permite identificar que un campo eléctrico variante en el tiempo genera un campo magnético y viceversa. Donde \mathbf{E} es el campo eléctrico inducido, (dl) es el diferencial del contorno C, \mathbf{B} es la densidad de campo magnético, S es la superficie cuyo contorno es C, (dA) es la diferencial de superficie (Ecuación 3.7).

Finalmente fue **James Clerk Maxwell** quien unificó los trabajos de Gauss, Ampere, Coulomb y Faraday sobre electricidad y magnetismo formulando sus cuatro ecuaciones donde explica el comportamiento de los fenómenos electromagnéticos y dando el sustento matemático a los trabajos de observación.

El Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético (Ilustración 66), es la representación y clasificación de las ondas electromagnéticas tomando en consideración su frecuencia y/o su longitud de onda. Las ondas electromagnéticas presentan diferentes características y comportamiento debido a su energía, sin embargo todas estas frecuencias son de la misma índole, es decir están formadas por un campo eléctrico y un campo magnético variables en el tiempo que viajan a la velocidad de la luz y son descritas matemáticamente de la misma forma, la clasificación de bandas se puede decir que es arbitraria sin embargo sobresale la banda de la luz visible porque tenemos receptores (los ojos) que nos permiten reconocerla (Resnick, Halliday, & Krane, 2002). La longitud de onda de una radiación electromagnética está dada por la siguiente ecuación:

$$\lambda = C/f \quad [\text{Ecuación 3.8}]$$

Donde λ es la longitud de onda en metros, C es la velocidad de la luz = 300,000 km/s y f es la frecuencia en Hertz (Ecuación 3.8). El concepto de longitud de onda es la distancia que recorre una radiación en un ciclo. La energía de una radiación electromagnética se define por la ecuación 3.9:

$$E = h f \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

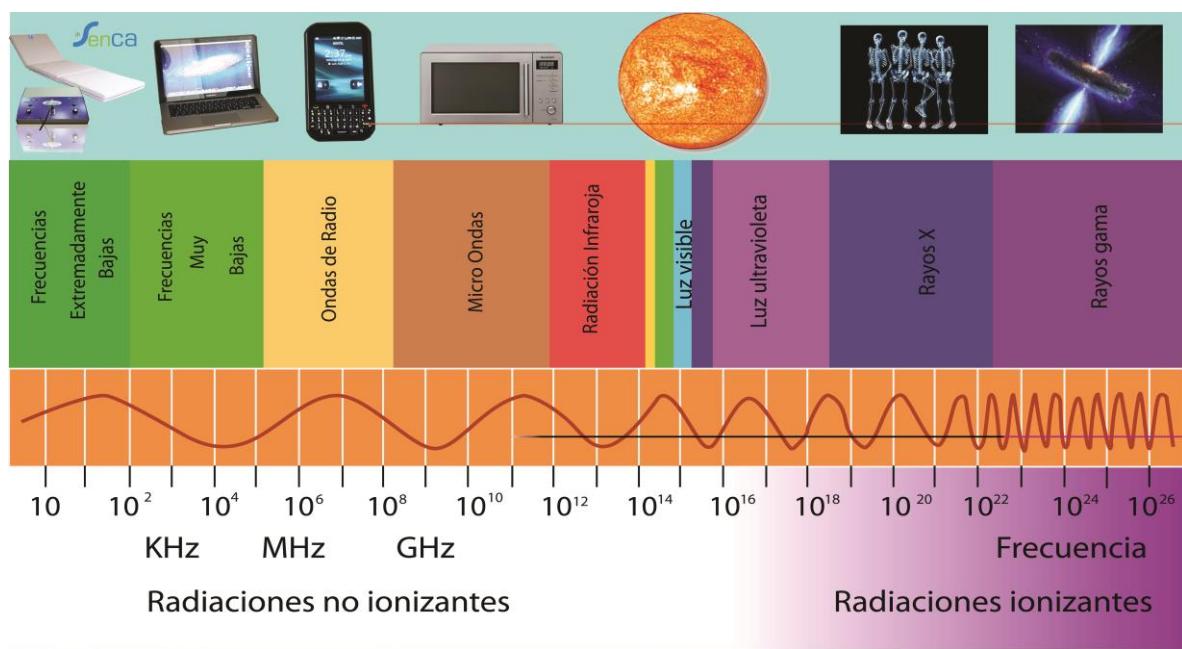
Donde: $h = 6.626069 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ Constante de Planck,

Donde: E es la energía en Joules, h es la constante de Planck, f es la frecuencia en Hertz de la onda electromagnética.

Esta ecuación explica por qué las radiaciones electromagnéticas de mayor frecuencia son las de mayor energía, tal es el caso de la radiación ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma; como sabemos los rayos x son capaces de atravesar algunos tejidos y se utilizan en las radiografías clínicas, es de considerar que estas radiaciones también llamadas **radiaciones ionizantes** son perjudiciales en un tiempo de exposición grande.

Existen otras frecuencias más bajas que se utilizan en las comunicaciones de radio y televisión comercial, en el intervalo más bajo de frecuencias se encuentran las ondas electromagnéticas para propósitos de electroestimulación segura en tejidos vivos, a estas frecuencias se les denomina frecuencias extremadamente bajas y son catalogadas como radiaciones **NO ionizantes**.

ILUSTRACIÓN 66.- ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



La **Luz visible** es la radiación más conocida por nosotros, ya que contamos con receptores adaptados (los ojos), que nos permite captarla. Es la radiación electromagnética más intensa emitida por el sol. La frecuencia de emisión de la Luz visible se encuentra entre 10^{14} Hz y 10^{16} Hz, esto significa que oscila a más de cien billones de veces por segundo lo cual habla de frecuencias muy altas, PHz (Peta-Hertz 10^{15}).

Radiación Infrarroja, que produce calor, la encontramos a la izquierda de la luz visible, se genera cuando los átomos o moléculas modifican su movimiento rotacional o vibratorio. Se habla de un billón de pulsos por segundo, THz (Tera-Hertz 10^{12}).

Microondas las encontramos más hacia la izquierda, son ondas de radio, las producen circuitos eléctricos oscilantes, como los hornos de microondas. Con ellas se retransmiten llamadas telefónicas. Se emiten a frecuencias de entre mil millones y un billón de pulsos por segundo.

Ondas de radio, pueden producirlas los electrones que oscilan en los alambres de circuitos eléctricos, y se captan mediante antenas de radio y de televisión. Su frecuencia de oscilación es de un millón de pulsos por segundo MHz (Mega-Hertz).

Las Frecuencias muy bajas, se ubican entre 1000 y 100,000 Hz.

Las frecuencias extremadamente bajas, (menores a 3000 Hz) son las más importantes para este libro, ya que aquí se ubican las frecuencias de los campos electromagnéticos pulsantes, utilizados en la electroestimulación inducida, muy lejos de las radiaciones ionizantes. Para el caso de los equipos generadores de campo magnético pulsado marca SenCa, estos trabajan a doscientos Hertz, lo que quiere decir que trabajan en el intervalo de las frecuencias extremadamente bajas, como ya dijimos muy alejadas de las radiaciones ionizantes.

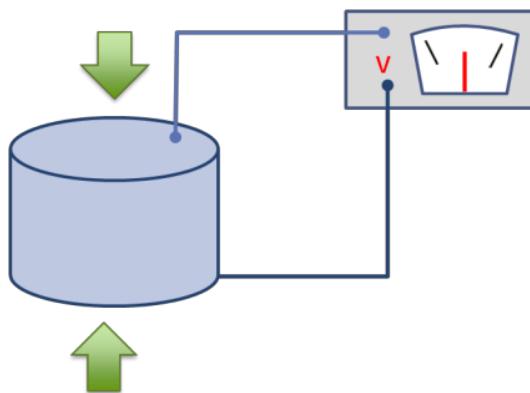
Las radiaciones ionizantes. Se localizan a partir de la radiación ultravioleta, sus frecuencias son muy altas, y su energía es capaz de hacer que los átomos pierdan electrones (ionización), en el cuerpo humano puede generar radicales libres, quemaduras y ser letales, se localizan a la derecha de la luz visible.

El efecto piezoelectrónico

La piezoelectricidad es la acumulación de carga eléctrica en ciertos materiales sólidos tales como: cristales, ciertas cerámicas, material biológico como el ADN, algunas proteínas y el tejido óseo, en respuesta a una compresión mecánica aplicada.

La palabra piezoelectricidad significa electricidad proveniente de la presión; proviene del griego *piezo* que significa comprimir o apachurrar. La piezoelectricidad fue descubierta en 1880 por los físicos franceses Jacques y Pierre Curie (Ilustración 67).

ILUSTRACIÓN 67.- GENERACIÓN DE PIEZOELECTRICIDAD



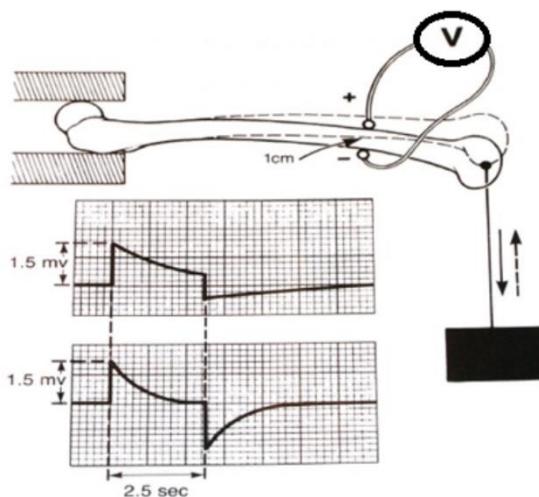
El efecto piezoelectrónico es un proceso reversible, en los materiales que exhiben el efecto piezoelectrónico directo: la generación de carga eléctrica resultado de una fuerza mecánica aplicada, también se exhibe el efecto piezoelectrónico inverso: la generación interna de un estrés mecánico al aplicarle un campo eléctrico.

El efecto piezoelectrónico inverso es utilizado en la generación de ondas sonoras ultrasónicas, con aplicaciones industriales y médicas. También los cristales piezoelectrónicos de cuarzo se utilizan ampliamente en la generación de frecuencias muy estables para los relojes electrónicos y osciladores en radiocomunicación y en las computadoras, otra aplicación es como sensores de vibración, en micrófonos.

Los experimentos de Yasuda y Fukada

Los científicos japoneses **Yasuda y Fukada** (Yasuda, 1954), al inicio de la segunda mitad del siglo veinte, descubren el efecto piezoelectrónico en el hueso, (Ilustración 68), ellos observan que estos potenciales eléctricos se presentan cuando existe el proceso de reparación del hueso; al existir un potencial eléctrico sabemos, por Ley de Ohm, que se tendrá una corriente eléctrica en un medio conductor, a estas corrientes las llaman **corrientes de lesión**, a partir de estas observaciones plantean su hipótesis, “si nosotros externamente aplicamos un potencial eléctrico similar, ¿lograremos acelerar la reparación del tejido?”. Y efectivamente esta hipótesis fue comprobada; así nació el uso de la electroestimulación como un método terapéutico.

ILUSTRACIÓN 68.- EFECTO PIEZOELECTRICO EN HUESO.



Piezoelectric effect on bone (Fukada & Yasuda 1956)

Buscando la mejor opción de aplicar corrientes eléctricas al tejido vivo, se buscaron diversos métodos, todos basados en las leyes de la física, encontrando tres específicamente. Y que analizaremos en la siguiente sección:

1. Acoplamiento resistivo
2. Acoplamiento capacitivo
3. Acoplamiento inductivo

Métodos de Electroestimulación

Existen tres formas de aplicar corrientes eléctricas sobre un material conductor, que presentaremos a continuación hablando sobre todo de sus bondades y posibles riesgos.

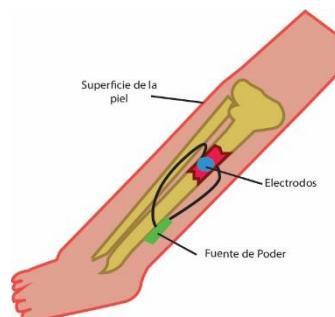
Acoplamiento resistivo, óhmico o galvánico

Es la aplicación del **estímulo eléctrico** de corriente directa, a través de **electrodos**, que se implantan en el hueso, o a nivel de piel. Es decir, es la aplicación de **corrientes eléctricas conducidas**, por medio de un cable eléctrico. Dado que los electrodos se colocan en un área específica del cuerpo, solo esa área recibe el tratamiento, no siendo un tratamiento integral, sino puntual.

En esta técnica, se aplican corrientes directas del orden de 5-100 micro amperes que son suficientes para generar osteogénesis (nuevo hueso) (Ilustración 69). En esta clasificación se encuentran los equipos TENS, las corrientes galvánicas, y la electroterapia en general.

Las limitaciones que presenta es que se requiere el uso de electrodos, es decir tocar al paciente, además si queremos aplicar la corriente eléctrica sobre tejido óseo, resulta invasivo y puede originar infecciones. Es decir, esta técnica resulta invasiva, dolorosa, poco práctico y puede ser riesgoso desde el punto de vista eléctrico. Otra desventaja es que la aplicación es puntual, es decir el efecto abarcará solo el área contigua a los electrodos. Por último, requiere de un operador constante, que aplique el tratamiento.

ILUSTRACIÓN 69.- ELECTROESTIMULACIÓN CON CORRIENTE GALVÁNICA

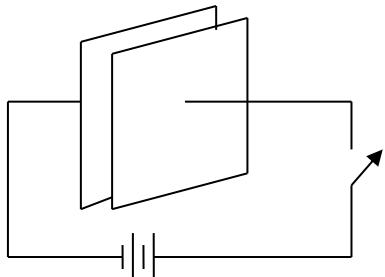


Acoplamiento capacitivo

El Condensador eléctrico

Este concepto es importante conocerlo, pues es otra forma de aplicar corrientes eléctricas. Un condensador eléctrico está formado por dos placas metálicas paralelas separadas por un aislante llamado dieléctrico (Ilustración 70).

ILUSTRACIÓN 70.- CONDENSADOR ELÉCTRICO



$$C = \epsilon \cdot A/d \quad (\text{ecuación 3.10})$$

En la ecuación 3.10 aparece la variable A que es el área de las placas en metros cuadrados, d es la separación de las placas en metros y ϵ que es la constante dieléctrica del material entre las placas.

Capacitancia de un condensador

La capacitancia de un condensador es la propiedad de almacenar carga eléctrica en forma de campo eléctrico.

$$C = Q/V \quad (\text{Ecuación 3.11})$$

Donde: **C** es la capacitancia en Farads, **Q** es la carga eléctrica en Coulombs y **V** la tensión aplicada en volts.

La capacitancia se mide en Farads y es la unidad de la capacitancia eléctrica en el sistema internacional de unidades, recibiendo este nombre en honor al distinguido físico inglés Michael Faraday.

El condensador eléctrico en corriente directa se comporta como un circuito abierto en estado permanente, es decir después que sus placas se han cargado al potencial aplicado. Cuando al condensador se le aplica una tensión de CA, el condensador se comporta como una impedancia, es decir podrá circular una corriente eléctrica a través de él, esta corriente eléctrica está definida por la Ley de Ohm, ecuación 3.12

$$I = V/Zc \quad (\text{Ecuación 3.12})$$

Donde: **I** es la corriente en amperes, **V** es la tensión aplicada en volts y **Zc** es la impedancia del condensador en ohm.

La impedancia eléctrica del condensador depende de su capacitancia y de la frecuencia de la tensión aplicada y está dada por la ecuación 3.13

$$Zc = 1/(2 \cdot \pi \cdot f \cdot C) \quad (\text{Ecuación 3.13})$$

Aquí debemos observar que a medida que la frecuencia aumenta, la impedancia del condensador disminuye, lo cual será importante considerar en el **acoplamiento capacitivo**. (Ecuación 3.13)

Después de la explicación anterior, podemos exponer en qué consiste el acoplamiento capacitivo (Ilustración 71), y es que se utilizan un par de placas metálicas a manera de electrodos, una mayor empleada como retorno de la corriente y un electrodo menor usado como aplicador, y se emplean para hacer pasar una corriente eléctrica en un material que hace las funciones de dieléctrico, este medio desde luego puede ser material biológico entre otros.

La ecuación de la impedancia del condensador, (ecuación 3.13), nos señala claramente que a medida que la frecuencia crece, la impedancia disminuye, es decir podrá pasar más corriente con una misma tensión aplicada, es por esto que en el acoplamiento capacitivo se utilizan relativamente altas frecuencias, digamos mayores a 1 MHz, lo cual disipa mucha energía, en forma de calor, en términos generales el **acoplamiento capacitivo**

se utiliza para elevar la temperatura de una zona del cuerpo, logrando reducción del dolor y la activación de la circulación, la elevación de temperatura se concentra a no más de 4 centímetros del electrodo de aplicación por efecto de la densidad de la corriente eléctrica.

ILUSTRACIÓN 71.- ACOPLAMIENTO CAPACITIVO.

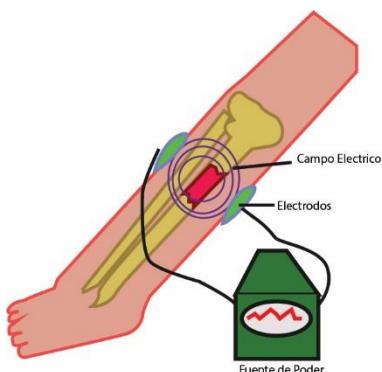


ILUSTRACIÓN 72.- ACOPLAMIENTO CAPACITIVO, APLICACIÓN DE DIATERMIA



Un inconveniente es que las altas frecuencias generan calentamiento de los tejidos, por lo cual sus efectos solo pueden ser superficiales y no puede aplicarse en personas que tengan **prótesis metálicas**. También es una técnica puntual, no integral, ya que solamente la zona de los electrodos recibe la electroestimulación, esta terapéutica requiere de una persona entrenada para su aplicación, (Ilustración 75). En esta forma de aplicación de corrientes se basa la radiofrecuencia.

Acoplamiento inductivo y Coeficiente de Inducción.

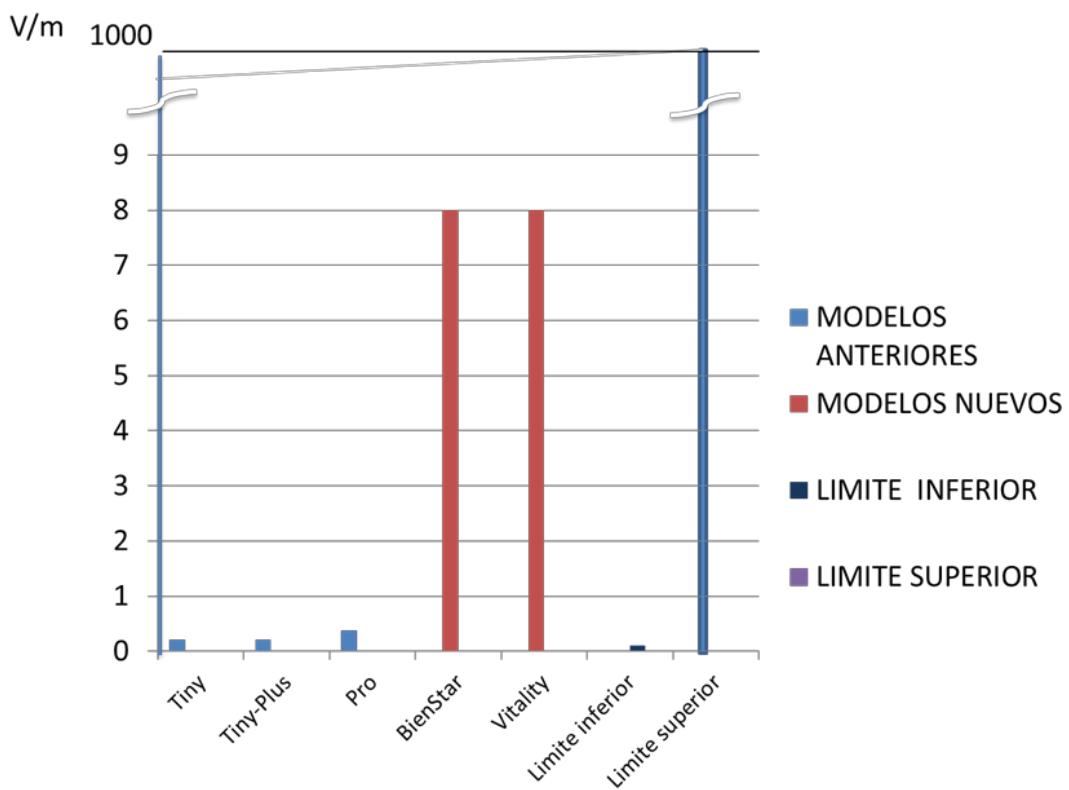
Ya con la base de la ley de Ampere que nos explica la generación de un campo magnético a partir de una corriente eléctrica y con la ley de Faraday que nos explica que un campo magnético variable en el tiempo tiene asociado un campo eléctrico, podemos explicar el acoplamiento inductivo.

Se llama inductivo porque efectivamente se inducen (sin contacto) microcorrientes eléctricas, también llamadas corrientes de Eddy, en los medios conductores, estos medios pueden ser los tejidos biológicos. (Ecuación 3.14).

$$\vec{J} = \vec{E} \sigma \quad (\text{Ecuación 3.14}) . \quad \text{Donde } \vec{J} \text{ es la densidad de corriente en amperes por metro cuadrado, } \vec{E} \text{ es el campo eléctrico inducido por el campo magnético en Volts por metro y } \sigma \text{ es la conductividad en Siemens por metro del medio donde se induce la corriente eléctrica.}$$

Como puede observarse en la ecuación 3.14, la efectividad del tratamiento depende entonces directamente del campo eléctrico y de la conductividad del material, en este caso del tejido biológico, esta a su vez depende del tipo de tejido y del grado de hidratación en el que se encuentre. Por parte del campo eléctrico, también llamado **Coeficiente de Inducción**, este depende del sistema electrónico que lo genera, es decir la efectividad de la electroestimulación está directamente relacionada con el **Coeficiente de Inducción** de cada equipo y esta debe ser especificada por cada fabricante. En otras palabras: El **Coeficiente de inducción** es la magnitud que determina que tan efectivo es un equipo para generar o inducir las corrientes eléctricas, que estimularán los procesos de reparación de los tejidos (Ilustración 73).

**ILUSTRACIÓN 73.- COMPARATIVO DEL COEFICIENTE DE INDUCCIÓN ENTRE
NUEVOS MODELOS Y MODELOS ANTIGUOS**



Dado que el material biológico, tejido vivo, es también un conductor, (como lo puede ser el cobre u otro metal), se inducen en él estas mismas corrientes, tanto en el tejido nervioso (axones), como en el tejido circundante a éstos. Debemos señalar que la conductividad promedio del material biológico es de 0.1 Siemens por metro, y esta varía de tejido a tejido y depende, entre otros factores, de la hidratación de la persona, por esto se recomienda que antes de una sesión de CEMP la persona beba agua; al beber agua, se aumenta la conductividad eléctrica del cuerpo y la terapia resulta más eficaz.

Explicando la ilustración 73, vemos que los modelos **Tiny** y **Tiny-Plus** (ya descontinuados) manejaban un coeficiente de inducción de **205 µV/cm** (micro volts por centímetro) a una frecuencia de 180 Hz.

El modelo PRO proporcionaba un coeficiente de inducción de **377 µV/cm**. En frecuencias de 1 a 200 Hz. Sus efectos son muy notables sobre el tejido dañado, siendo usado ampliamente por una gran cantidad de médicos con excelentes resultados.

El valor mínimo del coeficiente de inducción, de acuerdo con la investigación científica es de **100 µV/cm**, (límite inferior) (Pilla, 2007).

El coeficiente de inducción de los nuevos modelos Vitality y BienStar es de **8640 µV/cm**, a frecuencias de 200 Hz, muy por encima del equipo PRO, (por eso este modelo entro a rediseño). Este alto coeficiente de inducción permite disminuir considerablemente el tiempo total del tratamiento.

El límite máximo permitido para exposición a 200 Hz está por arriba de los **1000 V/m** (volts por metro). **8640 µV/cm equivalen a 8.64 V/m, así que están muy por debajo de los límites máximos permitidos de exposición.**

Es importante señalar, que el acoplamiento inductivo es la más benéfica técnica para aplicar corrientes eléctricas, por las siguientes consideraciones:

- Puede aplicarse en todo el cuerpo al mismo tiempo, dependiendo del tipo de aplicador.
- No genera calor, por lo cual no hay riesgos de quemadura y puede aplicarse con prótesis metálicas.
- Las corrientes eléctricas se inducen en forma profunda, por lo cual se puede llegar a los tejidos más recónditos, sin ser invasivos, eliminando el riesgo de infección.
- Un buen dispositivo, no requerirá del manejo continuo de un operador.

- e) Es cómoda, el paciente inclusive puede estar dormido.
- f) Tiene pocas restricciones de uso.
- g) Los equipos modernos son portátiles y ligeros
- h) Su acción es curativa y preventiva.
- i) En 70 años no se han registrado efectos secundarios dañinos o riesgo de sobredosis.

Modelo explicativo de la electroestimulación inducida por CEMP.

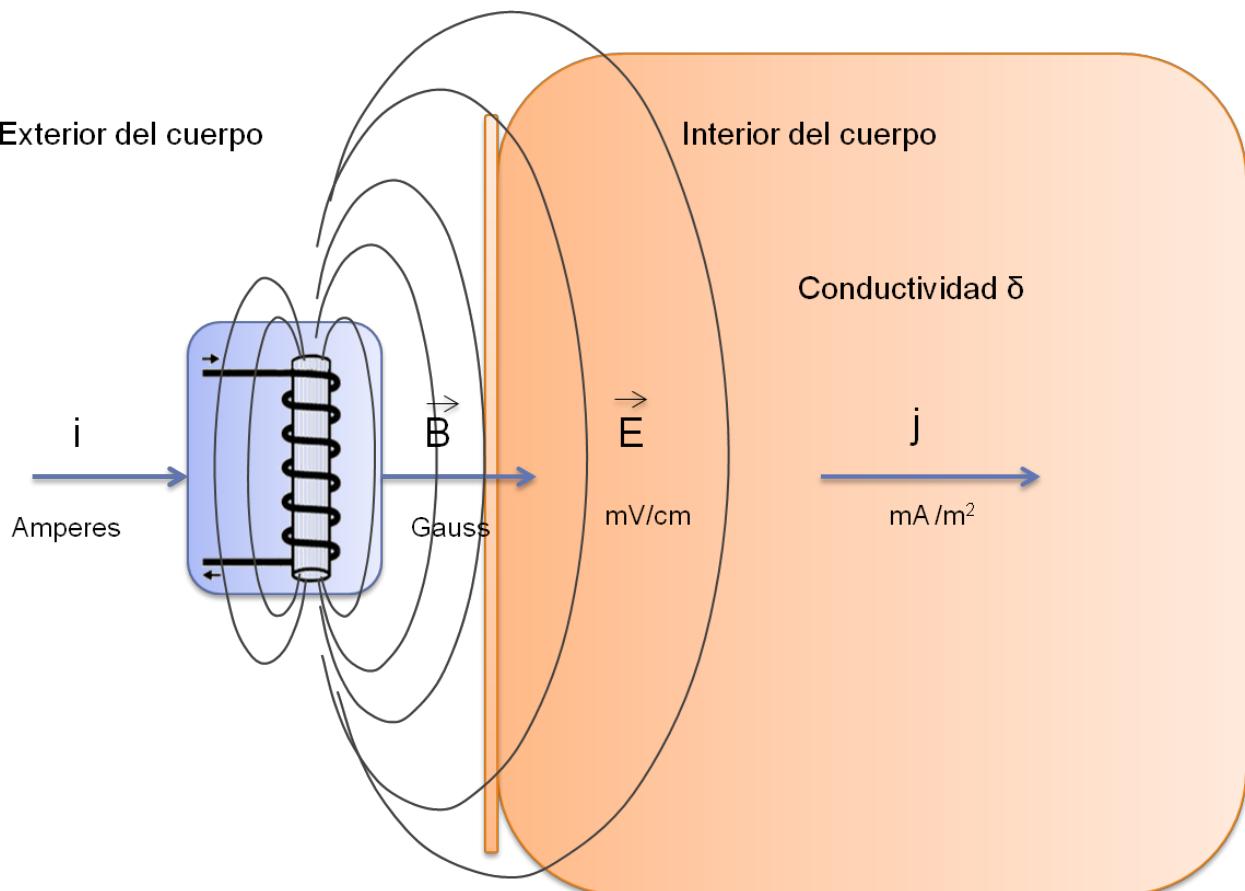
Recordemos que la Organización mundial de la Salud (OMS), reconoce a los CEMP como un electro estimulador y en 2010 publicó sus recomendaciones de aplicación y dice:

"Para campos electromagnéticos, la permeabilidad de los tejidos es la misma que la del aire, así el campo magnético en el tejido es el mismo que el campo externo. Los cuerpos humanos y animales no perturban significativamente el campo. La principal interacción de los campos magnéticos es la inducción de Faraday de campos eléctricos y corrientes de Eddy asociadas en los tejidos."

Con base en lo expuesto por la OMS, el proceso de la electroestimulación inducida se observa en el siguiente modelo explicativo (Ilustración 74), propuesto por la Ing. Mejía y el M. en C. Jorge Blancas.

Expliquemos este modelo: Al suministrar una corriente eléctrica variable en el tiempo, representada por la letra i, a una bobina o inductor, (o conjunto de bobinas o inductores), generamos un campo electromagnético, representado por las letras [B] y [E], que se miden en Gauss (el campo magnético B) y en unidades de milivoltios por cm (el campo eléctrico E); este campo electromagnético penetrará y atravesará el cuerpo, y dado que el campo eléctrico es una fuerza electromotriz y que el tejido vivo es un material conductor, dará lugar a densidades de corriente eléctrica, [J], del orden de los pico amperes por célula, debida al movimiento de iones. Es decir, los CEMP, inducen corrientes eléctricas, también llamadas corrientes de Eddy. Y estas corrientes inducidas son las que disparan los procesos de reparación de los tejidos.

Ilustración 74.- MODELO EXPLICATIVO DE LOS CEMP, PROPUESTO POR ELECTRONIC SOLUTIONS



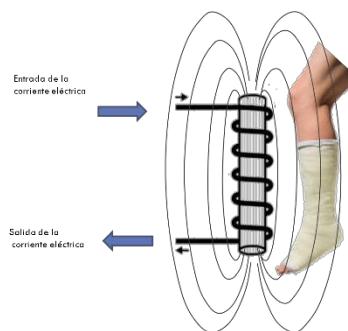
En la electroestimulación inducida (Ilustración 75) se colocan una o más bobinas, (inductores), cerca del miembro dañado, ya sea un hueso fracturado o un tejido blando, sin necesidad de quitar el yeso, férula y/o de tocar al paciente; en la práctica es muy conveniente que todo el cuerpo se encuentre inmerso en el campo magnético pulsante, ya que finalmente el cuerpo humano es un sistema integral que, al ser reparado en su conjunto, permite un menor tiempo de recuperación.

Por el inductor se hace pasar una corriente eléctrica variable en el tiempo, lo cual genera un campo electromagnético variable en el tiempo (pulsante), que penetra el cuerpo y lo atraviesa.

Este método está basado en la Ley de Inducción de Faraday, que establece que *un campo magnético variable en el tiempo asocia un campo eléctrico*, (fuerza electromotriz), que aplicado sobre un material conductor, como lo es el tejido biológico, induce pulsos de corriente, es decir un estímulo eléctrico.

El CEMP es de frecuencias extremadamente bajas, entre 1 a 200 Hz, tomando en cuenta que lo más importante es su capacidad de inducción, (coeficiente de inducción), que debe estar mucho más arriba del límite inferior, nos remitimos nuevamente a la Ilustración 73.

ILUSTRACIÓN 75.- MÉTODO INDUCTIVO O ELECTROESTIMULACIÓN INDUCIDA



Límites de seguridad de CEMP

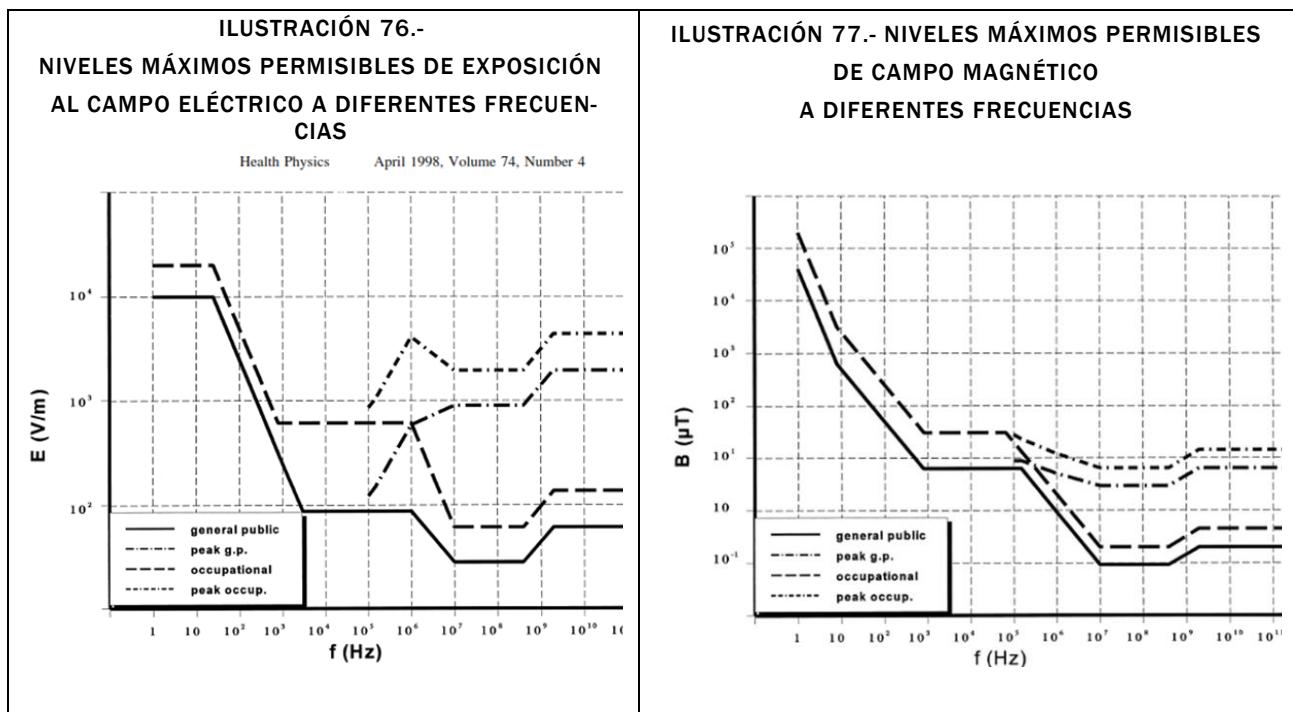
La Comisión Internacional de Protección a Radiación No Ionizante (ICNIRP por sus siglas en inglés) publica la “**ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)**” (International Commission On Non Ionizing Radiation Protection, 1998). En este documento, como su título describe, se establecen los límites considerados seguros a la exposición a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos de radiaciones no ionizantes hasta una frecuencia de 300 GHz, (giga Hertz), solo daremos un cuadro resumen el cual con las bases antes explicadas podremos entender, (tabla 6).

TABLA 6.- LÍMITES CONSIDERADOS SEGUROS A LA EXPOSICIÓN DE LOS CAMPOS ELÉCTRICOS, MAGNÉTICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS. (INTERNATIONAL COMMISSION ON NON IONIZING RADIATION PROTECTION, 1998). INCLUYE NIÑOS, MUJERES Y HOMBRES

	Límite de corriente (mA), a frecuencias específicas		
	50/60 Hz	1000 Hz	100 mil Hz
Efectos indirectos			
Percepción táctil	0.2-0.4	0.4-0.8	25-40
Dolor al contacto con los dedos	0.9-1.8	1.6-3.3	33-55
Percepción de golpe doloroso	8-16	12-24	112-224
Choque severo, dificultad para respirar	12-23	21-41	160-320

En la gráfica de la ilustración 76, se observan los diferentes niveles máximos permisibles de exposición de **campo eléctrico** a diferentes frecuencias. Como podemos observar a 200 Hz, el valor máximo permitido de campo eléctrico está por arriba de los 1000 V/cm.

En cuanto a la componente magnética, en la gráfica de la ilustración 77, se observan los diferentes niveles máximos permisibles de **campo magnético** a diferentes frecuencias, a 200 Hz, (10^2) el límite máximo permitido se localiza alrededor de 400 Gauss, para la exposición ocupacional. (International Commission On Non Ionizing Radiation Protection, 1998)



Los Generadores de campos electromagnéticos pulsados marca SenCa

Productos de alta gama y calidad, (Ilustración 78), con dos años de garantía y que operan dentro de los límites de seguridad, previamente analizados. El sistema consta de un control o cerebro electrónico, previamente programado a frecuencia de 180 a 200 Hz, con densidad de campo magnético de 100 Gauss y un campo eléctrico (coeficiente de inducción) de 8640 μ V/cm es decir un alto coeficiente de inducción. Como vemos los generadores SenCa, trabajan en niveles muy seguro de operación.

El cerebro electrónico se acompaña de un aplicador, tipo colchón enrollable, de tres diferentes medidas de largo: 40 cm, 100 cm y 180 cm, todos de 60 cm de ancho. Forrado en vinyl soft piel, color avena o marfil, suave al tacto, cómodo y de alta resistencia. Dentro de estos aplicadores se ubican los inductores, diseñados de tal forma que el aplicador resulte ligero y de fácil transporte, sin menoscabo de su eficacia.

Cuenta también con dos accesorios: Una bolsa de loneta negra, resistente y elegante, para su fácil transporte y almacenamiento. Y un sensor de campo *SensorZumb*, que nos permite monitorear el funcionamiento del dispositivo (Ilustración 78).

Cuenta además con dos años de garantía, pero su vida útil es de al menos 15 años, además no requiere de ajustes y calibraciones, sin embargo, cuenta con servicio posventa, ya que el usuario siempre contará con el respaldo y apoyo del fabricante.

ILUSTRACIÓN 78.- EQUIPO GENERADOR DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PULSANTES MODELO VITALITY



ILUSTRACIÓN 79.- SENSORZUMB

CAPÍTULO 4.- Bioenergética.

Graciela Mejía Astorga

Objetivo

Comprender el concepto de energía, como utiliza la energía el tejido vivo, la energía de Gibbs y el ATP, así como comprender el concepto de entropía, como enfermedad. Se explicará la importancia de estos conceptos en los procesos de regeneración celular.

Conceptos termodinámicos

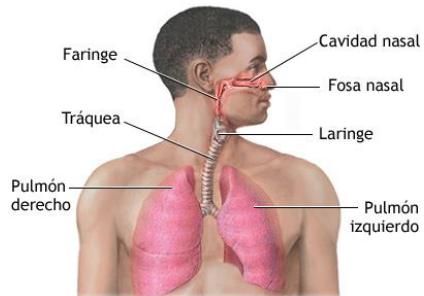
Sistemas:

Definimos como sistema una porción de la materia que se desea estudiar, toda otra materia será el medio que la rodea, en las ilustraciones 80 y 81 observamos dos ejemplos de sistema.

ILUSTRACIÓN 80.- EJEMPLO DE SISTEMA



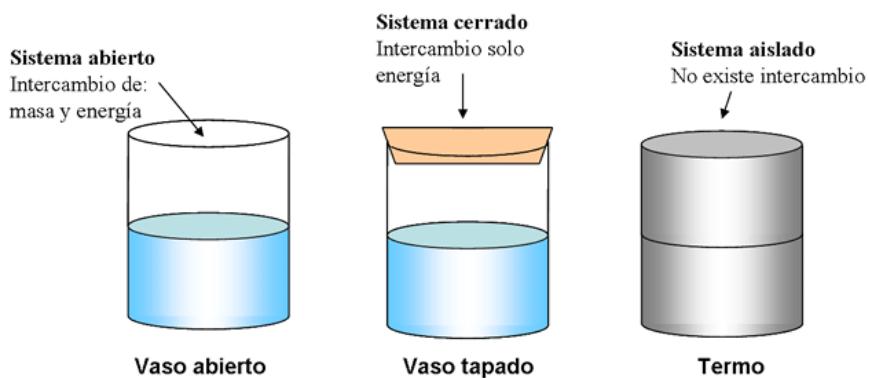
ILUSTRACIÓN 81.- EL SISTEMA RESPIRATORIO



Dependiendo de la interacción del sistema con el medio ambiente, existen varios tipos de sistemas (Ilustración 82):

- Abierto: intercambia materia y energía con el ambiente.
- Cerrado: intercambia energía, pero no materia con su entorno.
- Aislado: que no intercambia materia y energía con su medio.

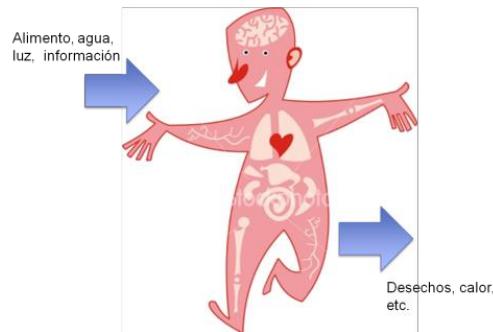
ILUSTRACIÓN 82.- TIPOS DE SISTEMAS



Los sistemas biológicos (Ilustración 83) intercambian tanto materia como energía, es decir son sistemas abiertos, en donde se mantiene la presión y la temperatura constantes (isobáricos e isotérmicos). Sin embargo, también somos un sistema metabólico integrado interno y sometido a un alto grado de control. (Baynes & Dominiczak, 2011)

Un sistema biológico se considera desde una célula, un órgano, un individuo, un ecosistema, etc. Los organismos vivos recibimos del ambiente alimentos, agua, luz, información, etc; y entregamos al ambiente desechos, calor, información.

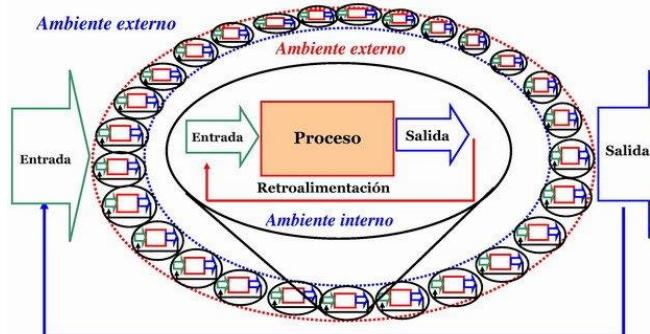
ILUSTRACIÓN 83.- SISTEMA BIOLÓGICO



Energía interna y energía de Gibbs

El término energía proviene del vocablo griego *energeia*, y se refiere a la fuerza capaz de generar una acción o un trabajo. En física la energía se define como todo aquello capaz de producir trabajo. Todo sistema posee un sinnúmero de formas de energía, como, por ejemplo, energía calorífica, química, potencial, mecánica, eléctrica, etc. la suma de todas ellas se conoce como energía interna (*E*) (Ilustración 84).

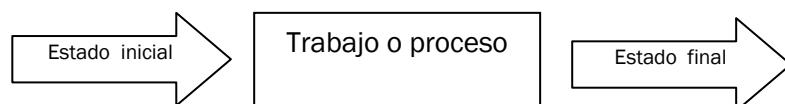
ILUSTRACIÓN 84.- SISTEMA CON SINÚMERO DE FORMAS DE ENERGÍA



No todo el contenido energético de un sistema está aprovechable para realizar trabajo, a la porción de "energía útil", la que sí está disponible para realizar un trabajo, se le conoce como *energía de Gibbs*. Esta energía se representa con la letra *G* mayúscula. El pionero de la energía de Gibbs fue el físico estadounidense Josiah Willard Gibbs⁷ quien aportó con la fundación teórica de la termodinámica.

Cuando en un sistema se lleva a cabo un trabajo, cambia su contenido energético, así que, por conveniencia, al contenido energético inicial de un sistema, antes de que ocurra un proceso o trabajo, se le designa como *estado inicial* y al contenido de energía, después de ocurrido el proceso, se le conoce como *estado final* (Ilustración 85).

ILUSTRACIÓN 85.- CONTENIDO ENERGÉTICO EN UN SISTEMA



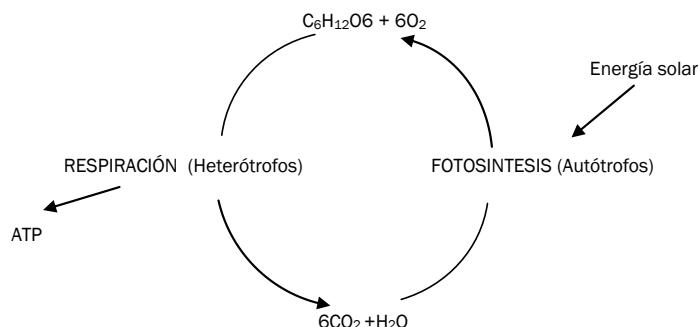
Las variables que medimos en un sistema y que lo definen son la presión, la temperatura, y la composición. Medir los cambios de energía que ocurren en un sistema biológico, puede ser difícil, es más fácil determinar el contenido energético de un sistema en el estado inicial y en su estado final y calcular el cambio, este cambio

⁷ Gibbs definió una nueva función de estado del sistema termodinámico, la denominada energía libre o energía de Gibbs (*G*), que permite prever la espontaneidad de un determinado proceso fisicoquímico (como puedan ser una reacción química o bien un cambio de estado) experimentado por un sistema sin necesidad de interferir en el medio ambiente que le rodea.

se simboliza con la letra delta mayúscula (Δ). Así los cambios en la energía interna de un sistema o de su energía de Gibbs los representaremos como ΔE o ΔG

Resulta obvio decir, que todas las funciones celulares requieren de energía, tanto en organismos autótrofos, como en heterótrofos, tal como lo podemos ver en el ciclo energético de los seres vivos, en la ilustración 86. Como podemos apreciar, los organismos autótrofos toman el CO₂ y el agua del medio ambiente y con la aportación energética de la luz del sol y por medio de la fotosíntesis, sintetizan macromoléculas como los carbohidratos, grasas, proteínas y generan como subproducto O₂. Estas moléculas son aprovechadas por los animales heterótrofos, que las ingieren y las rompen, las utilizan para producir energía que guardan en forma de ATP y otras macromoléculas estructurales, dejando como subproductos agua y CO₂. A todas las funciones celulares les llamamos *metabolismo*.

ILUSTRACIÓN 86.- CICLO ENERGÉTICO DE LOS SERES VIVOS



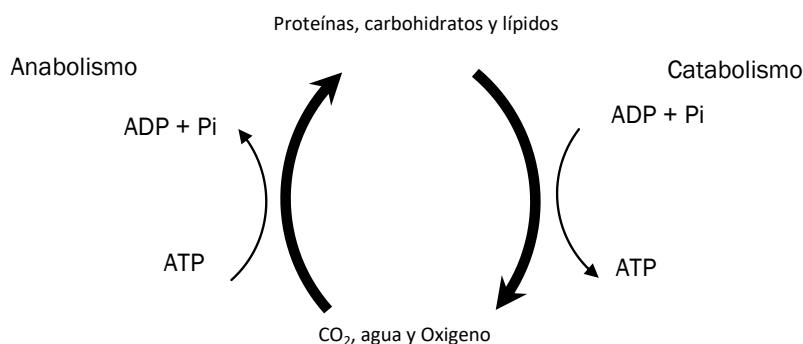
Metabolismo y El ATP: la molécula de la vida

Metabolismo

El objetivo del metabolismo es la obtención de energía a partir de los azúcares y las grasas, y es esencial para la vida. En el hombre y los animales superiores, los azúcares (carbohidratos) y las grasas (lípidos), son *metabolizados*, en un proceso catabólico, para formar dióxido de carbono (CO₂) y agua, generando además una molécula altamente energética, el ATP (Ilustración 87), de estas moléculas simples y utilizando la energía almacenada como ATP, se sintetizan macromoléculas estructurales y energéticas que pueden ser utilizadas por el organismo.

Simultáneamente con el ATP se genera calor; este calor es una forma “desorganizada” de energía y puede representar el 60 % de la energía del metabolismo, el 40 % restante es la que se guarda como ATP. La producción de calor es necesaria para mantener la temperatura corporal constante. (Drucker Colín, René, 2005).

ILUSTRACIÓN 87.- METABOLISMO



Catabolismo

Cuando se obtiene energía a partir de los azúcares y las grasas, esta parte del metabolismo se conoce como **catabolismo**. Es decir, el catabolismo es la parte del proceso metabólico que consiste en la degradación de los nutrientes orgánicos, transformándolos en productos finales, con la finalidad de extraer de ellos energía química y convertirla en una forma útil para la célula.

Anabolismo

Los metabolitos simples y la energía obtenida en este proceso de catabolismo (retenida en su mayoría en el ATP) conforman los elementos precursores para la síntesis de los componentes celulares y para impulsar las reacciones de biosíntesis no espontáneas, procesos de transporte o la actividad muscular. A todo el conjunto de reacciones de síntesis se llama **anabolismo** (Baynes & Dominiczak, 2011).

El ATP, la molécula de la vida

El ATP, adenosín trifosfato o trifosfato de adenosina, está formado por una base nitrogenada, la adenina, unida a una ribosa (un azúcar de 5 carbonos), que en su carbono 5 tiene enlazados tres grupos fosfato (Ilustración 88). La principal fuente de ATP celular es la mitocondria⁸ que es la “central energética” de la célula (Ilustración 89).

ILUSTRACIÓN 88.- MOLÉCULA DE ATP

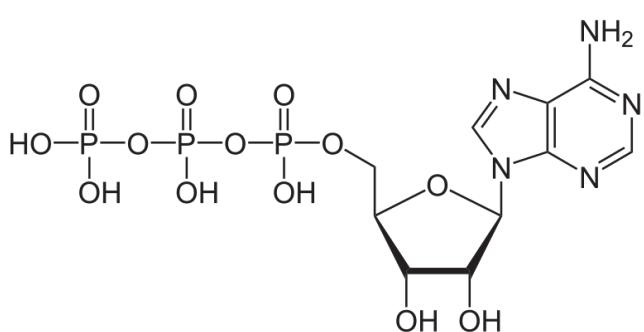


ILUSTRACIÓN 89.- ESKEMA DE LA MITOCONDRIA



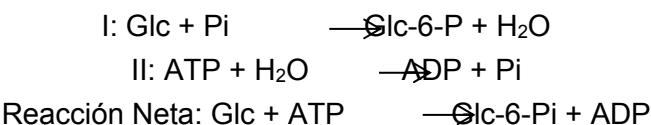
Como podemos ver en la ilustración 89, el ATP presenta tres uniones fosfato, cada una de ellas es una liga energética, que al romperse libera hasta 7.8 Kcal, esta energía, es la llamada energía **de Gibbs** y es la que permite se lleven a cabo reacciones que son termodinámicamente desfavorables, como por ejemplo el transporte de un ion de una zona de baja concentración a otra de alta concentración, reacciones de biosíntesis o la actividad muscular.

Otro ejemplo es la síntesis de Glucosa 6 fosfato (Glu-6-P), (el primer paso del metabolismo de la glucosa), que es una reacción termodinámicamente desfavorable, es decir, que no sucede espontáneamente en el ambiente, para llevarse a cabo requiere de +3.3 kcal/mol, así que la síntesis de Glc-6-P puede acoplarse con la hidrólisis de ATP, obteniendo una reacción neta favorable a la síntesis de Glc-6-P, Ilustración 90. (Drucker Colín, René, 2005).

ILUSTRACIÓN 90.- HIDROLISIS DEL ATP



⁸ La biogénesis de las mitocondrias está ligada al ejercicio físico, a más ejercicio, mayor cantidad de mitocondrias en las células.

ILUSTRACIÓN 91.- REACCIÓN ACOPLADA DE GLUCOSA 6 FOSFATO

La gran cantidad de energía de Gibbs, que cede la hidrólisis de ATP, posibilita que esta reacción se lleve a cabo. Podemos decir que la $\Delta G = 7.8$ kcal y que cada vez que se hace trabajo disminuye la energía libre, de acuerdo con la ecuación 4.1:

$$W = -\Delta G$$

Ecuación 4.1

Donde **W** es el trabajo y $-\Delta G$ es la disminución de la energía de Gibbs

Fuentes de ATP

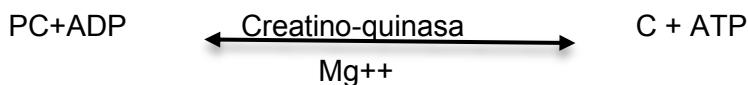
Las principales fuentes de ATP del cuerpo humano son la glucosa y los ácidos grasos. La glucosa provee 38 moléculas de ATP por molécula y los ácidos grasos proveen 129 moléculas de ATP por molécula (son la mayor fuente de energía de los músculos), sabemos que:

- En el corazón sano el 60% de la ΔG que requiere viene de los ácidos grasos y 40% de la glucosa.
- El corazón enfermo utiliza principalmente la glucosa.
- Para el cerebro su principal nutriente es la glucosa.

Existen otras fuentes de ATP, que se utilizan cuando la actividad celular es mayor que lo habitual o en casos de escasez, a esta energía se le llama **potencial**, ya que no se encuentra accesible o inmediatamente disponible, como la energía de Gibbs, las fuentes de energía potencial son:

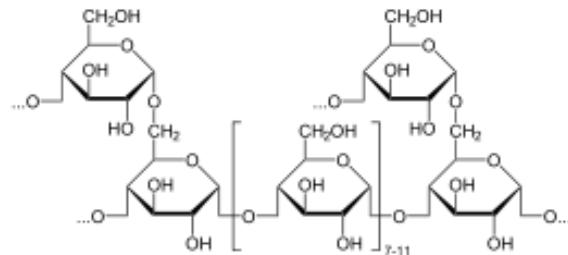
1. La hidrólisis de fosfocreatina (PC): La fosfocreatina es una molécula formada por la unión de una proteína (la creatina) y un grupo fosfato. Cuando esta unión se rompe el grupo fosfato queda libre y se une al ADP, convirtiéndose en ATP. Este sistema, al no necesitar oxígeno y no producir residuos de ácido láctico se denomina vía anaeróbica aláctica. Ilustración 92.

Esta ruta metabólica se utilizaría en deportes de fuerza y explosivos como: levantamiento de pesas, en un sprint de 60 metros, en un salto de longitud, en lanzamiento de jabalina, es decir, deportes muy intensos y de muy poca duración.

Ilustración 92.- Vía anaeróbica aláctica

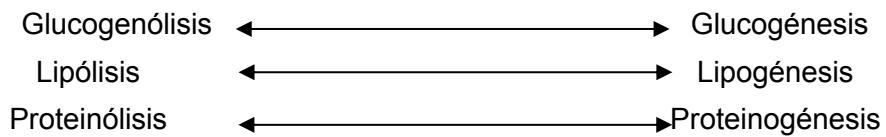
2. El glucógeno: Es el polisacárido de reserva energética en los animales, y se almacena en el hígado (10% de la masa hepática) y en los músculos (1% de la masa muscular) de los vertebrados. Además, pueden encontrarse pequeñas cantidades de glucógeno en ciertas células gliales del cerebro y en el cuello del útero. Es una fuente limitada de energía, el glucógeno se transforma en glucosa por medio de reacciones de hidrólisis, llamadas glucogenólisis. Ilustración 93.

ILUSTRACIÓN 93.- MOLÉCULA DE GLUCÓGENO, WIKIPEDIA.



3. Por la lipólisis de los triglicéridos: es el proceso metabólico mediante el cual los lípidos del organismo son transformados para producir ácidos grasos y glicerol, para cubrir las necesidades energéticas. Un triglicérido es un éster derivado de glicerol y tres ácidos grasos. Los triglicéridos son los principales constituyentes de la grasa corporal en los seres humanos y otros animales, así como la grasa vegetal.
4. Las proteínas: no es su función, pero se hidrolizan cuando se presentan situaciones de desnutrición o cuando faltan aminoácidos esenciales.

La energía potencial se destruye y se renueva continuamente por medio de los siguientes procesos:



Leyes de la termodinámica

El comportamiento de la energía en los sistemas se rige por las leyes o principios de la termodinámica, rama de la fisicoquímica que estudia los fenómenos energéticos de los sistemas, así que daremos una corta revisión de sus leyes (Pacheco Leal, 2009).

Primera ley de la termodinámica

Ley de la conservación de la energía, establece que la energía total de un sistema más la de su entorno se mantiene constante. La energía no se crea ni se destruye solo se transforma. (Aragó, 2008)

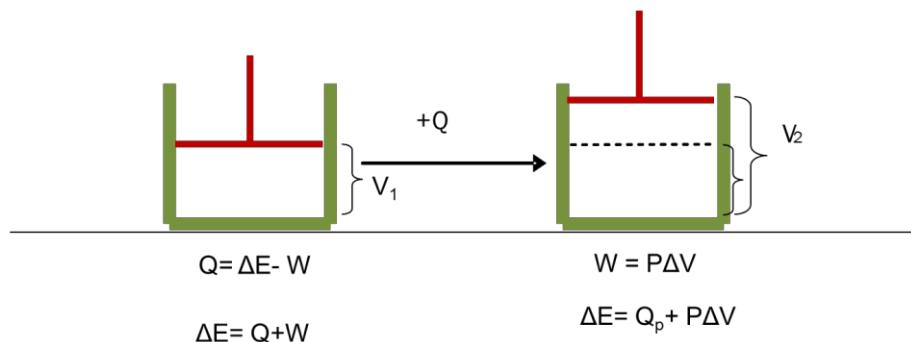
$$\text{EA} + \text{ES} = \text{Constante}$$
Ecuación 4.2

Donde **EA** = la energía del ambiente y **ES** = la energía del sistema

La forma más común de energía es el calor (Q), y casi todos los eventos que suceden en la naturaleza absorben o liberan calor, son endotérmicos o exotérmicos.

Si a un sistema cerrado, le administramos una determinada cantidad del calor, podemos provocar en él un cambio en su energía interna (E), o puede realizar un trabajo (W), en el caso de la ilustración 93, se llevó a cabo un trabajo al elevar el pistón y cambiar el volumen de V_1 a V_2 .

ILUSTRACIÓN 94.- PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA



El calor necesario será igual al cambio de la energía interna menos el trabajo, ecuación 4.3

$$Q = \Delta E - W \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Si despejamos la energía interna nos queda la ecuación 4.4, esta ecuación representa la primera ley de la termodinámica.

$$\Delta E = Q + W \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Además, podemos definir al trabajo como el cambio en el volumen a presión constante

$$W = P\Delta V \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Cuando el proceso se efectúa a presión constante y sustituyendo el trabajo, la ecuación 4.5 queda como:

$$\Delta E = Q_p + P\Delta V \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Q_p es la cantidad de calor que se absorbe o se libera a presión constante y se le llama *Entalpía* (H).

$$\Delta E = \Delta H + P\Delta V \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Si despejamos la entalpía,

$$\Delta H = \Delta E - P\Delta V \quad \text{Ecuación 4.8}$$

En los sistemas biológicos, el cambio de volumen es mínimo, $\Delta V \approx 0$, así que ΔH corresponde al cambio de energía interna del sistema.

$$\Delta H = \Delta E \quad \text{Ecuación 4.9}$$

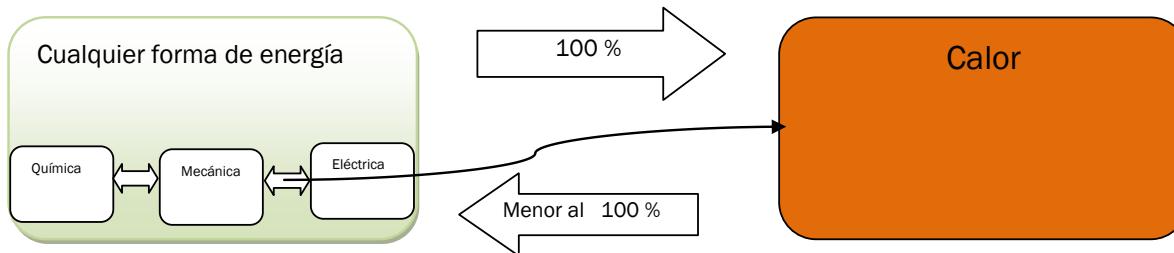
El valor de ΔH puede ser positivo, indica que la reacción absorbe calor al medio, es endotérmica.

Si $-\Delta H$ es negativo, indica que el proceso libera calor al medio y la reacción es exotérmica.

Segunda ley de la termodinámica

La primera ley, nos indica restricciones sobre las transformaciones de la energía, sin embargo, la experiencia nos dice que todas las otras formas de energía se pueden transformar en calor, pero el calor no se puede transformar completamente en cualquier otra forma de energía, (Aragó, 2008). Por lo tanto, hay un aumento constante de energía calorífica a expensas de las otras formas de energía (Ilustración 95).

ILUSTRACIÓN 95.- SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

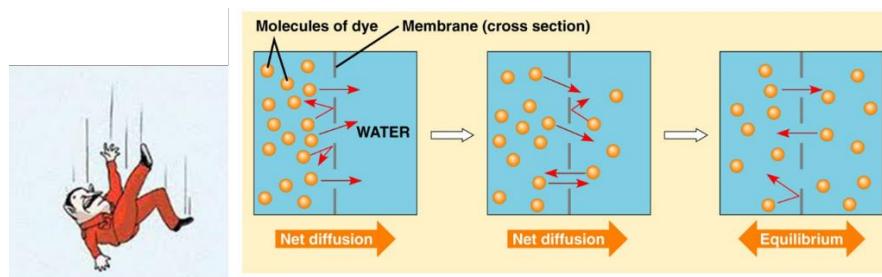


Es decir, todas las formas de energía se pueden convertir completamente en calor, pero no hay ningún proceso que permita convertir todo el calor, así obtenido, en otras formas de energía, además, ninguna energía que se transforma en otra es 100% eficiente, siempre hay pérdida de energía en forma de calor, que no servirá para producir trabajo.

La energía calorífica está asociada con el movimiento desordenado de las moléculas, este desorden molecular se expresa en términos de *Entropía (S)*, podemos expresar la segunda ley de la termodinámica como: *la energía del universo es constante, pero la entropía tiende a alcanzar un valor máximo*.

Todos los fenómenos que ocurren en la naturaleza de manera espontánea, ilustración 96, como la caída de un cuerpo, la difusión de un soluto, la expansión de un gas, etc; se llevarán a cabo hasta llegar al equilibrio, aumentando su entropía y revertir estos procesos requiere de energía, que provenga del entorno o de otro sistema.

ILUSTRACIÓN 96.- LOS PROCESOS ESPONTÁNEOS SE LLEVAN A CABO HASTA LLEGAR AL EQUILIBRIO



Los seres vivos, a diferencia de otros sistemas luchan continuamente por no alcanzar el equilibrio, ya que es incompatible con la vida. Los seres vivos deben mantener sus procesos lejos del equilibrio, para lograr esto utilizan la **energía de Gibbs**, (la energía disponible), la cual obtienen de los alimentos y que almacenan en forma de ATP, como ya vimos. Ilustración 97.

ILUSTRACIÓN 97

Los seres vivos, a diferencia de otros sistemas luchan continuamente por no alcanzar el equilibrio, ya que es incompatible con la vida.

Los seres vivos deben mantener sus procesos lejos del equilibrio.

Para lograr esto utilizan la energía libre o de Gibbs,

La cual obtienen de los alimentos y que almacenan en forma de ATP

Energía de Gibbs

La energía de Gibbs (ΔG), de una reacción es la cantidad máxima de energía que puede obtenerse a partir de una reacción a temperatura y presión constantes. Sus unidades son kcal/mol.

Para una reacción A \rightarrow B,

$$\Delta G = G_B - G_A$$

En los sistemas biológicos la ecuación que combina las dos leyes de la termodinámica es:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

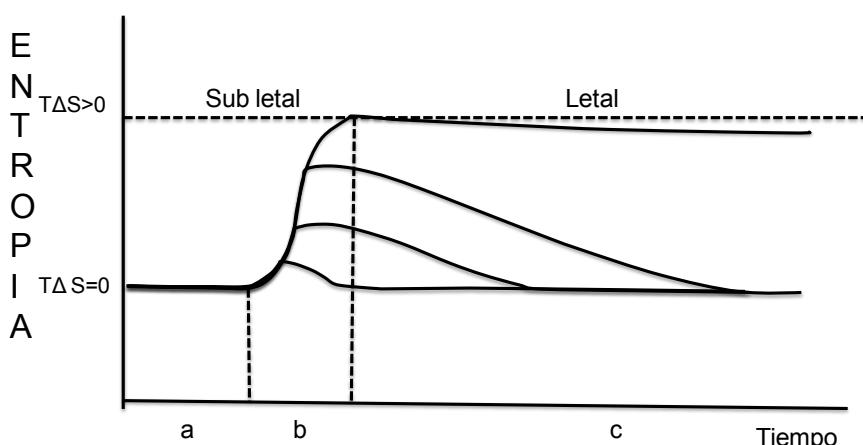
Donde: T es la temperatura absoluta; S es la entropía

En los sistemas biológicos, las primeras alteraciones se presentan como variaciones en la energía de Gibbs y los cambios en la entropía, la ΔH , que corresponde a la energía potencial se presentan ligeramente más tarde, por lo que podemos simplificar la formula como:

$$\Delta G = -T\Delta S$$

Es decir, la energía de Gibbs ΔG , es la encargada de mantener a la entropía baja, si la energía de Gibbs disminuye, se incrementa la entropía, es decir, el desorden, esto se representa en la siguiente ilustración 98, (Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998).

ILUSTRACIÓN 98.- EL AUMENTO PROGRESIVO DE LA ENTROPIA (DESORDEN), REQUIERE MAS TIEMPO PARA RESTAURAR EN EQUILIBRIO ENTRÓPICO. (SODI PALLARES, 1998)



La entropía no es constante, siempre oscila alrededor de cero.

Si aumenta la entropía, la energía de Gibbs la neutraliza, es decir un daño celular discreto es controlable en corto tiempo. Si la energía de Gibbs disminuye, la entropía tiende a aumentar.

En el tiempo b se muestran aumentos progresivos de entropía, y para llevarla a cero se necesita más tiempo. Si la patología aumenta la recuperación es más lenta.

Si la entropía es subletal, la disminución de esta es muy lenta, requiriéndose meses o años para su recuperación.

Cuando el desorden pasa un punto de no retorno, la célula, el tejido o el organismo muere.

Por último, un postulado muy importante es el de Ilya Prigogine, Premio Nobel de Química 1977. Sus experimentos demostraron que:

“En un sistema en desorden, sujeto a un flujo importante de energía, es posible pasar del estado de desorden a uno de orden”.

Conclusión

- La vida implica orden, (ADN, organización celular, etc.).
- Enfermedad es igual que desorden y aumento de entropía, con riesgo para la vida.
- La curación es la restauración del orden y se logra mejorando el flujo de energía de Gibbs.
- **La electroestimulación inducida por CEMP, provee un flujo de energía continuo**, y de acuerdo con el postulado de Ilya Prigogine, esto promueve que el organismo pase de un estado de desorden a uno de orden, disminuyendo su entropía. Como veremos más adelante la electroestimulación inducida por CEMP favorecen la síntesis de ATP, incrementando la energía de Gibbs en el organismo, lo cual disminuye el desorden.

CAPÍTULO 5.- Metabolismo celular

Objetivo

Que el participante reconozca la importancia de la membrana celular, como estructura fundamental de la vida de la célula, su intervención en la comunicación celular y en los procesos metabólicos básicos de la célula, así como la importancia de los iones de sodio y potasio, dentro de la salud celular.

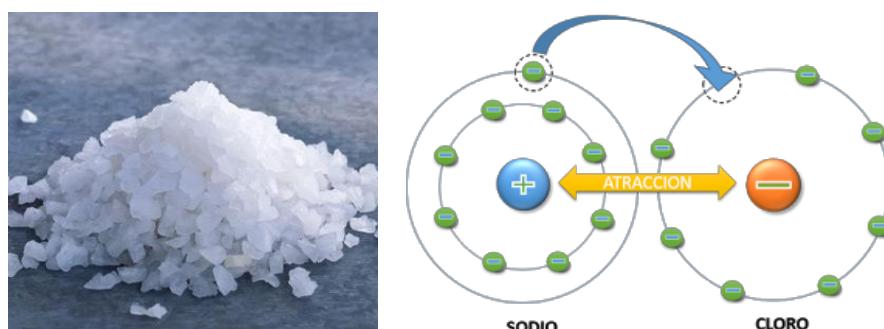
Conceptos básicos

Iones e ionización

La ionización es un concepto que se utiliza en química para nombrar al proceso y a las consecuencias de ionizar. El verbo ionizar, por su parte, hace referencia a la disociación de una molécula en diferentes iones o a la transformación de una molécula o de un átomo en un ion.

La ionización, por lo tanto, es un procedimiento a través del cual se generan iones, es decir, un átomo o una molécula que dispone de carga eléctrica a partir de ganar o de perder una cierta cantidad de electrones.

ILUSTRACIÓN 99.- EL SODIO Y EL CLORO SE IONIZAN EN UNA SOLUCIÓN SALINA



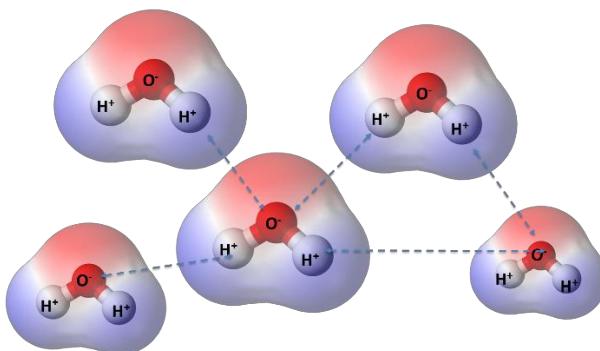
En la ilustración 99 vemos la sal común, un mineral compuesto de cloruro de sodio. Si disolvemos la sal común, en agua, entonces obtendremos una disolución de cloruro de sodio, en esta disolución el cloro, que es electronegativo, tiene mayor capacidad de atraer electrones y literalmente *le roba* el electrón de su última órbita al sodio. Dando lugar a la formación de iones Na^+ y Cl^- .

La partícula que dispone de una mayor cantidad de electrones en comparación a la molécula o al átomo neutro recibe el nombre de anión (tiene carga neta negativa). La partícula que, en cambio, presenta menos electrones que el átomo o la molécula neutra se llama catión (con carga positiva).

Polaridad de las moléculas

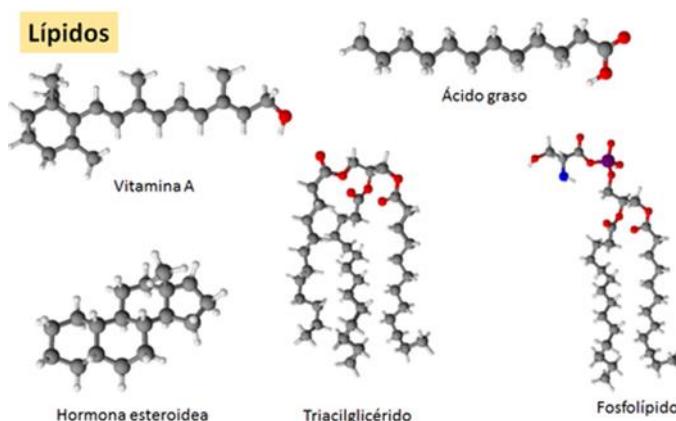
La **polaridad química** o solo **polaridad** es una propiedad de las moléculas que representa la separación de las cargas eléctricas en la misma. En la ilustración 100 tenemos la molécula de agua, como podemos ver muestra una zona cargada negativamente, que es el átomo de oxígeno y una zona cargada positivamente, los dos átomos de hidrógeno, esta molécula interactúa con las otras moléculas de agua en una *atracción electrostática*, es decir entre un extremo positivo de una molécula y un extremo negativo de otra. Aquí no se forman iones, en la misma molécula hay dos zonas con cargas eléctricas.

ILUSTRACIÓN 100.- POLARIDAD DE LAS MOLÉCULAS

**Los lípidos**

Los lípidos son un conjunto de moléculas orgánicas, compuestas principalmente por carbono e hidrógeno y en menor medida oxígeno, aunque también pueden contener fósforo, azufre y nitrógeno. (Baynes & Dominiczak, 2011), ilustración 101.

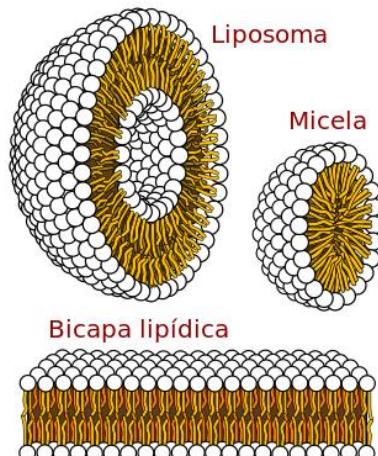
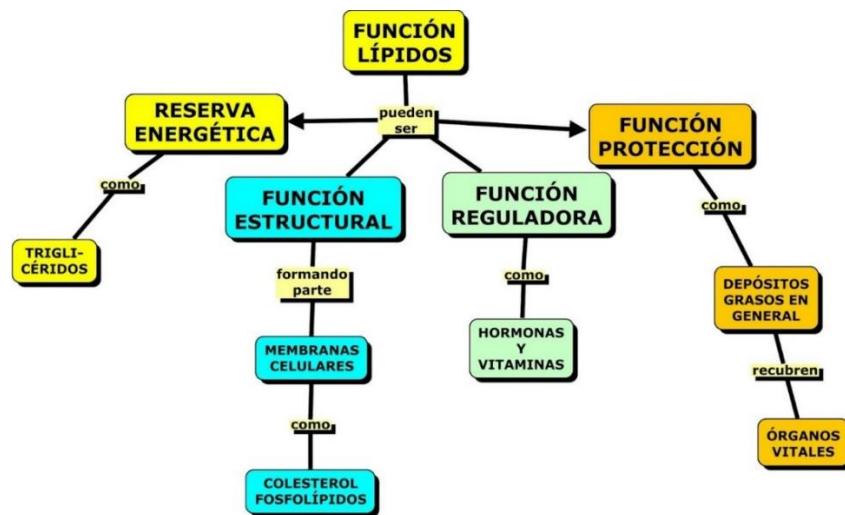
ILUSTRACIÓN 101.- ESTRUCTURA DE LOS LÍPIDOS



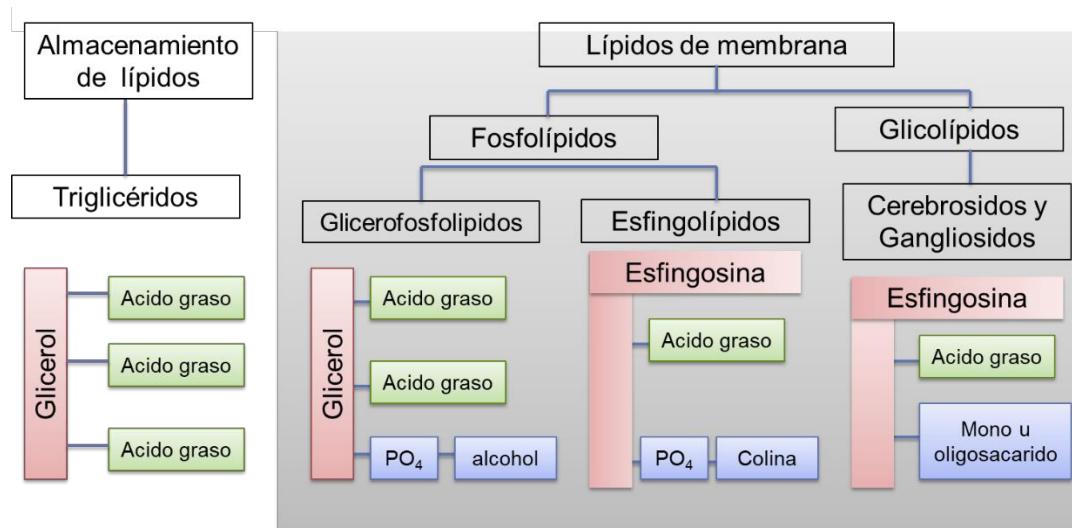
Los lípidos, son un grupo de compuestos químicamente diversos, con características muy especiales como puede verse a continuación:

- Son solubles en solventes orgánicos (como cloroformo, metanol o benceno).
- Son casi insolubles en agua.
- La mayoría de los organismos, los utilizan como reservorios de moléculas fácilmente utilizables para producir energía (aceites y grasas).
- Los mamíferos los acumulamos como grasas, y los peces como ceras; en las plantas se almacenan en forma de aceites protectores con aromas y sabores característicos.
- Los fosfolípidos y esteroles constituyen alrededor de la mitad de la masa de las membranas biológicas.
- Entre los lípidos también se encuentran cofactores de enzimas, acarreadores de electrones, pigmentos que absorben luz, agentes emulsificantes, algunas vitaminas y hormonas, mensajeros intracelulares y todos los componentes no proteicos de las membranas celulares.

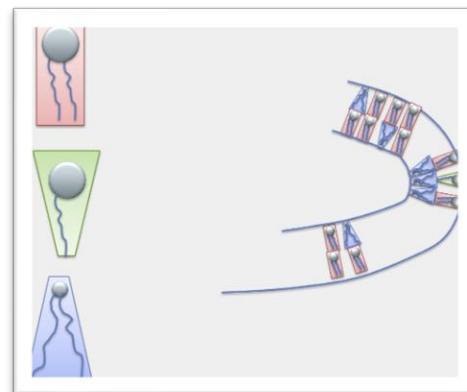
Así mismo tienen diversas e importantes funciones, desde reserva energética hasta tener función de protección, ilustración 102. La mayoría de las funciones de los lípidos se deben a sus propiedades de auto agregación, ilustración 103, que permite también su interacción con otras biomoléculas. De hecho, los lípidos casi nunca se encuentran en estado libre, generalmente están unidos a otros compuestos como carbohidratos (formando glucolípidos) o a proteínas (formando lipoproteínas).

**ILUSTRACIÓN 103.- FORMAS QUE
TOMAN LOS LÍPIDOS EN SOLUCIO-
NES. PROPIEDADES DE AUTO-**
ILUSTRACIÓN 102.- FUNCIONES DE LOS LÍPIDOS

La función biológica más importante de los lípidos es la de formar a las membranas celulares, que, en mayor o menor grado, contienen lípidos en su estructura (Ilustración 104). En ciertas membranas, la presencia de lípidos específicos permite realizar funciones especializadas, como en las células nerviosas de los mamíferos.

ILUSTRACIÓN 104.- LÍPIDOS ESTRUCTURALES DE MEMBRANA

Los grupos fosfato + el alcohol, o + colina o los monosacáridos u oligosacáridos, forman la cabeza polar de los lípidos de membrana y le dan la capacidad de tener carga positiva o negativa. Los diferentes fosfolípidos producen un momento hidrofóbico diferente, debido a: su cabeza polar, su tamaño, a su forma o bien a que tengan una o dos colas hidrofóbicas, todo esto interviene en la forma de la membrana (Ilustración 105).

ILUSTRACIÓN 105.-**LA FORMA DE LA MEMBRANA****LA DETERMINAN LOS LÍPIDOS**

La característica principal de los lípidos de membrana es que tienen una alta fluidez que les permite mucho movimiento, contrariamente a lo que se pensaba hasta 1972, momento en el cual Jonathan Singer y Garth Nicolson propusieron en modelo del mosaico fluido. (Baynes & Dominiczak, 2011)

La fluidez de las membranas causada por los lípidos permite la permeabilidad selectiva de las moléculas que atraviesan la membrana, además de ser imprescindible en algunos procesos metabólicos, como es el caso del movimiento de la coenzima Q en la membrana mitocondrial, en procesos de transporte o en la transducción de señales.

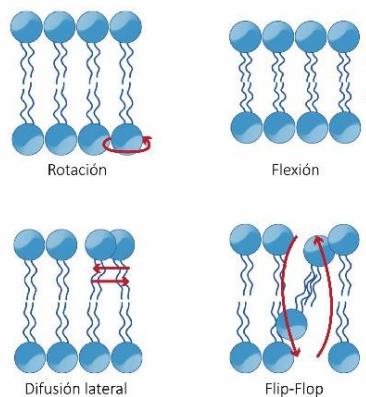
Los lípidos tienen varias formas de movimiento: pueden moverse lateralmente, en el plano de la membrana, pueden rotar sobre sí, pueden tener movimientos de flexión en los cuales son las cadenas las que se mueven, y finalmente muy eventualmente pueden padecer procesos de flip-flop (Ilustración 106).

Tipos de movimientos de los lípidos:

- Difusión lateral: Es el movimiento más común en los lípidos de membrana y es de una velocidad alta. En efecto, su coeficiente de difusión es de $10-8 \text{ cm}^2/\text{s}$. Es decir que se difunde en toda la longitud de la membrana en unos pocos segundos.
- Rotación y flexión: Son fenómenos observados, pero de los cuales se sabe poco. Se podría pensar que es para facilitar en algunos casos la entrada de las moléculas en la célula y aumentar así la permeabilidad.
- Flip-Flop: Permite el traspaso de los lípidos de una capa a la otra de la bicapa. Es un proceso muy lento y que consume mucha energía, ya que las cabezas polares de los fosfoglicéridos deben atravesar un medio no-polar. Aun así, es imprescindible, para que se regenere la monocapa no citosólica. Por ello, los lípidos cuentan con la ayuda de unas enzimas que facilitan el movimiento: las flipasas o translocadoras de fosfolípidos. Estas enzimas se encuentran en el retículo endoplasmático, dónde se sintetizan los lípidos, y en la membrana plasmática. El movimiento de flip-flop es raro y ocurre sólo una vez por día.

Los lípidos también le confieren a la membrana celular un alto dinamismo, mediante su movilidad, fluidez y asimetría.

ILUSTRACIÓN 106.- MOVILIDAD Y FLUIDEZ DE LOS LÍPIDOS



Las proteínas

Las proteínas son los pilares fundamentales de la vida. Cada célula del cuerpo humano las contiene. La estructura básica de la proteína es una cadena de aminoácidos. Todas las proteínas están compuestas, básicamente, por carbono C, hidrógeno H, oxígeno O y nitrógeno N, la mayoría contiene además azufre y fósforo. Ilustración 107. Las proteínas suponen aproximadamente la mitad del peso de los tejidos del organismo, y participan en prácticamente todos los procesos biológicos que se producen. Los tipos de aminoácidos existentes se presentan en la tabla 7 y cómo podemos ver, se clasifican en. esenciales y no esenciales. Los aminoácidos esenciales no pueden ser sintetizados por el organismo humano y deben ser ingeridos en la dieta, por eso requerimos de carne, huevo, lácteos o combinaciones de vegetales que cubran la ingesta diaria de estos aminoácidos. (Baynes & Dominiczak, 2011).

ILUSTRACIÓN 107.- FORMULA GENERAL DE LOS AMINOÁCIDOS. (PACHECO LEAL, 2009)

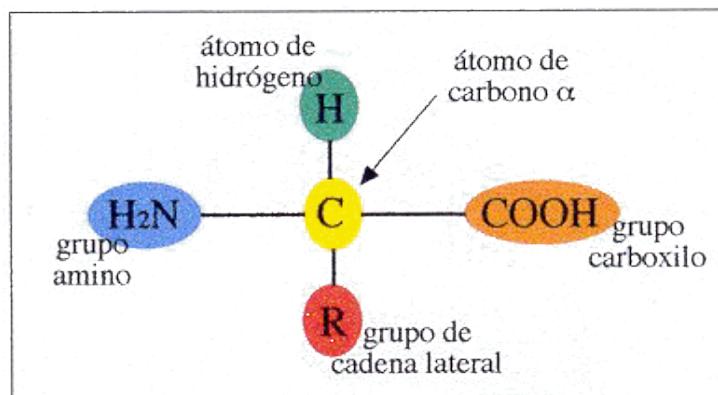
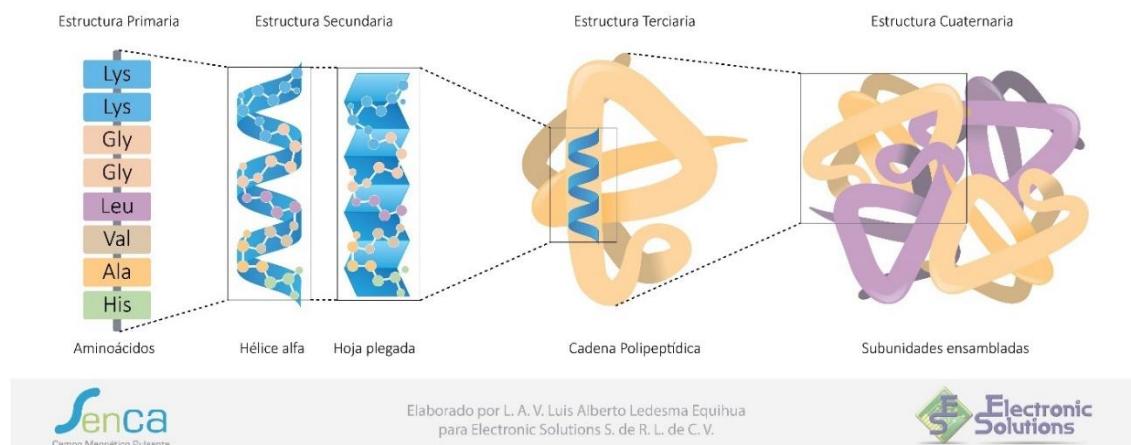


Tabla 7.- Tipos de aminoácidos	
AMINOACIDOS ESENCIALES	AMINOÁCIDOS NO ESENCIALES
Fenilalanina	Ácido aspártico
Isoleucina	Ácido glutámico
Leucina	Alanina
Lisina	Asparagina
Metionina	Cisteína
Treonina	Glicina
Triptófano	Glutamina
Valina	Prolina
Arginina	Serina
Histidina	Tirosina

Las proteínas, interactúan a través de puentes de hidrógeno y forman diversas estructuras en ocasiones muy complejas, de hélice, hoja plegada, que interactúan entre sí, o bien, pueden ser varias cadenas proteínicas interactuando, como vemos en la ilustración 108.

ILUSTRACIÓN 108.- NIVELES DE ORGANIZACIÓN DE LAS PROTEÍNAS. (EQUIHUA, 2018)



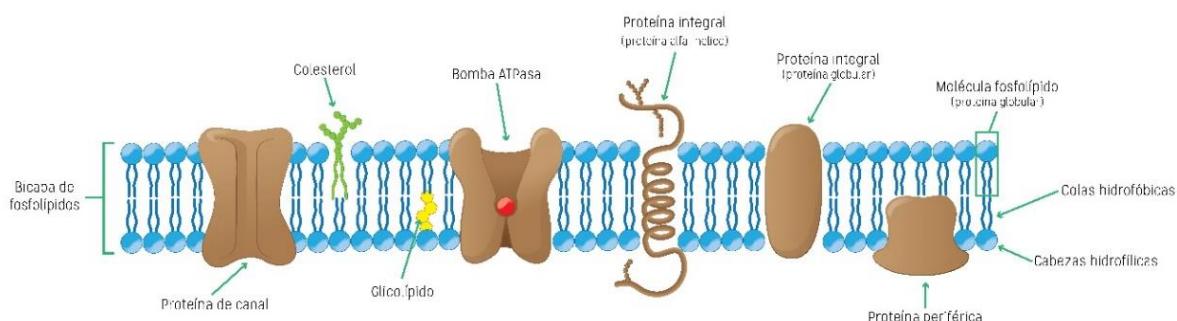
De entre todas las biomoléculas, las proteínas desempeñan un papel fundamental en el organismo. Son esenciales para el crecimiento, gracias a su contenido de nitrógeno, que no está presente en otras moléculas como grasas o hidratos de carbono. También lo son para las síntesis y mantenimiento de diversos tejidos o componentes del cuerpo, como los jugos gástricos, la hemoglobina, las vitaminas, las hormonas y las enzimas (estas últimas actúan como catalizadores biológicos haciendo que aumente la velocidad a la que se producen las reacciones químicas del metabolismo). Asimismo, ayudan a transportar determinados gases a través de la sangre, como el oxígeno y el dióxido de carbono, y funcionan a modo de amortiguadores para mantener el equilibrio ácido-base y la presión osmótica del plasma.

Otras funciones más específicas son, por ejemplo, las de los anticuerpos, un tipo de proteínas que actúan como defensa natural frente a posibles infecciones o agentes externos; el colágeno, cuya función de resistencia lo hace imprescindible en los tejidos de sostén; o la miosina y la actina, dos proteínas musculares que hacen posible el movimiento, entre muchas otras.

Estructura de la membrana celular

La membrana plasmática está constituida por una bicapa lipídica compuesta de tres tipos diferentes de lípidos: fosfolípidos, glucolípidos y esterolos. Se encuentran además proteínas integrales de membrana entre las cuales se encuentran receptores, transportadores, canales iónicos y ATPasas.

ILUSTRACIÓN 109.- MODELO DE MOSAICO FLUIDO. (EQUIHUA, 2018)



A este modelo se le conoce como *modelo de mosaico fluido* (Ilustración 109), propuesto en 1972 por S.J. Singer y Garth Nicolson, realmente se propuso muy recientemente, si consideramos que la teoría celular se formula en 1838, en este modelo se establece que:

1. Es un ambiente altamente hidrofóbico.
2. Las proteínas están integradas a la membrana.
3. Las proteínas pueden atravesarla perpendicularmente al plano de la membrana.

4. Las proteínas pueden estar ancladas por el lado externo o interno.
5. Pueden estar conectadas al citoesqueleto, dándole una conformación a la célula.

Actualmente hay todavía hipótesis, que se tienen que demostrar, sobre elementos estáticos y elementos móviles en la membrana plasmática, mientras tanto es una investigación que continúa.

Funciones de la membrana celular

Entre las funciones de la membrana celular están:

- Dar forma a la célula.
- Es barrera de permeabilidad que le permite a la célula mantener su medio interno estable.
- Permite el paso o transporte de solutos de un lado a otro de la célula, pues regula el intercambio de sustancias entre el interior y el exterior de la célula siguiendo un gradiente de concentración.
- La relaciona con el medio extracelular ya que contiene enzimas, receptores y antígenos que desempeñan un papel central en la interacción de la célula con otras células, así como con las hormonas y otros agentes reguladores, que se encuentran presentes en el líquido extracelular.

Se considera que la evolución de la membrana celular es más primitiva, que la evolución de los ácidos nucleicos, (ADN y ARN), no sorprende que la pérdida o la modificación de la estructura o función de la membrana celular, tenga tanta importancia en el desarrollo de cambios patológicos en la célula, que pueden ser subletales o letales, es decir *los cambios patológicos en la membrana celular, ponen en riesgo la vida de la célula.* (Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998)

Sistemas de transporte en la membrana celular

Los electrolitos

Precisamente, dentro de las moléculas que se transportan a través de la membrana celular tenemos a los electrolitos. Un electrolito es una solución de iones capaz de conducir corriente eléctrica. Los electrolitos participan en los procesos fisiológicos del organismo, manteniendo una sutil y compleja relación entre el medio intracelular y el medio extracelular.

Cada electrolito tiene una concentración característica en el plasma sanguíneo, el líquido intersticial y el líquido celular. Son importantes para regular la osmolaridad o concentración de partículas en el plasma sanguíneo y otros líquidos del organismo. También determinan el nivel de hidratación y el pH de los líquidos corporales. (Pacheco Leal, 2009)

La correcta relación entre los distintos electrólitos es de importancia crítica para el metabolismo del cuerpo y su normal funcionamiento.

El sodio (Na^+) y al potasio (K^+), son los electrolitos más importantes dentro del metabolismo, así que analizaremos sus concentraciones y funcionamiento dentro de una célula sana, para llegar a establecer los cambios que caracterizan a las células y al tejido lesionado.

En la célula animal la concentración de Na^+ externa es unas 14 veces mayor que la interna; en contraste por cada ion de K^+ externo hay 36 dentro de la célula.

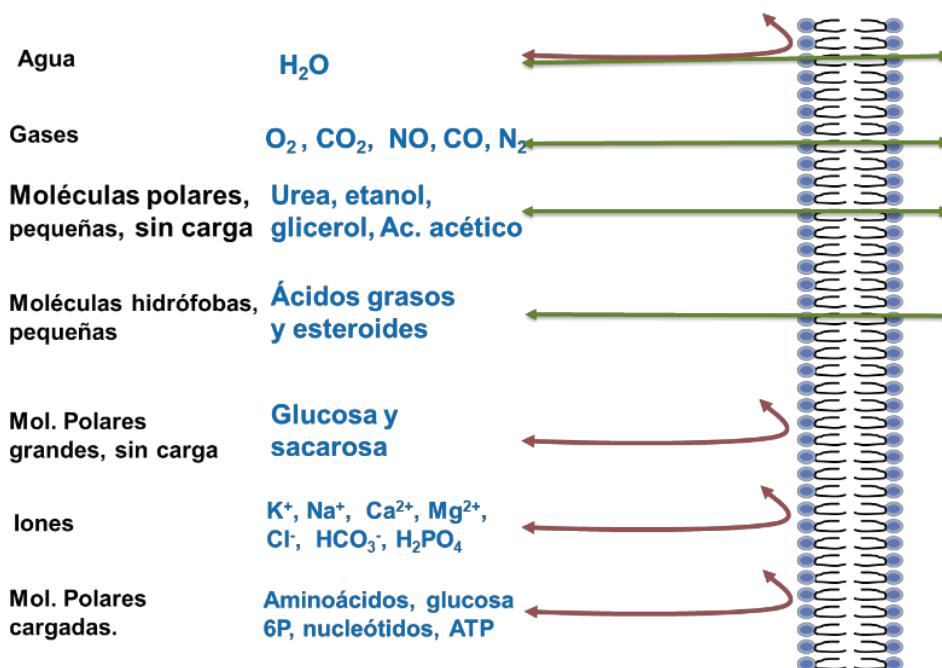
Estas diferencias de concentración y su carga eléctrica impulsan al sodio a entrar y al potasio a salir de la célula a través de los canales acuosos.

Se dice que hay un fuerte potencial electroquímico que impulsa a las dos sustancias a moverse: el sodio hacia dentro y el potasio hacia fuera, de la célula. (Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998)

Permeabilidad de la membrana celular

La estructura de la membrana permite el paso de distintos componentes, con cierta selectividad a diversos solutos, es además altamente hidrofóbica ⁹ en la parte interna, por lo cual es impermeable a moléculas no polares, esto origina que la movilización de agua y solutos ocurra a través de proteínas membranales que forman canales o acarreadores, específicos para el transporte de estas moléculas. La acción de las proteínas se encuentra ligada a gradientes electroquímicos transmembranales, o a reacciones enzimáticas dependientes de ATP. Existe también el transporte de solutos por vías que responden a gradientes de concentración y no requieren de proteínas especializadas (Ilustración 110).

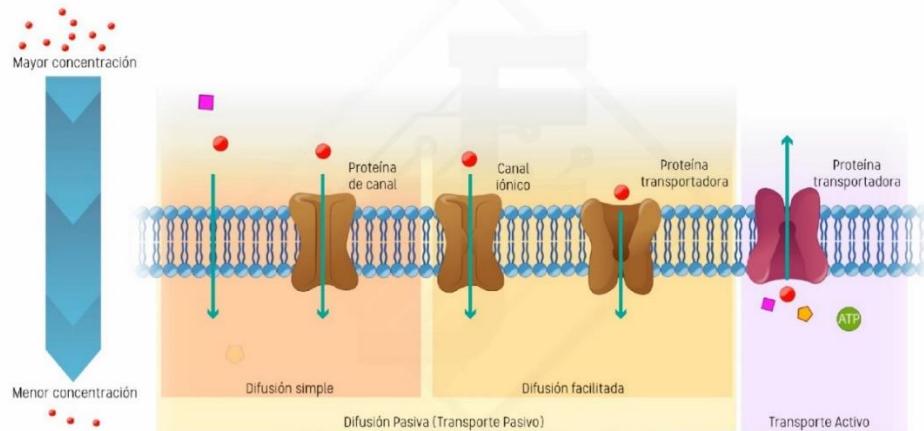
ILUSTRACIÓN 110.- PERMEABILIDAD DE LA MEMBRANA CELULAR



Como vemos, atravesar la membrana celular no es fácil para muchas moléculas, por eso se requieren mecanismos de transporte, desarrollados por la célula para sortear la bicapa lipídica, estos mecanismos podemos dividirlos en dos grupos: la **difusión**, que se da en el sentido del gradiente de concentración, es decir, de la zona de mayor concentración , a la zona de menor concentración y que no requiere el consumo de energía; así atraviesan moléculas como algunos gases, también atraviesan moléculas polares pequeñas, como la urea, el etanol, etc. Moléculas más grandes, no polares, hidrófobas también atraviesan esta bicapa, como los ácidos grasos y los esteroides. El agua es una molécula que no debería atravesar fácilmente la bicapa, pero cuenta con sus propios canales, las acuaporinas. Otras moléculas como los iones requerirán de sus propios canales iónicos, para atravesar la bicapa y harán un trabajo de **acarreo** para transportar moléculas polares grandes, tanto cargadas, como sin carga. El otro mecanismo es el **transporte activo**, que se da en contra del gradiente de concentración y que requiere del consumo de energía en forma de ATP, y de proteínas transportadoras, a continuación, explicamos más detalladamente sus características (Ilustración 111).

⁹ En el contexto fisicoquímico, el término hidrófobo se aplica a aquellas sustancias que son repelidas por el agua o que no se pueden mezclar con ella. Un ejemplo de sustancias hidrófobas son los aceites. Wikipedia

ILUSTRACIÓN 111.- TRANSPORTE A TRAVÉS DE LA MEMBRANA (EQUIHUA, 2018)



Elaborado por L. A. V. Luis Alberto Ledesma Equihua
para Electronic Solutions S. de R. L. de C. V.



Difusión simple o pasiva

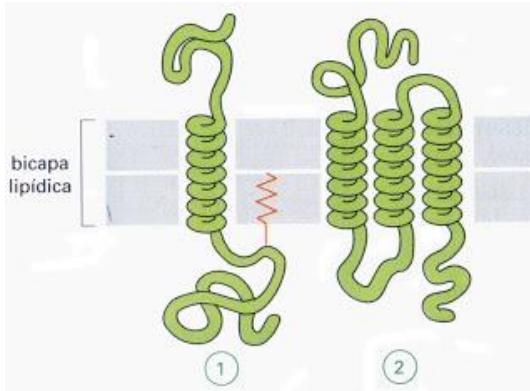
Es un proceso espontáneo en el que partículas de una sustancia se mueven de una región de alta concentración a una de baja concentración, por medio de energía cinética hasta alcanzar el equilibrio.

La permeabilidad de la membrana determinará la tasa en que una sustancia penetrará la membrana pasivamente, en condiciones específicas. La permeabilidad selectiva será conferida por la membrana celular y determinará la difusión de solutos y iones los cuales, con respecto al gradiente eléctrico, podrán generar diferencias de potencial.

Proteínas transportadoras y acarreadores

Para el transporte de algunas moléculas como aminoácidos, azúcares y muchos metabolitos se requiere utilizar proteínas membranales (acarreadores), estas proteínas son péptidos grandes que cruzan la membrana varias veces y tienen estructuras moleculares diversas. El soluto a transportar se une al acarreador y forma un complejo, el acarreador cambia su conformación y libera al soluto del lado opuesto de la membrana. Este transporte puede realizarse por dos procesos: transporte activo y difusión facilitada. Ilustración 112.

ILUSTRACIÓN 112.- PROTEINAS TRANSPORTADORAS. (ALVAREZ, 2009)



Difusión facilitada

En este proceso participan proteínas especializadas que hacen más eficiente el movimiento de solutos a través de la membrana, este proceso puede realizarse con la creación de canales o poros por los cuales pase el soluto o por medio de acarreadores.

A través de acarreadores pueden cruzar la membrana partículas cargadas o polares las cuales serán impulsadas por su gradiente de concentración. Los acarreadores se van ocupando progresivamente hasta no quedar ninguno libre por lo tanto esta difusión llega a ser saturable, al llegar al máximo en el flujo cuando todos los transportadores se encuentran ocupados.

Aunque el transporte es bidireccional la dirección será determinada por el gradiente electroquímico, conforme el transporte transcurre la concentración del soluto tenderá a equilibrarse de ambos lados de la membrana eliminando la difusión neta.

Los transportadores pueden ser inhibidos de manera competitiva por compuestos análogos al soluto que se unen al sitio del acarreador y de manera no competitiva por los que se unen a diferentes sitios de la proteína pero que impiden que se realice el transporte.

Los transportadores pueden dividirse en:

1. **Unitransportadores** los cuales solo transportan una molécula de soluto de un lado al otro de la membrana.
2. Los **transportadores acoplados o cotransportadores** que transportan un soluto y simultáneamente o secuencialmente transportan un segundo soluto, se nombraran:
 - a. **Simportadores:** si el transporte de ambos solutos se da en la misma dirección.
 - b. **Antiportadores, contraportadores o intercambiadores:** si los solutos se transportan en direcciones opuestas.

Transporte Activo

Las membranas celulares tienen una diferencia de potencial eléctrico, siendo el interior más negativo que el exterior, la diferencia favorece la entrada de moléculas con carga positiva y dificulta la salida de cargas negativas. La distribución de iones es desigual y se mantiene por procesos activos con consumo de energía proveniente de ATP. Este tipo de transporte se denomina transporte activo, este puede clasificarse como primario o secundario.

El transporte primario requiere del uso directo de la hidrólisis de ATP, en cada ciclo el transporte de soluto será en contra de su gradiente de concentración y se encontrará mediado por proteínas transportadoras denominadas **bombas o ATPasas**.

TRANSPORTE ACTIVO MEDIADO POR ATPASA Na^+/K^+

Para fines de este libro solo analizaremos la ATPasa Na^+/K^+ , conocida también como *Bomba Na^+/K^+ ATPasa*

La bomba ATPasa Na^+/K^+ utiliza la energía proveniente de la hidrólisis de ATP para bombear de manera activa tres iones de Na^+ hacia el exterior celular y dos iones de K^+ hacia el interior ambos en contra de su gradiente de concentración, es decir crea gradientes de concentración.

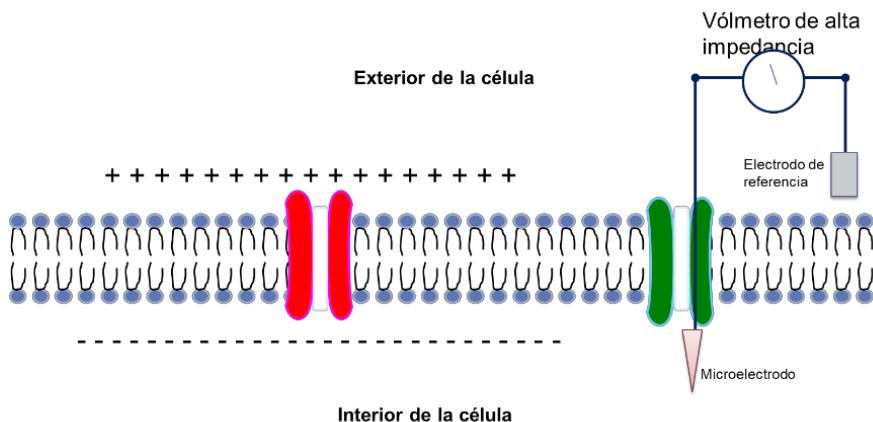
El mecanismo de transporte puede describirse a partir de una serie de pasos:

1. Los tres iones de Na^+ se unen a la ATPasa del lado citoplasmático.
2. Un residuo de fosfato proveniente del ATP se une a un residuo de aspartato de la proteína fosforilándola y cambiando su conformación, de manera que permite la salida de los tres iones de sodio al medio extracelular.
3. Este cambio de conformación hace, a la proteína transportadora ATPasa, afín con los iones de potasio y expone el sitio de unión de K^+ en la parte extracelular y a este sitio se unen dos iones de K^+ del exterior, citoplasma.
4. La ATPasa se desfosforila y cambia su conformación “abriéndose hacia el citoplasma” y permitiendo la liberación del K^+ dentro de la célula.

Potencial de reposo transmembranal

Dada la existencia de iones a ambos lados de la membrana, todas las células poseen una diferencia de potencial eléctrico (V_m), es decir una diferencia de cargas eléctricas. Estando la célula en reposo, se le llama **Potencial de Reposo Transmembranal** y se considera negativo. Actualmente ya se dispone de tecnología, que nos permite saber que toda célula viva sana, está en un estado de desequilibrio dinámico, es decir, entre el citoplasma y el exterior existe una diferencia de potencial eléctrico. (Ilustración 113). El mantenimiento del Potencial de Reposo Transmembranal es un fenómeno activo por parte de la célula, en el cual participan los iones de Na^+ , K^+ y la ATPasa Na^+/K^+ . Esta ATPasa es uno de los mecanismos de mantenimiento del **Potencial de Reposo Transmembranal** ya que es también una “bomba de potasio” que actúa en sentido inverso.

ILUSTRACIÓN 113.- POTENCIAL DE REPOSO TRANSMEMBRANAL



participan los iones de Na^+ , K^+ y la ATPasa Na^+/K^+ .

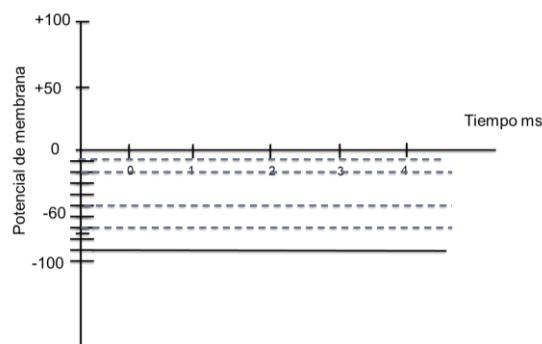
El **Potencial de reposo transmembranal** se ha calculado, en la célula sana, entre -60 y -90 milivoltios (mV), sobre todo, para neuronas, células musculares y fibras del corazón, sin embargo, de acuerdo con Clarence D. Cone (1971), (Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998), la polarización normal de diferentes tejidos va más allá de -60 a -90 mV, de acuerdo con la tabla de la ilustración 114. Esto significa que hay tejidos que en reposo y estando sus células sanas, presentan un potencial de reposo más cercano a cero. Si nosotros graficáramos en reposo estos potenciales, la gráfica se vería como en la ilustración 115, solo líneas horizontales en el tiempo.

ILUSTRACIÓN 114.- POTENCIAL DE REPOSO TRANS-
MEMBRANAL

PARA DIFERENTES TEJIDOS (SODI PALLARES, 1998)

Diáfisis de los huesos largo	- 4 mV
Células Beta del páncreas.....	- 20 mV
Células gástricas.....	- 50 mV
Células hepáticas.....	- 60 mV
Neuronas.....	- 70 mV
Células del músculo esquelético..	- 90 mV
Fibras del corazón.....	- 90 mV

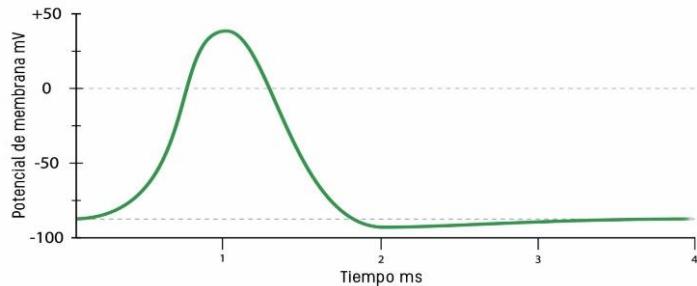
ILUSTRACIÓN 115.- POTENCIAL DE REPOSO TRANS-
MEMBRANAL



El potencial de acción

Un último concepto, sumamente importante, es el *potencial de acción*, también llamado impulso eléctrico. Cuando la célula recibe un estímulo nervioso, para llevar a cabo una acción, entonces el valor de potencial de membrana cambia en el tiempo y lo podemos ver graficado como en la ilustración 116.

ILUSTRACIÓN 116.- POTENCIAL DE ACCIÓN (EQUIHUA, 2018)



Elaborado por L. A. V. Luis Alberto Ledesma Equihua
para Electronic Solutions S. de R. L. de C. V.



Durante el potencial de acción, sabemos que se efectúa un cambio en la permeabilidad de la membrana con respecto a los iones de Na^+ y K^+ , debido a que se activan los canales iónicos de sodio, activados por ligando, lo que da lugar a que se desate el potencial de acción. Expliquemos más ampliamente: el estímulo nervioso llegará a la sinapsis, ahí habrá secreción de un neurotransmisor, la acetilcolina es importante señalar que estímulo nervioso debe ser suficientemente intenso, es decir, debe pasar un umbral de estimulación de los canales iónicos activados por ligando, si este umbral no se alcanza, entonces, la línea regresará a su nivel. Expliquemos cada etapa:

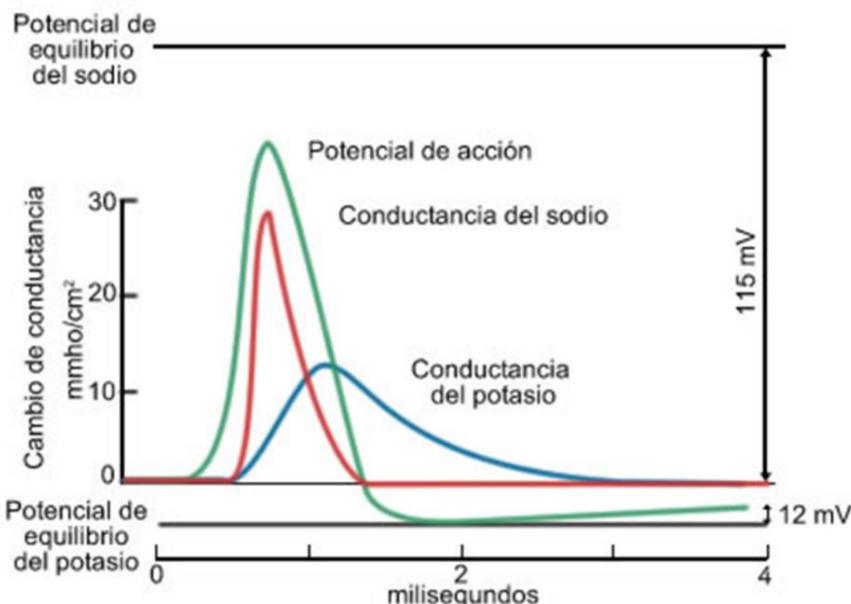
- En el reposo hay entrada y salida de iones Na^+ y K^+ solo por difusión, no a través de canales activados por voltaje.
- En la fase de ascenso el impulso nervioso abrirá canales iónicos para sodio, que dependen del estímulo, si este estímulo es suficientemente intenso, dará pie a que se abran los canales iónicos activados por voltaje, generando una corriente de entrada de sodio a la célula y la membrana se despolarizará llegando hasta los 40 mV, se abren los canales para potasio, pero más lentamente que para sodio (Ilustración 117). En esta fase de despolariza la membrana celular.
- En la fase descendente los canales de sodio se cierran rápidamente, no así los canales de potasio, que se cierran lentamente, dando lugar a la repolarización de la membrana celular.
- Como los canales iónicos de potasio se cierran muy lentamente, se presenta una *fase de hiperpolarización*.
- Para restablecer el nivel del potencial de reposo transmembrana, se activa la bomba de sodio potasio ATPasa, llegando nuevamente a la fase de reposo.

Metabolismo celular

Trabajo del sodio en las células

El movimiento del sodio a través de la membrana celular es muy importante, ya que al moverse el sodio actúa como cotransportador; el sodio se encuentra más concentrado fuera de la membrana celular, por cada sodio dentro de la célula hay 14 fuera de ella, es decir, tiene una relación de 1:14, esto hace que se mueva hacia adentro de la célula, por sus propios canales y solo por difusión, al propagarse hacia adentro de las células el sodio actúa como cotransportador.

**ILUSTRACIÓN 117.- EL POTENCIAL DE ACCIÓN
POR EL CAMBIO EN LAS CONDUCTANCIAS EN LA MEMBRANA CELULAR**



El Na⁺ como simporter:

1. El sodio cotransporta D-Glucosa, cada molécula de azúcar que entra por este medio se acompaña de una a tres moléculas de Na⁺. No se requiere de la insulina ni del gasto de energía (ATP), esto sucede en algunas células, como las del epitelio intestinal, las hexosas entran a la célula mediante el trabajo de acarreo del Na⁺.
2. El Na⁺ también arrastra aminoácidos, lo que ayuda a mantener los niveles de nitrógeno adecuados en la célula.
3. Y arrastra al radical fosfato, tanto como Na⁺-H₂PO₄²⁻ como Na⁺-HPO₄²⁻; Estos fosfatos son requeridos para la síntesis de ATP.

Es importante recalcar que este trabajo no requiere de energía de Gibbs, solo se realiza simplemente por difusión, es un proceso continuo y muy intenso, entran un millón de Na⁺ por segundo por canal. (Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998)

El Na⁺ como antiporter:

El sodio también participa actuando como antiportador, es decir cada vez que el entra Na⁺ se expulsa calcio, agua o hidrógeno, como se explica a continuación:

INTERCAMBIADOR Na⁺-Ca²⁺

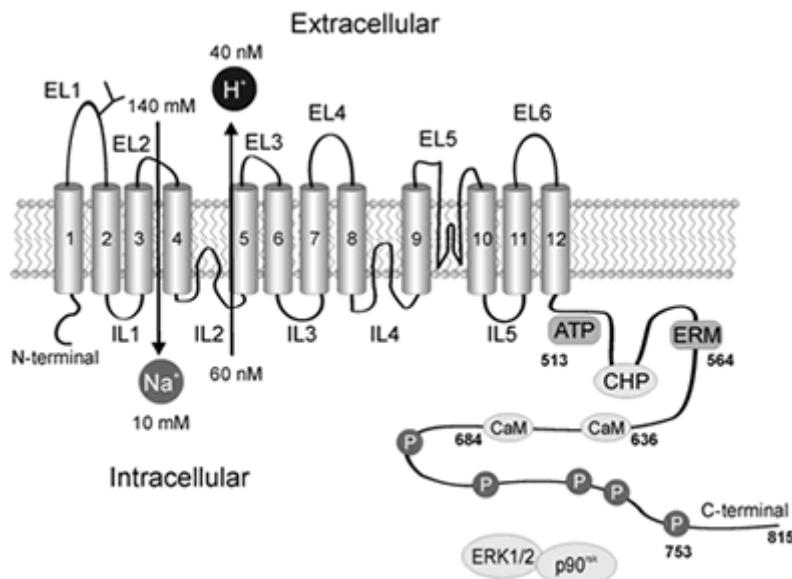
El correcto funcionamiento de las células animales requiere mantener una concentración muy baja de Ca²⁺ intracelular, de eso se encargan las ATPasa Ca²⁺, y el **intercambiador Na⁺-Ca²⁺**, (NCX).

El **intercambiador Na⁺-Ca²⁺**, es un transportador activo secundario, que transporta calcio hacia afuera a expensas del gradiente de concentración del Na⁺. Se conocen tres isoformas de esta proteína, (NCX1, NCX2 Y NCX3), NCX1, se expresa mayormente en músculo cardíaco y cerebro, mientras que las otras dos se expresan en menor cantidad y en otros tejidos. Este intercambiador mete sodios por cada calcio que expulsa. Este intercambiador es dependiente de voltaje, y en consecuencia a un potencial de membrana despolarizado, puede funcionar en sentido inverso, metiendo Ca²⁺ y sacando Na⁺, lo cual sucede normalmente en la fase de meseta del PA cardíaco, y anormalmente en caso de falla metabólica por isquemia. Su velocidad máxima es de 5000 Ca⁺, por segundo. Su actividad está modulada por el pH, el ATP y la concentración de Na⁺ y Ca⁺.

INTERCAMBIADOR $\text{Na}^+ \text{-H}^+$

Las células requieren transportar constantemente equivalentes ácidos hacia el exterior, para mantener casi similar el pH intracelular al del líquido intersticial. El Intercambiador $\text{Na}^+ \text{-H}^+$ depende del Na^+ , no requiere Ca^+ o K^+ , y es independiente de la ATPasa $\text{Na}^+ \text{/K}^+$. Una función entre otras es mantener la concentración citoplás-mática de H^+ , por debajo de su nivel de equilibrio. Ilustración 120.

ILUSTRACIÓN 118.- INTERCAMBIADOR $\text{Na}^+ \text{-H}^+$



Como ya dijimos, el flujo de entrada de sodio a la célula es muy intenso, entran un millón de sodios por segundo por canal, y de acuerdo con Sodi Pallares, solamente en los nódulos de Ranvier hay diez mil canales por micra; también el potasio sale continuamente, ya que hay 36 potasios dentro de la célula por cada potasio adentro. (Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998)

Esto nos lleva al mecanismo necesario para revertir esos procesos y mantener la relación de iones, de sodio y potasio, dentro de los límites requeridos por la célula, para esto la célula utiliza la *Bomba de $\text{Na}^+ \text{/K}^+$ ATPasa*, esta requiere de un ATP para activarse, así que por cada millón de sodios que entran por segundo por canal requerirá 300 mil ATP para expulsarlos, si consideramos que hay 10,000 canales por micra, se requerirán 3 billones de ATP's solo en una micra del nódulo de Ranvier, lo cual es una cantidad de energía de Gibbs nada despreciable. La falta de energía libre, las dietas altamente hipersódicas, así como las infecciones y las intoxicaciones por substancias xenobióticas, causan alteración en la relación de iones, que encadenará una alteración en la salud celular y se verá reflejada en la disminución o perdida de la función celular. A esto le llamaremos *lesión celular*, proceso que detallaremos en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 6.- Lesión Celular

Graciela Mejía

Objetivo

Explicar cómo enferman las células, sus alteraciones metabólicas y el origen de la enfermedad. Examinaremos como se desarrolla la lesión celular, que lleva a la célula disminuir o detener su función, para que el lector comprenda como esta pérdida de la función celular es la causa de la enfermedad.

Definición de Enfermedad

Como sabemos, en reposo las células presentan valores estándar de su potencial de reposo transmembranal, el cual se considera de entre – 90 a – 60 milivolts, sin embargo, de acuerdo con Clarence D. Cone (1971) algunos tejidos presentan un valor de potencial de reposo transmembrana, fuera de ese rango, de acuerdo con (Ilustración 119).

Ilustración 119.- valores del potencial de reposo transmembranal para diferentes tejidos sanos:

(Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998)

Diáfisis de los huesos largo	- 4mV
Células Beta del páncreas.....	- 20 mV
Células gástricas.....	- 50 mV
Células hepáticas.....	- 60 mV
Neuronas.....	- 70 mV
Células del músculo esquelético..	- 90 mV
Fibras del corazón.....	- 90 mV

Haciendo mediciones en tejidos enfermos, Cone encontró ciertas alteraciones y correlaciones de estos valores con ciertos procesos patológicos. Cone establece que:

- Existe una correlación, significativa, entre el nivel de la diferencia de potencial eléctrico transmembranal, en las células somáticas, y la intensidad de su actividad mitótica, y dice “*hay evidencias que indican que la concentración absoluta de Na⁺, ejerce un control definitivo en la síntesis de ADN.*”
- Varios sistemas enzimáticos conocidos son particularmente sensibles a la relación (K⁺) (Na⁺). (Ilustración 120)
- Por último, señalaremos que “En el caso de miosarcoma, el potencial de -90 mV que muestran las células adyacentes al tumor, contrasta con un potencial de solo -10mV de las células sarcomatosas proliferativas”. Podemos decir entonces que las *células cancerosas están permanentemente despolarizadas*.

ILUSTRACIÓN 120.- EJEMPLOS DE SISTEMAS ENZIMÁTICOS SENSIBLES A LA RELACIÓN DE IONES K/NA

Enzima o proceso	Activada por	Inhibida por	Función
Piruvato kinasa	K	Concentraciones altas de Na	cataliza la segunda fosforilación a nivel de substrato en la glucólisis, en la cual hay formación de ATP
Fosfofructo quinasa	K		es la principal enzima reguladora de la glucólisis
Síntesis proteica		No puede proceder con bajas concentraciones de potasio	

El Dr. Demetrio Sodi especifica que: "cuando un tejido se encuentra lesionado, el potencial de reposo transmembranal se encuentra alterado y la concentración de Na⁺ dentro de las células es anormalmente alta. Tener esas variaciones crónicas indica que la célula está enferma, si el potencial sigue variando y llega a cero se produce la muerte celular."2

En otras palabras, en las enfermedades el Potencial de Reposo Transmembranal aparece alterado respecto de la normalidad." (Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998)

De acuerdo con Sodi Pallares (Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998), para determinar cuáles eran las características de las células enfermas se llevaron a cabo estudios como el de Damadian y Cope, donde midieron las concentraciones de Na⁺ y K⁺ en diversos tejidos:

- En tejido sano de: cerebro, músculos, testículos, riñones, bazo e intestino
- En tejido enfermo: meningioma humano, ependimoma, carcinoma mamario, hepatoma de Novikoff, sarcoma, tejido leucémico, carcinosarcoma Walker 256 y en linfoma.

Estos investigadores encontraron que los cambios en el tejido enfermo fueron:

1. Aumento del sodio intracelular de 32.7 mM
2. Disminución promedio del K intracelular (de 13.9 mM llegando a 121.1 mM)
3. Una disminución promedio de la relación K⁺/Na⁺ = 33.3 mM
4. Un aumento promedio del agua intracelular de 0.62 mM

Desarrollo de la lesión celular

Benjamin F. Trump, eminente patólogo, quien fue presidente del Departamento de Patología de la Facultad de Medicina, de la Universidad de Maryland, hasta 1998 (falleció en 2008) (Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998), en su investigación hace énfasis en la semejanza de las alteraciones, progresivas, de lesiones en diversos tejidos, como:

- a) Lesión experimental del infarto al miocardio
- b) Lesión de las células centro lobulares del hígado producidas con tetracloruro de carbono
- c) Lesión del túbulo renal después de la inyección de cloruro de mercurio
- d) Lesión de las células HeLa, que son llamadas células cancerosas eternas. Es un carcinoma cervical y fueron lesionadas con el virus de la polio
- e) Células de tumor ascítico, tratadas con anticuerpo citolítico y complemento. El tumor es maligno, generalmente carcinoma.

De acuerdo con Trump los cambios más significativos a nivel celular en un tejido lesionado, en forma progresiva son:

i. Disminución de la síntesis de ATP, con incremento de la relación ADP/ATP

Esto es, se incrementa la cantidad de ADP en relación con el ATP, así que tendremos menos energía de Gibbs disponible, para revertir daños y llevar a cabo procesos metabólicos.

i. Activación de la glucólisis anaerobia con disminución del pH:

Al haber daño en las células, sobre todo en las mitocondrias, se origina una falta de oxígeno disponible, por esa razón el piruvato en vez de seguir a ciclo de Krebs se va al ciclo de ácido láctico, llevando a la célula a acidificarse más (Ilustración 121).

ILUSTRACIÓN 121.- ACTIVACIÓN DE LA GLUCOLISIS ANAEROBIA, DISMINUYE EL PH INTRACELULAR

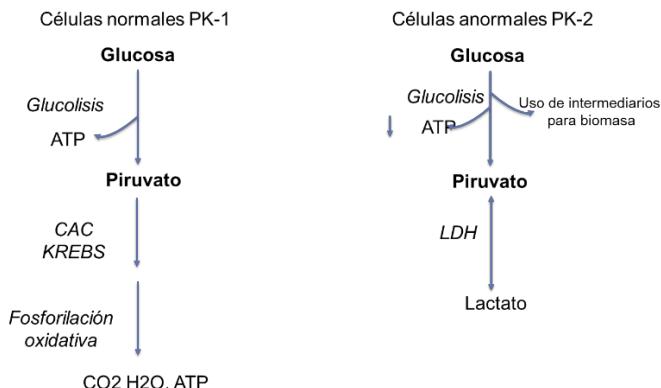
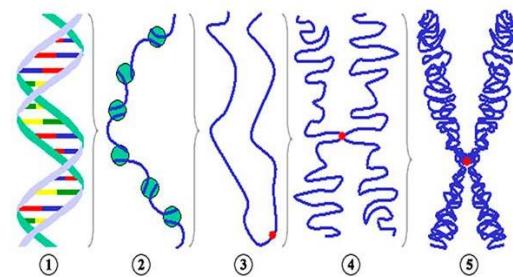


ILUSTRACIÓN 122.- CROMATINA NUCLEAR, DIFERENTES GRADOS DE AGREGACIÓN



Esto se asocia con un amontonamiento de la cromatina nuclear, si tomamos en cuenta las importantes funciones de la **cromatina** veremos que el daño en la célula es importante. La cromatina es la forma en la que se presenta el ADN en el núcleo celular. Es la sustancia de base de los cromosomas eucarióticos, que corresponde a la asociación de ADN, ARN y proteínas, que se encuentran en el núcleo interfásico de las células eucariotas y que constituye el genoma de dichas células. La cromatina proporciona información genética necesaria para la síntesis de ARN, mediante transcripción. Conserva y transmite la información genética contenida en el ADN, duplicándolo. Por lo tanto, comenzamos a tener daños en el ADN. Ilustración 122.

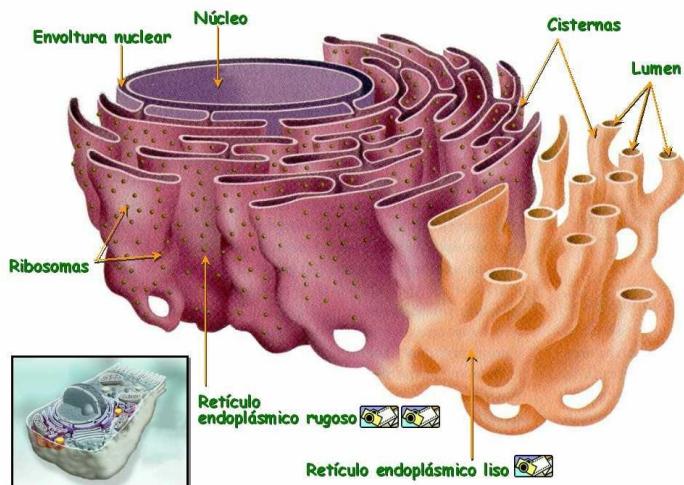
ii. La falta de energía lleva a una pobre actividad de la bomba de sodio, con aumento del sodio y agua intracelulares.

Realmente la **bomba de sodio potasio ATPasa** no se daña, sino que está superada por la cantidad de sodio que está entrando a la célula, además al disminuir la cantidad de ATP disponible, esto limita la actividad de la **bomba de sodio potasio ATPasa**, aumentando la concentración de sodio intracelular, el sodio hace mas lenta su actividad de simportador y cotransportador.

iii. Dilatación de retículo endoplásmico

El **retículo endoplasmático o endoplásmico** es un organelo distribuido por todo el citoplasma de una célula eucariota (Ilustración 123). Se representa como un complejo sistema de membranas dispuestas en forma de sacos aplanados y túbulos que están interconectados entre sí compartiendo el mismo espacio interno. Sus membranas se continúan con la envoltura nuclear y se pueden extender hasta las proximidades de la membrana plasmática. Llega a representar más de la mitad de las membranas de una célula. Interviene en funciones relacionadas con la síntesis proteica, metabolismo de lípidos y algunos esteroides, así como el transporte intracelular.

ILUSTRACIÓN 123.- RETÍCULO ENDOPLÁSMICO

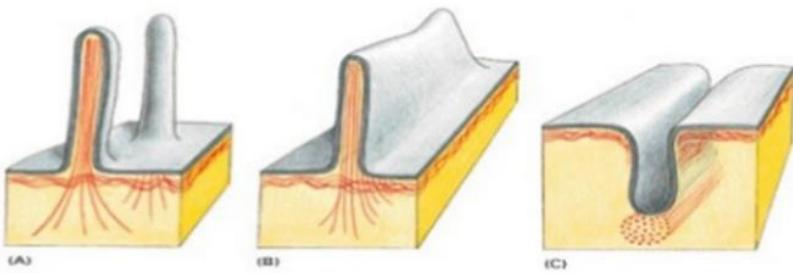
Retículo endoplásmico. Esquema de su Estructura**iv. Contracción de las mitocondrias**

En un principio las mitocondrias se contraen, por aumento de la relación ADP/ATP. Posteriormente el influjo del sodio las hincha. Como ya comentamos, las mitocondrias son la central energética de la célula, donde se obtiene el ATP y donde se lleva a cabo la cadena respiratoria, así que se incrementa la falta de ATP y disminuye el oxígeno disponible.

v. Mayor hinchazón celular

Esto determina que aparezcan protrusiones en la membrana celular, causando ya lesiones no solo a nivel funcional sino en la misma integridad física de la membrana (Ilustración 124), lo cual, como dice Trump, pone el peligro la viabilidad de las células.

ILUSTRACIÓN 124.- PROTUSIONES EN LA MEMBRANA CELULAR

**vi. Aumento de la permeabilidad de la membrana**

Hay influjo de otros iones como el calcio. Al perderse la integridad física de la membrana, esta pierde su selectividad y deja de ser un filtro protector para la célula.

vii. Crecimiento de las mitocondrias

Las mitocondrias alcanzan gran tamaño y las hidrolasas lisosómicas aumentan en su interior, recordemos que las mitocondrias son la central energética de la célula y un daño en ellas redundaría en menor disponibilidad de ATP.

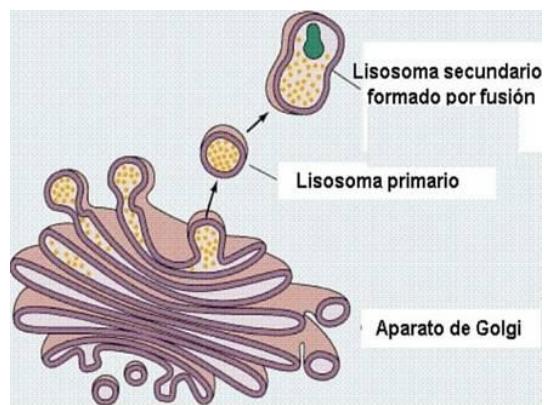
Las hidrolasas ácidas son enzimas hidrolíticas caracterizadas por alcanzar un rendimiento óptimo a un pH ácido, entre 4 y 5. Hasta ahora se conocen aproximadamente 40 hidrolasas ácidas diferentes. Su actividad consiste en la degradación de moléculas complejas en otras más simples mediante la adición de una molécula de agua. Este proceso se denomina hidrolización. Entonces podemos ver que aparecen procesos de hidrolización dentro de las mitocondrias (Drucker Colín, René, 2005).

viii. Las proteínas no se desprenden de los lisosomas antes de ser digeridos.

Los **lisosomas** son organelos relativamente grandes, formados por el Aparato de Golgi, que contienen enzimas hidrolíticas y proteolíticas encargadas de degradar material intracelular de origen externo (heterofagia) o interno (autofagia) que llegan a ellos. Son el aparato digestivo de la célula, sirven para reciclar componentes intracelulares, órganos caducos y proteínas de desecho, también digieren material extracelular, que ha sido atrapado en vesículas fagocíticas o actuando en la destrucción de bacterias atrapadas por el sistema inmunitario. (Drucker Colín, René, 2005)

En este grado de daño, se incrementa la autofagia, es decir la célula se auto consume, destruyendo estructuras útiles para la célula. (Ilustración 125).

ILUSTRACIÓN 125.- LOS LISOSOMAS



ix. El calcio invade las mitocondrias y forma depósitos de fosfato de calcio cerca de la membrana mitocondrial interna.

Literalmente se forman inclusiones cálcicas en las mitocondrias, disminuyendo aún más su capacidad de sintetizar ATP y disminuye aún más la disponibilidad de oxígeno.

x. Otras mitocondrias se llenan de un material denso, floculado.

Este material es originado por proteínas desnaturalizadas. Este material es parecido en textura a la de un huevo cocido. El daño en la célula es ahora irreversible.

xi. La membrana plasmática forma envolturas alrededor de algunos organelos, en especial donde hay invaginaciones.

En este estado del proceso de daño del tejido lesionado, la membrana plasmática ha perdido su integridad física.

xii. Las hidrolasas lisosómicas, atacan y destruyen diversas estructuras celulares. En este nivel de daño se presenta la muerte celular.

Trump llega a conclusiones muy interesantes:

“Una alteración en la integridad o función de la membrana celular, se puede considerar como la pérdida de la más primitiva de las funciones celulares, sin la cual la vida no es viable”.

“La despolarización permanente de las células cancerosas no es privativa de ellas, sino también de las lesiones cardíacas y de las enfermedades en general y a esto le llamamos Síndrome del Tejido Lesionado”.

“Cuando estas ideas son examinadas, es interesante pensar que los cambios en la relación de iones son ellos mismos, factores patogénicos y no meros acompañantes del tejido lesionado”.

“Estas alteraciones en la relación de iones llevan a una pérdida o disminución de la función especializada de las células, lo cual definimos como enfermedad”.

“La conclusión aquí es que cuando las células se enferman, su membrana celular está PERMANENTEMENTE **DESPOLARIZADA**, es decir, *su potencial de reposo transmembranal esta alterado, debido a la variación en la relación de iones de sodio y potasio*”. (Sodi Pallares, Lo que he descubierto del Tejido Canceroso, 1998).

CAPÍTULO 7.- Efectos Biológicos de la Electroestimulación Inducida por CEMP.

Graciela Mejía Astorga

1. Objetivo:

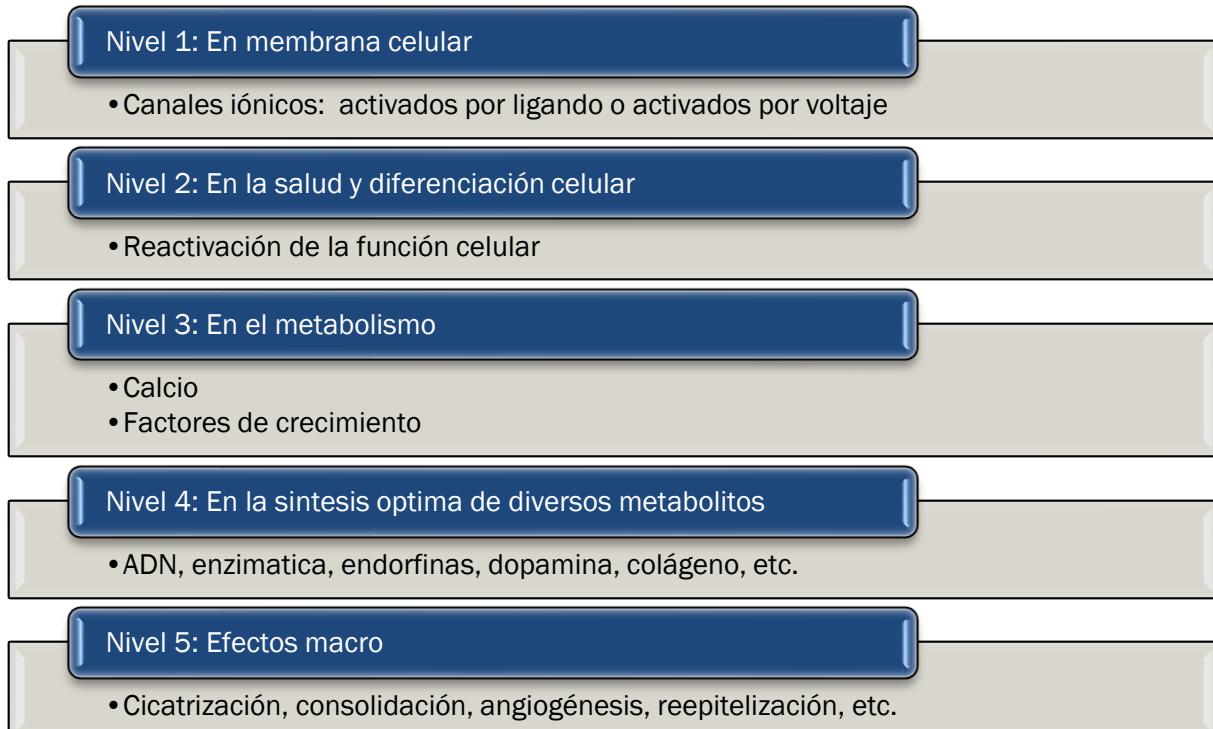
Como ya sabemos, el efecto real de los CEMP sobre el tejido vivo, son las **corrientes farádicas inducidas**, es decir, la corriente eléctrica es el agente físico terapéutico y por eso podemos afirmar, sin lugar a duda, que estamos hablando de una **electroestimulación**, una electroterapia. El objetivo de este capítulo será exponer los cambios a nivel celular, tisular y sistémico, originados por la aplicación de la electroestimulación inducida (**EI**), todo esto basado en los resultados de ensayos clínicos, de alto impacto, estadísticamente significativos, publicados a nivel mundial.

2. Efectos biológicos

Existe gran cantidad de investigación, tanto a nivel celular, en animales, así como en humanos, sobre la aplicación de **electroestimulación inducida (EI)**, por CEMP, en forma terapéutica; en este libro se ha intentado resumir los resultados de muchos estudios, sobre los efectos biológicos de la **EI**, en cinco niveles, yendo desde el nivel celular hasta los efectos macroscópicos evidentes, como se muestra en la ilustración 126.

En la siguiente sección analizaremos cada uno de estos niveles a detalle, como veremos, cada nivel sienta las bases para explicar al siguiente:

ILUSTRACIÓN 126



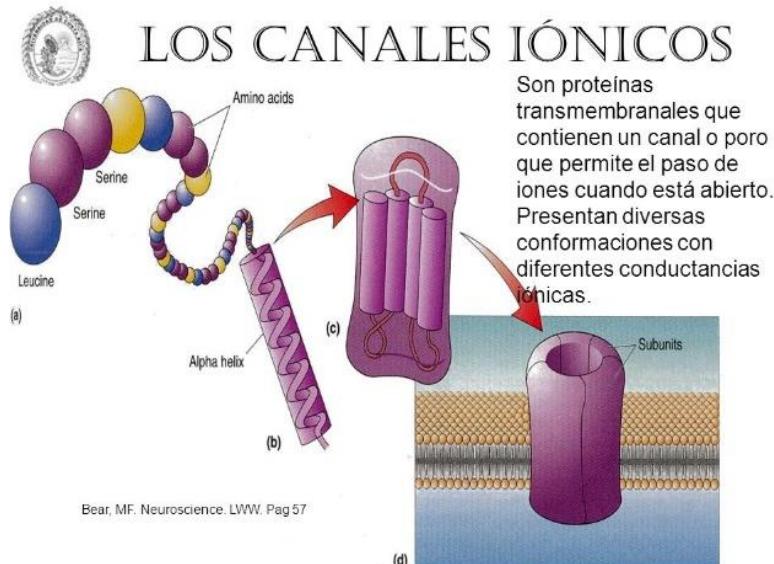
Nivel 1: Efectos de la electroestimulación inducida por CEMP sobre la membrana celular

Como sabemos las **corrientes inducidas**, (CI), también llamadas **corrientes de Eddy**¹⁰ viajarán por todos los tejidos, su intensidad dependerá de la conductividad de cada tejido, la cual a su vez depende de la hidratación de estos, así el tejido nervioso será el mejor conductor y las corrientes viajarán preponderantemente por ellos, las grasas al ser *no conductoras* no permitirán el paso de las **corrientes de inducidas**.

Las **corrientes inducidas** llegarán directamente a la membrana celular, y activarán los canales iónicos. Como ya vimos los canales iónicos son proteínas, transmembranales, (ilustración 127), que permiten y regulan el paso de iones a través de las membranas celulares, a favor de su gradiente de concentración; las consecuencias de ese paso son variadas y van desde cambios de concentración del ion, hasta alteraciones del potencial de la membrana (V_m), (Drucker Colín, René, 2005).

Como menciona Drucker, los canales iónicos en conjunto son responsables de la excitabilidad eléctrica de las células musculares (cardiacas, esqueléticas y lisas), gobiernan los procesos de señalización eléctrica en el sistema nervioso y endocrino. Estos canales están presentes en las membranas de las células animales, vegetales y microorganismos y también en las membranas intracelulares de los organelos.

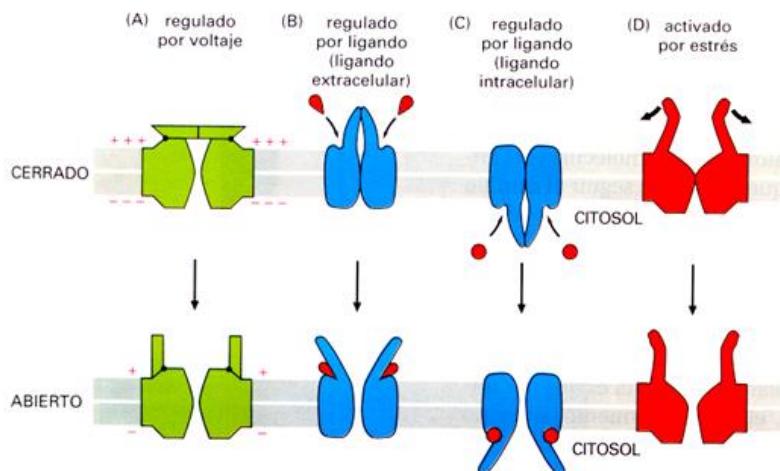
ILUSTRACIÓN 127



Algunos canales son regulados por la unión de un ligando, una molécula señalizadora, se les llama canales **activados por ligando**, otros como son dependientes de los cambios en el potencial de membrana se les llama canales iónicos **activados por voltaje** y los últimos son activados mecánicamente, por estiramiento, se les llama canales iónicos **activados por estrés**, (ilustración 128). Como las **corrientes inducidas**, llegarán preferentemente a los canales iónicos activados por ligando, por lo que es importante conocer su funcionamiento y respuesta a los estímulos eléctricos.

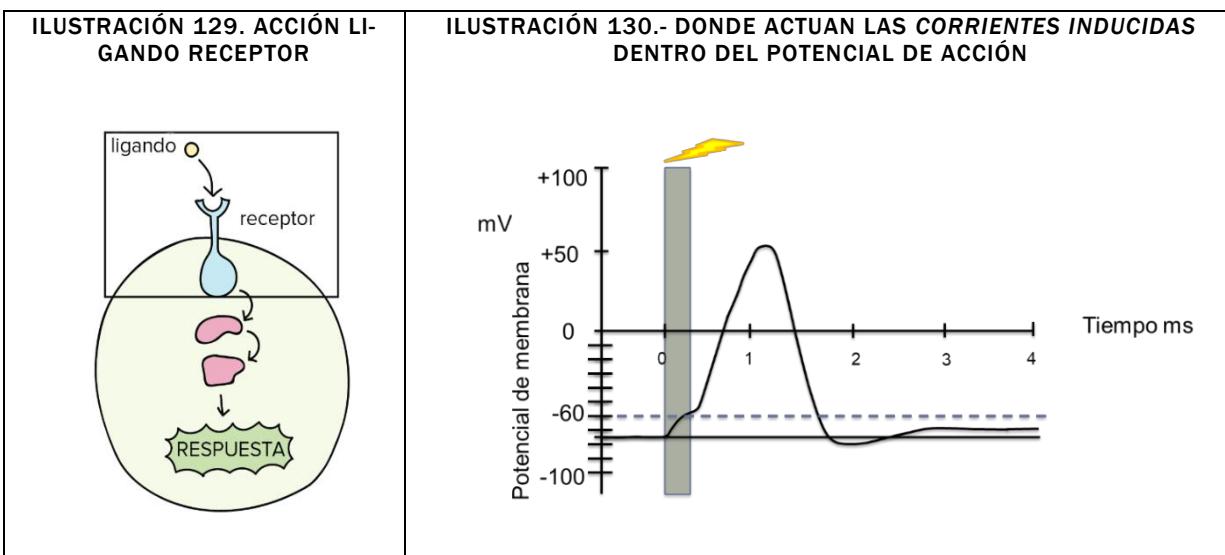
¹⁰ Aquí las llamaremos corrientes inducidas por CEMP.

ILUSTRACIÓN 128.- TIPOS DE CABALES IÓNICOS



La vía de señalización (la comunicación celular), dentro de la célula inicia con un solo suceso clave: la unión de una molécula señalizadora, o **ligando**, a la molécula que lo recibe o **receptor**. Los receptores y ligandos son de muchas formas, un *neurotransmisor*, una *hormona* o *segundos mensajeros*, pero todos tienen algo en común: vienen en pares combinados, en los que un receptor solo reconoce uno o algunos ligandos específicos y un ligando que solo se une a uno o algunos receptores objetivo. La unión del ligando al receptor cambia su forma o actividad, lo que le permite transmitir una señal o producir directamente un cambio dentro de la célula, (ilustración 129).

Precisamente las *corrientes inducidas*, dentro del proceso de potencial de acción va a estimular a estos canales iónicos activados por ligando, podemos ubicarlos dentro de la grafica de potencial de acción al inicio de la curva de despolarización. Ilustración (130)



Si las *corrientes inducidas* (de Eddy), no son lo suficientemente intensas, es decir son sub-umbrales, darán lugar a **potenciales sinápticos** o darán lugar a **oscilaciones intrínsecas**, (ilustración 134).

Si las *corrientes inducidas* son suficientemente intensas, supraumbrales, darán lugar a potenciales de acción, los cuales dependen de los **canales iónicos activados por voltaje**, precisamente por el cambio en el potencial de membrana V_m , o estimularán directamente a los canales iónicos activados por voltaje.

Lo que se detecta, es que estas densidades de corriente permiten que la membrana celular se repolarice, restableciendo y activando el metabolismo celular y llevando, paulatinamente, a las células a sus valores normales de potencial de reposo transmembranal. (Ueno, 2012).

ILUSTRACIÓN 131.- EFECTOS DE LAS CORRIENTES DE EDDY, (INDUCIDAS), DEPENDIENDO DE SU INTENSIDAD



Potenciales Sinápticos y Oscilaciones intrínsecas

Analicemos ahora el caso de que las *corrientes inducidas* no sean suficientemente intensas, comenzando por los potenciales sinápticos.

POTENCIALES SINÁPTICOS

Los potenciales sinápticos, a diferencia de los potenciales de acción, tienen una duración relativamente larga, hasta 15 mls (milisegundos), no son fenómenos de «todo o nada». Estas características permiten la integración sináptica, conocida como **sumación**, de diferentes señales tanto excitatorias (PEPS), como inhibitorias (PIPS), en la célula, de forma que en última instancia podría producirse o evitarse un potencial de acción en el cono axónico. Señales excitatorias se producen en las neuronas postsinápticas como consecuencia de los potenciales sinápticos, pueden presentarse tanto en sinapsis eléctricas como en químicas.

ILUSTRACIÓN 132.- UNIONES GAP (RUIZ, 2007)

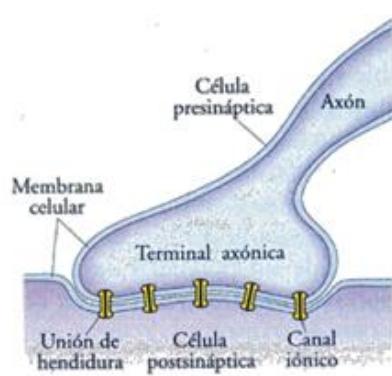
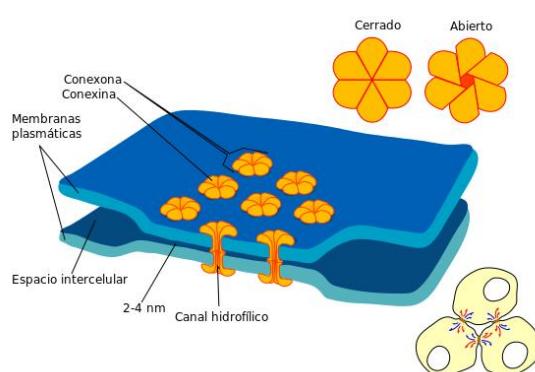


ILUSTRACIÓN 133.- UNIÓN SINÁPTICA ELÉCTRICA (RUIZ, 2007)



Sinapsis eléctricas

En este caso, las membranas pre y postsinápticas están unidas por una unión tipo gap. También llamadas *uniones en hendidura, uniones comunicantes o Nexus*. Una unión gap está formada por dos hemicanales, (oligómeros de 6 proteínas intrínsecas de membrana, llamadas conexinas), insertos donde son contiguas dos células y alineados con precisión, de manera que la luz de uno se continúa con la del otro. Las uniones gap requieren que las membranas contiguas se aproximen, quedando el espacio intersticial entre ellas reducido a 2 nanómetros, (nm), en lugar de los 25 nm habituales. Cuando la conexión se abre, se vuelve posible el paso directo de citoplasma a citoplasma de iones, y también de biomoléculas de hasta 1000 Dalton, y tienen propiedades hidrofílicas. Son estructuras dinámicas que se abren y se cierran. Ilustración 132

La disminución del pH, el aumento de las concentraciones intracelulares de Ca++ y algunos estímulos fisiológicos, como el factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF) y el factor de crecimiento epidérmico (EGF), cierran la unión de comunicación.

Las uniones gap se encuentran prácticamente en todos los tejidos animales, faltando por completo sólo en células móviles, por ello aisladas, como los espermatozoides o los eritrocitos. Las uniones gap son el fundamento de las sinapsis eléctricas, y se encuentran en relación con esta función en el tejido cardíaco, en la musculatura lisa, en la retina y también en el cerebro, en conexiones que afectan a neuronas y células gliales, y también entre astrocitos y células de Purkinje del encéfalo.

La existencia de uniones gap permite el flujo de iones cargados de una célula a la otra, cambiando su potencial de membrana y produciendo un potencial postsináptico, (Ilustración 133), es decir el potencial de acción se transmite directamente, sin necesidad de un mensajero químico en un espacio sináptico. En consecuencia, la transmisión de un impulso nervioso es mucho más rápida y bidireccional.

Es decir, en las uniones gap existen canales de comunicación directa a través del cual fluye la corriente iónica de una célula a otra. Las sinapsis eléctricas se presentan en las neuronas, en el músculo cardíaco, en el liso y en los hepatocitos. (Jesús Merino Pérez, 2011)

Sinapsis químicas

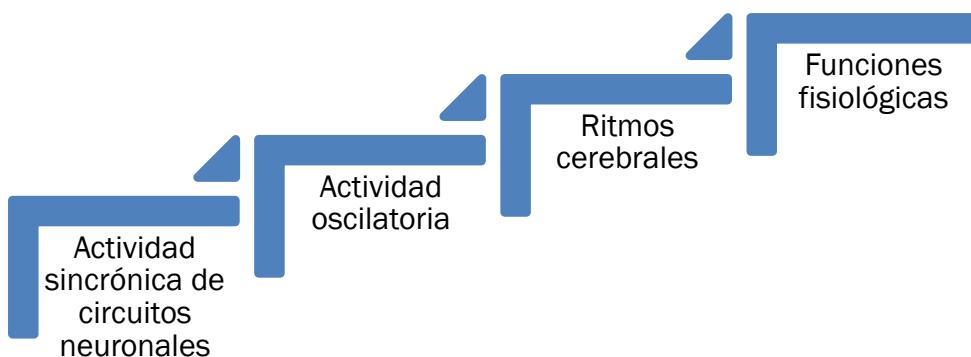
En el caso de sinapsis químicas, la neurona presináptica libera un neurotransmisor específico en la hendidura sináptica que se une a los receptores de la célula postsináptica. Esta unión puede desencadenar respuestas rápidas, si el receptor es ionotrópico, es decir, si está acoplado a la apertura o cierre de canales iónicos; o lentas y prolongadas si es metabotrópico, es decir que realiza esta acción a través de segundos mensajeros.

En función del neurotransmisor empleado, del tipo de receptor y de las concentraciones iónicas, intra y extracelulares, la apertura de los canales produce un flujo de iones hacia dentro o hacia fuera de la célula. En los potenciales postsinápticos excitatorios se produce la entrada de iones cargados positivamente, generalmente Sodio, produciendo una despolarización en la membrana y facilitando el potencial de acción. En los potenciales postsinápticos inhibitorios se produce generalmente la apertura de canales de cloro y de potasio de forma que entra cloro, con carga negativa, y sale potasio, con carga positiva. El efecto sinérgico de este flujo iónico es la hiperpolarización de la célula, dificultando que se produzca un potencial de acción.

Podemos decir que los potenciales sinápticos, son sensibles a la relación de iones intra y extracelulares, causando pequeños cambios de concentración de iones, y como señala Druker “**en ocasiones cambios pequeños de concentración iónica constituyen importantes señales químicas intracelulares**” (Drucker Colín, René, 2005).

OSCILACIONES INTRÍNSECAS

Otro efecto de los estímulos subumbrales son las Oscilaciones Intrínsecas. Una de las características de los circuitos neuronales es que sus componentes, las neuronas, pueden presentar actividad eléctrica sincrónica y gracias a ésta, generar actividad osculatoria. Estas oscilaciones modulan la respuesta celular a las entradas sinápticas, que ocurren en frecuencias funcionalmente relevantes y que, finalmente, producen los diferentes ritmos cerebrales. Ilustración 134.

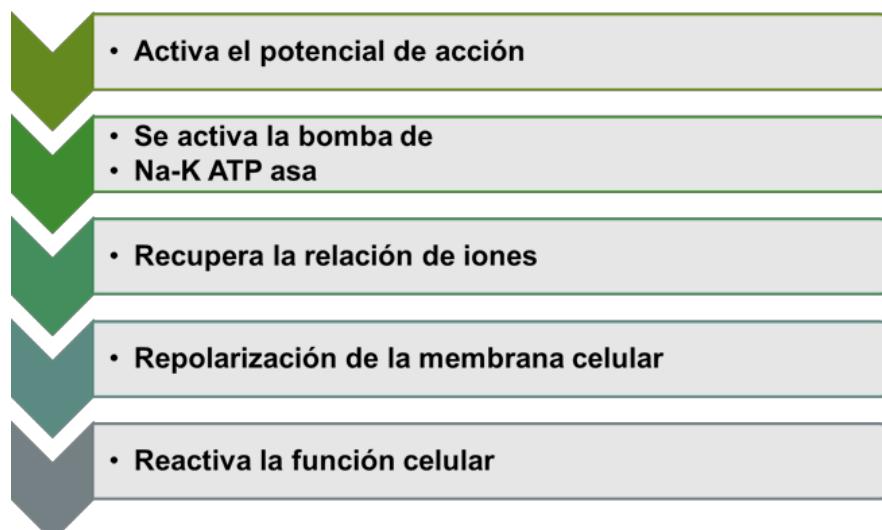
ILUSTRACIÓN 134 OSCILACIONES INTRÍNSECAS

Esta actividad se ha asociado a diversas funciones fisiológicas como el procesamiento de información sensorial, la memoria, el ciclo vigilia-sueño y la conciencia. Si las *corrientes inducidas* no son suficientemente intensas, producirán oscilaciones intrínsecas, podemos decir que esta estimulación pudiera ser relevante y explicaría porque ayuda a los niños con problemas de atención y a los adultos mayores en la retención y la memoria, en problemas de insomnio, etc.

Potenciales de acción

En el caso de que las *corrientes inducidas* sean suficientemente intensas, se producen potenciales de acción. Los canales iónicos regulados por voltaje son los responsables de la generación de potenciales de acción, en las células excitables eléctricamente, (nerviosas, musculares, endocrinas y ovocitos), son sensibles a la acción de los canales iónicos activados por ligando.

Las *corrientes inducidas* generarán el pulso de corriente exógeno, que activará los canales iónicos activados por impulso, (ligando), que serán lo suficientemente intensos, (supraumbrales, ya que tienen una magnitud promedio de 90 micro amperes/ célula, en los modelos SenCa). Se disparará un potencial de acción que activará, en su última fase, la ATPasa $\text{Na}^+ \text{K}^+$, lo cual nos lleva a recuperar la relación de iones, la repolarización de la membrana celular y la reactivación de la función celular. Ilustración 135.

ILUSTRACIÓN 135.- EFECTOS DE LA ESTIMULACIÓN SUPRAUMBRAL

Nivel 2: Efectos de las corrientes inducidas por CEMP en la salud y la diferenciación celular.

El efecto de las *corrientes inducidas* se lleva a cabo en todas las células del cuerpo, aún si la aplicación no se da en todo el cuerpo al mismo tiempo, el efecto es sistémico, por lo tanto, las *corrientes inducidas* tendrán efectos en las células sanas, en las enfermas y en las células indiferenciadas de todos los tejidos corporales.

Ilustración 136

En células sanas:

Si las **células** están **sanas**, recibirán un estímulo metabólico importante, de tal forma que optimizarán su función. Esto se verá reflejado en los diferentes tejidos y órganos, mejorará las funciones de conducción, secreción, revestimiento, contracción, conexión, sostén, etc.

En células lesionadas:

Como sabemos, cuando una célula tiene alterada su relación de iones de sodio y potasio, estará permanentemente despolarizada, y se encuentra lesionada. El sodio estará atrapado dentro de ella y poco a poco la entrada de sodio, por difusión se hará más lenta, por lo tanto, esto afecta el trabajo de cotransportación del sodio tanto para la glucosa, los aminoácidos y el ion fosfato. En el caso de la glucosa, en suero, esta tendrá menos posibilidad de ingresar a la célula, por ejemplo, en los enterocitos del intestino. Esto podría explicar la resistencia a la insulina, en el síndrome metabólico, donde existe obesidad y una inflamación silenciosa, por lo tanto, existen células lesionadas, los enterocitos tendrían ralentizada la entrada de sodio, por lo cual no entra glucosa cotransportada al ritmo necesario, esta se queda en la luz del intestino, que tiene alta vascularización y por lo tanto en la sangre. El trabajo de antitransportación del sodio, también se verá afectado, reteniéndose el calcio, (precipitándose como sulfato de calcio en las mitocondrias), disminuyendo el pH, al no salir protones al ritmo adecuado, por lo cual la célula se acidifica. La bomba de sodio-potasio ATPasa se satura.

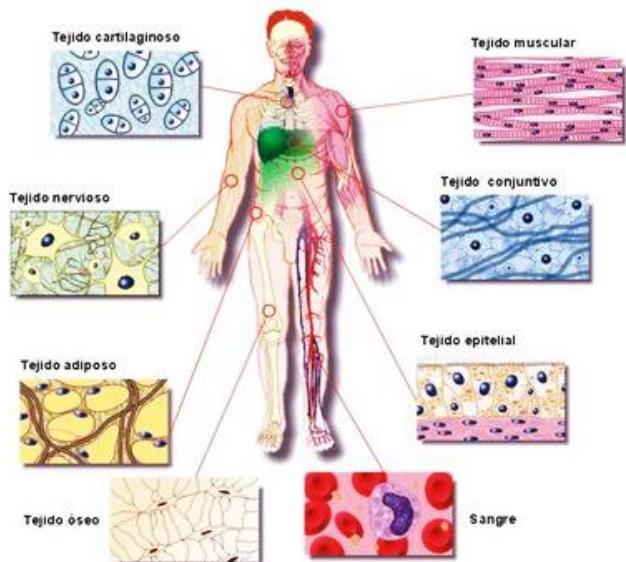
Al aplicar la *electroestimulación inducida* por CEMP, en las células lesionadas, se suministra la energía necesaria para activar la bomba de sodio-potasio ATPasa, esto permitirá que se recupere la relación de iones, llevando a una repolarización de la membrana celular, y como ya se mencionó, esto conduce a reactivar la función celular, disminuyendo o desapareciendo los signos de lesión, es decir, las células dejarán de estar permanentemente despolarizadas. Mejorará la comunicación entre células y en general se reactivará la función celular.

En células indiferenciadas:

En el caso de las **células indiferenciadas**, (células madre que se encuentran en los restos de tejido mesenquimal, que se localiza en todos los órganos), las *corrientes inducidas*, por CEMP, reclutan anticipadamente a estas células, estimulando su diferenciación, migración, maduración, proliferación y función, controlando todo a través de la secreción de factores de crecimiento, efecto que se analizará más adelante.

Sabemos que las células madre tienen la capacidad de diversificarse en distintos tipos celulares, a este proceso se le conoce como *diferenciación*. Este proceso se lleva a cabo durante toda la vida de un individuo, sin embargo, es más notorio durante el desarrollo embrionario.

ILUSTRACIÓN 136.- DIFERENTES TEJIDOS CORPORALES



La **diferenciación** implica, por lo general, la pérdida simultánea de otras posibilidades de desarrollo, así tenemos células totipotenciales, que pueden dar origen a todo tipo de células de un organismo, la célula huevo o cigoto es la célula que tiene la potencialidad máxima de desarrollo en distintos tipos celulares; y células más especializadas que son las que presentan menor capacidad de diferenciarse. Ilustración 127.

En el proceso de diferenciación celular hay períodos críticos que favorecen este proceso, en donde es de vital importancia el contacto con otras células o sus productos. Así, la incitación a la diferenciación celular se da por:

- La interacción entre célula y célula,
- Interacciones entre células y matriz extracelular,
- Difusión de moléculas de señalización como los factores de crecimiento.

Las *corrientes inducidas* por CEMP, estimulan la comunicación celular, sobre todo por el incremento en la secreción de factores de crecimiento, (elementos que controlan la vida celular), por lo tanto, las *corrientes inducidas* estimulan la diferenciación, migración, proliferación y la función de nuestras propias células madre, esto se determinó por los resultados de varios estudios, (Pilla, 2007).

1. El primer estudio reporta que la secreción de TGF- β mRNA (factor de crecimiento transformante beta), se triplica con el estímulo de las *corrientes inducidas* por CEMP, en un modelo óseo de rata.
2. Otro estudio también sugiere que el aumento de la producción del factor de crecimiento TGF- β , por la aplicación de *corrientes inducidas*, puede estar relacionado con la inducción en la diferenciación de cartílago.
3. También se sugiere, en otra investigación, que la población de células más sensibles son las mesenquimales, las cuales son reclutadas anticipadamente, durante la duración del estímulo de CEMP, para aumentar la formación de cartílago. (Ilustración 138).
4. La sobreregulación de TGF- β mRNA con un aumento del 100%, así como del colágeno y la síntesis de osteocalcina, por la aplicación de *corrientes inducidas* por CEMP, ha sido reportada en la línea celular de osteoblastos humanos como MG-63.
5. Las *corrientes inducidas* por CEMP promueven un aumento del 130% del TGF- β en las células de los huesos de las fracturas llamadas no-uniones.

ILUSTRACIÓN 137.- TIPOS DE CÉLULAS MADRE

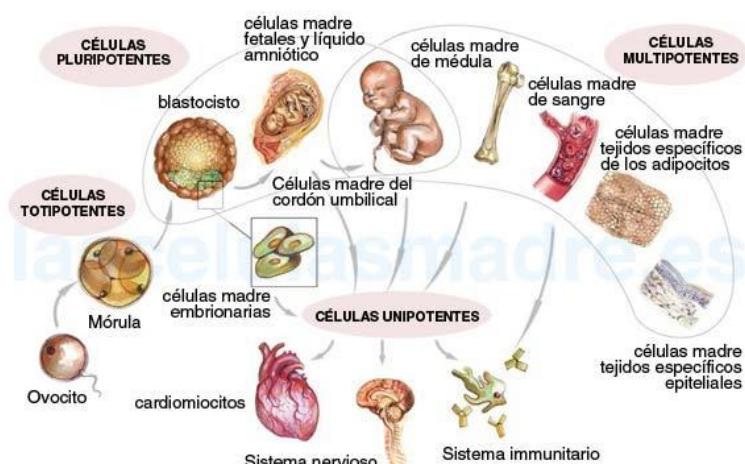


ILUSTRACIÓN 138 (PILLA, 2007)

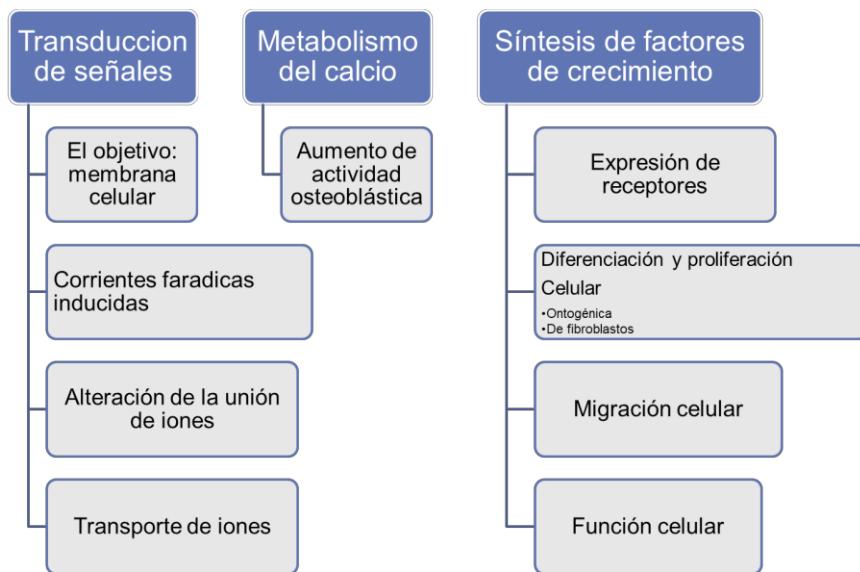


Nivel 3: Efectos de las corrientes inducidas por CEMP sobre el metabolismo

La mayor parte de la investigación básica sobre CEMP, a nivel celular, se ha enfocado en las siguientes áreas: (Ilustración 139)

- La transducción de señales, tema que hemos analizado al principio de este capítulo.
- El metabolismo del calcio
- La síntesis de factores de crecimiento.

ILUSTRACIÓN 139.- ÁREAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE CEMP



Efectos de corrientes inducidas sobre Metabolismo del calcio

Los estudios de Fitzsimmons, sobre la influencia de los CEMP sobre el flujo neto de calcio, demostraron que un campo electromagnético combinado, de baja amplitud, que induzca un gradiente potencial máximo de 10^{-5} V / cm, (unidades de campo eléctrico = coeficiente de inducción), es capaz de aumentar el flujo neto de calcio, en células parecidas a osteoblastos humanos. Tomemos en cuenta que:

$$10^{-5} \text{ V / cm} = 100 \mu\text{V/cm}$$

Es decir, un campo eléctrico de 100 $\mu\text{V/cm}$ (micro volts por centímetro), es ya suficiente para estimular el movimiento de calcio a través de la membrana celular.

El aumento en el flujo de calcio neto fue dependiente de la frecuencia, con un pico en el rango de 15.3-16.3 Hz con un ancho de banda, aparente, de aproximadamente 1 Hz. (Fitzsimmons, Magee, & Baylink, 1994). (Ilustración 140).

ILUSTRACIÓN 140.- (FITZSIMMONS, RYABY, MOHAN, MAGEE, & BAYLINK, 1995)

Los CEMP de frecuencia bajas estimulan el flujo neto del Calcio			
10 $^{-5}$ V/cm	Dependiente de Hz	Frecuencia pico 15.3 a 16.3 HZ	1 Hz de amplitud

Ahora sabemos que la electroestimulación inducida por CEMP, estimula el movimiento del calcio a través de la membrana celular, aumenta la actividad osteoblástica, (la toma de calcio por el hueso), por lo cual es muy útil en el tratamiento de osteoporosis, debido a esto profundizaremos más en este aspecto.

Resultados de la aplicación de las corrientes inducidas por CEMP sobre osteoporosis y mecanismo de remodelación ósea.

Comencemos con el mecanismo de remodelación ósea, esquematizado en la ilustración 144. En el hueso en reposo, (llamada fase *quiescente*), hay una línea de células, superficiales embrionarias, que están carentes de función. La fase de activación consiste en la aparición de unas células derivadas de los monocitos, llamadas pre-osteoclastos que se fijan a la superficie del hueso, desplazando las células de recubrimiento.

Fase de *resorción ósea*: los pre-osteoclastos se transforman en osteoclastos, que comienzan a erosionar el hueso formando una cavidad en la sustancia fundamental, este proceso es acabado por los macrófagos y permite la liberación de los factores de crecimiento contenidos en la matriz, fundamentalmente TGF-β (factor de crecimiento transformante β), PDGF (factor de crecimiento derivado de las plaquetas), IGF-I y II (factor de crecimiento similar a la insulina I y II). (Fernández-Tresguerres-Gil, 2006)

En la fase de *reversión*, desencadenada por proteínas y por los factores de crecimiento liberados, se promueve la reacción de los osteoblastos, los cuales cubren el hueso socavado, formando hueso nuevo, restaurándose la pérdida y volviendo el hueso al reposo y nuevamente inicia la fase de reposo.

Este mecanismo cíclico es vital ya que permite la liberación de fósforo y calcio por el hueso, para mantener el tejido óseo renovado constantemente, dado que es un tejido no vascularizado.

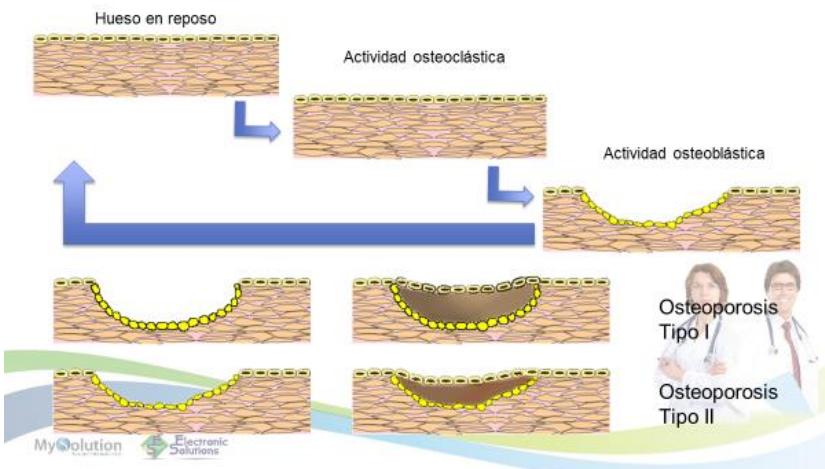


ILUSTRACIÓN 141.- MECANISMO DE REMODELACIÓN ÓSEA

En la misma ilustración podemos ver el proceso de osteoporosis. En la osteoporosis de tipo I, predomina la actividad osteoclástica y la pérdida de hueso es mayor que en condiciones normales: la cavidad producida es más profunda. La actividad osteoblástica es normal y genera hueso nuevo, pero esta producción no es capaz de compensar la pérdida de masa ósea.

En la osteoporosis de tipo II, la actividad osteoclástica es normal, y la pérdida de masa ósea produce una cavidad similar a la que se produce en condiciones normales. Pero, al estar reducida la actividad osteoblástica, la producción de hueso nuevo tampoco es capaz de compensar la pérdida.

Ahora sabemos que los usos terapéuticos de los CEMP en ortopedia, han conducido a aplicaciones clínicas aprobadas por los organismos reguladores de todo el mundo, sabemos que, basándose en estudios clínicos multidisciplinarios aleatorios y prospectivos, la FDA, ha aprobado los CEMP como método seguro y eficaz para el tratamiento de la osteoporosis desde 1979 (Pilla, 2007) y que de hecho la electroestimulación con campos electromagnéticos pulsados, ha estado en uso clínico durante más de treinta años, para pacientes con retraso en la curación de fracturas y de no-uniones.

Precisamente a continuación analizaremos el artículo de Huang Li-qun, He Hong-vhen, y colaboradores, llamado *Actualización Clínica de los Campos Electromagnéticos Pulsantes sobre Osteoporosis*. (Li-qun, 2008). Este artículo nos da mucha información sobre los diferentes efectos, a nivel óseo, de la electroestimulación inducida por CEMP. Su objetivo era comprender los efectos de los campos electromagnéticos pulsados de baja frecuencia en cuatro características:

- a) El dolor crónico óseo.
- b) La densidad mineral ósea (DMO).
- c) La fortaleza ósea.
- d) Sobre los marcadores bioquímicos del metabolismo óseo, en los pacientes de osteoporosis.

Utilizando las palabras clave "Pulsed Electromagnetic Fields" y "osteoporosis", realizaron búsquedas en PubMed, para estudios relacionados que se publican en inglés. También buscaron en la Infraestructura Nacional del Conocimiento de China (CNKI), para los estudios publicados en chino.

Son estudios que abarcan desde enero de 1996 hasta diciembre de 2007.

Consideraron como sus criterios de inclusión:

1. todos los artículos que se refieren a los efectos de baja frecuencia de campos electromagnéticos pulsados sobre la osteoporosis, ya sea en la osteoporosis primaria o secundaria,
2. También los estudios observacionales o estudios controlados aleatoriamente.

Criterios de exclusión:

1. los artículos sobre estudios experimentales sobre la osteoporosis.
2. los estudios repetitivos.
3. los informes de casos.
4. los metaanálisis, que por sí mismo son revisiones.

Revisaron 111 artículos, 101 estaban publicados en chino y 10 en inglés, de ellos se incluyeron 34 en la revisión que cumplían los criterios y 84 fueron descartados, veamos ahora los resultados.

RESULTADOS SOBRE DOLOR CRÓNICO ÓSEO:

En esta revisión se analizó un estudio, llevado a cabo en 2003, donde participaron 126 pacientes, y otro estudio con 849 pacientes, llevado a cabo en 2004; los resultados encontrados fueron los siguientes: los pacientes con osteoporosis tipo I (post menopausia), mostraron mejores efectos que los de tipo II ; alivia significativamente el dolor en pacientes con osteoporosis sin degeneración en articulaciones, especialmente en los pacientes de sexo femenino, de 40 a 60 años de edad, con osteoporosis tipo I. El dolor, de los pacientes con osteoporosis tipo II quienes tenían más de 70 años de edad y sufrían de hiperostosis, se controla lentamente y pueden requerir más de diez tratamientos para reducir el dolor crónico en general.

El segundo estudio no solo tuvo resultados en el alivio del dolor, sino que también hubo los siguientes efectos:

1. Se aligeran calambres en las piernas
2. Mejora el sueño, al disminuir los síntomas insomnio.
3. Disminuye la presión arterial
4. Reduce el número de nicturia
5. Elimina el edema en las extremidades inferiores

Varias observaciones y estudios, controlados aleatoriamente, demostraron que la mayoría de los pacientes con osteoporosis primaria puede obtener alivio del dolor requiriendo de 30-60 días de tratamiento de *corrientes inducidas* por CEMP. Este efecto está significativamente correlacionado con el número de terapias.

RESULTADOS SOBRE LA DENSIDAD MINERAL ÓSEA (DMO)

La densidad mineral ósea es el estándar de oro, para el diagnóstico de osteoporosis y es el mejor indicador cuantitativo para pronosticar el riesgo de fractura osteoporótica. Se revisaron diversos estudios, con diferentes grupos de pacientes, se resumen los resultados en la tabla 8.

TABLA 8 .- RESULTADOS SOBRE DMO

Estudio con 20 pacientes (1990)
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicado al antebrazo no dominante • 10 horas diarias por 12 semanas • 72 Hz (múltiplos) • Aumento significativo densidad mineral ósea • Disminuyó las siguientes 36 semanas • Respuesta similar mas débil, en antebrazo opuesto (cross-talk) <p>Los datos sugieren que PEMFs en todo el cuerpo, pueden tener aplicación clínica en la prevención y tratamiento de la osteoporosis</p>
Estudio con 116 pacientes
<ul style="list-style-type: none"> • aplicado en zona lumbar, cuello del fémur y triángulo de Wards en terapia combinada: • la DMO fue mayor, después de 6 meses en el grupo tratado que en el grupo placebo.

Estudios con terapias combinadas
<ul style="list-style-type: none"> • PEMFs +TE Vs Terapia de estrógenos <ul style="list-style-type: none"> – La DMO fue mayor en el grupo de terapia combinada • PEMFs y Calcitonina Vs Calcitonina <ul style="list-style-type: none"> • La DMO fue mayor en el grupo de terapia combinada • PEMFs Vs Terapia farmacológica integrada <ul style="list-style-type: none"> – Efectos similares – Estudio posterior con 300 pacientes DMO aumento 2-meses después de la terapia
<ul style="list-style-type: none"> • PEMFs mejoran la DMO de cadera y cuello femoral pero no lumbar (18 sujetos) • Los resultados no se mantienen a largo plazo, años • Los efectos pueden durar 3-4 meses • El paciente puede no tomar PEMFs, diariamente • Deben aplicarse sesiones de mantenimiento.

RESULTADOS EN RESISTENCIA ÓSEA

Los estudios se llevan a cabo aplicando ultrasonido, la densidad ósea se determina con la velocidad del sonido, a mayor velocidad, mayor densidad ósea. La medición de la DMO, de este estudio, se hizo en el hueso calcáneo. Los resultados se muestran en la tabla 9.

TABLA 9.- RESULTADOS EN DENSIDAD MINERAL ÓSEA.

Tipo de grupo	Resultados
Grupo 1.- Tratamiento combinado de CEMP y tratamiento farmacológico	La velocidad del sonido fue mayor, el hueso tiene mayor densidad ósea.
Grupo 2.- Sólo tratamiento farmacológico	Menor densidad ósea que el grupo 1.

SOBRE LOS MARCADORES BIOQUÍMICOS DEL METABOLISMO ÓSEO EN LOS PACIENTES CON OSTEOPOROSIS.

Los marcadores bioquímicos son los metabolitos, en el proceso del metabolismo óseo, producidos por los osteoblastos y los osteoclastos, ellos indican la actividad de formación ósea y la resorción ósea.

Los marcadores bioquímicos pueden reflejar la situación de la remodelación ósea, además permiten el diagnóstico temprano de enfermedades metabólicas de los huesos, indicar la pérdida ósea y el riesgo de fracturas, además permiten supervisar los efectos farmacológicos. La osteocalcina sérica y la fosfatasa alcalina son los principales marcadores de la actividad osteoblástica.

Los principales resultados fueron:

- Aumento de osteocalcina en suero, después de 13 a 15 meses de tratamiento.
- Aumento de fosfatasa alcalina sérica total (ALP) en suero.
- Aumento de DMO, por la inhibición de la actividad de resorción ósea.

Xiong y colaboradores, también observaron que los CEMP aumentaron o mantuvieron la densidad mineral ósea, mediante la inhibición de la actividad de resorción ósea. Encontraron que existía hidroxiprolina en algunos tejidos y esto fue influenciado por los alimentos, ellos establecen que el cambio de hidroxiprolina en la orina no puede representar la actividad de resorción ósea. Los experimentos demostraron que los CEMP aumentaron la formación ósea y disminuyeron la resorción ósea, ellos concluyeron, con estudios clínicos adicionales, que se puede confirmar que los efectos de las *corrientes inducidas* por CEMP sobre la formación ósea y la resorción están garantizados.

Por último, tenemos resultados de la aplicación de *corrientes inducidas* por CEMP a pacientes con osteoporosis secundaria, en este caso se trató de pacientes con lesión de médula espinal, con dos años de duración. Después de una lesión medular, cambia rápidamente el metabolismo óseo, resultando en la pérdida ósea, daños en la estructura ósea y aumento del riesgo de fracturas.

Los marcadores del metabolismo óseo se vuelven anormales sólo una semana después, de la lesión de la médula; la DMO y la estructura ósea cambian 2 a 6 semanas después de que la lesión se produjo, principalmente en el hueso esponjoso y es característico de la resorción ósea activa.

En el estudio se aplicaron *corrientes inducidas*, por CEMP, a un grupo de seis pacientes, por seis meses, los resultados son los siguientes:

- a. A los 3 meses la DMO aumentó en las rodillas estimuladas en un 5,1% y disminuyó en las rodillas de control en un 6,6% ($P < 0,05$ y $P < 0,02$, respectivamente).
- b. Seis meses después de suspender la aplicación, la DMO volvió a los valores basales,
- c. A 12 meses de suspender la aplicación, ambas rodillas habían perdido hueso a un ritmo similar.
- d. Además de los resultados benéficos, no se observaron efectos secundarios tóxicos, pues durante la aplicación se monitorearon la función renal, hepática y los niveles séricos de calcio y fósforo

Conclusiones de la aplicación de corrientes inducidas en metabolismo óseo:

Los resultados de estas investigaciones demuestran que las corrientes inducidas pueden retrasar la pérdida de hueso, debido a la activación del proceso osteoblástico, es decir, la toma del calcio por el hueso.

Los efectos de las corrientes inducidas son tanto locales como sistémicos, debido a que los factores de crecimiento tienen efecto endocrino, es decir actúan sobre todo el sistema orgánico.

Para el caso de osteoporosis, al ser un problema degenerativo, más que una enfermedad, el tratamiento no deberá suspenderse, siempre deberá haber una terapia de mantenimiento.

Las corrientes inducidas por CEMP alivian el dolor de la osteoporosis primaria rápida y eficientemente, además estimulan la formación de hueso, aumentan la DMO en osteoporosis primaria y secundaria, incrementan el nivel de los marcadores bioquímicos, es tanto una terapéutica preventiva, así como correctiva.

Resultados sobre la secreción de factores de crecimiento.

Definamos primero qué son los factores de crecimiento: son proteínas, que participan en el crecimiento, el desarrollo y la supervivencia de todos los sistemas de un individuo, son producidas en diversos tipos celulares, estas células tienen una función especializada y además producen ciertos factores de crecimiento. Casi todas las células tienen receptores para los factores de crecimiento, ellos pueden actuar sobre la misma célula que los produjo, *acción autocrina*, sobre las células cercanas, es decir en un ámbito local, *acción paracrína*, o actuar sobre todo el sistema orgánico, *acción endocrina*. (Drucker Colín, René, 2005).

Familias de factores de crecimiento	Factores miembros
Factor de crecimiento epidérmico (EGF)	Factor de crecimiento epidérmico (EGF), factor de crecimiento transformante α (TGF α), anfíregulina, β celulina.
Factor de crecimiento fibroblástico (FGF)	Factor de crecimiento fibroblástico 1 a 9
Insulina	Insulina, factor de crecimiento parecido a la insulina (IGF-1 e IGF-2), relaxina
Factor de crecimiento transformante β (TGF β)	Factores de crecimiento transformantes β 1 a β 5 (TGF β 1 a 5), inhibinas, activinas.
Neurotrofinas (NT)	Factor de crecimiento neuronal (NGF), factor de crecimiento derivado de cerebro (BDNF), neurotrofinas (NT) 3, 4 y 5
Factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF)	PDGF-AA, -AB, -BB

ILUSTRACIÓN 142.- FAMILIAS DE FACTORES DE CRECIMIENTO (DRUCKER COLÍN, RENÉ, 2005)

Los factores de crecimiento pueden tener una o varias de las siguientes funciones: estimular la proliferación y el crecimiento celular, controlar la migración, la supervivencia, la diferenciación y la función celular. Un mismo factor puede estimular la proliferación de un tipo celular e inhibirla en otro, también puede tener funciones estimulantes en cierta concentración e inhibidoras en otras concentraciones.

Como vemos los factores de crecimiento son substancias que **controlan la vida celular y controlan la función celular**, lo cual los hace sumamente importantes para la salud de la célula. Hay una gran cantidad de factores de crecimiento, que se han ido descubriendo a partir del desarrollo de las técnicas de cultivos de células y se pueden agrupar en familias, como se ve en la ilustración 142, (Drucker Colín, René, 2005).

La secreción de algunos de estos factores de crecimiento se ve influida por la acción de las corrientes inducidas, demostrado por estudios específicos sobre el tema. En la tabla 10 resumimos estos factores y los resultados estos resultados de algunos de estos estudios los presentaremos después de la tabla resumen y explicaremos el efecto macro sobre los tejidos.

TABLA 10.- FACTORES DE CRECIMIENTO INFLUENCIADOS POR LAS CORRIENTES INDUCIDAS POR CEMP.

TABLA RESUMEN.

Factor	Nombre	Origen Principal	Actividad Primaria	Comentarios
PDGF	Factor de crecimiento derivado de plaquetas	Plaquetas, células endoteliales, placenta	Promueve la proliferación de tejido conectivo, de células gliales y de la musculatura lisa	dos cadenas proteicas diferentes forman 3 formas distintas de dímeros; AA, AB, BB
EGF	Factor de crecimiento epidérmico	Glándula submaxilar, glándula de Brunners	Promueve la proliferación de células mesenquimatosas, gliales y epiteliales	

Factor	Nombre	Origen Principal	Actividad Primaria	Comentarios
TGF-α	Factor de crecimiento transformante alfa	Común en células transformadas	Puede ser importante para la reparación normal de heridas	Se relaciona con el EGF
FGF	Factor de crecimiento de fibroblastos.	Amplio número de células; la proteína está asociada con la MEC	Promueve la proliferación de muchas células; inhibe algunas células madre; induce la formación de mesodermo en embriones	Por lo menos 18 miembros, 5 receptores diferentes
NGF	Factor de crecimiento nervioso	Los mastocitos, eosinófilos, células del estroma de la médula ósea, los queratinocitos	Promueve el crecimiento y la sobrevida de neuronas y su desarrollo en el periodo embrionario.	Miembro de una familia de proteínas denominada neurotrofinas que promueven la proliferación de y la supervivencia de las neuronas, los receptores de neurotrofinas son una clase de proteínas relacionadas con identificado por primera vez como proto-oncogenes: TrkA ("trackA"), TrkB, TrkC
EPO	Eritropoyetina	riñones	promueve la proliferación y diferenciación de eritrocitos y es el principal agente estimulador de la eritropoyesis natural.	
TGF-β	Factor de crecimiento transformante beta	Células Th1activadas (células ayudadoras) y células naturales asesinas (NK)	Antinflamatorio, (suprime la producción de citocinas y la expresión de MHC II), promueve la reparación de heridas, inhibe la proliferación de macrófagos y linfocitos	Por lo menos 100 miembros familiares diferentes
IGF-1	Factor de crecimiento parecido a la insulina tipo I	principalmente el hígado	promueve la proliferación de muchos tipos celulares	Relacionado con IGF-2 y la proinsulina, también llamado Somatomedina C
IGF-2	Factor de crecimiento parecido a la insulina tipo II	una variedad de células	promueve la proliferación de muchos tipos de células primariamente de origen fetal	Se relaciona con IGF-1 y proinsulina
HIF-1α	Factor inducible por hipoxia, uno alfa		Factor inducible de hipoxia, es el principal regulador de la transcripción de la respuesta celular a la hipoxia.	
ROS	Especies reactivas de oxígenos	Se forman naturalmente como subproducto del metabolismo del oxígeno.	Papel importante en la señalización celular	En situaciones de estrés ambiental sus niveles pueden aumentar en gran medida, lo cual resulta en daños significativos a las estructuras celulares. Esto lleva en una situación conocida como estrés oxidativo.

Factor	Nombre	Origen Principal	Actividad Primaria	Comentarios
TNF-α	factor de necrosis tumoral α	Sistema inmunitario	La liberación de TNF-α produce activación local del endotelio vascular, liberación de óxido nítrico con vasodilatación y aumento de la permeabilidad vascular, que conduce al reclutamiento de las células inflamatorias, inmunoglobulinas y complemento, provocando la activación de los linfocitos T y B. También aumenta la activación y adhesión plaquetarias, y probablemente la oclusión vascular sea la causa de la necrosis tumoral, de donde proviene su nombre.	Aunque localmente los efectos del TNF-α son beneficiosos, cuando el TNF actúa por todo el organismo tales efectos son desastrosos, provocando síndromes como el shock séptico y la coagulación intravascular diseminada.
IL-1β	Interleucina	Macrófagos	Gran capacidad proinflamatoria	Es la forma predominante en el espacio extracelular
IL-6	Interleucina	Macrófagos, monocitos, fibroblastos y células endoteliales.	Interviene regulando la respuesta inmuno- lógica, en la hematopoyesis y en las reacciones de fase agudas	
IL-8	Interleucina		Factor quimiotáctico para los leucocitos, fundamentalmente neutrófilos. Estimulan la fagocitosis. Es una quimiocina.	Las quimiocinas intervienen en la inflamación, induciendo la quimiotaxis y la activación celular de numerosas células que intervienen en los procesos inflamatorios.
MCP-1	Proteína quimo-atra- yente de monocitos 1	Diversos tipos celulares	Función quimiotáctica a monocitos.	
NF-κB	factor de transcripción nuclear kappa B		Regulación de la respuesta inmune debida a infecciones, está implicado en procesos de plasticidad sináptica y memoria.	Su regulación defectuosa se relaciona con el cáncer, enfermedades inflamatorias y autoinmunes
iNOS	Oxido nítrica sintetasa inducible		Papel importante en la patogenia de la inflamación	
RANTES	Ligando 5 de quimiocina, también se conoce como CCL5		Es quimiotáctico para células T, eosinófilos y basófilos, y desempeña un papel activo en el reclutamiento de leucocitos en sitios inflamatorios.	se expresa en más de 100 enfermedades humanas
MIP-1α	Ligando 3 de quimiocina, (CCL3)		Es una citoquina que participa en el estado inflamatorio agudo en el reclutamiento y activación de leucocitos polimorfonucleares	
eNOS				
VEGF-2	FC endotelial vascular		Estimula la presencia de células endoteliales y favorece la angiogénesis.	

Factor	Nombre	Origen Principal	Actividad Primaria	Comentarios
AP-1	Factor de transcripción		Regulación de la expresión de genes relacionados con la respuesta a diversos estímulos, como citoquinas, factores de crecimiento, estrés e infecciones virales o bacterianas. AP-1 controla, de este modo, diversos procesos celulares incluyendo diferenciación, proliferación y apoptosis.	
COX-2	Ciclooxygenasa		La enzima clave en la síntesis de las prostaglandinas, a través de la oxidación del ácido araquidónico. Las prostaglandinas realizan tanto funciones relacionadas con la homeostasis de diversos órganos como con el dolor, la inflamación y el desarrollo de neoplasias.	
FGF2	FC de Fibroblastos		Aumenta el índice de actividad mitótica, facilitando la proliferación de varias células precursoras como condroblastos, colágenoblastos, osteoblastos, que forman tejido de unión, fibroso y soporte, del cuerpo	
PKA	Proteína quinasa dependiente de cAMP		Tiene una infinidad de funciones en la célula, incluyendo la regulación del metabolismo del glucógeno, glucosa y lípidos.	Regula la supervivencia celular y la apoptosis, en respuesta a señales metabólicas y de crecimiento.
PGE ₂	Prostaglandina	SNC	Tiene un papel coadyuvante en la adquisición de la memoria. También tiene un efecto regulador del sueño.	(Rivas-Arcibia, 2019)

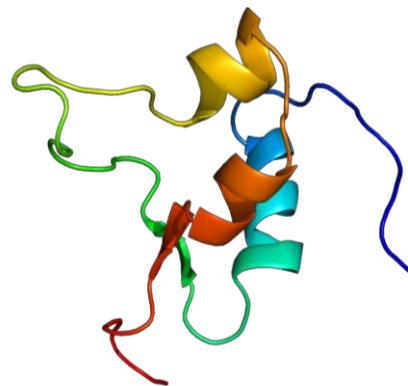
SOBRE EL FACTOR DE CRECIMIENTO SIMILAR A LA INSULINA IGF-I Y IGF-II

Es producido en el hígado, en la placenta, en los mioblastos (que son células que dan lugar a las células musculares), en los fibroblastos, en los ovarios, y en la microvasculatura del cerebro. Su función es estimular: la proliferación celular (como la de las células óseas), la incorporación de sulfatos en condrocitos, la diferenciación de las células en la granulosa ovárica, la síntesis de progesterona, la síntesis de andrógenos. Además, tiene efectos metabólicos parecidos a la insulina. Juega un papel importante en el crecimiento infantil (los mayores niveles se producen en la pubertad, los menores en la infancia y la vejez), en el adulto continúa teniendo efectos anabolizantes. (Ilustración 143).

En el estudio de Fitzsimmons, (Fitzsimmons, Ryaby, Mohan, Magee, & Baylink, 1995), con un aplicación de 10 minutos de CEMP sobre células humanas, de osteosarcoma TE-85, además del aumento de la secreción del factor de crecimiento, de cinco veces, se incrementó la síntesis de ADN, índice de la proliferación celular, durante las siguientes 24 horas.

Otro estudio de Ryaby y colaboradores demuestran que la exposición a corto plazo a CEMP puede estimular la producción de IGF, de los osteoblastos ubicados en el callo de la fractura. Se observó también un **aumento de los receptores** de IGF-II en osteoblastos (Ryaby, y otros, 1994).

ILUSTRACIÓN 143.- FACTOR DE CRECIMIENTO SIMILAR A LA INSULINA II



Estos resultados indican que los niveles de un receptor en la membrana pueden ser alterados por exposición a corto plazo a las *corrientes inducidas* por CEMP y sugieren un posible mecanismo bioquímico para los efectos de las *corrientes inducidas* en la formación y la remodelación de hueso. (Fitzsimmons, Ryaby, Magee, & Baylink, 1995), este resultado es una excelente línea de investigación, ya que existen enfermedades crónicas, originadas precisamente en el daño en los receptores a neurotransmisores, como es el caso de la miastenia gravis, enfermedad autoinmune.

SOBRE LA SECRECIÓN DEL FACTOR DE CRECIMIENTO TRANSFORMANTE BETA TGF-*B*

Este factor de crecimiento tiene diversas funciones en el desarrollo y en la homeostasis del adulto, (Drucker Colín, René, 2005):

Promueve el crecimiento de células que no provienen de tumores

Inhibe la proliferación de células del:

- Endotelio, que es el tejido, que recubre todos los vasos sanguíneos, incluido el corazón donde se le conoce como endocardio.
- Epitelio: Capa delgada de tejido que cubre los órganos, las glándulas y otras estructuras dentro del cuerpo.
- Hematopoyéticas

Regula la diferenciación de células de los tejidos del:

- Sistema inmunitario
- Sistema Nervioso
- Tejido mesenquimatoso: Se refiere a las células que se desarrollan en el tejido conjuntivo, los vasos sanguíneos y el tejido linfático.
- Tejido epitelial

Modula la respuesta apoptótica de las células, que es la muerte celular programada

Revisamos varios estudios, (Pilla, 2007), que registran el incremento en la secreción del TGF-*β* y sus resultados son los siguientes:

1. El primer estudio sugiere que el aumento de la producción del factor de crecimiento, debido a las *corrientes inducidas*, puede estar relacionado con la activación de la diferenciación de cartílago.
2. También se sugiere, en otra investigación, que la población de células más sensibles son las mesenquimales, las cuales son reclutadas anticipadamente, durante la duración del estímulo de *corrientes inducidas*, para aumentar la formación de cartílago.
3. La sobre regulación de TGF-*β* mRNA sobre la síntesis de colágeno y osteocalcina, indican incrementos hasta del 100%, esto se reporta en la línea celular de osteoblastos humanos como la MG-63.
4. Las *corrientes inducidas*, por CEMP estimulan un incremento del 130% del TGF-*β*1, en las células de no-uniones.

El resultado de este estudio es muy importante, ya que, al ser el tejido mesenquimal susceptible a la estimulación de las *corrientes inducidas*, por CEMP, acelerando la diferenciación de las células “madre”, podemos concluir que este es un tratamiento de “células madre”, con nuestras propias células.

SOBRE FACTORES DE CRECIMIENTO QUE ACTÚAN EN HIPOXIA E INFLAMACIÓN

En la investigación titulada, *La exposición a campos electromagnéticos pulsados reduce la hipoxia y el daño por inflamación, en células similares a las neuronas y microgliales*, (Vincenzi F, 2017), los resultados son los siguientes:

Los efectos de las *corrientes inducidas* por CEMP, de bajas frecuencias, se investigaron utilizando diferentes líneas celulares, derivadas de células de tipo neuronal y células microgliales.

En particular, el objetivo principal fue evaluar el efecto de la exposición a CEMP en lesiones inducidas por inflamación e hipoxia en:

- a. Dos modelos de células neuronales diferentes:
 - i. Las células SH-SY5Y, derivadas de neuroblastoma humano.
 - ii. Las células PC12 de feocromocitoma de rata.
- b. En células microgliales N9.

Los resultados se presentan en la tabla 11.

TABLA 11.- EFECTOS DE LOS CEMP EN HIPOXIA E INFLAMACIÓN

Tipo de células	Células específicas	Tipo de ensayo	Condicio-nes	Efectos de los CEMP
Neuro-nales	PC, SH-SY5Y	Vivo/muerto y de apoptosis	Hipoxia de 2 a 48 horas	Contrarrestó el daño por hipoxia redujo significativamente la muerte celular y la apoptosis Inhibieron la activación del factor de crecimiento HIF-1 α ⁽¹⁾
	PC, SH-SY5Y	Hipoxia	24 a 48 horas de incubación	Disminuyó la generación de ROS ⁽²⁾
Micro-gliares	N9	Hipoxia	24 a 48 horas de incubación	Disminuyó la generación de ROS
Micro-gliares	N9	Estimulación con diferentes concentraciones de LPS ⁽³⁾	24 a 48 horas de incubación	Redujeron las citoquinas proinflamatorias ⁽⁴⁾

Notas de la tabla 11

⁽¹⁾ HIF-1 α : Factor inducible de hipoxia, es el principal regulador de la transcripción de la respuesta celular a la hipoxia.

⁽²⁾ ROS son especies reactivas de oxígeno, se investigaron considerando su papel clave en la lesión isquémica

⁽³⁾ La LPS es una endotoxina, estimula el sistema inmune, con un potente efecto tóxico.

⁽⁴⁾ Citoquinas proinflamatorias: factor de necrosis tumoral α (TNF- α), la interleucina (IL) -1 β , la IL-6 y IL-8

Estos resultados muestran un efecto protector de las *corrientes inducidas* por CEMP sobre el daño por hipoxia, en células similares a las neuronas y un efecto antiinflamatorio en las células microgliales, lo que sugiere que los CEMP podrían representar un posible enfoque terapéutico en los trastornos isquémicos cerebrales. (Vincenzi F, 2017).

SOBRE LOS FACTORES DE CRECIMIENTO QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE REPARACIÓN DE TEJIDOS.

La cicatrización de heridas es un proceso ordenado, integrado y dinámico, que se produce como una respuesta celular a una lesión, e implica la activación de los componentes celulares de la piel (plaquetas, macrófagos, fibroblastos, células endoteliales, y queratinocitos). Muchos factores de crecimiento y citocinas, liberados por estas células, coordinan y mantienen el proceso de curación. Cuando aparece la interrupción de la piel, el cuerpo evita la pérdida de sangre y una mayor exposición a los patógenos, mediante la formación de un coágulo rico en fibrina. Poco después, los factores de crecimiento y citocinas liberadas, por degranulación de plaquetas, actúan en conjunto para atraer leucocitos inflamatorios, que limpian la herida de la contaminación bacteriana y realizan más funciones, efectoras, que orquestan el proceso de curación. La interacción entre los factores implicados en la migración celular, la adhesión, la proliferación, la interacción de la matriz celular y la señalización por contacto directo célula-célula, es la clave para la reorganización de la arquitectura y la restauración tisular guiada, después de una lesión. Las fases que intervienen en la cascada de curación de la herida - inflamatoria, proliferativa y de remodelación - se superponen parcialmente

Dentro del complejo proceso de reparación de tejidos, hay una investigación que determinó cuales factores de crecimiento, que participan en este proceso de reparación, se vieron influenciados por las *corrientes inducidas* por CEMP. Analicemos ahora el proceso de reparación de tejidos, en el cual se presentan tres fases, puede verse este proceso esquematizado en la tabla 12.

FASE INFLAMATORIA:

Los monocitos se diferencian en macrófagos infiltrantes que ingieren y eliminan los desechos dañinos.

- a) Células involucradas: en ella participan plaquetas, que promueven la coagulación, monocitos que se diferencian en macrófagos y neutrófilos, la función principal de estos últimos es la de fagocitar todos

los cuerpos extraños que se introducen en el organismo, como las bacterias y sustancias de desecho de los tejidos.

- b) Los efectos principales que se presentan son coagulación y una marcada vasoconstricción.
- c) Los factores de crecimiento involucrados son:
 - i) Incremento de la proteína quimio-atrayente de monocitos 1 (MCP-1), pertenece a la familia de quimiocinas C-C
 - ii) Incremento del factor de transcripción nuclear kappa B, (NF- κ B), juega un papel clave en la regulación de la respuesta inmune debida a la infección (las cadenas ligadas kappa son componentes cruciales de las inmunoglobulinas). La regulación defectuosa del NF- κ B está relacionada con el cáncer, enfermedades inflamatorias y autoinmunes, choque séptico, infecciones virales o un desarrollo inmune inadecuado. También está implicado en procesos de plasticidad sináptica y de memoria.
 - iii) Decremento del óxido nítrico sintetasa inducible (iNOS), que juega un papel importante en la patogenia de la inflamación y es un marcador de la presencia de estrés oxidativo y que puede ser utilizada como marcador de oncogénesis. (Esaú Floriano-Sánchez, 2010)

Como podemos observar, en esta fase las *corrientes inducidas* por CEMP, incentivan la atracción de macrófagos y neutrófilos, para limpiar la herida y proteger de una posible infección, además al disminuir el iNOS, es un indicativo de la disminución de estrés oxidativo y de inflamación.

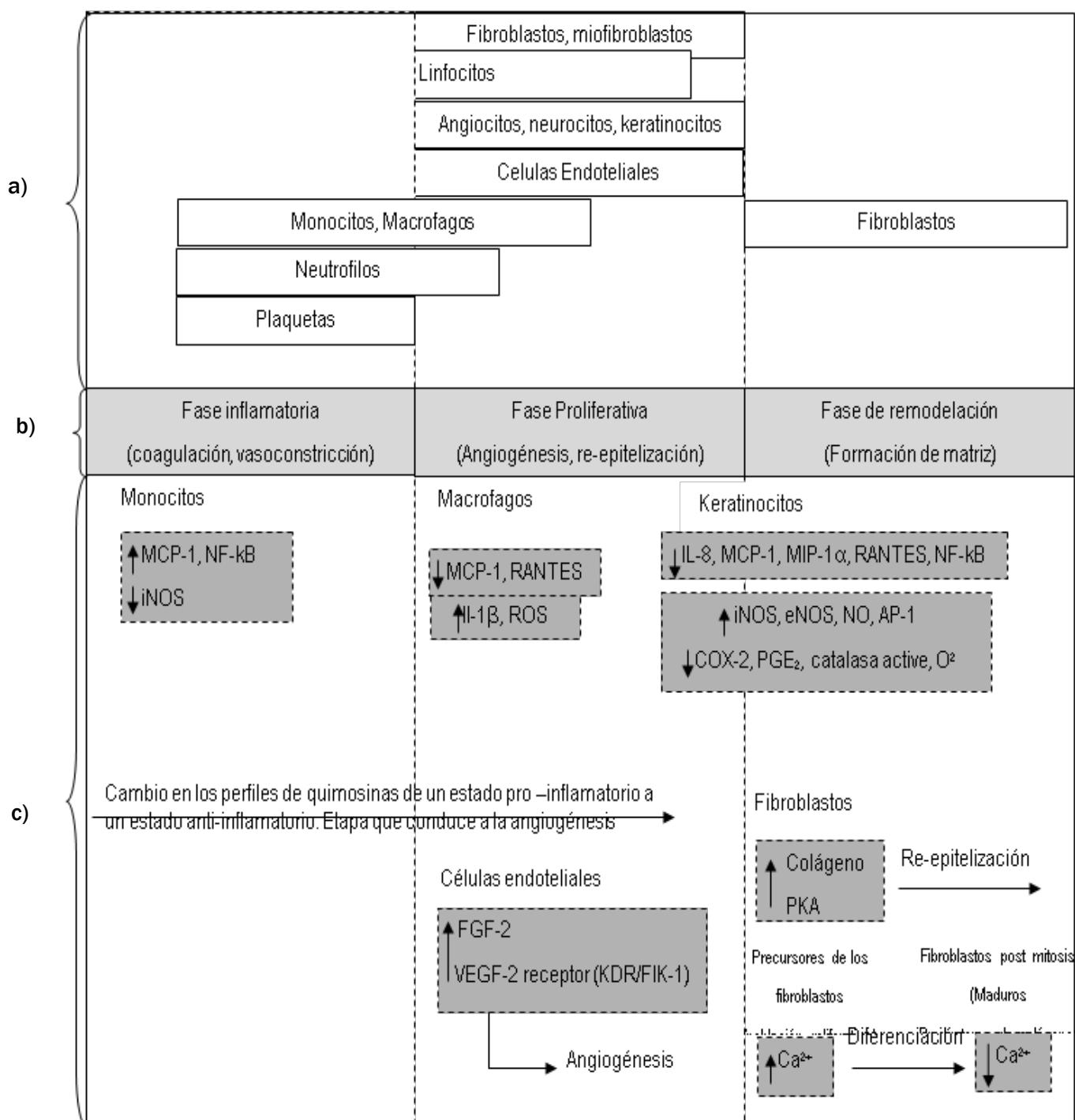
FASE PROLIFERATIVA:

En esta fase, la reconstrucción de tejido viable y funcional está soportado por un proceso activo de la neovascularización, junto con un aumento de la actividad de las células epiteliales y mesenquimales, va desapareciendo la presencia de neutrófilos y a mitad de esta fase desaparece la presencia de monocitos y macrófagos

- d) Las células involucradas son
 - i) Linfocitos:
 - ii) Células endoteliales: es un tipo de célula aplanada que recubre el interior de los vasos sanguíneos y sobre todo de los capilares, formando parte de su pared.
 - iii) Neurocitos: que son cuerpos centrales de las neuronas, tienen pequeñas ramificaciones que entran en contacto con las células somáticas.
 - iv) Queratinocitos: son las células predominantes de la epidermis, (80% a 90%), es la capa más superficial de la piel. Contienen una proteína muy dura que se llama queratina, la cual estimula el crecimiento de células epiteliales, en la piel, de las que revisten la superficie de la boca, el estómago y los intestinos.
 - v) Fibroblastos, miofibroblastos: Los fibroblastos son las células de la dermis, responsables de la secreción de las fibras de elastina y de colágeno, así como de los glucosaminoglicanos que forman la matriz de apoyo de la dermis. Están insertados en la matriz fibrosa y permanecen vinculados a la red de fibras que producen. Con la edad se disminuye el número de fibroblastos, además se vuelven menos productivos, lo cual conlleva una disminución de la cantidad de macromoléculas de la matriz intercelular. El tejido de apoyo se vuelve, por ello, menos denso y tiende a hundirse.
- e) En esta fase se presentan procesos de angiogénesis¹¹ y de re-epitelización.
- f) Los factores de crecimiento involucrados son:
 - i) Incremento de la interleuquina 1 beta, (IL-1 β), es segregada por los macrófagos, es un mediador importante de la respuesta inmunitaria inflamatoria:
 - (1) Actúa sobre el sistema nervioso central, induciendo fiebre (entre otros síntomas).
 - (2) Favorece el reclutamiento de leucocitos al sitio de la infección o lesión.
 - (3) Amplifica la respuesta de los linfocitos T y B.
 - (4) Potencia las funciones de los neutrófilos.
 - (5) Induce la producción de la interleuquina 6 y contribuye con ello a la síntesis de las proteínas de fase aguda en el hígado.
 - ii) Incremento de especies reactivas de oxígeno, (ROS), son importantes en la señalización celular y son segregadas por las plaquetas, para reclutar más plaquetas y para reclutar glóbulos blancos.
 - iii) Disminuye MCP-1

¹¹ La angiogénesis en la formación de nuevos vasos sanguíneos

TABLA 12.- RESUMEN DEL PROCESO DE REPARACION DE TEJIDOS Y FACTORES DE CRECIMIENTO QUE INTERVienen EN ÉL Y SE VEN ESTIMULADOS POR LOS CEMP



- i) Disminuye RANTES: es un regulador de las células T, reclutador de leucocitos
- ii) Incremento del factor de crecimiento de fibroblastos, (FGF-2), aumenta el índice de actividad mitótica, facilitando la proliferación de varias células precursoras como condroblastos, colagenoblastos, osteoblastos, que forman un tejido de unión fibroso y de soporte del cuerpo.
- iii) Incremento del factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF-2) estimulando la presencia de células endoteliales y favoreciendo la angiogénesis
- iv) Incremento del receptor (KDR/FIK-1), del factor de crecimiento vascular

- v) Decremento al final de esta fase de: IL-8, MCP-1, MIP-1 α , RANTES, NF- κ B, COX-2, PGE2, catalasa activa, O $_2$
- vi) Incremento al final de la fase de iNOS, eNOS, NO, AP-1

Podemos concluir que, la aplicación de *corrientes inducidas* por CEMP, favorece el reclutamiento de linfocitos, estos producen anticuerpos, su función principal es la regulación de la respuesta inmunitaria adaptativa (o específica), reaccionando frente a materiales extraños (microorganismos, células tumorales o antígenos en general). Esto también puede explicar el efecto positivo de los CEMP en el cáncer. Al incrementarse las especies reactivas de oxígeno, (ROS), se reclutan más plaquetas favoreciendo la coagulación.

Por otra parte, se favorece la diferenciación de precursores de las células que participarán en la fase de remodelación, esto explica porque se acelera la cicatrización.

Un efecto muy importante de la aplicación de las *corrientes inducidas*, comprobado por el Dr. Cañedo (Cañedo Dorantes L, 2015), es la aceleración en la formación de nuevos vasos sanguíneos, angiogénesis, importante para mejorar la oxigenación de tejidos. El incremento en la secreción de factor de crecimiento endotelial vascular favorece el reclutamiento de células endoteliales, lo cual explica que la *electroestimulación inducida* por CEMP, es el único tratamiento que propicia la reepitelización del endotelio venoso. Además, vuelve a mostrarse que también se incrementan los receptores a moléculas de señalización.

FASE DE REMODELACIÓN:

La cicatrización de heridas es coordinada por los fibroblastos, que producen y depositan el ECM (colágeno y elastina).

- b) Las células involucradas son los precursores de los fibroblastos, que proliferan y se diferencian, en presencia de calcio, y se convierten en fibroblastos, productores de colágeno.
- c) El principal proceso es la formación de matriz y la formación de colágeno, continuando con el proceso de re-epitelización.
- d) Los factores de crecimiento involucrados son prácticamente los mismos que en la fase proliferativa, añadiéndose:
 - i) La proteína quinasa A, (PKA), que se incrementa. Regula el metabolismo de la glucosa, glucógeno, etc. Es vasodilatadora, captura y almacena calcio en el retículo endoplásmico.

En esta fase, las *corrientes inducidas* por CEMP, facilitan la maduración de fibroblastos, promueven la cicatrización y la formación de colágeno y elastina. Esto explicaría porque el uso de la *electroestimulación inducida* por CEMP, retarda la formación de arrugas y desaparece las arrugas superficiales. Al estimular la síntesis de colágeno, fortalece la musculatura, tendones y ligamentos.

HERIDAS CRÓNICAS

En contraste con una cicatrización normal, el análisis del microentorno de una herida crónica revela muchas diferencias fisiológicas, las listamos a continuación:

- Encontramos inflamación prolongada.
- Se presenta un desequilibrio de factores reguladores de crecimiento y citoquinas defectuosas que pierden la capacidad de soportar la migración de queratinocitos.
- Los fibroblastos modifican la formación de la matriz extracelular y una defectuosa función capilar (con oxigenación tisular inadecuada), conduce a un fallo de la re-epitelización.
- Hay un exceso en la producción de metaloproteinasas, que son proteínas adhesivas, necesarias para que se genere el proceso normal de curación. La remodelación de la matriz en las heridas crónicas no se genera de la misma forma que en una herida aguda. El aumento del proceso proteolítico produce una degradación incontrolada del tejido, lo que conduce a una herida que no cicatriza. Esto se debe a que el fluido presente en la herida, que no cicatriza, contiene una alta concentración de metaloproteinasas, estas generan una disminución en la proliferación celular y en la angiogénesis, incrementando la degradación de la MEC y alterando la adecuada reparación tisular. (Guarín Corredor Claribeth, 2013)
- En las heridas crónicas, el curso normal de la curación está detenido en la etapa inflamatoria.

- De acuerdo con Guarín-Corredor (2013) esta etapa puede superarse con la aplicación de una corriente exógena, que reactive los procesos normales celulares.
- Posteriormente, otras características anormales tales como la acumulación de tejido desvitalizado, disminución de la angiogénesis, aumento del nivel de proteasas, la sobreproducción de tejido hiperqueratósico, la secreción de exudado celular, y la presencia de infecciones en la superficie exterior, limitan la respuesta celular adecuada, de las úlceras crónicas, a estímulos de curación.

La aplicación de las *corrientes inducidas* por CEMP tiene varios efectos principales en las vías de curación de heridas:

- 1) Es una corriente eléctrica exógena.
- 2) Tiene un efecto antiinflamatorio, por la modulación de perfil de citocina, que induce la transición del proceso de curación proinflamatorio crónico a un estado antinflamatorio.
- 3) Presenta un efecto angiogénico, por el aumento de la proliferación de células endoteliales y su tubulización y la producción de factor de crecimiento de fibroblastos FGF -2. Comprobado también por el Dr. Cañedo Dorantes.
- 4) Muestra un efecto de reepitelización, por la estimulación de la formación de colágeno.
- 5) Exhibe una menor formación de tejido hiperqueratósico.
- 6) Disminución del tiempo de cicatrización y el nivel de dolor.

Nivel 4: En el incremento en la síntesis de diversos metabolitos y otros efectos.

Ahora, con las bases científicas presentadas en el inciso anterior, podemos explicar porque, con la aplicación de la *electroestimulación inducida* por CEMP, se observa el incremento en la secreción de diversos metabolitos, como por ejemplo el incremento en la síntesis de colágeno o el efecto angiogénico, en forma resumida presentaremos algunos de estos efectos.

Las corrientes inducidas por CEMP son vasodilatadoras de la microvasculatura arteriolar hasta un 9%

Revisamos el artículo *Efectos de los Campos Electromagnéticos Pulsados sobre la microcirculación*, (Thomas L. Smith, 2004), que confirmó estos resultados en la microvasculatura arteriolar, del músculo cremáster de rata. A continuación, presentamos su resumen traducido:

"Propósito: los campos electromagnéticos pulsados (CEMP), se usan clínicamente para acelerar la curación de las no-uniones, (fracturas que tardan un largo periodo para consolidar), sin embargo, el mecanismo de acción por el cual la estimulación con CEMP es efectiva es desconocido. El presente estudio examinó los efectos agudos de la estimulación de CEMP sobre los diámetros de los microvasos arteriolares en el músculo cremáster de rata. La hipótesis del estudio fue que CEMP aumentaría los diámetros arteriolares, un mecanismo potencialmente involucrado en el proceso de curación.

Métodos: Se administró estimulación con CEMP local y estimulación simulada, de 2 o 60 minutos de duración, al músculo cremáster de ratas anestesiadas. Los diámetros arteriolares se midieron antes y después de la estimulación y la estimulación simulada, utilizando microscopía intravital. La hemodinámica sistémica también se monitorizó durante la estimulación con CEMP.

Resultados: la estimulación local con CEMP produjo una vasodilatación significativa ($p <0,001$), en comparación con los valores previos a la estimulación, en las arteriolas del músculo cremáster en ratas anestesiadas ($n = 24$). Esta dilatación se produjo después de 2 minutos de estimulación (aumento del 9% del diámetro) y después de 1 hora de estimulación (aumento del 8,7% del diámetro). Las ratas que recibieron estimulación "simulada" ($n = 15$) no demostraron cambios estadísticamente significativos en el diámetro arteriolar después de un período de estimulación "simulada". La estimulación con CEMP del cremáster ($n = 4$ ratas) no afectó la presión arterial sistémica o la frecuencia cardíaca, ni se asoció con un cambio en la temperatura ambiental del tejido.

Conclusiones: estos resultados apoyan la hipótesis de que la aplicación local de una forma de onda de CEMP específica, puede provocar una vasodilatación arteriolar significativa. La hemodinámica sistémica y la temperatura ambiental no pudieron explicar las respuestas microvasculares observadas".

De acuerdo con el LFT Saúl Velázquez, (Mejía-Astorga, 2019), "Podemos apreciar en el artículo que la vasodilatación arteriolar es uno de los principales efectos de la *electroestimulación inducida* por CEMP, en la práctica de la Fisioterapia este efecto, en particular, resulta ser una herramienta eficaz y benéfica, para el tratamiento de diferentes patologías o alteraciones musculoesqueléticas. Por ejemplo, en las lesiones agudas, (musculares, óseas, tendinosas y ligamentosas), la vasodilatación permite que fluyan una serie de elementos fisicoquímicos conocidos, comúnmente, como "cascada inflamatoria", los cuales tienen el propósito de iniciar y llevar a cabo el proceso de curación y remodelación de estos tejidos. Al llevar a cabo la *electroestimulación* con CEMP este proceso se acelera, desinflamando y aliviando el dolor, lo que nos permite efectuar la rehabilitación del movimiento, de manera más pronta, convirtiéndose en un efecto sumamente necesario dentro del proceso de rehabilitación.

Así mismo, el aumento de la microcirculación tiene un efecto positivo en el drenaje de edemas y linfedemas de diversas causas. Esto nos permite dar un tratamiento no invasivo para estas alteraciones, sin riesgos y sin causar dolor.

En el caso de las enfermedades como la artritis reumatoide y la artrosis, el efecto de las *corrientes inducidas* por CEMP sobre la microcirculación induce la desinflamación en las articulaciones y estimula la secreción de líquido sinovial, (encargado de lubricar la cápsula articular). Dichos efectos nos ayudan considerablemente en el alivio del dolor, la relajación muscular y el movimiento articular. De esta manera mejoramos significativamente la calidad de vida de estas personas.

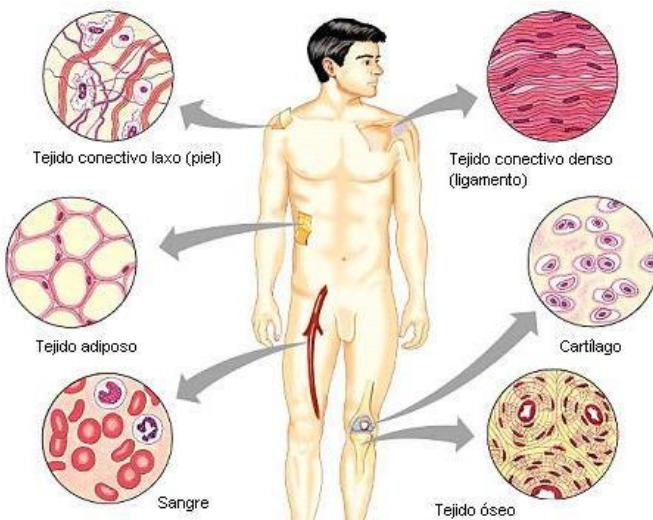
Como ya hemos mencionado la vasodilatación arteriolar genera un efecto directo de curación, reparación y cicatrización de tejidos lesionados, lo cual hace de los CEMP la mejor herramienta para tratar una de las condiciones más comunes en el consultorio, el conocido "pie diabético", mejorando considerablemente la calidad de la piel, la sensibilidad y la fuerza muscular y acelerando la cicatrización.

Se puede concluir que la *electroestimulación inducida* por CEMP puede ser utilizada como la herramienta de primera mano para realizar el tratamiento de este tipo de alteraciones (agudas y crónicas). Sustituye a otro tipo de agentes físicos como el calor y las corrientes eléctricas conducidas, (las que se aplican con electrodos), siendo más eficaz y eficiente en el tratamiento y reparación de los tejidos lesionados".

Las corrientes inducidas por CEMP estimulan la diferenciación, maduración y proliferación de fibroblastos.

Los fibroblastos sintetizan fibras y mantienen la matriz extracelular del tejido de muchos animales. Estas células proporcionan una estructura en forma de entramado a muy diversos tejidos, juegan un papel crucial en la curación de heridas. Por lo tanto, la aplicación de la *electroestimulación inducida* por CEMP, en heridas o tejidos dañados tiene un gran efecto en su tratamiento, por ejemplo, en úlceras y heridas quirúrgicas. Tiene también una gran área de oportunidad en las aplicaciones cosmetológicas, ya que se mejora la calidad y estructura de la piel. Por último, su uso en el área deportiva puede ser muy importante, pues se fortalecen tendones, ligamentos, músculos, huesos; previniendo lesiones, acelerando la recuperación de estas e incrementando la capacidad física de los atletas. Ilustración 144.

ILUSTRACIÓN 144.- LOS FIBROBLASTOS EN EL CUERPO



Incremento en la síntesis de colágeno.

El colágeno es parte fundamental de todos los tejidos del cuerpo, es una proteína fibrosa y conforma más del 25% de la masa proteínica en el cuerpo humano, junto con la queratina y la miosina, es fuente de fuerza estructural para las células y los tejidos, (Robert K. Murray, 2012). La flexibilidad y la fuerza de la piel dependen del colágeno entrelazado con la queratina, los huesos y los dientes son apuntalados por una red de colágeno, similares a las varillas de acero en el concreto reforzado, el colágeno también está presente en el tejido conjuntivo, de ligamentos y tendones, (ilustración 145).

Sabemos que los CEMP aumentan el metabolismo de la prolina, (proteína estructural del colágeno en un 21%), lo cual nos lleva a un incremento de la síntesis de colágeno de un 23% y este aumento no se debe a un aumento de la temperatura.

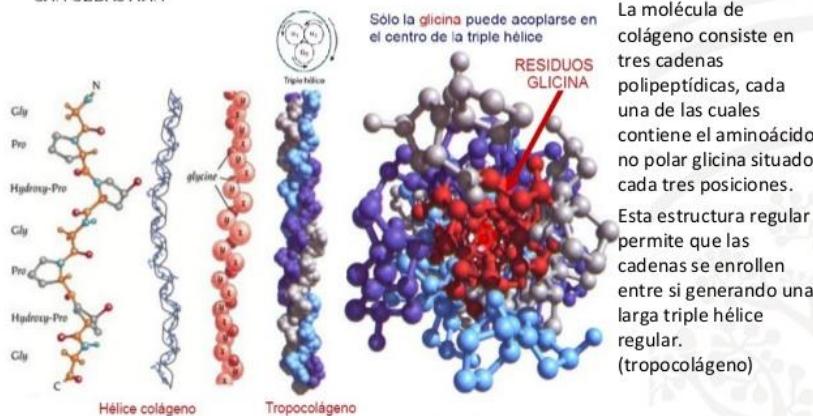
El incremento en su síntesis generado por la aplicación de la *electroestimulación inducida*, por CEMP, hace a esta tecnología una herramienta eficaz en el tratamiento de enfermedades del colágeno, como la poliarteritis nudosa, el lupus eritematoso, la fiebre reumática, la espondilitis anquilosante, la artritis reumatoide, la esclerodermia, el síndrome de Sjögren.

La osteogénesis imperfecta, que es la presencia de huesos frágiles, aunque es un trastorno genético de la biosíntesis del colágeno, responde muy bien a la aplicación de las *corrientes inducidas* por CEMP.

ILUSTRACIÓN 145



Estructura del colágeno



Se estimula la angiogénesis

La angiogénesis es el proceso fisiológico que consiste en la formación de vasos sanguíneos nuevos a partir de los vasos preexistentes, (ilustración 146). La angiogénesis es un fenómeno normal durante el desarrollo embrionario, el crecimiento del organismo y en la cicatrización de las heridas, como lo vimos anteriormente. La aplicación de *corrientes inducidas* por CEMP estimula e incrementa la angiogénesis, esto fue comprobado por la investigación del Dr. Luis Cañedo Dorantes, aplicado a la cicatrización de ulceras diabéticas. (Cañedo Dorantes L, 2015).

ILUSTRACIÓN 146



Incremento en la síntesis de ADN

Revisamos un estudio donde se valoró la síntesis de ADN, y la proliferación celular utilizando la 3H-timidina como marcador, ya que este nucleótido, marcado radiactivamente, se incorpora a las nuevas moléculas de ADN. A continuación, les presentamos la traducción del resumen:

"La incorporación de 3H-timidina se estudió en condrocitos humanos, nasales y articulares, expuestos a campos electromagnéticos pulsados de baja energía y baja frecuencia, (PEMFs), (75 Hz, 2.3 mT). El análisis de la reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa (RT-PCR), muestra que los condrocitos secundarios humanos, derivados de cartílago nasal y articular, expresan el ARNm de colágeno tipo II, que es un marcador específico del fenotipo condrocito.

En una serie preliminar de experimentos, las células se expusieron a PEMF durante diferentes períodos de tiempo que oscilaron entre 6 y 30 horas (tiempo transcurrido), en medio suplementado con suero de ternera fetal (FCS) al 10% o 0,5% y en medio sin suero.

Las relaciones entre la incorporación de (3) H-timidina en PEMF y cultivos de control, muestran un aumento de la proliferación celular en cultivos expuestos a PEMF, cuando el suero está presente en el medio de cultivo, mientras que no se observó ningún efecto en condiciones libres de suero.

El aumento de la síntesis de ADN., inducida por PEMF, se evaluó solo en los momentos de máxima inducción y los resultados se analizaron mediante el análisis de varianza de tres factores (ANOVA).

Los datos presentados en este estudio muestran que incluso si la incorporación de 3H-timidina es más alta en los condrocitos nasales que en los articulares, los PEMF inducen un aumento en la proliferación de ambos tipos de células. Además, la concentración de FCS en el medio de cultivo, influye enormemente en la respuesta proliferativa de los condrocitos humanos a la exposición a PEMF. Aunque las células normales de osteoblastos humanos aumentan su proliferación cuando se exponen a PEMF si solo hay un 10% de FCS presente en el medio, los condrocitos humanos pueden aumentar su proliferación celular cuando se exponen a PEMF en presencia tanto del 0,5% como del 10% de FCS en el medio". (Pezzetti F, 1999).

Otros efectos:

Se induce la diferenciación de cartílago

Se incrementa de la densidad ósea

Hay una re-epitelización del endotelio venoso,

Hay diminución del ácido láctico, lo cual favorece la recuperación después del ejercicio entre muchos otros efectos

Nivel 5: Efectos sobre los signos de enfermedades

Todo lo visto en la sección dos de efectos biológicos, nos explica porque los CEMP tienen efectos macro, que se resumen en la tabla

TABLA 13.- EFECTOS MACRO DE LOS CEMP

Desinflaman	Incremento de flujo sanguíneo
Acelera la cicatrización	Menor presencia de arrugas
Mejor calidad de la piel	Estimular sistema inmunitario y endocrino
Tienen efecto angiogénico	Reactiva la función celular
Aceleran la consolidación de fracturas óseas	Mejora la densidad ósea
Calman el dolor, efecto analgésico	Es vasodilatador
Detiene el crecimiento de tumores	Controla más eficazmente los niveles de azúcar en sangre
Disminuye las neuropatías	Detiene y revierte la osteoporosis
Mejora la elasticidad de articulaciones	Fortalece músculos, ligamentos y tendones

CAPÍTULO 8.- Aplicación Clínica de la Electroestimulación Inducida por Campos Electromagnéticos Pulsados

Saúl Velázquez Camacho

Objetivo

Presentar un modelo de evaluación, para apoyar a los profesionales de la salud, a realizar la importante labor de organizar los datos y tomar las decisiones críticas, necesarias para desarrollar una intervención eficaz y eficiente de la *electroestimulación inducida* por Campos Electromagnéticos Pulsados (CEMP), en pocas palabras, que los profesionales de la salud puedan generar sus propios protocolos de aplicación, de acuerdo con la situación de cada paciente.

Ubicar a las corrientes inducidas, como uno de los principales agentes físicos en la rehabilitación y tratamiento, así como establecer su aplicación conjunta y eficaz, con otros agentes físicos y con otras terapéuticas.

Presentar una serie de casos clínicos en medicina y fisioterapia, basados en la electroestimulación *inducida* por CEMP, siendo ejemplo de práctica basada en evidencia.

A. Método de valoración e intervención

La *electroestimulación inducida* por CEMP, es sin duda ***la terapia del futuro***, es el agente físico más completo que se puede utilizar en medicina y fisioterapia y una herramienta segura para la rehabilitación de nuestros pacientes.

Dentro del ámbito de la salud, el tratamiento de *electroestimulación inducida* por CEMP, se asienta en la asistencia y servicios prestados por y/o bajo la dirección y supervisión de un fisioterapeuta, de un médico, de un terapeuta, etc; es decir, siempre es necesaria la prescripción de un profesional de la salud. La labor del profesional de la salud comprende varias actividades, de acuerdo con Carrie Hall, (Hall, 2006):

1. Exploración de los pacientes, ya sea presenten lesiones, alteraciones, limitaciones funcionales, discapacidad u otras afecciones relacionadas con la salud, para determinar su diagnóstico, pronóstico e intervención.
2. Aliviar las lesiones, alteraciones y las limitaciones funcionales elaborando, ejecutando y modificando intervenciones terapéuticas.
3. Prevenir lesiones, alteraciones, limitaciones funcionales y discapacidades, lo cual comprende la promoción y el mantenimiento de la forma física, la salud y la calidad de vida en poblaciones de todas las edades.

Por tanto, debemos decir que los responsables de llevar a cabo el tratamiento, del paciente con *electroestimulación inducida* por CEMP, son los profesionales de la salud que examinarán, evaluarán, diagnosticarán e intervendrán a nivel de la lesión, la limitación funcional y la discapacidad.

Como sabemos, todo paciente presenta características fisiológicas, biomecánicas, musculoesqueléticas, cognitivas y afectivas únicas, por lo tanto, el profesional de la salud tiene el deber de proporcionar al paciente un tratamiento integral y personalizado. En este sentido, como ya hemos visto, la *electroestimulación inducida* por CEMP es una herramienta terapéutica que brinda un beneficio completamente integral, el cual abarca todas las zonas del cuerpo y estimula a la par cada una de las células, sin embargo, la *electroestimulación inducida* por CEMP, como cualquier otro agente físico, tiene restricciones y contraindicaciones que dependen de las características individuales del paciente y su padecimiento, por ello es muy importante llevar a cabo una historia clínica personalizada y un proceso de análisis complejo, en relación con las decisiones sobre la intervención con la *electroestimulación inducida* por CEMP.

Además, para obtener mejores resultados, esta terapia puede ser acompañada de una serie de intervenciones terapéuticas complementarias, como es el caso de un plan de alimentación, el ejercicio terapéutico, el tratamiento farmacológico o bien otros agentes físicos.

Modelo de intervención

Esta sección presenta un modelo de intervención para ayudar a organizar los datos y tomar decisiones críticas, que son necesarias para desarrollar una intervención eficaz y eficiente, de la *electroestimulación inducida* por Campos Electromagnéticos Pulsados. Este modelo de tratamiento se basa en el propuesto por la American Physical Therapy Association (APTA) y la fisioterapeuta Carrie M. Hall, sin embargo, es un modelo que puede ser adaptado por cualquier profesional de la salud, según su propia especialidad y necesidades. Ofrece una guía de organización y análisis de los datos del paciente, siendo el paso inicial para diseñar un plan de tratamiento adecuado, basado en la utilización de la *electroestimulación inducida* por CEMP, o de cualquier otra terapéutica, dado que el plan de tratamiento siempre dependerá de la historia del paciente y de su diagnóstico. Este método de valoración integra seis elementos de asistencia, con el fin de aumentar al máximo el resultado del tratamiento en el paciente (Ilustración 147).

ILUSTRACIÓN 147.- MODELO DE INTERVENCIÓN



A continuación, describiremos brevemente cada uno de estos elementos, a sabiendas que todos los profesionales de la salud manejan sus propios elementos de intervención, de acuerdo con su especialidad.

1. Examinación

Esta se define como el proceso de obtener la *anamnesis*, que se refiere a la recolección de información aportada por el paciente, y por otros testimonios, para confeccionar su historial clínico. Se espera que la anamnesis aporte al terapeuta la siguiente información (Tabla 14):

TABLA 14.- DATOS RELEVANTES DE LA EXAMINACIÓN

Ficha de Identificación	Son los datos mínimos necesarios para identificar a la persona, tales como: Nombre, Sexo y Edad. En algunos casos puede incluir Domicilio, Teléfono, Correo electrónico y número de afiliación o vigencia.
Motivo de Consulta	Se pregunta al paciente por qué acude, ya que de esta manera podemos indagar rápidamente la gravedad del caso. Establece una primera impresión y comprende la necesidad primaria del paciente , lo cual puede cambiar en el transcurso de la consulta o tratamiento.

Antecedentes Hereditarios Familiares	Se refiere a los datos clínicos o médicos de sus familiares directos , como: Padre, Madre, Abuelos, Hermanos . Con esta información, podremos indagar o relacionar el padecimiento del paciente con enfermedades o alteraciones genéticas que pudieron haber heredado.
Antecedentes Personales No Patológicos	Se refiere a aquellas características, hábitos o circunstancias que no son propiamente patológicas , pero que pueden considerarse un factor de riesgo para el paciente. Esto incluye; toxicomanías (alcoholismo, tabaquismo, drogadicción), hábitos de alimentación, ocupación laboral, condición económica, social, cultural, religión, etnia, etc.
Antecedentes Personales Patológicos	Se refiere a las enfermedades o padecimientos , que se han presentado, o están presentes en la historia del paciente, así como su evolución y tratamiento previo. También se consideran; eventos traumáticos, lesiones, operaciones, trastornos, etc.

Cabe destacar que el apartado “**Antecedentes Personales Patológicos**” es sumamente importante, principalmente porque le da al terapeuta una visión de las enfermedades, a las que se tendrá que enfrentar, porque como dijimos, la *electroestimulación inducida*, por CEMP, tiene ciertas contraindicaciones absolutas, y la aplicación en estos casos, conlleva un riesgo, que debe evitarse, por supuesto, esto implica un aspecto ético y legal que el profesional de la salud debe respetar y cuidar.

Estas contraindicaciones deben ser detectadas y vigiladas, desde la examinación y a lo largo de todo el proceso de intervención. Lo mejor en estos casos es referir al paciente con otro especialista, o aplicar un tratamiento más adecuado que no conlleve tal riesgo. En ningún caso debe aplicarse la *electroestimulación inducida* por CEMP en **afecciones con contraindicación absoluta**, estas se muestran específicamente en la tabla 15.

TABLA 15.- AFECCIONES CON CONTRAINDICACIÓN ABSOLUTA DE LA ELECTROESTIMULACIÓN INDUCIDA POR CEMP

Embarazo	Accidentes (Inmediatamente después de un accidente, el paciente debe ser valorado por personal capacitado)
Uso de marcapasos cardíaco	Tormenta tiroidea
Diverticulitis o colón sangrante con hemorragia presente	Trombosis previas recientes
Psicosis	Hemorragia activa (no se refiere a menstruación)

Se puede decir que la mayoría de los deterioros físicos, estructurales y funcionales, pueden ser tratados con éxito con la *electroestimulación inducida* por CEMP, pues no tiene ningún efecto secundario adverso, no es invasiva, no existe riesgo de sobredosis y no requiere el manejo manual del terapeuta. Existen afecciones que tienen cierta contraindicación, les llamamos **afecciones con contraindicación relativa** (Tabla 16), sobre las cuales el terapeuta debe ser cuidadoso, respecto a los parámetros del tratamiento, tomando en cuenta las indicaciones, de esta manera la *electroestimulación inducida* por CEMP se puede aplicar con toda seguridad. Podemos considerar que la *electroestimulación inducida* por CEMP, es la terapia ideal, pues casi no tiene restricciones ni contraindicaciones y hasta la fecha no se han reportado efectos secundarios tóxicos.

TABLA 16.- AFECCIONES CON CONTRAINDICACIÓN RELATIVA DE LA ELECTROESTIMULACIÓN INDUCIDA POR CEMP

Epilepsia	No aplicar con frecuencias por debajo de los 50 Hz, ya que los pacientes con epilepsia reaccionan con crisis convulsivas a frecuencias aproximadas a los 16 Hz.
Hipotensión	Los pacientes que “normalmente” presentan presión arterial baja, al ser sometidos a la terapia la <i>electroestimulación inducida</i> refieren dolor de cabeza, por lo cual debe iniciarse con una estimulación corta, en sesiones de 15 minutos, hasta completar 5 horas. Evaluar e ir incrementando paulatinamente el tiempo de aplicación.

Úlcera gástrica sangrante	Iniciar con sesiones cortas de estimulación, aproximadamente de 10 minutos, hasta completar 2 a 3 horas, para permitir la cicatrización. Ir incrementando paulatinamente la estimulación hasta llegar a esquemas de 30 a 60 minutos.
Enfermedad diverticular	Si no se presenta sangrado (Diverticulosis), el paciente puede utilizar el tratamiento incluso como método preventivo. Iniciar con terapia corta e ir de menos a más tiempo.
Angina pectoral complicada	No se puede utilizar si el paciente está siendo tratado por un médico general, es necesario el monitoreo de un cardiólogo.
Insuficiencia cardiaca descompensada con edema o problemas cardíacos complejos	Para estas afecciones se requiere forzosamente del monitoreo de un cardiólogo.
Tuberculosis aguda	Se recomienda trabajar en esquemas de 15 minutos de aplicación por día, e ir aumentando el tiempo paulatinamente.
Pacientes con fiebre (temperatura sobre 39° C)	Para esta situación es preferible controlar primero la fiebre.

Cabe mencionar que este proceso de toma y análisis de datos debe darse siempre y antes de cualquier intervención, además se recomienda mucho el uso de un **Consentimiento Informado**, que el paciente leerá, y estando de acuerdo con sus pautas, tendrá que firmar. Con ello se da garantía legal de los procedimientos terapéuticos utilizados, dando seguridad tanto al paciente como al terapeuta.

2. Exploración física

La exploración física se define como la revisión de los sistemas del cuerpo más relevantes, la selección y administración de pruebas específicas y medidas para obtener datos (Hall, 2006). La exploración es un elemento requerido antes de cualquier intervención con electroestimulación *inducida* por CEMP, y es un proceso de detección que proporciona información sobre los sistemas corporales implicados en el perfil del paciente.

Hay que detectar varios sistemas principales, por su implicación, tales como: **cardiovascular, pulmonar, musculoesquelético, neuromuscular, psicológico e integumentario**, (Colby, 2005). Dependiendo de los datos reunidos por la historia y la revisión de los sistemas, el terapeuta usará una o más exploraciones, en su totalidad o en parte, la exploración puede ser corta o amplia, según la urgencia de generar un diagnóstico. Las exploraciones más relevantes se presentan en la Tabla 17.

Después de realizar la anamnesis y concluir la revisión de los sistemas, el médico o terapeuta tal vez determine que no hay que realizar nuevas exploraciones y que puede avanzar al siguiente paso de la intervención terapéutica, o puede determinar que el paciente deberá ser transferido a otro practicante del sistema sanitario.

Podemos decir que, el profesional de la salud evaluará, de manera específica, las exploraciones anteriores, de acuerdo con su especialidad y necesidad, además es muy probable que se requiera otra información para complementar el proceso de la exploración, como los estudios de laboratorio, y/o auxiliares de imagen, que son estudios muy confiables fisiológicamente, con los cuales podremos llegar a un diagnóstico más preciso y evaluar la evolución del paciente respecto al tratamiento. (Tabla 18).

La exploración es un proceso recurrente durante todo el tratamiento del paciente, cuyo fin es determinar la respuesta del paciente a la intervención. Basándose en los resultados de las exploraciones sucesivas, la intervención puede concluirse o modificarse.

TABLA 17.- EJEMPLOS DE TIPOS DE EXPLORACIÓN

Tipo de exploración	Descripción
Signos Vitales	Es la exploración inicial, que nos da confiabilidad vital de la persona. Se toma la frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, temperatura, tensión arterial .
Antropometría	Se realiza para identificar alteraciones metabólicas o de crecimiento. Se toma el peso, talla, perímetrocefálico, perímetro abdominal, Índice de masa corporal .
Postura	Se realiza para detectar alteraciones musculoesqueléticas y biomecánicas. Se evalúa la vista anterior, posterior y lateral . En posición de bipedestación, sedestación, decúbito prono y decúbito supino .
Dolor	Se realiza para identificar el grado de dolor del paciente, con lo cual se pueden realizar comparaciones, antes y después del tratamiento. Se evalúan a través de una escala visual o verbal análoga .
Goniometría	Se realiza con un goniómetro para valorar la amplitud del movimiento articular y con ello identificar problemas articulares o musculares. También se utiliza Range of motion (ROM)
Marcha	Se realiza para detectar alteraciones en las fases de la marcha , que sugieren problemas biomecánicos o de equilibrio. Se evalúa la marcha hacia adelante, hacia atrás y de lado . Así como otras variantes.
Equilibrio y Propiocepción	Equilibrio en estático y dinámico .
Resistencia Cardiorespiratoria	Se realiza para evaluar la condición aeróbica . Se lleva a cabo con una prueba de esfuerzo o caminata de 6 minutos .
Examen Manual Muscular	Se refiere al rendimiento o fuerza muscular , con lo que detectamos debilidad o dolor muscular. Se lleva a cabo con escalas, una de las principales es la Escala de Daniels .
Cognición y Memoria	Se realiza a través de test o cuestionarios . Es muy importante porque nos habla del estado psicológico y mental del paciente.
Espasticidad y Rigidez	Existen pruebas que utilizan para diferenciar entre espasticidad y rigidez , según la velocidad del movimiento, así como determinar su grado de evolución.
Hitos del Desarrollo	Se evalúa principalmente en el caso de pacientes pediátricos . Se realiza para detectar retraso en el neurodesarrollo .
Motricidad Fina y Gruesa	Se evalúa para detectar alteraciones en la motricidad, así como el progreso y retroceso en ello. Se realiza con pruebas específicas de cada tipo.
Pruebas específicas	Se evalúan para determinar, sobre todo, lesiones nerviosas, articulares o inflamatorias . Se realizan con el fin de detectar una lesión específicamente.
Actividades Básicas de la Vida Diaria (ABDV)	Se realiza a través de test y nos indica la funcionalidad del paciente, y el grado de discapacidad .
Reflejos osteotendinosos	Se realiza con el martillo de reflejos, y nos indica una posible lesión o alteración nerviosa de algún segmento .
Coloración o Aspecto de Tegumentos	Se debe observar cuidadosamente la calidad de la piel , con el fin de detectar heridas, ulceras, ronchas , etc; que nos hablen de la existencia de alguna enfermedad.

TABLA 18.- ESJEMPLOS DE ESTUDIOS DE GABINETE O LABORATORIO

Rayos X	Ultrasonido
Resonancia Magnética	Estudios de Sangre
Tomografía	Estudios de Orina
Densitometría Ósea	Electrocardiograma
Electroencefalograma	Electromiografía

3. Evaluación

La evaluación es el proceso, dinámico y recurrente, por el cual el médico o terapeuta emite juicios, basándose en los datos reunidos durante la exploración (Hall, 2006).

La interpretación de los datos constituye la evaluación. La interpretación de los signos obtenidos en la exploración es una de las etapas más críticas en la toma de decisiones clínicas.

Se interpretan los datos para conocer las fuentes o causas de las enfermedades, deterioros, limitaciones funcionales y discapacidades del paciente, hay que tener en cuenta y analizar todos los aspectos de la exploración para determinar:

- La progresión y estadía de los signos y síntomas.
- La estabilidad de la afección.
- La presencia de afecciones previas (es decir, comorbilidades).
- Las relaciones entre los sistemas y puntos implicados.

El modelo que se utiliza para dividir y clasificar los datos se presenta en la tabla 19.

TABLA 19.- MODELO DE CLASIFICACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN LA EXPLORACIÓN

Patología o Enfermedad	<ul style="list-style-type: none"> • Se refiere una patología o enfermedad ya establecida y diagnosticada por el médico. • Por ejemplo, Cáncer, Lupus, Artritis Reumatoide, Diabetes, Psoriasis, Osteoporosis, Enfermedad Cardiaca, Insuficiencia Renal, Parálisis Cerebral etc. • Los deterioros físicos y estructurales en la mayoría de las ocasiones son consecuencia de la enfermedad establecida. Por ejemplo, el dolor, la inflamación, la espasticidad, acumulación de líquido, falta de energía, etc. • Las pruebas de laboratorio, los estudios radiológicos y las exploraciones neurológicas se emplean para la evaluación previa de la presencia y grado del proceso patológico.
Deterioro o Lesión estructural	<ul style="list-style-type: none"> • Se refiere a aquellos deterioros físicos y estructurales, que provienen directamente de una lesión del tejido o de una enfermedad. • Son las causas directas de los síntomas y constituyen el punto preciso de tratamiento. • Entre los deterioros, se puede identificar: dolor, inflamación, ruptura de hueso, ruptura de ligamentos, desgarros musculares, espasticidad, degeneración del cartílago, alteración de la sensibilidad, disminución de la circulación sanguínea, acumulación de líquido o edema, falta de energía, disminución de la secreción de sustancias, atrofia muscular, disminución de la resistencia cardiorrespiratoria, infecciones, alteraciones del sistema inmunológico, descalcificación ósea, alteraciones neurológicas, etc. • Los procedimientos médicos para evaluar los deterioros comprenden las exploraciones clínicas, las pruebas de laboratorio, los procedimientos de detección por la imagen, la anamnesis y el informe de síntomas del paciente. • Sin duda son el aspecto más importante para la evaluación del fisioterapeuta. • Constituyen el campo de acción más amplio de la electroestimulación inducida por CEMP. • Actuando sobre estos deterioros es como conseguimos de una forma más rápida, la rehabilitación del paciente.
Limitación Funcional	<ul style="list-style-type: none"> • Se refiere aquellas limitaciones del movimiento, derivadas de un deterioro. • Por ejemplo, <i>limitación para levantar la cabeza, limitación para voltearse, sentarse, o pararse; limitación para caminar, para subir o bajar escaleras, para descansar, para tomar, levantar y mover objetos; limitación para escribir, hablar, escuchar, ver, jugar, agacharse, etc.</i>

	<ul style="list-style-type: none"> • Es probable que el paciente esté más preocupado por su capacidad para subir un tramo de escaleras (es decir, un resultado funcional), que, por la amplitud de movimiento adecuada de la rodilla y la producción de la fuerza o torque necesarios, por parte del cuádriceps, para subir las escaleras (es decir, deterioros).
Discapacidad	<ul style="list-style-type: none"> • La discapacidad comprende el contexto social de la pérdida funcional. • La función social abarca tres dominios: <i>interacción social, actividad y rol sociales</i>. • Cada uno de estos dominios requiere cierto grado de capacidad física.

4. Diagnóstico

Una vez que analizamos los datos, los evaluamos y clasificamos, podemos hacer un diagnóstico preciso. El proceso diagnóstico incluye los siguientes componentes:

- *Obtener una historia relevante* (es decir, examinación).
- *Realizar una revisión de los sistemas* (es decir, exploración).
- *Seleccionar y administrar pruebas y medidas específicas* (es decir, exploración).
- *Interpretar todos los datos* (es decir, evaluación).
- *Organizar todos los datos en un conglomerado, síndrome o categoría* (es decir, diagnóstico).

El diagnóstico es uno de los principales actos del proceso de toma de decisiones. Las decisiones apropiadas sobre la clasificación diagnóstica son imperativas, ya que el diagnóstico dirige la intervención.

Si el proceso diagnóstico revela que la afección no entra dentro de los conocimientos, experiencia o saber del terapeuta, o bien, resulta ser una contraindicación absoluta para la aplicación de la *electroestimulación inducida* por CEMP, el paciente será transferido al practicante adecuado.

5. Plan de intervención y Pronóstico

Una vez que obtenemos la información necesaria acerca del paciente y su padecimiento, podemos iniciar el plan de intervención, para ello, debemos haber cumplido con los elementos anteriores, es decir; examinación, exploración física, evaluación, diagnóstico, haber identificado la patología y estimado la existencia de alguna contraindicación, absoluta o relativa. Posteriormente el terapeuta se situará en la etapa correspondiente, de lo que llamaremos **proceso de rehabilitación**, lo que le ayudará a determinar el tiempo y la periodicidad de la terapia, así como la duración del tratamiento. Cada etapa se explica a continuación, haciendo énfasis en los efectos de la *electroestimulación inducida* por CEMP sobre cada una de estas.

a) Proceso de rehabilitación

Consta de varias etapas como se observa en la ilustración 148, iremos explicándolas brevemente:

Reparación del deterioro o lesión estructural

Esta es la primera fase del proceso, por la cual debemos iniciar siempre, para recuperar al paciente del daño estructural. En esta fase la aplicación de la *electroestimulación inducida* por CEMP es determinante ya que se encargará de recuperar la integridad del tejido lesionado, a mayor velocidad, que con un tratamiento convencional. Esto incluye la consolidación de hueso, la reparación de un ligamento, la cicatrización de una herida, la desinflamación, la regeneración de un cartílago, etc. También nos ayudará a controlar y disminuir el dolor, algo que de primera instancia es sumamente importante.

La *electroestimulación inducida* por CEMP aportará mayor oxigenación y nutrición en tejidos al incrementar el flujo sanguíneo, la vasodilatación y estimular la angiogénesis. Una vez sanado el tejido, podemos iniciar con mayor confianza la movilización del paciente.

La aplicación de la *electroestimulación inducida* por CEMP en esta etapa se puede considerar intensiva, con la finalidad de recuperar la estructura del tejido lo más rápido posible, así que puede suministrarse hasta diariamente por 2 horas, en consultorio.

ILUSTRACIÓN 148.- EFECTOS DE LA ELECTROESTIMULACIÓN INDUCIDA POR CEMP EN EL PROCESO DE REHABILITACIÓN**Reparación del deterioro o lesión estructural:**

- Recuperar la integridad del tejido lesionado.
- Controlar y disminuir el dolor.
- Mayor oxigenación y nutrición en tejidos.

Reducción de la limitación funcional:

- Mejorara la elasticidad de los tejidos.
- Recuperar la densidad ósea.
- Recuperar la contracción muscular.
- Aporte de energía.
- Disminuir el dolor por inmovilidad.

Disminución o eliminación de la discapacidad:

- Aportan energía suficiente para trabajar resistencia y velocidad.
- Ayudan a ganar fuerza y elasticidad en los tejidos.
- Modulan el dolor después del entrenamiento y aceleran la recuperación física.
- En esta etapa el paciente se reintegra a sus actividades.

Prevención de lesiones y enfermedades:

- Realizar sus funciones normalmente.
- Mantener la calidad de huesos, músculos, tendones, ligamentos, cartílagos, piel, etc.
- Mejorar la capacidad del sistema inmunológico y así prevenimos enfermedades.
- Aportar energía.
- Ayudar a la relajación y el descanso.
- Mejora la captación de nutrientes.

Reducción de la limitación funcional:

Es la segunda fase del proceso, donde se inicia la reintegración del paciente a sus actividades, se requiere estimulación constante, hasta lograr la rehabilitación óptima. En esta etapa la *electroestimulación inducida* por CEMP nos ayudará a: mejorar la elasticidad de los tejidos y la densidad ósea; generar contracción muscular; mantener en gran medida la calidad del tejido, fortaleciéndolo y reforzándolo. Así mismo disminuye el dolor que experimenta el paciente, por la reparación del tejido, sobre todo si ha permanecido inmovilizado, en este caso es sorprendente cómo un paciente inmovilizado, que ha recibido la *electroestimulación inducida* por CEMP, durante su inmovilización, no presentará dolor al volver a movilizar las articulaciones involucradas. Además, nos aportará energía suficiente para llevar a cabo cada una de las sesiones. De esta manera lograremos mejorar la calidad del movimiento y revertir la limitación funcional del paciente.

Disminución o eliminación de la discapacidad:

En esta etapa nos encargaremos de potencializar las capacidades físicas. Dentro del protocolo de rehabilitación, la *electroestimulación inducida* por CEMP nos aportará energía suficiente para trabajar resistencia y velocidad, nos ayudarán a ganar masa muscular, por su efecto anabólico, además de fuerza y elasticidad en los tejidos como músculos, huesos, ligamentos y tendones.

La *electroestimulación inducida* por CEMP nos apoyará en la modulación del dolor después del entrenamiento, al mejorar la circulación y haber mayor oxigenación de tejidos, disminuirá la formación de ácido láctico, conjuntamente acelerará la recuperación física. En esta etapa el paciente se reintegra a sus actividades y el tiempo de terapia puede espaciarse y adecuarse según las necesidades de este.

Recordemos que los efectos metabólicos de la *electroestimulación inducida* por CEMP, permanecen en el organismo por más de 24 horas, por lo cual las aplicaciones pueden reducirse hasta a 1 hora a la semana. No es necesario hacer el ejercicio en forma simultánea con la aplicación de la *electroestimulación inducida*.

Prevención de lesiones y enfermedades

En esta etapa la *electroestimulación inducida* por CEMP ayudará al organismo a realizar sus funciones normalmente, Mantendrá la calidad de huesos, músculos, tendones, ligamentos, cartílagos, piel, etc. La *electroestimulación inducida* por CEMP estimulará la capacidad del sistema inmunitario y así prevenimos enfermedades infecciosas, aportará energía y ayudará a la relajación y el descanso. La *electroestimulación inducida* mejorará la captación de nutrientes a nivel celular. En esta etapa la dosificación de la terapia puede espaciarse y adecuarse.

b) Pronóstico

Podemos definir al pronóstico, como la determinación de las mejorías a corto plazo, mediano plazo y largo plazo, esperadas durante el curso de la intervención con la *electroestimulación inducida* por CEMP, ya sea como terapia base o complementaria, así como la mejoría máxima que tal vez se logre y el tiempo requerido para alcanzar cada nivel. El pronóstico debe basarse en los factores siguientes:

- I. El estado de salud, los factores de riesgo y la respuesta del paciente a intervenciones previas.
- II. La seguridad, necesidades y objetivos del paciente.
- III. La anamnesis y el curso clínico esperado de la patología, o lesión.
- IV. Los resultados de la exploración, evaluación y procesos diagnósticos.

Un ejemplo de cómo hacer la planificación de objetivos es el siguiente:

Paciente masculino de 25 años, jugador de futbol, que durante su práctica deportiva sufre un esguince de tobillo izquierdo grado I, presenta dolor, inflamación, edema e incapacidad para realizar la marcha.

- **Objetivos a corto plazo:** Disminuir la inflamación y el edema, así como el dolor.
- **Objetivos a mediano plazo:** Reparar íntegramente el ligamento dañado. Disminuir la inflamación. Mejorar la amplitud de movimiento. Fortalecer los músculos y comenzar la reeducación de la marcha.
- **Objetivos a Largo Plazo:** Mejorar la amplitud de movimiento. Fortalecer los músculos y comenzar la reeducación de la marcha. Integrar al paciente a su actividad deportiva.

Para asegurarse de que el pronóstico se basa en la seguridad y las necesidades del paciente, el terapeuta debería reunirse con éste y establecer los objetivos específicos del paciente. El pronóstico y los objetivos pueden modificarse a medida que avance el tratamiento, basándose en la respuesta del paciente a la intervención con la *electroestimulación inducida* por CEMP. El profesional de la salud debe desarrollar un programa de tratamiento del paciente que favorezca su independencia hasta el máximo nivel posible, en muchas ocasiones es muy beneficioso que el profesional de la salud prescriba la terapia en casa, el paciente deberá adquirir un equipo de *electroestimulación inducida* por CEMP y tomar la terapia cómodamente en su casa.

6. Tratamiento

El tratamiento se define como la aplicación de la *electroestimulación inducida* por CEMP, ya sea como terapia principal o complementaria, para conseguir cambios en la afección del paciente.

La elección y dirección del tratamiento se basa en la evaluación y los objetivos (Hall, 2006). Las decisiones en curso sobre la intervención dependen de la monitorización de la respuesta del paciente y del progreso hacia los resultados esperables.

El tratamiento con la *electroestimulación inducida* por CEMP debe ir enfocado primeramente en los deterioros físicos o estructurales del paciente, pues es aquí donde la *electroestimulación inducida* tendrá un efecto mayor, sin embargo, no olvidemos que, también obtendremos efectos en la funcionalidad, pues como ya hemos visto, la *electroestimulación inducida* trabaja a nivel de la lesión celular, reactivando la función celular de articulaciones, órganos internos, y de los diversos tejidos corporales. El especialista debe diseñar el tratamiento con base en las respuestas a las siguientes preguntas (Tabla 20):

TABLA 20.- PREGUNTAS QUE PUEDE PLANTEARSE EL TERAPEUTA

- ¿Se beneficiará el paciente con la Intervención de la *electroestimulación inducida*?
- ¿Tiene el tratamiento con *electroestimulación inducida* por CEMP restricción absoluta?
- ¿Tiene el tratamiento con *electroestimulación inducida* por CEMP restricciones relativas?
- ¿Se utilizará únicamente *electroestimulación inducida* por CEMP?
- ¿Se utilizarán otras terapéuticas complementarias?
- ¿Cuántos minutos por sesión?
- ¿Por cuántos días se aplicará la *electroestimulación inducida*?
- ¿El paciente debe adquirir un equipo de *electroestimulación inducida* por CEMP para casa?
- ¿Otras recomendaciones?

Algunas preguntas las habremos respondido durante todo este proceso, y las últimas de ellas serán respondidas en esta etapa, pero deberán ser revisadas cuando tengamos los resultados de la intervención, es decir, el modelo de intervención es circular y dinámico, una vez iniciado y avanzado el tratamiento, debemos regresar a las primeras etapas, para examinar, explorar, reevaluar, ajustar nuestro diagnóstico y por ende, ajustar nuestro plan de tratamiento y la intervención misma, eso nos llevará a alcanzar la rehabilitación óptima (ilustración 152).

7. Resultados o rehabilitación óptima

Los resultados serán producto del tratamiento con *electroestimulación inducida* por CEMP y en este caso se considerarán satisfactorios cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- La función física mejoró o se mantiene siempre que sea posible.
- El declive funcional se redujo al mínimo o se ralentizó cuando el estado no puede mantenerse.
- El paciente está satisfecho.

Al determinar y cumplir los objetivos e intervenciones revisados, el terapeuta emplea los datos adicionales reunidos en la reevaluación, que es el proceso de modificación, y prosiguen hasta que se adopte la decisión de interrumpir el tratamiento.

Conclusión de inciso A.

El seguimiento de la eficacia del tratamiento depende de contar con un modelo de intervención, adecuado al área de experiencia del terapeuta. Por ello es importante que el terapeuta organice de la manera más adecuada todos los datos del paciente y su tratamiento. Los cambios deben documentarse cuidadosamente en un esfuerzo por señalar que las intervenciones con *electroestimulación inducida* por CEMP se relacionan con resultados exitosos, eficaces y baratos.

ILUSTRACIÓN 149.- MODELO DE INTERVENCIÓN



Este modelo de intervención difiere en algunos sentidos con el elaborado por otros especialistas en salud, sin embargo, este modelo ha sido presentado, como una herramienta para que cualquier otro terapeuta logre los resultados y la documentación óptima, de la terapia de *electroestimulación inducida* por campos electromagnéticos pulsados.

No existen protocolos de aplicación de la *electroestimulación inducida* por CEMP, las horas de aplicación, el tiempo total de terapia y su periodicidad, dependerá, de los datos obtenidos en el *modelo de intervención*.

El mismo modelo de intervención le permitirá al terapeuta decidir si aplicará la *electroestimulación inducida* por CEMP como terapia primaria, o bien, como terapia complementaria a otra terapéutica.

B. La electroestimulación inducida por CEMP y otros agentes físicos en rehabilitación

Definición de agentes físicos y modalidad terapéutica, en rehabilitación:

Los **agentes físicos** son energía y/o materiales aplicados a los pacientes para ayudar a su rehabilitación, incluyen el uso de calor, frío, agua, presión, sonido, corrientes eléctricas, ondas electromagnéticas, oxígeno, entre otros (Cameron, 2013). La aplicación de agentes físicos tiene un objetivo específico, basado en diferentes efectos terapéuticos, entre los que están: salud tisular, alivio del dolor, flexibilidad y rango óptimo de movimiento, fortalecimiento, resistencia y velocidad muscular, consolidación ósea, habilidad motora, etc. (Cameron, 2013). Una **modalidad terapéutica** es un dispositivo que mueve a un **agente físico**, hacia o desde el cuerpo, con propósitos terapéuticos, son medios utilizados, en medicina y fisioterapia (Ilustración 150). En el caso de la electroestimulación inducida por CEMP, el agente físico es una corriente eléctrica y la modalidad terapéutica es la energía electromagnética, llamada campos electromagnéticos pulsados, CEMP.

Los agentes físicos son una forma de tratamiento que ayudará a mejorar y fortalecer la situación de salud del paciente. Se utilizan sobre todo para el tratamiento de enfermedades crónicas y/o degenerativas, que limitan la vida de los pacientes y para las cuales, la medicina farmacológica, en numerosas ocasiones, solo ofrece calmantes o paliativos, muchas veces con efectos secundarios a la larga tóxicos.

ILUSTRACIÓN 150.- MODALIDADES TERAPEUTICAS



La clasificación más utilizada es aquella que determina la modalidad terapéutica en conjunto con el tipo de agente físico o energía que es generado. Esto determina así mismo el dispositivo a utilizar para su aplicación clínica y segura al paciente.

La siguiente tabla nos muestra la clasificación propuesta por Michelle Cameron, pero que ha sido modificada por los autores, en cuanto a la electroestimulación inducida por CEMP, pues como ya se ha mencionado, existe el error de creer que el agente físico es el campo electromagnético variable en el tiempo, y no es así, el agente físico de los CEMP es la *corriente inducida*. (Tabla 21).

TABLA 21.- MODALIDADES TERAPEUTICAS MODIFICADA (CAMERON, 2013)

Modalidad	Tipo de agente	Dispositivos
Térmica	Agentes de calentamiento profundo	Ultrasonido, Diatermia
	Agentes de calentamiento superficial	Bolsa o compresa caliente.
	Agentes de enfriamiento	Bolsa de hielo o gel congelado
Mecánica	Tracción	Aparato de tracción mecánica
	Compresión	Vendaje elástico
	Agua	Piscina de chorros
	Sonido	Generador de Ultrasonido
Ondas electromagnéticas	Luz: láser, fototerapia, luz infrarroja.	Lámparas de diversas luces
Corrientes Eléctricas	Corrientes eléctricas inducidas	Generadores de CEMP
	Corrientes eléctricas conducidas (por cables)	Estimulación nerviosa transcutánea (TENS) Diatermia
Químicas	Oxígeno	Cámara hiperbárica

Como podemos observar, independientemente de que se utiliza un generador de campos electromagnéticos variables en el tiempo, (a los que llamamos pulsados), el principal agente físico de esta modalidad son las *corrientes eléctricas inducidas*, pues son estas quienes disparan los mecanismos de reparación y estimulan directamente a las células del organismo.

Aquí vale la pena preguntarse cuáles son los efectos fisiológicos de estos agentes físicos y a qué nivel actúan. Para dar respuesta a esta pregunta presentamos la siguiente tabla cuyo objetivo es comparar la *electroestimulación inducida* por CEMP, con otras modalidades terapéuticas, tanto en su acción biológica, su alcance terapéutico y sus beneficios (Tabla 22).

TABLA 22.- MODALIDADES TERAPEUTICAS

Tipo de agente	Efecto fisiológico	Nivel de actuación
Agentes de calentamiento profundo	Aumenta el flujo sanguíneo, la tasa metabólica, la extensibilidad de los tejidos blandos. Disminuye el dolor.	Tejidos profundos, con elevados coeficientes de absorción, aplicados en forma local.
Agentes de calentamiento superficial		Tejidos superficiales: Aplicada en forma local
Agentes de enfriamiento	Disminuye el flujo sanguíneo, la tasa metabólica y el dolor.	Tejidos superficiales: Aplicada en forma local
Tracción	Alivia la presión sobre estructuras como nervios y articulaciones, reduce la inflamación y el dolor.	Tejidos superficiales: Aplicada en forma local
Compresión	Controlan y revierten el edema.	Tejidos superficiales: Aplicada en forma local.
Agua	Proporciona un entorno reforzado para el ejercicio terapéutico. Para controlar edema y dolor.	Tejidos superficiales, aplicación local o integral.
Sonido	Favorece la penetración transdérmica de los fármacos.	Tejidos profundos: Aplicada en forma local.
Luz: láser, fototerapia, luz infrarroja.	Efectos bioestimulantes sobre las células, reduce el dolor.	Tejidos superficiales: Aplicada en forma local.
Corrientes eléctricas inducidas (por CEMP)	Aumenta el flujo sanguíneo la tasa metabólica, la extensibilidad de los tejidos blandos. Reduce y revierte el edema. Disminuye y controla el dolor. Aumentan la fuerza de músculos, tendones y ligamentos. Aceleran la curación de tejidos. Incrementa la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre. Efectos bioestimulantes sobre las células. Reactiva la función celular. Favorece la penetración transdérmica de los fármacos.	A nivel superficial y profundo, tanto en tejido blando como óseo, sin calor. Puede aplicarse en todo el cuerpo en forma integral y simultánea, aun con prótesis metálicas.
Corrientes eléctricas conducidas (por cables)	Reducen el edema, controlan el dolor, aumentan la fuerza muscular, favorecen la curación de tejidos, favorecen la penetración transdérmica de fármacos.	Tejidos superficiales y ligeramente profundos. Aplicada en forma local.
Oxígeno	Incremento de capacidad de transporte de oxígeno de la sangre. Favorecen la curación de tejido.	Tejidos superficiales y ligeramente profundos. Aplicada en forma local.

Como podemos observar en la tabla 22, las *corrientes eléctricas inducidas* a través de los CEMP realiza la mayoría de los efectos de los otros agentes físicos y su nivel de actuación supera los tejidos superficiales, aplicándose de forma integral en todo el cuerpo, de tal manera que podemos considerar esta modalidad terapéutica como una de las más importantes y eficaces en la rehabilitación.

Pero ¿cómo podemos complementar la acción de las corrientes inducidas por CEMP con otros agentes físicos? Para ello determinaremos la posibilidad de la aplicación conjunta las corrientes inducidas por CEMP y otros agentes físicos, así como la forma más recomendada de conjuntarlos y sus beneficios terapéuticos.

Corrientes inducidas por CEMP y agentes de calentamiento superficial

Es posible aplicar las *corrientes inducidas* por CEMP de manera integral y compresas calientes localizadas en zonas del miembro superior o inferior de un paciente, en forma simultánea. El paciente se coloca sobre el colchón generador de CEMP y al mismo tiempo se colocan compresas calientes, sobre articulaciones, músculos, y tejidos superficiales, durante un tiempo, determinado por el terapeuta. Esta combinación se recomienda principalmente para lesiones crónicas.

Una de las principales ventajas es que generamos efectos en tejidos tanto superficiales como profundos. Se generará una mayor vasodilatación en la zona a tratar, que permitirá una mayor circulación sanguínea. Aumento de la temperatura local con aumento de la elasticidad y viscosidad de los tejidos tales como músculos, fascias, tendones y ligamentos. Desinflamación global de tejidos inflamados crónicamente como músculos y articulaciones. Alivio del dolor crónico y mayor relajación.

Debemos cuidar el tiempo de exposición al calor y la temperatura de la compresa no debe ser excesiva y se debe tener mayor cuidado si esta es húmeda-caliente. Efectuamos esta combinación principalmente en padecimientos como contracturas musculares, fibromialgia, osteoartritis, artritis reumatoide, estrés y fatiga muscular.

Corrientes inducidas por CEMP y agentes de enfriamiento

Es posible aplicar CEMP de manera integral y compresas frías localizadas en zonas del miembro superior o inferior de un paciente, en forma simultánea. El paciente se coloca sobre el colchón generador de CEMP y al mismo tiempo se colocan compresas frías, sobre articulaciones, músculos, y tejidos superficiales, durante un tiempo, determinado por el terapeuta. Esta combinación se recomienda principalmente para lesiones agudas. Generamos efectos en tejidos tanto superficiales como profundos. Se genera un contraste de temperatura por la acción vasodilatadora de los CEMP y la acción vasoconstrictora de la compresa fría, con lo cual se estimula el flujo sanguíneo y disminuye la tasa metabólica, aplicándose con éxito para drenar edemas iniciales y para la desinflamación global de tejidos inflamados, de forma aguda, como músculos, articulaciones, fascias, tendones y ligamentos. Alivio del dolor agudo. Estimula la recuperación muscular. Efectuamos esta combinación principalmente en padecimientos como lesiones deportivas, esguinces, edema, contracturas y fatiga muscular, etc.

Corrientes inducidas por CEMP y Tracción

El paciente se coloca sobre el colchón generador de CEMP y al mismo tiempo se realizan técnicas de tracción de articulaciones, determinadas por el terapeuta. Esta combinación se recomienda principalmente para lesiones no agudas o crónicas. Generamos efectos en tejidos tanto superficiales como profundos. Alivia la presión sobre estructuras como nervios y articulaciones, al mismo tiempo que reduce la inflamación y el dolor. Aumenta la flexibilidad y la elasticidad de los tejidos. Mejora la amplitud de movimiento y hay una mayor relajación. Efectuamos esta combinación principalmente en padecimientos estructurales como desgaste articular, lesiones deportivas, deformidad articular, escoliosis, etc.

Corrientes inducidas por CEMP y compresión

El paciente se coloca sobre el colchón generador de CEMP y al mismo tiempo se realizan técnicas de compresión, determinadas por el terapeuta, tal como vendaje compresivo de extremidades. Esta combinación se recomienda tanto para lesiones agudas como crónicas. Generamos efectos en tejidos tanto superficiales como profundos. Se estimulan la circulación de sangre y linfa con lo cual se controla y revierte el edema crónico o

agudo. Disminuye la tasa metabólica. Alivio del dolor y mayor relajación. Efectuamos esta combinación principalmente en padecimientos como edema, linfedema, heridas, etc.

Corrientes inducidas por CEMP y láser terapéutico

Es posible aplicar CEMP de manera integral y luz láser localizada en zonas del miembro superior o inferior de un paciente. El paciente se coloca sobre el colchón generador de CEMP y al mismo tiempo se aplican estímulos de láser sobre articulaciones, músculos, y tejidos superficiales, de una intensidad y durante un tiempo determinado por el terapeuta. Esta combinación se recomienda principalmente para lesiones crónicas. Generamos efectos en tejidos tanto superficiales como profundos. Esta aplicación acelera en gran medida la curación y la cicatrización del tejido. Potencializa los efectos bioestimulantes sobre las células. Promueve la desinflamación y alivia el dolor. Efectuamos esta combinación principalmente en padecimientos como osteoartritis, artritis reumatoide, fibrosis, etc. Se utiliza también con láser cosmetológico, disminuyendo el tiempo para ver resultados sobre la piel. De la misma forma se puede aplicar fototerapia o calor infrarrojo, simultáneamente con la *electroestimulación inducida*.

Corrientes inducidas por CEMP y ultrasonido, corrientes eléctricas conducidas o cámara hiperbárica.

No se recomienda el uso conjunto de la electroestimulación inducida y estas modalidades terapéuticas, ya que requieren de la aplicación de electrodos, un transductor (en el caso del ultrasonido), o una cámara presurizada, elementos generalmente conectados al suministro eléctrico. Que estos aparatos cumplan con las normas de seguridad y riesgo sanitario depende de su fabricante. Para evitar un riesgo eléctrico, se recomienda no utilizar estas terapéuticas en forma simultánea con las *corrientes inducidas*, por CEMP, sin embargo, pueden utilizarse en forma consecutiva, por ejemplo, después de la aplicación de oxígeno hiperbárico se recomienda la aplicación de corrientes inducidas, para fijar el oxígeno en la célula. De igual manera pueden utilizarse las corrientes conducidas para efectos motores y de contracción y la inducidas por sus efectos reparadores y de fortalecimiento.

C. Parámetros de aplicación de las corrientes inducidas por CEMP

Los CEMP son generados a partir de la circulación de electricidad por un inductor, son variables en el tiempo, y de muy bajas frecuencias. Se trata de una modalidad terapéutica, cuyo agente físico son las *corrientes eléctricas inducidas* por el campo eléctrico asociado.

El campo electromagnético es invisible, pero su fuerza ejerce acciones sobre el tejido vivo. El cuerpo humano, así como todo ser vivo, es permeable a los CEMP, estos nos penetran y atraviesan, ejerciendo su acción inductora tanto en los tejidos superficiales, así como en los más profundos. Como en muchas terapéuticas, no existen protocolos establecidos para la aplicación de los CEMP, en forma específica por padecimiento, la dosificación de aplicación depende de las siguientes variables:

- a) La evaluación y el diagnóstico
- b) El Coeficiente de inducción (microVolts/ cm)
- c) La frecuencia de emisión [Hertz].
- d) El tiempo de aplicación [minutos u horas] y la periodicidad, es decir el tiempo que dure la terapia en una sola sesión.
- e) El área del cuerpo expuesta al campo electromagnético.
- f) La conductividad del tejido [Siemens por metro].

a) La evaluación y el diagnóstico

Ya hemos visto un modelo para llevar a cabo un diseño de tratamiento, integral e individualizado por cada paciente, según sus características. Por lo que es muy importante realizar la evolución adecuada y su diagnóstico preciso.

b) El Coeficiente de inducción

Es una característica intrínseca del aparato, lo proporciona el fabricante, podríamos decir que equivale a la concentración del principio activo en un medicamento farmacéutico.

Esta variable nos indica la capacidad de inducir las microcorrientes eléctricas en el cuerpo, es decir es la principal variable para determinar la eficacia de un generador de campo electromagnético pulsados.

Las unidades del coeficiente de inducción son microVolts/ cm, [μ V/cm], en estudios llevados a cabo por Fitzsimmons R.J. y colaboradores, en 1994, se demostró que un campo magnético combinado de baja amplitud, que induzca un gradiente potencial máximo de 100 micro Volts / cm, ya es capaz de aumentar el flujo neto de calcio, el estudio se hizo en células parecidas a osteoblastos humanos.

El coeficiente de inducción de los aparatos SenCa son las óptimas y determinan su eficacia en el tratamiento del paciente. En la siguiente tabla 23 se presentan el coeficiente de inducción de los nuevos modelos Vitality, BienStar y Diabet.

TABLA 23.- CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS SENCA

Modelo	Coeficiente de Inducción micro Volts/ cm
Vitality	8670
BienStar	8670
Diabet	8670

El coeficiente de inducción es una característica importante, pues un aparato del que se desconozca su coeficiente no puede asegurar su eficacia y un aparato poco eficaz requerirá más tiempo de terapia, más sesiones de terapia y con una mayor periodicidad.

c) La frecuencia de emisión [Hertz]

Recordemos que la frecuencia, medida en Hertz, indica el número de pulsos por segundo a los que varía el campo electromagnético. También indica el número de estímulos que recibe el cuerpo por segundo.

Analizando las frecuencias de trabajo utilizadas en las investigaciones científicas, tenemos que los intervalos, de frecuencia, manejados más comúnmente son los siguientes:

- De 10-20 Hz: utilizadas frecuentemente en estudios con animales.
- Fijo a 50 o 75 Hz: usado generalmente en los equipos europeos, manejados a menudo en estudios clínicos en humanos, o en terapia.
- Valores fijos de 60, 100 o 120 Hz: utilizados en los antiguos equipos de fabricación nacional.
- Predeterminado a 180 o 200 Hz, en los modelos SenCa, ya que los estudios indican que es más eficaz trabajar a frecuencias más altas, pues el paciente recibe mayor dosis en el mismo intervalo de tiempo.

También sabemos que la frecuencia máxima requerida es de 250 Hz, esto se explica si tomamos en cuenta que las células utilizan cuatro milisegundos, para llevar a cabo la respuesta fisiológica a las corrientes inducidas, así que como máximo, las células solo podrán responder 250 veces por segundo.

d) El tiempo de aplicación: minutos, horas y la periodicidad

El tiempo de aplicación es el tiempo que dura la terapia en una sola sesión, la periodicidad es cuantas veces por semana se aplica la terapia.

Ambas variables las esquematizamos así:

- Tiempo de aplicación por sesión = Minutos (min)
- Periodicidad = Veces por semana (vxs)

Para el uso del aparato en consultorio, se recomienda trabajar con los modelos Vitality y BienStar, pues trabajan 24 horas por siete días, sin sufrir calentamiento, además de esta manera podemos mantener acostado al paciente, en decúbito, supino, lateral o prono, en el aplicador del modelo Vitality, y en el caso del modelo BienStar, podemos mantener al paciente en posición de sentado.

Con ellos se cubre todo el cuerpo del paciente como si se encontrara dentro de un capullo de CEMP.

El tiempo mínimo de aplicación es (30 min / 2 a 4 veces x semana), es decir 1 a 2 horas por semana. Generalmente la mayoría de las afecciones requieren 40 horas en total, aunque esto depende de la afección,

la edad del paciente y de la evolución de la enfermedad. En afecciones agudas se recomiendan 10 horas de aplicación total.

e) El área del cuerpo expuesta a las corrientes inducidas por CEMP.

Los estudios han demostrado que entre más partes del cuerpo reciban la electroestimulación inducida por CEMP, al mismo tiempo, se requerirán menos horas totales de terapia y pueden espaciarse las sesiones, por lo cual se recomienda que se utilice un aplicador que abarque todo el cuerpo del paciente, como un aplicador de colchón. (Ilustración 155)

ILUSTRACIÓN 151.- EL APLICADOR IDEAL ES UN COLCHÓN



f) La conductividad del tejido [Siemens por metro]

Cada tejido biológico presenta una conductividad específica, cuyas unidades son siemens/ m, el tejido nervioso será el mejor conductor, el tejido graso es un aislante, así un paciente obeso requerirá más tiempo de terapia que un paciente delgado (Ilustración 154). La conductividad de los tejidos puede incrementarse si el tejido se encuentra hidratado, por lo cual se recomienda que el paciente tome medio litro de agua antes de la terapia. Un tejido más hidratado tendrá mejor conductividad, que un tejido pobremente hidratado.



ILUSTRACIÓN 154.- A MAYOR HIDRATACIÓN MAYOR ESTIMULACIÓN.

D. Indicaciones de la electroestimulación inducida por CEMP para fisioterapia

La *electroestimulación inducida* por CEMP es indicada en una amplia gama de enfermedades y padecimientos, es una herramienta excelente para prácticamente todos los padecimientos tratados en el área de fisioterapia. Como ya hemos dicho, las *corrientes inducidas* por CEMP nos ayudarán de forma importante en todo el proceso de rehabilitación, en cada fase de este y sobre múltiples deterioros y limitaciones.

A continuación, se presentan solo algunas de las indicaciones más relevantes en fisioterapia, teniendo en cuenta que existen muchas más, que quizás no se describan aquí, pero que el mismo terapeuta podrá identificar. (Tabla 24)

TABLA 24.- INDICACIONES DE LOS CMP EN FISIOTERAPIA

Patología	Descripción
Fracturas	Las <i>corrientes inducidas</i> , por CEMP, mejoran la circulación sanguínea en la zona afectada y apoya la formación del callo vascular y del cartílago. En consecuencia, se inician la mineralización y remodelación progresiva de cartílago y hueso, con ello se acelera la consolidación y se acelera el proceso de rehabilitación del paciente. El tiempo de consolidación disminuye prácticamente a la mitad.
Osteoporosis	Las <i>corrientes inducidas</i> , por CEMP, aumentan el metabolismo del hueso, con lo que se incrementa la densidad ósea, revirtiendo el proceso osteoporótico. Nos ayuda en el tratamiento del problema de fondo y forma huesos más fuertes, que contribuye a una buena rehabilitación. Se recomienda su aplicación con terapia farmacológica combinada.
Hernia Discal	Debido al manejo del dolor por parte de las <i>corrientes inducidas</i> , por CEMP, pueden indicarse en todas las etapas de la condición dolorosa. Su efecto desinflamante actúa directamente sobre el disco herniado, disminuyendo sus dimensiones significativamente y descomprimiendo la raíz nerviosa. Se logra la recuperación del espacio intervertebral, así que es posible llegar a evitar la cirugía, y una vez sanada la hernia, mejorar la movilidad articular, mejorar la fuerza muscular, aumentar la densidad ósea, etc.
Tendinopatía	Las <i>corrientes inducidas</i> , por CEMP tienen un efecto desinflamatorio sobre los tendones y los músculos sobrecargados. Regula y disminuye la sensación de dolor. Posteriormente mejora la fuerza, elasticidad y resistencia de los tendones al incrementarse la síntesis de colágeno.
Síndrome miofascial	El síndrome miofascial es una serie de padecimientos del músculo, el cual puede estar fatigado, inflamado, acortado o con la fascia adherida. Las <i>corrientes inducidas</i> , por CEMP tienen un efecto vasodilatador, el cual mejora la circulación hacia el músculo, por lo que se desinflama, eliminando las contracturas y mejorando su elasticidad. Con ello disminuye el dolor considerablemente. Posteriormente las <i>corrientes inducidas</i> , por CEMP nos ayudan a potenciar la fuerza muscular y mejorar la calidad de movimiento, además de su efecto anabólico.
Prevención de la atrofia muscular	La pérdida de masa muscular se produce en pacientes postrados en cama, debido a la restricción de movimiento activo o en enfermedades neurogénicas. Las <i>corrientes inducidas</i> , por CEMP estimulan el tejido neuromuscular, en el cual se producen contracciones musculares microscópicas, en consecuencia, puede utilizarse para evitar atrofia y mantener la fuerza muscular desde los inicios del proceso de rehabilitación.
Reducción de la espasticidad	El aumento del tono muscular se acompaña de debilidad muscular, que impide al paciente moverse libremente. Relajando los músculos espásticos y estimulando los músculos débiles, se consigue un equilibrio muscular y la disminución de la espasticidad en el grupo muscular afectado. Esto es de gran ayuda para realizar de mejor manera el tratamiento de fisioterapia, como lo es la movilización activa-asistida.
Regeneración del nervio	Las lesiones nerviosas comprenden de la compresión simple a la interrupción total del nervio. La estimulación del tejido neuronal deteriorado aumenta el flujo sanguíneo, desinflama, repara y alivia el dolor en la zona afectada. Posteriormente aumenta la transmisión nerviosa, mejorando la contracción y fuerza muscular.
Problemas del Aparato cardiovascular	Las <i>corrientes inducidas</i> , por CEMP están indicadas en los pacientes con trastornos circulatorios, pie diabético, en la flebitis, en la linfedema, y en las varices y micro varices.
Problemas del Aparato respiratorio	En el árbol respiratorio, se prescribe el tratamiento con las <i>corrientes inducidas</i> , por CEMP, para la insuficiencia respiratoria crónica, bronquitis crónica, asma bronquial, etc. Las <i>corrientes inducidas</i> estimulan los músculos respiratorios, mejoran su fuerza, lo que lleva al paciente a respirar más eficientemente.

Piel	Se indica ante las úlceras de causa diversa, en los casos de dehiscencia de sutura, abscesos, quemaduras, dermatitis, lesiones herpéticas y posherpéticas, acné y en los casos de envejecimiento prematuro de la piel.
------	--

E. Casos clínicos de la aplicación de la Electroestimulación Inducida por CEMP.

Casos clínicos de CEMP En Fisioterapia

En esta sección presentaremos una serie de casos clínicos del área de fisioterapia, elaborados por el licenciado en fisioterapia Saúl Velázquez Camacho, en los cuales se utilizó la *electroestimulación inducida*, por CEMP, como uno de los principales elementos del esquema terapéutico. Cabe mencionar que son casos llevados a cabo, con el método de intervención antes propuesto en este capítulo.

Caso 1- Lumbalgia de origen biomecánico

Examinación

Se trata de una paciente del sexo femenino de 22 años, bailarina profesional de danza contemporánea y ballet clásico. Acude a la consulta en fisioterapia refiriendo dolor en la zona sacro lumbar, de evolución de 8 días, el dolor aumenta y evoluciona en los 2 días siguientes. Comenta que el dolor comienza en una vértebra y se expande de forma bilateral. El dolor disminuye con el reposo y aumenta con el movimiento, esto le impide realizar sus actividades dancísticas profesionales.

Cabe mencionar que, tiene una actividad física demandante, ya que entrena 8 horas al día, de lunes a sábado y se transporta caminando. La paciente considera su alimentación “buena”, pues combina los 5 grupos de alimentos. Niega antecedentes heredofamiliares y personales patológicos de importancia, así como no lleva acabo ningún tratamiento de tipo farmacológico.

Exploración y Evaluación

Se lleva cabo inspección local en zona sacrolumbar, a la altura de L3-S1, presentando inflamación leve, con ligero aumento de la temperatura, rigidez moderada y dolor severo a la palpación. Se evalúa el dolor con la escala numérica verbal, que califica el dolor con un número del 0 al 10 según la intensidad, ella califica su dolor con un 7 en posición estática o pasiva y con 10 el nivel de dolor en posición dinámica o activa (Tabla 25). En la exploración de postura se visualiza de forma lateral, un aumento en la lordosis lumbar, así como aumento en la extensión de ambas rodillas.

Se le realiza un examen manual muscular de forma bilateral principalmente en los siguientes músculos: paravertebrales, abdominales inferiores, glúteo mayor, glúteo menor, tensor de la fascia lata, isquiotibiales y cuádriceps. Dicho examen fue evaluado a través de la Escala muscular de Daniels, que de manera subjetiva califica la fuerza muscular de un segmento con un número del 0 al 5. Los resultados se presentan en la Tabla (26).

TABLA 25.- EVALUACIÓN DEL DOLOR

POSICIÓN	CALIFICACIÓN
ESTÁTICO	7/10
DINÁMICO	10/10

TABLA 26.- EXAMEN MANUAL MUSCULAR

MÚSCULO	1ra. VALORACIÓN (ESCALA DE DANIELS)
Paravertebrales	3/5
Abdominales inferiores	3/5
Glúteo mayor	3/5
Glúteo menor y TFL	3/5
Isquiotibiales	3/5
Cuádriceps	3/5

Se le realizó una exploración neurológica, valorando la sensibilidad a través de estímulos, a lo largo de los dermatomas de las raíces nerviosas L1, L2, L3, L4, L5, S1 Y S2. Así mismo se evaluaron los reflejos

osteotendinosos correspondientes al rotuliano y Aquileo de forma bilateral. No se encuentran alteraciones nerviosas, ni sintomatología de patología neurológica.

Se le realizan pruebas biomecánicas específicas, presentadas en la tabla 27.

TABLA 27.- PRUEBAS ESPECÍFICAS

Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo
Prueba del cuadrante	Detecta disfunciones articulares lumbares.	Positivo
Lasague	Detecta radiculopatía	Negativo
Cram	Detecta radiculopatía de origen mecánico	Negativo
Prueba de la caída	Detecta disfunción medular	Negativo
Adams	Detecta escoliosis	Negativo

Resulta ser la “**Prueba del cuadrante**” la única prueba de hallazgo positivo (+). Lo cual nos hace sospechar de una lumbalgia por disfunción articular y de origen biomecánico. **Se presenta como Auxiliar de Imagen:** Rayos X anteroposterior de Columna Lumbo Sacra (Ilustración 153)

ILUSTRACIÓN 152.-



En la cual se obtienen los siguientes hallazgos:

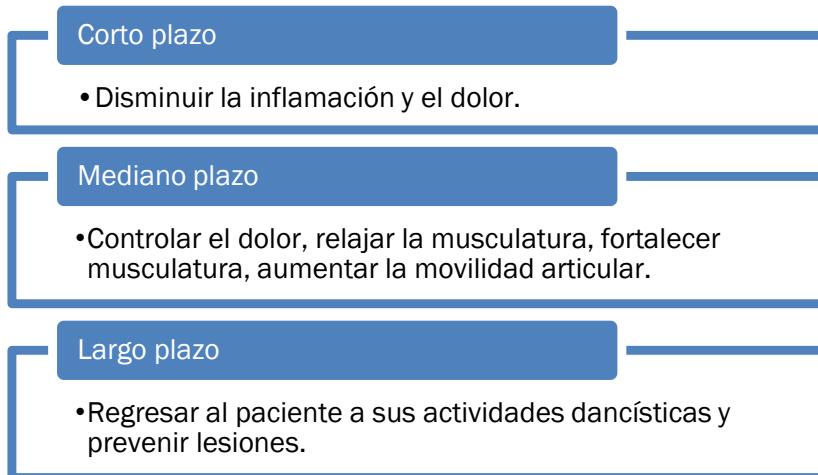
- Se identifican cuerpos vertebrales de morfología, altura y tamaño normal.
- Alineación respetada, sólo llama la atención actitud escoliotica lumbar de convexidad derecha menor de 10 grados.
- Mineralización ósea conservada.
- Espacios intervertebrales se encuentran aparentemente respetados, con pedículos vertebrales normales.

Diagnóstico

Sensación severa de dolor y de rigidez muscular, con disfunción moderada de músculos y articulaciones en la estructura de columna lumbosacra. Dicha condición limita los movimientos de flexión, extensión y rotación de la columna. Lo cual restringe las actividades de su rutina diaria como bailarina profesional.

Plan de Tratamiento y pronostico

Con base en lo antes evaluado, se plantean objetivos a cumplirse en 3 periodos; corto, mediano y largo plazo (Ilustración 154). Posteriormente se realiza un plan de tratamiento que incluye la utilización de *electroestimulación* con CEMP y otras técnicas de fisioterapia y es aplicado a la paciente.

ILUSTRACIÓN 153.- OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO**Tratamiento para cumplir objetivos a corto plazo:**

Sesión de 60 minutos

- Aplicación de *corrientes inducidas* por CEMP, en posición sentado, abarcando todo el cuerpo, principalmente zona sacrolumbar (60 minutos por sesión, 2 veces a la semana), aplicado a la par de la termoterapia, masaje y estiramientos.
- Termoterapia en zona sacrolumbar (15 minutos).
- Liberación miofascial y masaje descontracturante en m. cuadrado lumbar, m. paravertebrales, m. glúteo mayor fibras superiores, m. iliaco porción posterior (15 minutos).
- Estiramientos de m. cuadrado lumbar, m. paravertebrales, m. glúteo mayor fibras superiores, m. iliaco porción posterior, m. isquiotibiales, m. tensor de la fascia lata (15 minutos).
- Se finaliza la sesión los últimos minutos con *corrientes inducidas* por CEMP.

Tratamiento para cumplir objetivos a mediano y largo plazo:

Sesión de 60 minutos

- Ejercicio terapéutico enfocado en la corrección y ajuste de columna vertebral lumbar (8 minutos).
- Ejercicio terapéutico enfocado en el fortalecimiento del CORE (10 minutos).
- Ejercicio terapéutico enfocado en mejorar equilibrio y propiocepción (7 minutos).
- Estiramientos de m. cuadrado lumbar, m. paravertebrales, m. glúteo mayor fibras superiores, m. iliaco porción posterior, m. isquiotibiales, m. Tensor de la fascia lata (10 minutos).
- Aplicación de *corrientes inducidas* por CEMP, en posición sentado, abarcando todo el cuerpo (30 minutos, 2 veces a la semana). Aplicar después del ejercicio, a la par de los agentes físicos y el masaje.
- Termoterapia de contraste, con compresas calientes y frías en zona sacrolumbar, (15 minutos)
- Liberación miofascial y masaje relajante en m. cuadrado lumbar, m. paravertebrales, m. glúteo mayor fibras superiores, m. iliaco porción posterior (15 minutos)

Resultados

El pronóstico normal de evolución y mejoría estos padecimientos son de 8 a 10 semanas aproximadamente, con un tratamiento convencional.

Con la aplicación de *corrientes inducidas* por CEMP, se ofrecieron al paciente **12 sesiones**, distribuidas en 6 semanas, de las cuales 7 fueron de 60 minutos y 5 fueron de 30 minutos, en total 9 horas y media de tratamiento con *corrientes inducidas* por CEMP, complementada con otras técnicas, observamos claramente una recuperación más rápida que lo esperado.

Se realiza una segunda valoración en la cual se exploró nuevamente todo lo previamente analizado en la primera valoración, encontramos resultados positivos principalmente en el alivio del dolor (evaluado con la escala verbal numérica) y en la función muscular (evaluada mediante la Escala de Daniels, tal como se muestra en las siguientes tablas: (Tablas 28, 29 y 30).

TABLA 28.- EXAMEN MANUAL MUSCULAR

MÚSCULO	1 ER VALORACIÓN (ESCALA DE DANIELS)
Paravertebrales	3/5
Abdominales inferiores	3/5
Glúteo mayor	3/5
Glúteo menor y TFL	3/5
Isquiotibiales	3/5
Cuádriceps	3/5

TABLA 29.- RESULTADOS DE LA FUERZA MUSCULAR

RESULTADOS FUERZA MUSCULAR (ESCALA DE DANIELS)		
MÚSCULO	1er VALORA- CIÓN	2da VALORA- CIÓN
Paravertebrales	3/5	5/5
Abdominales inferiores	3/5	5/5
Glúteo mayor	3/5	5/5
Glúteo menor y TFL	3/5	5/5
Isquiotibiales	3/5	5/5
Cuádriceps	3/5	5/5

TABLA 30.- RESULTADOS DEL NIVEL DE DOLOR

RESULTADOS DOLOR (ESCALA VERBAL NÚMÉRICA)		
POSICIÓN	1era VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
ESTÁTICO	7/10	1/10
DINÁMICO	10/10	5/10

Así mismo se vuelve a realizar valoración con pruebas específicas, donde la “Prueba del cuadrante “para disfunciones articulares lumbares, había salido positiva, y en esta segunda valoración no hay hallazgo por lo tanto resulta negativa, comprobando así la mejoría articular (Tabla 31).

Tabla 31.- Resultados de pruebas específicas

Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo
Prueba del cuadrante	Detecta disfunciones articulares lumbares.	Positivo
Lasague	Detecta radiculopatía	Negativo
Cram	Detecta radiculopatía de origen mecánico	Negativo
Prueba de la caída	Detecta disfunción medular	Negativo
Adams	Detecta escoliosis	Negativo

Fue un caso donde se combinaron las *corrientes inducidas* por CEMP, con otros agentes físicos, con terapia manual, terapia osteopática y ejercicios terapéuticos. Las *corrientes inducidas* por CEMP fueron muy importantes para disminuir el dolor, disminuir la inflamación, es decir nos permitieron progresar en la rehabilitación y posteriormente nos ayudaron para ganar fuerza y elasticidad, así como la recuperación energética post entrenamientos. Manualmente pudimos corroborar el ajuste y así mismo la paciente nos refirió gran mejoría. Finalmente se cumplieron los objetivos planteados, y se dio de alta a la paciente, comprobando así el éxito del tratamiento.

Caso 2- Dolor en rodillas y diabetes tipo 1

Examinación

Se trata de un paciente del sexo masculino, de 39 años, que acude al servicio de fisioterapia refiriendo dolor en ambas rodillas, de 3 meses de evolución, el cual aumenta al realizar actividad física, y reduce ligeramente con el reposo. También refiere dolor e inflamación en ambas manos.

Presenta diagnóstico de diabetes tipo 1, de 24 años de evolución por lo que emplea un tratamiento farmacológico inyectado (Insulina glargina: 40 unidades diariamente e Insulina lispro: 8 unidades diariamente).

Es profesor de música y cabe mencionar que tiene una actividad demandante ya que toca instrumentos de cuerda diariamente, tanto para dar clase como en presentaciones, durante tiempos prolongados.

El paciente considera su alimentación "regular", pues no le benefician sus horarios. Fuma tabaco ocasionalmente.

Exploración y Evaluación

Se lleva cabo inspección local en miembros inferiores presentando inflamación leve, con ligero aumento de la temperatura en ambas rodillas, principalmente en la cara interna de cada una. Se puede apreciar hipotrofia de los músculos de la pierna.

Se inspeccionan los miembros superiores, presentando inflamación, sin aumento de la temperatura, con ligero "brillo", en ambas manos (cara ventral y cara dorsal).

Se evalúa el dolor con la escala numérica verbal, que califica el dolor con un número del 0 al 10 según la intensidad, calificando el paciente su nivel de dolor, con 7 en posición estática o pasiva y con 10 en posición dinámica o activa, (Tabla 32).

El paciente presenta, en el mapa corporal, una sensación aumentada de dolor en: cara anterior de la articulación de la rodilla bilateralmente, cara interna y externa de la articulación de la rodilla bilateralmente, cara palmar de las manos bilateralmente y en la porción inferior de músculo deltoides bilateralmente.

En la exploración de postura, se visualiza en el plano anterior el hombro derecho ligeramente elevado, así como un ligero "valgo" de rodillas y tobillos de forma bilateral.

En el plano lateral se observa aumento de la extensión de rodilla, así como la cabeza en ligera ante pulsión.

Se le realiza un examen manual muscular de forma bilateral principalmente en los siguientes músculos: glúteo mayor, glúteo menor, tensor de la fascia lata, isquiotibiales, cuádriceps y tríceps sural, dicho examen fue evaluado a través de la escala muscular de Daniels, que de manera subjetiva califica la fuerza muscular de un segmento con un número del 0 al 5. Los resultados se presentan en la tabla 33.

Tabla 32.- Evaluación del dolor	
POSICIÓN	CALIFICACIÓN
ESTÁTICO	7/10
DINÁMICO	10/10

Tabla 33.- Examen manual muscular	
MÚSCULO	1 ER VALORACIÓN (ESCALA DE DANIELS)
Tríceps Sural	3/5
Glúteo mayor	3/5
Glúteo menor y TFL	3/5
Isquiotibiales	3/5
Cuádriceps	3/5

Se practicó, al paciente, una evaluación de los rangos de movimiento con el goniómetro, sin alteraciones significativas. También se le realizó una exploración neurológica, valorando la sensibilidad a través de estímulos, a lo largo de los dermatomas de las raíces nerviosas L1, L2, L3, L4, L5, S1 Y S2. Así mismo se evaluaron los reflejos osteotendinosos correspondientes al rotuliano y aquileo de forma bilateral. No se encuentran alteraciones nerviosas, ni sintomatología de patología neurológica.

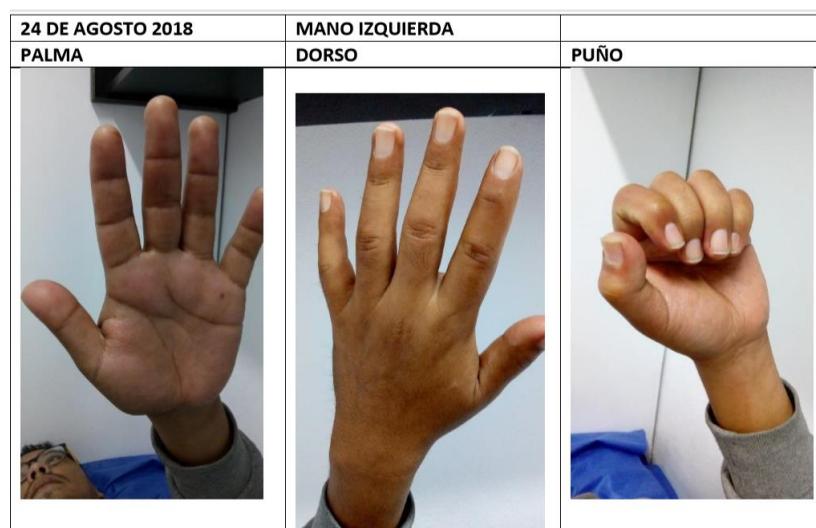
Se le efectúan pruebas biomecánicas específicas, los resultados se presentan en la tabla 34. Resulta ser la "Mc Murray "y "Appley" las únicas pruebas de hallazgo positivo (+).

Tabla 34.- Resultados de pruebas específicas

Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo
McMurray	Detecta afección de meniscos y regiones parameniscales	Positivo
Appley	Detecta afectación de meniscos y regiones parameniscales	Positivo
Extensión total	Detecta la integridad de los cuernos anteriores de los meniscos	Negativo
Lachman	Estudiar la integridad del LCA	Negativo
Prueba de Derrame	Evidenciar la presencia de líquido intraarticular	Negativo
Prueba de la Plica de Hughston	Valorar la plica supra patelar	Negativo

Se presentan, como auxiliares de imagen, fotografías de ambas manos, que fueron captadas desde el inicio del tratamiento hasta el final de este, (Ilustración 155 y 156).

Hallazgos: Se puede observar inflamación y un ligero brillo en las manos, tanto en la cara palmar como en la cara dorsal. Se observan dedos anchos e inflamados. Al apretar la mano (posición en puño) vemos como el paciente no logra cerrar completamente ambas manos.

ILUSTRACIÓN 154.- AUXILIAR DE IMAGEN**ILUSTRACIÓN 155.- AUXILIAR DE IMAGEN**

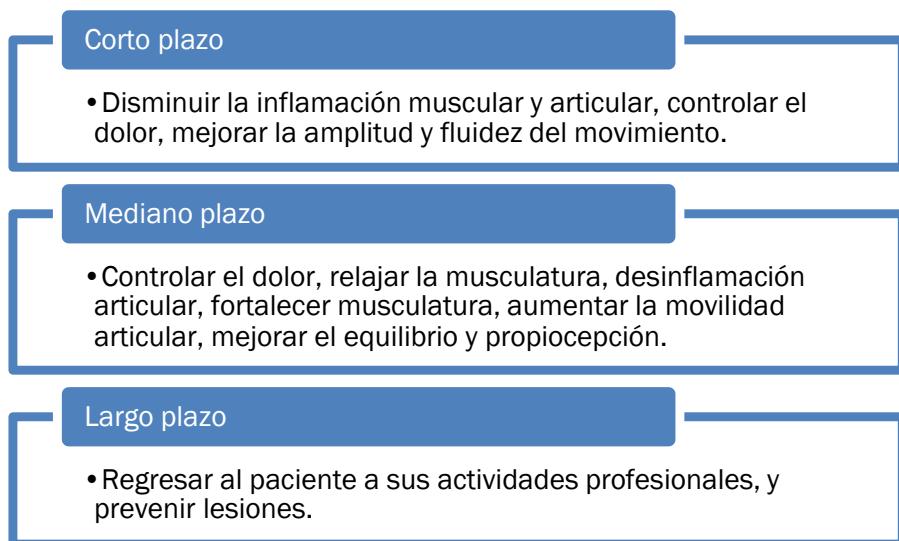
Diagnóstico

Sensación severa de dolor y de rigidez muscular, con disfunción moderada de músculos y articulaciones en la estructura de las extremidades inferiores (piernas). Dicha condición limita los movimientos de flexión y extensión de rodillas, que impiden la marcha normal. Lo cual restringe las actividades de su rutina diaria.

Plan de Tratamiento y pronóstico

Con base en lo antes evaluado, se plantean objetivos a cumplirse en 3 períodos; corto, mediano y largo plazo (Ilustración 157). Posteriormente se elabora y aplica un plan de tratamiento que incluye la utilización de *electroestimulación* con CEMP y otras técnicas de fisioterapia.

ILUSTRACIÓN 156.- OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO



Tratamiento para cumplir objetivos a corto plazo:

Sesión de 60 minutos

- Aplicación de *corrientes inducidas* por CEMP, en posición sentado, abarcando todo el cuerpo (1 hora por sesión) (Está trabajando a la par de la aplicación de otros procedimientos).
- Termoterapia con compresas calientes, en ambas rodillas, (15 minutos).
- Movilizaciones artrocinéticas de tobillos, rodillas y caderas, (15 minutos).
- Masaje descontracturante en m. isquiotibiales, cuádriceps y TFL, (15 minutos).
- Estiramientos de en m. isquiotibiales, cuádriceps y TFL, (15 minutos).

Tratamiento para cumplir objetivos a mediano y largo plazo:

Sesión de 60 minutos

- Ejercicio terapéutico enfocado en mejorar equilibrio y propiocepción (15 minutos).
- Ejercicio terapéutico enfocado en el fortalecimiento de la musculatura de ambas piernas. (10 minutos).
- Ejercicio terapéutico enfocado en el fortalecimiento del CORE. (5 minutos).
- Aplicación de *corrientes inducidas* por CEMP, abarcando de tronco a miembros inferiores (30 minutos) (Aplicar después del ejercicio, simultáneamente con los agentes físicos y los estiramientos).
- Termoterapia (Contrastes) con compresas calientes y frías en ambas rodillas (15 minutos).
- Masaje relajante (8 minutos).
- Estiramientos de cadena muscular posterior (7 minutos).

Resultados

El tiempo de recuperación normal de estos padecimientos es de 8 a 10 semanas aproximadamente, tratado con métodos convencionales.

En total se ofrecieron al paciente, 8 sesiones, de *electroestimulación inducida* por CEMP, distribuidas en 4 semanas, de las cuales 4 fueron de 60 minutos y 4 fueron de 30 minutos, es decir 8 horas en total, por lo que se observa una respuesta más rápida que lo esperado, prácticamente en la mitad del tiempo requerido.

Se procedió a una segunda valoración, en la cual se exploró nuevamente todo lo previamente analizado en la primera, encontramos resultados positivos principalmente en el alivio del dolor (evaluado con la escala verbal numérica) y en la función muscular (evaluada mediante la Escala de Daniels (año) tal como se muestra en las siguientes tablas (Tabla 35 y 36).

Tabla 35.-		
RESULTADOS FUERZA MUSCULAR (ESCALA DE DANIELS)		
MÚSCULO	1er VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
Glúteo mayor	3/5	5/5
Glúteo menor y TFL	3/5	5/5
Isquiotibiales	3/5	5/5
Cuádriceps	3/5	5/5
Tríceps Sura	3/5	5/5

Tabla 36.-		
RESULTADOS DOLOR (ESCALA VERBAL NÚMÉRICA)		
POSICIÓN	1era VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
ESTÁTICO	7/10	1/10
DINÁMICO	10/10	5/10

Así mismo se vuelve a realizar valoración con pruebas específicas, donde la prueba de McMurray para afectación de meniscos y regiones parameniscales y la prueba Appley para afectación de meniscos y regiones parameniscales, habían salido positivas, y en esta segunda valoración no hay hallazgo por lo tanto resulta negativa, comprobando así la mejoría articular (Tabla 37).

Tabla 37.- RESULTADOS PRUEBAS ESPECÍFICAS			
Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo 1er valoración	Hallazgo 2da valoración
McMurray	Detecta afección de meniscos y regiones parameniscales	Positivo	Negativo
Appley	Detecta afectación de meniscos y regiones parameniscales	Positivo	Negativo
Extensión total	Detecta la integridad de los cuernos anteriores de los meniscos	Negativo	Negativo
Lachman	Estudiar la integridad del LCA	Negativo	Negativo
Prueba de Derrame	Evidenciar la presencia de líquido intraarticular	Negativo	Negativo
Prueba de la Plica de Hughston	Valorar la plica supra patelar	Negativo	Negativo

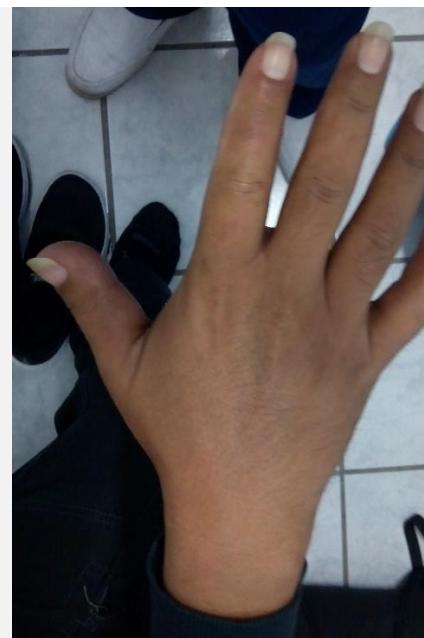
Por otro lado, se puede visualizar que el paciente no podía cerrar su puño y sus manos se encontraban inflamadas, y finalmente el paciente logró cerrar su puño y la inflamación disminuyó (Ilustraciones 158, 159, 160, 161).

ILUSTRACIÓN 157.- AUXILIAR DE IMAGEN

ANTES 24 DE AGOSTO



DESPUÉS 21 DE SEPTIEMBRE



ANTES 24 DE AGOSTO



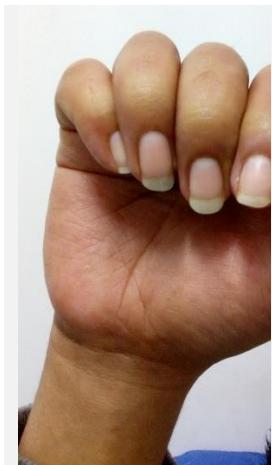
DESPUÉS 21 DE SEPTIEMBRE



ILUSTRACIÓN 158.- IMAGEN DE LAS MANOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO

ILUSTRACIÓN 159.- AUXILIAR DE IMAGEN

ANTES 24 DE AGOSTO



DESPUÉS 7 DE SEPTIEMBRE



21 DE SEPTIEMBRE



ILUSTRACIÓN 160.- AUXILIAR DE IMAGEN

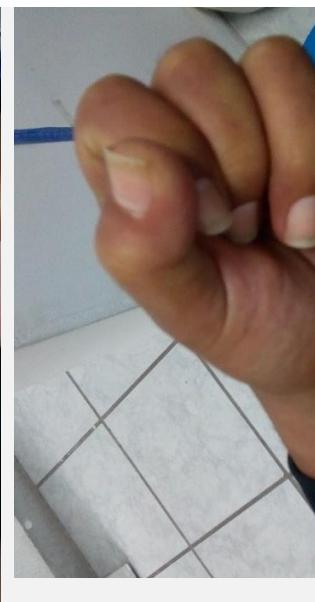
ANTES 24 DE AGOSTO



DESPUÉS 7 DE SEPTIEMBRE



21 DE SEPTIEMBRE



La diabetes tipo 1 es una enfermedad en la cual nosotros como consultorio de fisioterapia no intervenimos, sin embargo, durante todas las terapias el paciente comentó no haber sufrido cambios drásticos en los niveles de glucosa. El tratamiento se enfocó en el malestar de las rodillas, en lo cual obtuvimos buenos resultados, disminuyendo el dolor y la inflamación. Posteriormente las *corrientes inducidas* por CEMP nos ayudaron a ganar fuerza y elasticidad. Por otro lado, el tratamiento no fue enfocado en la afección de las manos, sin embargo, desde el principio se tomó en cuenta, y finalmente obtuvimos excelentes resultados ocupando únicamente las *corrientes inducidas* por CEMP.

Caso 3.- Esguince de tobillo

Examinación

Se trata de un paciente femenino, de 60 años, acude a valoración de fisioterapia, orientada en sus tres esferas neurológicas, con marcha bipodal. La paciente narra haber sufrido un esguince de tobillo izquierdo en junio de 2018, el cual fue tratado únicamente con inmovilización, sin recibir fisioterapia, regresando a sus actividades un mes después. En agosto de 2018 vuelve a sufrir un esguince en el tobillo izquierdo, recibiendo tratamiento fisioterapéutico con ultrasonido y corrientes eléctricas. Posteriormente recibe fisioterapia en otro consultorio y refiere recibir tratamiento con ultrasonido e hidroterapia, durante 8 terapias, se da de alta con un plan de ejercicio para su casa de 2 semanas aproximadamente. Sin embargo, la paciente comenta no haber sentido gran mejoría.

En abril viaja a la sierra de Querétaro y camina por terrenos inestables, percibiendo inestabilidad en el tobillo izquierdo, que causa dolor al finalizar la jornada, disminuyendo con el reposo. Una semana después, ya en mayo de 2019, comienza a dolerle de forma intensa, el dolor sube de intensidad al caminar y disminuye con el reposo, se aplica ungüento.

Actualmente la paciente refiere dolor en el tobillo izquierdo, el cual lo califica en 7 de 10 de la escala verbal, el dolor aumenta con la marcha, y disminuye con el reposo.

Exploración y Evaluación

Se lleva cabo inspección local en miembros inferiores, donde se aprecia ligera inflamación, con presencia de calor y sin rubor en tobillo izquierdo, ubicado principalmente en el borde lateral. A la palpación se percibe rigidez en el contorno del maléolo lateral del tobillo izquierdo, así como fibrosis. Piel ligeramente reseca y uñas de buen aspecto morfológico.

Presenta dolor a la palpación de todo el borde lateral del hueso peroné, desde el maléolo hasta la cabeza distal. Presenta dolor a la presión superficial sobre la zona de la articulación tibioperoneo-astragalina. Se evalúa el dolor con la Escala numérica verbal que califica el dolor con un número del 0 al 10 según la intensidad, calificando con un 7 en posición estática o pasiva y calificando con 10 en posición dinámica o activa (Tabla 38).

En la exploración de postura se visualiza en el plano anterior el hombro derecho ligeramente elevado, así como un ligero "valgo" de rodillas y tobillos de forma bilateral.

En el plano lateral se observa aumento de la extensión de rodilla, así como la cabeza en ligera ante pulsión. Se le realiza un examen manual muscular de forma bilateral principalmente en los siguientes músculos: glúteo mayor, glúteo menor, tensor de la fascia lata, isquiotibiales, cuádriceps y tríceps sural, dicho examen fue evaluado a través de la Escala Muscular de Daniels, los resultados se presentan en la tabla 39.

Tabla 38.- Evaluación del dolor	
POSICIÓN	CALIFICACIÓN
ESTÁTICO	7/10
DINÁMICO	10/10

Tabla 39.- Resultados de examen manual muscular	
MÚSCULO	1 ER VALORACIÓN (ESCALA DE DANIELS)
Tríceps Sural	3/5
Peroneo Anterior	3/5
Tibial Anterior	3/5
Tibial Posterior	3/5
Sóleo	3/5
Flexores Plantares	3/5
Extensores corto y largo del dedo gordo	3/5
Glúteo mayor	4/5
Glúteo menor y TFL	4/5
Isquiotibiales	4/5
Cuádriceps	4/5

Se le realizó una evaluación de los rangos de movimiento con el goniómetro, sin alteraciones significativas. Se le realizó una exploración neurológica, valorando la sensibilidad a través de estímulos, a lo largo de los dermatomas de las raíces nerviosas L1, L2, L3, L4, L5, S1 Y S2.

Se le realizan pruebas biomecánicas específicas, presentadas en la tabla 40. Resulta ser la prueba de "Kleiger" la única prueba de hallazgo positivo (+).

Tabla 40.- pruebas específicas		
Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo
Peroneos Laterales	Detectar disfunciones de los músculos o tendones peroneos	Positivo
Cajón Anterior de Tobillo	Detectar disfunción del ligamento peroneo astragalino anterior	Negativo
Kleiger	Detectar disfunción del ligamento colateral o ligamento deltoideo	Positivo
Signo de cola del astrágalo		Negativo

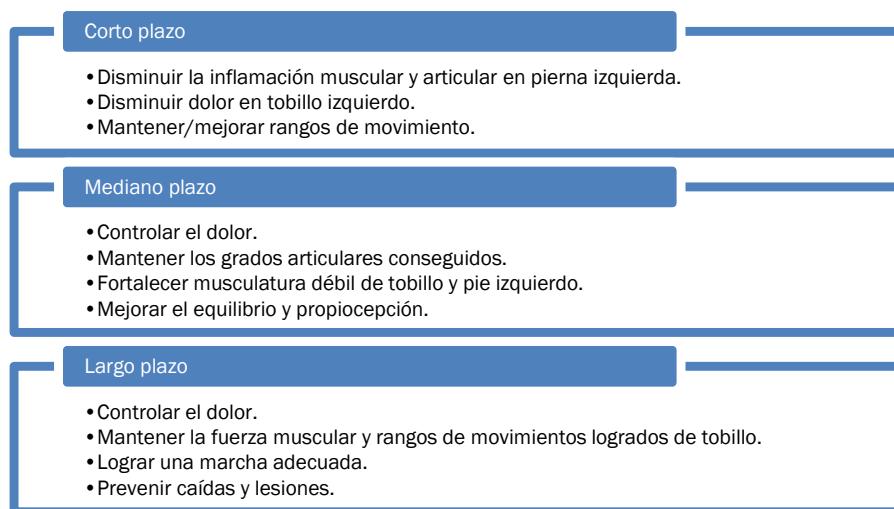
Diagnóstico

Sensación severa de dolor y de rigidez muscular, con disfunción moderada de músculos, ligamentos y articulaciones en la estructura de la extremidad inferior izquierda (tobillo). Dicha condición limita los movimientos de flexión y extensión de tobillo izquierdo, lo cual restringe las actividades de su rutina diaria.

Plan de Tratamiento y pronóstico

Con base en lo antes evaluado, se plantean objetivos a cumplirse en 3 períodos; corto, mediano y largo plazo (Ilustración 162).

ILUSTRACIÓN 161.- OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO



Posteriormente se realiza un plan de tratamiento que incluye la utilización de electroestimulación con CEMP y otras técnicas de fisioterapia y es aplicado a la paciente.

Tratamiento para cumplir objetivos a corto plazo:

Sesión de 60 minutos

- Electroestimulación con Campos Electromagnéticos Pulsados en colchoneta, en posición sentado, abarcando todo el cuerpo (1 hora por sesión) (Está trabajando a la par de todo el tratamiento).
- Termoterapia con compresas frías en tobillo izquierdo.
- Movilizaciones artrocinéticas de tobillos y rodillas (10 minutos).
- Masaje en m. peroneo largo y corto, tibial anterior y posterior, m. gemelos (15 minutos).
- Estiramientos de m. peroneos, m. tibiales y m. gemelos (10 minutos).
- Enseñanza de Ejercicios Buerguer Allen (5 minutos).

Tratamiento para cumplir objetivos a mediano y largo plazo:

Sesión de 60 minutos

- Ejercicio Terapéutico enfocado en mejorar equilibrio y propiocepción (15 minutos).
- Ejercicio Terapéutico enfocado en el fortalecimiento de la musculatura de ambas piernas.
- Ejercicios isométricos de m. peroneos, m. tibiales y m. gemelos (10 minutos).
- Electroestimulación con Campos Electromagnéticos Pulsados en colchoneta, abarcando de tronco a miembro inferior (30 minutos) (Aplicar después del ejercicio, a la par de los agentes físicos y los estiramientos).
- Termoterapia (Contrastes) con compresas calientes y frías en tobillo izquierdo (15 minutos).
- Masaje en m. peroneo largo y corto, tibial anterior y posterior, m. gemelos (15 minutos).
- Estiramientos de m. peroneos, m. tibiales y m. gemelos.

Resultados

El pronóstico normal de rehabilitación, estos padecimientos son de 8 a 10 semanas aproximadamente, con una terapéutica convencional.

En total se ofrecieron al paciente 14 sesiones de *corrientes inducidas* por CEMP, distribuidas en 7 semanas de evolución, de las cuales 7 fueron de 60 minutos y 7 fueron de 30 minutos, es decir, un total 10 horas 30 minutos, por lo que se observa una respuesta más rápida que lo esperado.

Se realizó una segunda valoración en la cual se exploró nuevamente todo lo previamente analizado en la primera, encontramos resultados positivos principalmente en el alivio del dolor (evaluado con la escala verbal numérica) y en la función muscular (evaluada mediante la Escala de Daniels (año) tal como se muestra en las tablas 41 y 42.

Tabla 41.- Resultados de fuerza muscular (Escala de Daniels)		
MÚSCULO	1er VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
Glúteo mayor	4/5	5/5
Glúteo menor y TFL	4/5	5/5
Isquiotibiales	4/5	5/5
Cuádriceps	4/5	5/5
Tríceps Sural	3/5	5/5
Peroneo Anterior	3/5	5/5
Tibial Anterior	3/5	5/5
Tibial Posterior	3/5	5/5
Sóleo	3/5	5/5
Flexores Plantares	3/5	5/5
Extensores corto y largo del dedo gordo	3/5	5/5

Tabla 42.- RESULTADOS DOLOR (ESCALA VERBAL NÚMERICA)		
POSICIÓN	1era VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
ESTÁTICO	7/10	1/10
DINÁMICO	10/10	5/10

Así mismo se vuelve a realizar valoración con pruebas específicas en el tobillo izquierdo donde las pruebas de Peroneos Laterales y Kleiger para Ligamento colateral o Ligamento deltoideo, habían salido positivas, en la primera valoración, en esta segunda valoración no hay hallazgo por lo tanto resulta negativa, comprobando así la mejoría articular. Tabla 43.

Es un caso donde se combinaron las *corrientes inducidas*, por CEMP, con otros agentes físicos, específicamente con terapia manual, terapia osteopática y ejercicios terapéuticos. Las *corrientes inducidas*, por CEMP, fueron muy importantes para disminuir el dolor, disminuir la inflamación y posteriormente nos ayudaron para ganar fuerza y elasticidad. Finalmente se cumplieron los objetivos planteados, y se dio de alta a la paciente, comprobando así el éxito del tratamiento.

Tabla 43.- RESULTADOS PRUEBAS ESPECÍFICAS			
Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo 1er valoración	Hallazgo 2da valoración
Peroneos Laterales	Detecta disfunciones de los músculos o tendones peroneos	Positivo	Negativo
Cajón Anterior de Tobillo	Detecta disfunción del ligamento peroneo astragalino anterior	Negativo	Negativo
Kleiger	Detecta disfunción Ligamento colateral o Ligamento deltoideo	Positivo	Positivo
Signo de cola del astrágalo		Negativo	Negativo

Caso 4- Gonartrosis

Examinación

Se trata de un paciente femenino de 65 años, acude a valoración de fisioterapia, orientada en sus tres esferas neurológicas, con marcha bipodal y usando bastón.

Refiere dolor en ambas rodillas, siendo más fuerte en la rodilla derecha que en la izquierda, comenzando a sentir estas molestias desde hace 6 años, aproximadamente; el dolor es constante y a veces más fuerte que en otras ocasiones, calificándolo en un 7/10 de acuerdo a la escala verbal análoga, siente como si "los nervios le jalaran" y además percibe "como inflamada" la rodilla derecha; el dolor aumenta cuando camina mucho o se encuentra de pie por tiempo prolongado, al hacer estos dos actos menciona que no la puede "doblar" y especialmente cuando camina la mantiene rígida, para evitar que duela, al estar acostada o sentada es más fácil doblarla, pero casi siempre se apoya de sus manos para poder doblarla un poco más. Comenta que despierta con esa rigidez y cuando empieza a hacer movimiento va disminuyendo, pero el dolor persiste, y este disminuye si evita caminar.

Exploración y Evaluación

Se lleva cabo inspección local en miembros inferiores, donde se aprecia ligera inflamación, con presencia de calor y sin rubor en ambas rodillas. A la palpación se percibe rigidez en el contorno de la rodilla izquierda principalmente. Se evalúa el dolor con la escala numérica verbal, calificando la paciente el nivel de dolor con 7 en posición estática o pasiva y con 10 en posición dinámica o activa (tabla 44).

En la exploración de postura se visualiza en el plano anterior el hombro derecho ligeramente elevado, así como un marcado "varo" de rodillas y tobillos de forma bilateral.

En el plano lateral se observa aumento de la extensión de rodilla, así como la cabeza en ligera ante pulsión.

Se le realiza un examen manual muscular de forma bilateral principalmente en los siguientes músculos: Glúteo Mayor, Glúteo Menor, Tensor de la fascia lata, Aductores, Isquiotibiales y Cuádriceps.

Dicho examen fue evaluado a través de la Escala muscular de Daniels, que de manera subjetiva califica la fuerza muscular de un segmento con un número del 0 al 5. Los resultados se presentan en la siguiente tabla (Tabla 45).

Se le realizó una evaluación de los rangos de movimiento con el goniómetro, detectando falta de movilidad principalmente en las articulaciones de ambas rodillas.

Se llevo a cabo una exploración neurológica, valorando la sensibilidad a través de estímulos, a lo largo de los dermatomas de las raíces nerviosas L1, L2, L3, L4, L5, S1 Y S2. Así mismo se evaluaron los reflejos osteotendinosos correspondientes al rotuliano y Aquileo de forma bilateral. No se encuentran alteraciones nerviosas, ni sintomatología de patología neurológica. Se le realizan pruebas biomecánicas específicas, presentadas en la tabla 46.

Tabla 44.- Evaluación del dolor	
POSICIÓN	CALIFICACIÓN
ESTÁTICO	7/10
DINÁMICO	10/10

Tabla 45.- Examen manual muscular	
MÚSCULO	1 ER VALORACIÓN (ESCALA DE DANIELS) (BILATERAL)
Tensor de la fascia lata	3/5
Glúteo mayor	3/5
Glúteo menor y TFL	3/5
Isquiotibiales	3/5
Cuádriceps	3/5
Aductores	3/5

Tabla 46.- pruebas específicas		
Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo
Mc Murray	Detecta disfunción de meniscos	Positivo
Zohler	Detecta condromalacia	Positivo
Clarke	Detecta lesión nerviosa	Negativo
Lassage	Detecta lesión nerviosa	Negativo

Diagnóstico

Sensación severa de dolor y de rigidez muscular, con disfunción moderada de músculos, ligamentos y articulaciones en la estructura de la extremidad inferior izquierda (rodilla). Dicha condición limita los movimientos de flexión y extensión de la rodilla derecha, que permiten la marcha normal. Lo cual restringe las actividades de su rutina diaria.

Plan de Tratamiento y pronóstico

Con base en lo antes evaluado, se plantean objetivos a cumplirse en 3 periodos; corto, mediano y largo plazo (Ilustración 163). Posteriormente se realiza un plan de tratamiento que incluye la utilización de electroestimulación con CEMP y otras técnicas de fisioterapia y es aplicado a la paciente

Tratamiento para cumplir objetivos a corto plazo:

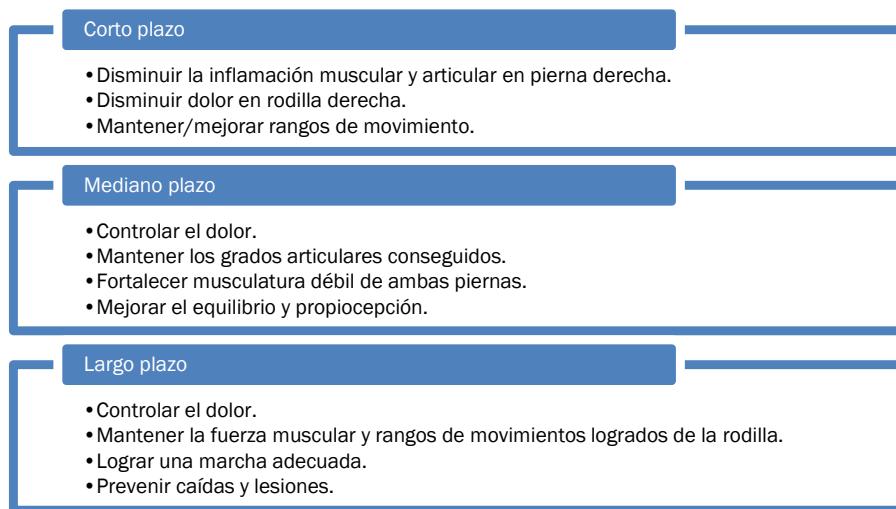
Sesión de 60 minutos

- Electroestimulación con CEMP, en posición sentado, abarcando todo el cuerpo (1 hora por sesión). Está trabajando simultáneamente con todo el tratamiento.
- Termoterapia con compresas calientes en ambas rodillas.
- Movilizaciones artrocinéticas de tobillos y rodillas (10 minutos).
- Masaje en m. cuádriceps, isquiotibiales, aductores y abductores (15 minutos).
- Estiramientos de m. cuádriceps, isquiotibiales, aductores y abductores (10 minutos).

Tratamiento para cumplir objetivos a mediano y largo plazo:

Sesión de 60 minutos

- Ejercicio terapéutico enfocado en mejorar equilibrio y propiocepción (15 minutos).
- Ejercicio terapéutico enfocado en el fortalecimiento de la musculatura de ambas piernas.
- Ejercicios isométricos de m. cuádriceps, isquiotibiales, aductores y abductores (10 minutos).
- Aplicación de *electroestimulación inducida* por CEMP, abarcando del tronco a miembros inferior (30 minutos) (Aplicar después del ejercicio, a la par de los agentes físicos y los estiramientos).
- Termoterapia con compresas calientes en ambas rodillas.
- Movilizaciones artrocinéticas de tobillos y rodillas (10 minutos).
- Masaje en m. cuádriceps, isquiotibiales, aductores y abductores (15 minutos).
- Estiramientos de m. cuádriceps, isquiotibiales, aductores y abductores (10 minutos).

ILUSTRACIÓN 162.- OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO**Resultados**

El pronóstico normal de estos padecimientos es de 8 a 10 semanas, en un total de 20 sesiones.

En total se ofrecieron al paciente diez sesiones de *corrientes inducias* por CEMP, distribuidas en cinco semanas de evolución, de las cuales cinco sesiones fueron de 60 minutos y las otras cinco de 30 minutos haciendo un total 7 horas y 30 minutos. Podemos concluir que se presentó una respuesta más rápida de curación que lo esperado.

Se realizó una segunda valoración en la cual se exploró nuevamente todo lo previamente analizado en la primera, encontramos resultados positivos principalmente en el alivio del dolor (evaluado con la escala verbal numérica) y en la función muscular (evaluada mediante la Escala de Daniels, tal como se muestra en las tablas 47 y 48).

Tabla 47.-

RESULTADOS FUERZA MUSCULAR (ESCALA DE DANIELS)		
MÚSCULO	1er VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
Glúteo mayor	4/5	5/5
Glúteo menor y TFL	4/5	5/5
Isquiotibiales	4/5	5/5
Cuádriceps	4/5	5/5

Tabla 48.-

RESULTADOS DOLOR (ESCALA VERBAL NÚMERICA)		
POSICIÓN	1era VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
ESTÁTICO	7/10	1/10
DINÁMICO	10/10	5/10

Así mismo se vuelve a efectuar valoración con pruebas específicas en la rodilla derecha donde las pruebas de Mc Murray para disfunción de meniscos y Zohler para condromalacia habían salido positivas, y en esta segunda valoración no hay hallazgo por lo tanto resulta negativa, comprobando así la mejoría articular. Tabla 49

Tabla 49.- Resultados de pruebas específicas despues del tratamiento

Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo 1er valoración	Hallazgo 2da valoración
Mc Murray	Detectar disfunción de meniscos	Positivo	Negativo
Zohler	Detectar condromalacia	Positivo	Negativo
Clarke	Detectar lesión nerviosa	Negativo	Negativo
Lassage	Detectar lesión nerviosa	Negativo	Negativo

Las *corrientes inducidas* por CEMP, fueron muy importantes para disminuir el dolor, disminuir la inflamación y posteriormente nos ayudaron para ganar fuerza y elasticidad. Finalmente se cumplieron los objetivos planteados, y se dio de alta a la paciente, comprobando así el éxito del tratamiento.

Caso 5- Lumbalgia degenerativa

Examinación

Se trata de un paciente femenino de 75 años, acude a valoración de fisioterapia, orientada en sus tres esferas neurológicas, con marcha bipodal. Refiere que desde hace 20 años presenta dolor lumbar que exacerba cada 3 meses, lo cual la inmoviliza. Comenta que el dolor aumenta cuando se mueve y disminuye al reposo, comenta aplicarse una pomada llamada *Doloneurobion* que contiene como principio activo diclofenaco, con esta pomada los síntomas disminuyen, pero muy levemente.

Exploración y Evaluación

Se lleva cabo inspección local, en columna vertebral, en la cual no se aprecia inflamación visible. A la palpación se percibe rigidez en el recorrido de las vértebras lumbares de L1 a L5.

Se evalúa el dolor con la escala numérica verbal, calificando la paciente su nivel de dolor en 8 en posición estática o pasiva y en 10 en posición dinámica o activa, (Tabla 50).

En la exploración de postura se visualiza, en el plano lateral, un aumento de la lordosis lumbar. Se le realiza un examen manual muscular de forma bilateral, principalmente en los siguientes músculos: para espinales, flexores laterales del tronco, abdominales superiores e inferiores, intercostales y diafragma, glúteo mayor, glúteo menor, tensor de la fascia lata, aductores, isquiotibiales y cuádriceps, este examen fue evaluado a través de la escala muscular de Daniels, que de manera subjetiva califica la fuerza muscular de un segmento con un número del 0 al 5. Los resultados se presentan en la tabla 51.

También se llevó a cabo una evaluación de los rangos de movimiento con el goniómetro, detectando falta de movilidad lumbar.

Se le realizó una exploración neurológica, valorando la sensibilidad a través de estímulos, a lo largo de los dermatomas de las raíces nerviosas L1, L2, L3, L4, L5, S1 Y S2. Así mismo se evaluaron los reflejos osteotendinosos correspondientes al rotuliano y aquileo de forma bilateral. No se encontraron alteraciones nerviosas, ni sintomatología de patología neurológica.

Se le realizan pruebas biomecánicas específicas, cuyos resultados se muestran en la tabla 52.

Tabla 50.- evaluación del dolor	
POSICIÓN	CALIFICACIÓN
ESTÁTICO	8/10
DINÁMICO	10/10

Tabla 51.- examen manual muscular	
MÚSCULO	1 ER VALORACIÓN (ESCALA DE DANIELS) (Bilateral)
Paraespinales	3/5
Flexores laterales del tronco	3/5
Abdominales superiores e inferiores	3/5
Intercostales	3/5
Tensor de la fascia lata	3/5
Glúteo mayor	3/5
Glúteo menor y TFL	3/5
Isquiotibiales	3/5
Cuádriceps	3/5
Aductores	3/5

TABLA 52.- PRUEBAS ESPECÍFICAS

Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo
Tracción del nervio femoral	Detecta patología mecánica en región lumbar media	Positivo
Prueba del cuadrante	Detecta disfunciones articulares lumbares	Positivo
Patrick	Detecta trastornos en la cadera o en articulación sacroilíaca	Positivo
Lassage	Detecta lesión nerviosa	Negativo
Adams	Detecta escoliosis	Negativo

Diagnóstico

Sensación severa de dolor y de rigidez muscular, con disfunción moderada de músculos, ligamentos y articulaciones en la estructura de la columna vertebral. Dicha condición limita los movimientos de flexión y extensión del tronco, esto restringe las actividades de su rutina diaria.

Plan de tratamiento y pronóstico

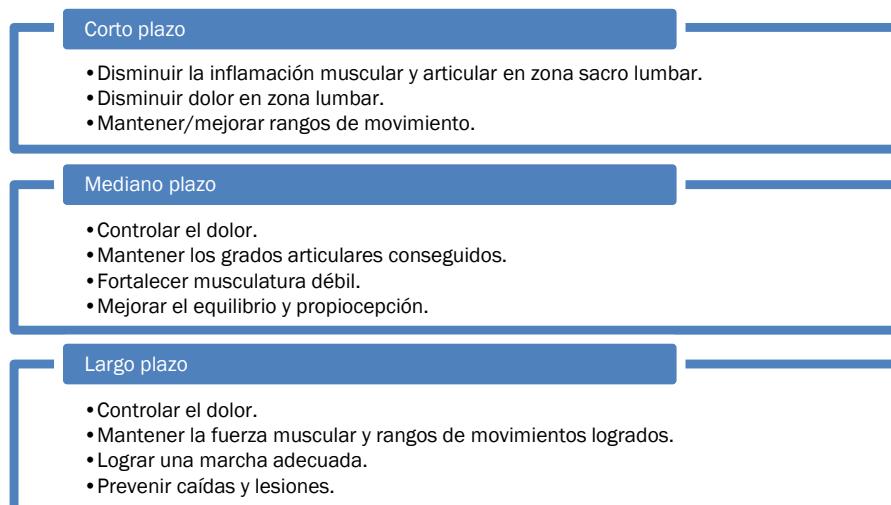
Con base en lo antes evaluado, se plantean objetivos a cumplirse en 3 períodos; corto, mediano y largo plazo (Ilustración 164). Posteriormente se realiza un plan de tratamiento que incluye la utilización de *electroestimulación* con CEMP, complementada con otras técnicas de fisioterapia y es aplicado a la paciente.

Tratamiento para cumplir objetivos a corto plazo:

Sesión de 60 minutos

- *Electroestimulación* con CEMP, en posición sentado, abarcando todo el cuerpo (1 hora por sesión), está trabajando simultáneamente con el tratamiento.
- Termoterapia con compresas calientes en zona sacrolumbar.
- Liberación miofascial y masaje relajante en m. cuadrado lumbar, m. paravertebrales, m. glúteo mayor fibras superiores, m. psoas ilíaco porción posterior (15 minutos).
- Estiramientos pasivo-asistidos de m. cuadrado lumbar, m. paravertebrales, m. glúteo mayor fibras superiores, m. psoas ilíaco porción posterior, m. isquiotibiales, m. tensor de la fascia lata (10 minutos).

ILUSTRACIÓN 163.- OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO



Tratamiento para cumplir objetivos a mediano y largo plazo:

Sesión de 60 minutos

- Ejercicio terapéutico enfocado en mejorar equilibrio y propiocepción. (15 minutos).

- Ejercicio terapéutico enfocado en la movilidad de columna vertebral lumbar y pelvis.
- Ejercicio terapéutico enfocado en el fortalecimiento del CORE (Ejercicios de Williams).
- *Electroestimulación* con CEMP, abarcando de tronco a miembro inferior (30 minutos). Se aplicó después del ejercicio, simultáneamente con los agentes físicos y los estiramientos).
- Termoterapia con compresas calientes en zona sacrolumbar (10 minutos).
- Liberación miofascial y masaje relajante en m. cuadrado lumbar, m. paravertebrales, m. glúteo mayor fibras superiores, m. psoas ilíaco porción posterior (15 minutos).
- Estiramientos pasivo-asistidos de m. cuadrado lumbar, m. paravertebrales, m. glúteo mayor fibras superiores, m. psoas ilíaco porción posterior, m. isquiotibiales, m. Tensor de la fascia lata (10 minutos).

Resultados

El pronóstico normal de estos padecimientos es de 8 a 10 semanas aproximadamente, es decir en aproximadamente 20 sesiones de fisioterapia.

En total se ofrecieron al paciente diez sesiones de *corrientes inducidas* con CEMP, de las cuales 5 fueron de 60 minutos y 5 fueron de 30 minutos, para un total de 7 horas y 30 minutos, por lo que es fácil observar que hubo una respuesta más rápida que lo esperado.

Se realiza una segunda valoración en la cual se exploró nuevamente todo lo previamente analizado en la primera, encontramos resultados positivos principalmente en el alivio del dolor (evaluado con la escala verbal numérica) tabla 53 y en la función muscular (evaluada mediante la Escala de Daniels y en la movilidad articular, tal como se muestra en las tablas 54. Así mismo se vuelve a realizar valoración con pruebas específicas (Tabla 55).

Tabla 53.-RESULTADOS DOLOR (ESCALA VERBAL NÚMERICA)		
POSICIÓN	1era VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
ESTÁTICO	6/10	1/10
DINÁMICO	10/10	5/10

Tabla 54.- RESULTADOS FUERZA MUSCULAR (ESCALA DE DANIELS) (Bilateral)		
MÚSCULO	1er VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
Paraespinales	3/5	4/5
Flexores laterales del tronco	3/5	4/5
Abdominales superiores e inferiores	3/5	4/5
Intercostales	3/5	4/5
Glúteo mayor	3/5	5/5
Glúteo menor y TFL	3/5	5/5
Isquiotibiales	3/5	5/5
Cuádriceps	3/5	5/5

Tabla 55.- RESULTADOS PRUEBAS ESPECÍFICAS			
Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo 1era valoración	Hallazgo 2da valoración
Tracción del nervio femoral	Detecta patología mecánica en región lumbar media	Positivo	Negativo
Prueba del cuadrante	Detecta disfunciones articulares lumbares	Positivo	Negativo
Patrick	Detecta trastornos en la cadera o en articulación sacroiliaca	Positivo	Negativo
Lassage	Detecta lesión nerviosa	Negativo	Negativo
Adams	Detecta escoliosis	Negativo	Negativo

La *electroestimulación inducida* por CEMP, fueron muy importantes para disminuir el dolor, disminuir la inflamación y posteriormente nos ayudaron para ganar fuerza y elasticidad. Finalmente se cumplieron los objetivos planteados, y se dio de alta a la paciente, comprobando así el éxito del tratamiento.

Caso 6.- Dolor en cervicales

Examinación

Se trata de un paciente masculino de 70 años, acude a valoración de fisioterapia, orientado en sus tres esferas neurológicas, con marcha bipodal. Refiere dolor en el cuello y en el hombro derecho, acompañado de una sensación descrita por el paciente como de "Crap". Así mismo el paciente refiere que el dolor en el hombro se recorre hacia la clavícula. Últimamente siente ligeras descargas eléctricas en las manos al tocar objetos metálicos como las manijas de puertas.

Exploración y Evaluación

Se lleva cabo inspección local en columna vertebral en la cual no se aprecia inflamación visible. A la palpación se percibe una banda tensa en zona del vientre de músculo trapecio, músculo esternocleidomastoideo y músculo escaleno, de lado derecho.

Se evalúa el dolor con la Escala numérica verbal que califica el dolor con un número del 0 al 10 según la intensidad, calificando con un 5 en posición estática o pasiva y calificando con un 8 en posición dinámica o activa (Tabla 56).

Tabla 56.- EVALUACIÓN DEL DOLOR	
POSICIÓN	CALIFICACIÓN
ESTÁTICO	5/10
DINÁMICO	8/10

En la exploración de postura se visualiza, en el plano lateral, aumento de la lordosis cervical. Se le realiza un examen manual muscular, de forma bilateral, principalmente en los siguientes músculos: extensores posterolaterales de cuello, flexores anteriores del cuello, flexores anterolaterales del cuello y m. trapecio. Dicho examen fue evaluado a través de la Escala muscular de Daniels, que de manera subjetiva califica la fuerza muscular de un segmento con un número del 0 al 5. Los resultados se presentan en la siguiente tabla (Tabla 57).

Tabla 57.- Resultados de examen manual muscular

MÚSCULO	1 ER VALORACIÓN (ESCALA DE DANIELS) (Bilateral)
Extensores posterolaterales de cuello (M. Recto posterior y M. Oblicuos)	3/5
Flexores anteriores del cuello (M. Recto anterior, externo y Largo del cuello)	3/5
Flexores anterolaterales del cuello (ecm y escalenos)	3/5
M. Trapecio (fibras superiores)	3/5
M. Trapecio (fibras medias e inferiores)	3/5

Se le realizó una evaluación de los rangos de movimiento con el goniómetro sin detectar deficiencia significativa.

Se le realizó una exploración neurológica, valorando la sensibilidad a través de estímulos, a lo largo de los dermatomas de las raíces nerviosas C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7. Así mismo se evaluaron los reflejos osteotendinosos correspondientes. No se encuentran alteraciones nerviosas, ni sintomatología de patología neurológica. Se le realizan pruebas biomecánicas específicas, cuyos resultados se muestran en la tabla 58.

TABLA 58.- PRUEBAS ESPECÍFICAS

Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo
Test de tensión del miembro superior	Detecta tensiones y deslizamientos de los tejidos neurales	Positivo
Jackson	Detecta lesión nerviosa	Negativo
Spurling	Detecta lesión nerviosa	Negativo

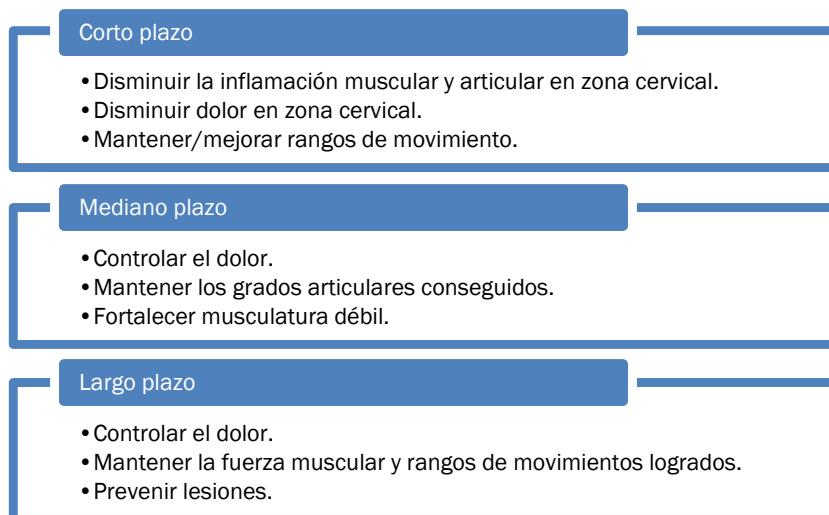
No se presenta auxiliar de imagen.**Diagnóstico**

Sensación severa de dolor y de rigidez muscular, con disfunción moderada de músculos, ligamentos y articulaciones en la estructura de la columna vertebral. Dicha condición limita los movimientos de flexión y extensión de las cervicales, lo cual restringe las actividades de su rutina diaria.

Plan de Tratamiento y pronóstico

Con base en lo antes evaluado, se plantean objetivos a cumplirse en 3 períodos: corto, mediano y largo plazo (Ilustración 165). Posteriormente se realiza un plan de tratamiento que incluye la utilización de electroestimulación con CEMP y otras técnicas de fisioterapia y es aplicado a la paciente.

ILUSTRACIÓN 164.- OBJETIVOS DE TRATAMIENTO

**Tratamiento para cumplir objetivos a corto plazo:**

Sesión de 60 minutos

- *Electroestimulación* con CEMP, en posición sentado, abarcando todo el cuerpo (1 hora por sesión), se aplica simultáneamente con los siguientes tratamientos.
- Termoterapia con compresas calientes en zona de hombros y cuello (10 minutos).
- Liberación miofascial y masaje relajante m. de hombros y m. del cuello (15 minutos).
- Estiramientos pasivo-asistidos de m. de hombros y m. del cuello (10 minutos).

Tratamiento para cumplir objetivos a mediano y largo plazo:

Sesión de 60 minutos

- Ejercicio terapéutico enfocado en la movilidad de hombros y cuello.
- Ejercicio terapéutico enfocado en el fortalecimiento de la musculatura de cuello y ambos brazos (10 minutos).
- *Electroestimulación* con CEMP, abarcando de tronco a miembro inferior (30 minutos), se sugiere aplicar después del ejercicio, a la par de los siguientes agentes físicos y los estiramientos.
- Termoterapia con compresas calientes en zona cervical (10 minutos).
- Liberación miofascial y masaje relajante m. de hombros y m. del cuello (15 minutos).
- Estiramientos pasivo-asistidos de m. de hombros y m. del cuello (10 minutos).

Resultados

En total se ofrecieron al paciente ocho sesiones con *electroestimulación* por CEMP, de las cuales 4 fueron de 60 minutos y 4 fueron de 30 minutos, en total 6 horas.

Se realiza una segunda valoración en la cual se exploró nuevamente todo lo previamente analizado en la primera, encontramos resultados positivos principalmente en el alivio del dolor (evaluado con la escala verbal numérica) y en la función muscular (evaluada mediante la Escala de Daniels, tal como se muestra en las tablas 59 y 60).

Así mismo se vuelve a realizar valoración con pruebas específicas donde la prueba Test de tensión del miembro superior (tensiones y deslizamientos de los tejidos neurales) había salido positiva, y en esta segunda valoración no hay hallazgo por lo tanto resulta negativa, comprobando así la mejoría articular y muscular, tabla 61.

Tabla 59.- RESULTADOS FUERZA MUSCULAR (ESCALA DE DANIELS) (Bilateral)		
MÚSCULO	1er VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
Extensores posterolaterales de cuello (M. Recto posterior y M. Oblicuos)	3/5	4/5
Flexores anteriores del cuello (M. Recto anterior, externo y Largo del cuello)	3/5	4/5
Flexores anterolaterales del cuello (ecm y escalenos)	3/5	4/5
M. Trapecio (fibras superiores)	3/5	4/5
M. Trapecio (fibras medianas e inferiores)	3/5	4/5

Tabla 60.- RESULTADOS DOLOR (ESCALA VERBAL NÚMERICA)		
POSICIÓN	1era VALORACIÓN	2da VALORACIÓN
ESTÁTICO	5/10	1/10
DINÁMICO	8/10	5/10

Tabla 61.- RESULTADOS PRUEBAS ESPECÍFICAS			
Nombre de la prueba	Objetivo	Hallazgo 1er valoración	Hallazgo 2da valoración
Test de tensión del miembro superior	Detecta tensiones y deslizamientos de los tejidos neurales	Positivo	Negativo
Jackson	Detecta lesión nerviosa	Negativo	Negativo
Spurling	Detecta lesión nerviosa	Negativo	Negativo

Las corrientes *inducidas* por CEMP fueron muy importantes para disminuir el dolor, disminuir la inflamación y posteriormente nos ayudaron para ganar fuerza y elasticidad. Finalmente se cumplieron los objetivos planteados, y se dio de alta a la paciente, comprobando así el éxito del tratamiento.

Casos clínicos de CEMP en medicina

En esta sección presentaremos una serie de casos clínicos del área de medicina, elaborados por el Dr. José Agustín Alcocer Bolaños, especialista en medicina familiar y con maestría en medicina del trabajo, en los cuales se la *electroestimulación inducida* por CEMP como uno de los principales elementos del esquema terapéutico.

Caso 7.- Niño con asma de larga evolución

Examinación

Se trata de Masculino SLS, de 11 años originario de la Cd de Querétaro, estudiante de 5to de primaria. Con antecedente de importancia: padre DM2 e HAS tratado medicamente con buen apego al tratamiento, tíos paternos con DM desconoce manejo, Madre con Miastenia gravis tratada medicamente estable.

APNoP: Sin datos de antecedentes que comentar.

APP: Asmático de 7 años de evolución que exacerba su patología en la temporada invernal y de verano, multitratado.

Exploración y Evaluación

PA: El cuadro inicia con síntomas respiratorios a base de rinorrea hialina, dificultad respiratoria con sensación de ronroneo en el pecho y tos seca en su inicio, que con el pasar de los días se complica el cuadro y la rinorrea se hace purulenta, la tos productiva además de la dificultad respiratoria y se acompaña de hipertermia que en ocasiones llega hasta los 39°C, siendo necesario que al tratamiento ya instalado se agregue antibiótico, antipiréticos y algunos sintomáticos.

Plan de Tratamiento y pronóstico

El tratamiento es a base de:

1. Montelukast: ½ tableta antes y ahora 1 tableta cada 24 h.
2. Loratadina: en un principio de 5ml/5mg cada 24 h, ahora 1 tableta cada 24 h.
3. MGHD

El paciente ha sido multitratado y a finales de noviembre del 2018 además del tratamiento médico se le aplicó la electroestimulación inducida con CEMP, 15 minutos, una vez a la semana.

Resultados

Durante toda la época invernal el paciente evolucionó en forma satisfactoria sin que se manifestara el cuadro asmático y solo a principios del mes de marzo se presentó cuadro respiratorio no asmático que respondió bien al tratamiento médico.

El paciente continuó con la aplicación de los CEMP hasta el mes de mayo en donde por ausencia de la patología se decidió suspender la aplicación de los CEMP y solo continuar con su tratamiento de base.

Conclusiones

A través del tiempo he podido corroborar que el manejo de los CEMP en conjunto con la terapéutica médica son una buena alternativa para el paciente que cursa con alguna enfermedad.

Caso 8.- Quemadura de segundo grado.

Examinación

Se trata de Masculino de 27 años originario de la Cd de Querétaro, titulado como Técnico Superior Universitario en Mecatrónica. Sin antecedentes importantes de enfermedad. Refiere haberse quemado con aceite hirviendo la mano derecha.

Exploración y Evaluación

Acude el servicio médico del IMSS, se diagnostica una quemadura de segundo grado, se le prescribe el tratamiento estándar de sulfadiazina de plata y antiséptico microdacin y parche cicatrizante *jelonet*, (gasa parafinada estéril). Con curaciones diarias.

Plan de Tratamiento y pronóstico

El pronóstico implicaba un posible injerto, tiempo de cicatrización de 45 a 60 días y posibles secuelas de movilidad.

El paciente se le aplicaron *corrientes inducidas* por CEMP, por 4 horas diarias en casa, con un coeficiente de inducción de 205 $\mu\text{V}/\text{cm}$

Resultados

El paciente cicatrizó rápidamente, prácticamente en 2 semanas, y se incorporó a trabajar en 28 días, después de la quemadura. Sin problemas de movilidad y sin requerir ejercicios de rehabilitación, sin presencia de cicatrices. La evolución puede verse en las imágenes de las Ilustraciones 166 a 168.

		
Ilustración 165.- Primera semana, a siete días de la quemadura	Ilustración 166.- Segunda semana a 14 días de la quemadura	Ilustración 166.- Tercera semana, a 21 días de la quemadura

Conclusión General

A lo largo de este libro hemos podido demostrar que, a la aplicación de campos electromagnéticos pulsados, sobre un tejido vivo, se le debe considerar una electroestimulación o electroterapia, debido a las corrientes eléctricas que induce dentro de este, con los mismos efectos de las corrientes eléctricas conducidas, (aquellas aplicadas con electrodos), más sin embargo, las corrientes inducidas por CEMP, llegarán a los tejidos más profundos, pueden aplicarse abarcando todo el cuerpo y simultáneamente con otros agentes físicos, lo que la hace una terapia integral.

Hemos demostrado por lo tanto que el agente físico aplicado es una corriente eléctrica, y que la modalidad terapéutica, (el dispositivo electrónico), son los generadores de campos electromagnéticos variables en el tiempo. Estas conclusiones son sumamente importantes pues aclaran, de una vez y para siempre, cual es el efecto real de aplicar CEMP a un tejido vivo.

También hemos podido constatar, que la característica primordial de un dispositivo generador de CEMP, aquella que nos habla de su eficacia terapéutica, es su *coeficiente de inducción*, es decir su capacidad de inducir corrientes eléctricas en el tejido vivo, descartando definitivamente al campo magnético como un agente terapéutico, en estos dispositivos. Sabemos ahora que el tejido vivo es eléctrico y responde a corrientes eléctricas, así que una línea de investigación que deberá seguirse es la aplicación de las corrientes inducidas considerando diferentes coeficientes de inducción.

Estamos al tanto de que hay gran cantidad de estudios científicos de alto impacto (estadísticamente significativos), llevados a cabo en todo el mundo, sobre los efectos biológicos de la electroestimulación inducida por CEMP, tanto en células, en animales, así como en humanos, y que la cantidad de investigación está creciendo, exponencialmente.

En México, se está extendiendo el uso de esta terapéutica y será una gran solución para los problemas crónico-degenerativos, que se presentan en la población en forma creciente, especialmente la diabetes, padecimiento que podemos estimar se presentará en más del 50% de la población en los próximos 20 años, convirtiéndose en un problema de salud pública.

Hemos visto que no existen protocolos establecidos para la aplicación del tratamiento, sino lineamientos generales, el diseño del tratamiento depende de la historia del paciente, la enfermedad involucrada y sobre todo del método de evaluación y diagnóstico de cada paciente, como sucede en muchas terapéuticas.

También podemos observar, que la *electroestimulación inducida* mediante campos electromagnéticos pulsados engloba, la mayoría de los efectos terapéuticos de otros agentes físicos, de forma integral y profunda, con mínimas contraindicaciones, por lo cual la podemos considerar como la base de todas las demás modalidades terapéuticas.

Por último, consideramos que es hora de invitar a los centros de investigación, del área de la salud, y de la ingeniería, en México, a realizar investigación en este tema, sin temor a caer en charlatanerías, puesto que este libro demuestra las bases de la física, que avalan a los CEMP como inductores de corrientes eléctricas.

Si no conozco una cosa, la investigaré
Luis Pasteur

Bibliografía

- Biblioteca Nacional de Medicina de EEUU. (20013). *MedlinePlus*. Recuperado el 4 de julio de 2013, de Información de salud para usted: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/cancer.html>
- 2012, E. (s.f.).
- A, Y. (2000). En *guia de practica clinica y tratamiento de artritis reumatoide*.
- Adey, W. R. (2004). Potential therapeutic application of nonthermal electromagnetic fields: Ensemble organization of cells in tissueas a factor in biological tissue sensing. (& M. P. J. Rosch, Ed.) *Bioelectromagnetic medicine*, 1-15.
- Alvarez, J. (01 de 05 de 2009). *Diccionario de Fisiología*. Recuperado el 10 de 06 de 2019, de <http://diccionariofisiologia.blogspot.com>
- Andrea Guadalupe Sánchez-Arias, María Esther Bobadilla-Serrano, Bárbara Dimas-Altamirano. (Julio de 2016). Enfermedad cardiovascular: primera causa de morbilidad en un hospital de tercer nivel. *Revista Mexicana de Cardiología*. Obtenido de www.medigraphic.com/pdfs/cardio/h-2016/hs163a.pdf
- Aragó, R. L. (2008). *Termodinámica y Equilibrio*. Recuperado el 27 de 6 de 2019, de <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8863/1/tema 5.-termodinÁmica y equilibrio.ppt>
- Bassett, C. A., Pawluk, R. J., & Pilla, A. A. (1974). Acceleration of fracture repair by electromagnetics fiels. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 238, 242-262.
- Baynes, J. W., & Dominiczak, M. H. (2011). *Bioquímica Médica* (3° ed.). Barcelona, España: Elsevier Mosby.
- BEMS. (2017). *BEMS.ORG*. Obtenido de <https://www.bems.org/>
- BioEM. (2018). *BioEM 2018*. Obtenido de <http://www.bioem2018.org/>
- Blanchard. (2018). The application of Pulsed Electromagnetic Fields (PEMFs) for Bone Fracture Rapair: Past and Perspective Findings. *Annals of Biomedical Engineering*, 525-542.
- Borroto, V. (2016). Campos Electromagnéticos pulsados y Ozono en el tratamiento de la artrosis de rodilla en el adulto mayor. *Revista Española de Ozonoterapia*, 27-39.
- California, L. (2013). *Hispano lucha con voluntad de acero contra su fragilidad osea*. Obtenido de <http://latinocalifornia.com/home/2012/05/hispano-lucha-con-voluntad-de-acero-contra-su-fragilidad-osea/>
- Cameron, M. H. (2013). *Agentes físicos en Rehabilitación: De la investigación a la práctica*. Barcelona, España: ELSEVIER.
- Cañamero. (2004). <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/rc-68.htm>. Torrejon de Ardoz Madrid.
- Cañedo Dorantes L, E. A. (2015). Eficacia y seguridad de evaluación de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja sistémicos que se utilizan en la curación de las úlceras del pie diabético - Fase II de datos. *Arch Md Res*.
- Colby, C. K. (2005). *Therapeutic exercise. Foundation and Techniques*. Barcelona: Paidotribo.
- CONAPO. (2004). *Envejecimiento de la población de México Reto del siglo XXI*. CIUDAD DE MÉXICO: CONAPO. doi:970-628-824-4
- CONAPO. (2015). Comunicado de prensa: 004. Nueva York.
- Cone, C. D. (1971). Unified theory on the basic mechanism of normal mitotic control and oncogenesis. *Journal Theor Biol.*, 30(1), 151-181.
- Cordero, J. E. (2008). *Agentes Físicos Terapéuticos*. La Habana, Cuba: Ciencias Médicas.
- DH, S. (2003). En *guia de practica clinica y tratamiendo de artritis reumatoide*.

- Diabetes, F. I. (2014). <http://fmdiabetes.org>. Obtenido de <http://fmdiabetes.org: http://fmdiabetes.org/atlas-de-la-diabetes-de-la-idf-actualizacion-2014/>
- Diabetes, F. M. (2018). www.fmdiabetes.org. Obtenido de <http://www.fmdiabetes.org: http://fmdiabetes.org/la-diabetes-mexico/>
- Díaz, D. E. (s.f.). Federación Mexicana de Diabetes. Obtenido de Hipertensión Arterial: <http://fmdiabetes.org/hipertension-arterial-mexico/>
- Discapacidad, S. y. (s.f.). Enfermedades Discapacitantes. Obtenido de Osteogenesis Imperfecta: <http://salud.discapnet.es/Castellano/Salud/Enfermedades/EnfermedadesDiscapacitantes/O/ Osteogenesis%20Imperfecta/Paginas/cover%20osteogenesis.aspx>
- Dorantes, L. C. (Marzo de 2009). Desarrollo Científico para el Tratamiento del Pie Diabético. (CONACYT, Ed.) *Ciencia y Desarrollo*, 35(229), 32-37.
- Drucker Colín, René. (2005). *Fisiología Médica*. Manual Moderno.
- EBEA. (2017). EBEA. Obtenido de <http://www.ebea.org/>
- Elsevier. (s.f.). Revista Elsevier. Obtenido de Osteogenesis imperfecta, estudio evolutivo: <http://www.elsevier.es/es-revista-reemo-70-articulo-osteogenesis-imperfecta-estudio-evolutivo-control-13039339>
- Equihua, L. A. (01 de 06 de 2018). Catálogo de imágenes y animaciones. Electroestimulación inducida. Querétaro, Querétaro, México.
- Esaú Floriano-Sánchez, J. J.-S.-R.-M.-S.-V.-T. (Noviembre de 2010). Determinación de la expresión de la sintasa de óxido nítrico inducible (iNOS) en tejidos con cáncer de próstata e hiperplasia prostática benigna. (Elsevier, Ed.) *Revista Mexicana de Urología*, 70(6), 341-400.
- Esquivias, M. I. (2016). *Efecto del uso de ampos electromagnéticos pulsados sobre el dolor y la funcionalidad de la columna lumbar, comparado con ejercicios de Williams en pacientes con diagnóstico de lumbalgia crónica mecanopostural en la UMFR SXXI*. México: UNAM-Dirección Nacional de Bibliotecas.
- F.D., L. (1850). cases of ununited fractures treated by electricity. *NYJ Medicine*, 5, 317-319.
- Fernández-Tresguerres-Gil, I. A. (3 de 2006). SciELO. Obtenido de <http://scielo.isciii.es>
- Fitzsimmons, R. J., Magee, F., & Baylink, D. (1994). Combined magnetic fields increase net calcium flux in bone cells. *Calcif Tiss Intl*, 55, 376-380.
- Fitzsimmons, R., Ryaby, J., Magee, F., & Baylink, D. (1995). IGF II receptor number increased in TE 85 cells by low amplitude, low frequency combined magnetic fields (CMF) exposure. *J. Bone Min. Res.*, 10, 812-819.
- Fitzsimmons, R., Ryaby, J., Mohan, S., Magee, F., & Baylink, D. (1995). Combined magnetic fields increase IGF-II in TE-85 human bone cell cultures. *Endocrinology*, 136(3), 3100-3106.
- Frecuentes, F. A. (s.f.). FADEPOF. Obtenido de http://fadepof.org.ar/info_epoff
- Freepik. (2016). [Freepik.com](https://www.freepik.com/index.php?goto=2&searchform=1&k=adultos+mayores). Obtenido de <https://www.freepik.com/index.php?goto=2&searchform=1&k=adultos+mayores>
- Fukada, E., & Yasuda, I. (1957). *On the piezoelectric effect of bone* (Vol. 12). Japón: J. phys. Soc. Jpn.
- Furlong, M. S. (2007). El nuevo mercado de la tercera edad. E.U.A: Financial Time Press.
- García-López, D. S. (04 de Octubre de 2016). SDPnoticias.com. Obtenido de <https://www.sdpnoticias.com/nacional/2016/10/04/resumen-ejecutivo-2015-salud-y-enfermedades-cardiovasculares-en-mexico>
- Glatzmaier, G. A. (s.f.). laboratorio Nacional de Alamos, Departamento de Energía de EEUU.
- Gobierno de la Republica. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo*. Gobierno de la Repubkica, México .
- Gómez, C. y. (s.f.). <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/rc-68.htm>.

- Guarín Corredor Claribeth, Q.-S. P. (2013). Proceso de Cicatrización de heridas de piel, campos endogénos y su relación con las heridas crónicas. *Revista de la Facultad de Medicina, Universidad nacional de Colombia*, 61(4), 441-448.
- Guillot, J. D. (2002). La magnetoterapia y su aplicación en la medicina. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 60-72.
- Hall, C. M. (2006). *Therapeutic Exercise Moving Toward Function*. Badalona: Paidotribo.
- Hiers, D. R. (s.f.). *Entrevista a la Presidenta y Directora Ejecutiva de la Fundación de la enfermedad de Tarlov*. Obtenido de Quistes de Tarlov . com: <http://www.quistesdetarlov.com/index.php/articulos/131-entrevista-d-reta-hiers>
- IMSS. (s.f.). *Hipertensión Arterial*. Obtenido de IMSS: <http://www.imss.gob.mx/salud-en-linea/hipertension-arterial>
- INEGI. (2015). *Cuentame* . Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>
- INEGI. (Noviembre de 2016). *Estadísticas de mortalidad*. Obtenido de INEGI: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisep/Default.aspx?t=mdemo107&s=est&c=23587>
- INEGI. (s.f.). <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484>.
- INER. (8 de agosto de 2017). <http://www.iner.salud.gob.mx>. Obtenido de <http://www.iner.salud.gob.mx>: <http://www.iner.salud.gob.mx>
- Information, T. N. (2017). [ncbi.nih.gov](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=pULSED+ELECTROMAGNETIC+FIELDS#). Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=pULSED+ELECTROMAGNETIC+FIELDS#>
- International Commission On Non Ionizing Radiation Protection, I. (4 de 04 de 1998). www.Icnirp.org. (H. Physics, Editor) Recuperado el 06 de 06 de 2019, de <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>
- J, J. (1999). *En guia de practica clinica y tratamiento de artritis reumatoide*.
- Jesús Merino Pérez, M. J. (01 de 01 de 2011). OC.UNICAM.ES. Recuperado el 29 de 06 de 2019, de **FISIOLOGÍA GENERAL:** <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/879/course/section/967/Tema%25208-Bloque%2520II-Comunicacion%2520Neuronal%2520Sinapsis.pdf>
- José Luis Olín . (2005). *Ciencia y Desarrollo*. Obtenido de Ciencia y Desarrollo: http://www.cyd.conacyt.gob.mx/Entrevista/Entrevista_191.html
- Knight, K. (2013). *Therapeutic modalities: the art and science*. Estados Unidos de América: Lippincott Williams & Wilkins.
- L Cañedo-Dorantes. (May-Jun de 2002). Healing of chronic arterial and venous leg ulcers through systemic effects of electromagnetic fields [corrected]. *Arch Med Res.*, 33(3), 281-9.
- LaMotte, S. (2018). CNN EN ESPAÑOL. Obtenido de <http://cnnespanol.cnn.com/2018/02/02/alcohol-salud-efectos-licor-cerveza-consecuencias-diabetes-calorias/>
- Lente. (1850). Cases of ununitedfractures treated by electricity. *New York Journal of Medicine*, 317-319.
- Lidbury, R. (1993). Experimental Evidence for 60Hz magnetic Fields Operating through the signal Transductions Cascade, Effects on Calcium Influx an c-MyC mRNA Induction. *FEBS*, 334, 301-308.
- Li-qun, H. (2008). Clinical update of pulsed electromagnetic fields on osteoporosis. *Chinese Medical Journal*, 2095-2099.
- Liu, C. (Abril de 2013). Effect of 1 mT sinusoidal electromagnetic fields on proliferation and osteogenic differentiation of rat bone marrow mesenchymal stromal cells. *Bioelectromagnetics*, 34(6), 453-464.
- Markov, M. S. (1982). Pulse electromagnetic fields therapy history, state of the art and future. *Environmentalist*.

- Medina Franco, H. (2005). Cirugía Oncológica. Principio y Práctica. En H. Medina Franco. México DF, México: Editores de Textos Mexicanos.
- Mejía-Astorga, G. (01 de 2019). *Magnetoterapia*. Obtenido de <https://www.mimagnetoterapia.com/cemp-y-vasodilatacion>
- Mejías, A. H. (18 de Agosto de 2017). *El País.com*. Obtenido de https://elpais.com/economia/2017/08/17/actualidad/1502978885_075055.html
- Muñiz, I. n. (2017). *ENCUESTA NACIONAL DE CONSUMO DE DROGAS, ALCOHOL Y TABACO 2016-2017: REPORTE ALCOHOL*. MÉXICO: SECRETARÍA DE SALUD.
- NJ, C. (2000). En *guia de practica clinica y tratamiento de arthritis reumatoide*.
- OMS. (2015). *Preguntas y respuestas sobre la hipertensión*. Obtenido de <http://www.who.int/features/qa/82/es/>
- OMS. (Agosto de 2016). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <http://www.who.int/features/qa/health-promotion/es/>
- OMS. (2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index5.html>
- Osteoporosis, F. I. (s.f.). *Fundación Internacional de Osteoporosis*. Obtenido de Cuanto cuesta el tratamiento de osteoporosis: <http://www.bypseguro.com/blog/cuanto-cuesta-tratamiento-osteoporosis>
- Pacheco Leal, D. (2009). *Bioquímica Médica*. México: Limusa.
- Peralta, M. R. (Abril de 2007). Enfermedad cardiovascular. Primera causa de muerte en adultos de México y el mundo . *Scielo*, 91-92. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/acm/v77n2/v77n2a1.pdf>
- Pérez, L. (2011). *Consenso Sociedad Española de Reumatología de osteoporosis*.
- Pezzetti F, D. M. (Nov de 1999). Effects of pulsed electromagnetic fields on human chondrocytes: an in vitro study. *Calcified tissue international*, 65(5), 396-401.
- Pilla, A. A. (2007). *Mechanisms and Therapeutic Applications of Time-Varying and Static Magnetic Fields* (tercera ed., Vol. 1). (F. S. Barnes, Ed.) USA: CRC Press.
- Pon, A. A. (2008). *Tratamiento Profiláctico de la migraña, con campos electromagnéticos pulsados; estudio placebo controlado, doble ciego cruzado*. México: UNAM-Dirección General de Bibliotecas.
- Pseudoartrosis. (s.f.). Obtenido de Tu lesión.com: <http://tulesion.com/lesiones-pseudoartrosis.3php>
- Pública, I. N. (2013). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012*. México.
- PubMed. (04 de 06 de 2019). Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=pulsed+electromagnetic+fields>. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=pulsed+electromagnetic+fields>
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. S. (2002). *Física* (4° ed., Vol. 2). México: CECSA.
- Rivas-Arancibia, A. M.-C. (16 de 06 de 2019). *Funciones de las prostaglandinas en el sistema nervioso central*. Facultad de Medicina, UNAM, Departamento de Fisiología. México: UNAM. Recuperado el 16 de 06 de 2019, de <http://www.ejournal.unam.mx/rfm/no48-5/RFM48509.pdf>
- Rivero, S. (s.f.). *Artrosis livemed*. Obtenido de Presidente del Colegio Mexicano de Ortopedia y Traumatología: <http://artrosis.livemed.es/areapacientes/conocer/05.php>
- Robert K. Murray, P. J. (2012). *Harper Bioquímica Ilustrada* (29 ed.). China: Mc Graw Hill.
- Rosales, G. R. (2007). (E. Universal, Entrevistador)
- Rosas, M., Efrain, A., & Borrero, G. (2017). ¿De que fallecen los adultos en México? *Revista Médica IMSS*, 98-103.

- Ruiz, M. (30 de 08 de 2007). *Wikipedia*. Recuperado el 11 de 06 de 2019, de https://es.wikipedia.org/wiki/Uni%C3%B3n_gap#/media/Archivo:Gap_cell_junction-es.svg
- Ryaby, J., Fitzsimmons, R., Khin, N., Culley, P., Magee, F., Weinstein, A., & Baylink, D. (1994). The role of insulin-like growth factor in magnetic field regulation of bone formation. *Bioelectrochem Bioenergetics*, 35, 87-91.
- Salud, O. M. (Mayo de 2017). [www.who.int.](http://www.who.int/features/factfiles/ageing/es/) Obtenido de <http://www.who.int/features/factfiles/ageing/es/>
- SALUD, O. P. (2017). *ENCUESTA GLOBAL DE TABAQUISMO EN ADULTOS. MEXICO 2015*. CUERNAVACA, MORELOS: INTITUTO NACIONAL DE SALUD PUBLICA.
- Salud, S. d. (2007). *Plan Nacional de Salud 2007-2012*. México.
- Salud, S. d. (2010). *Guía de Práctica Clínica, Diagnóstico y Tratamiento de Artritis Reumatoide en el Adulto*. Obtenido de http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/gpc/CatalogoMaestro/195_ARTRITIS_REUMATOIDE/Arthritis_reumatoidE_EVR_CENETEC.pdf
- Salud, S. d. (2013). *Diagnóstico y Tratamiento de Osteoporosis en mujeres posmenopáusicas*. Obtenido de http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/gpc/CatalogoMaestro/IMSS_673_13_Osteoporosisenpostmenopausia/673GER.pdf.
- Sangha O, 2. (2000). En *Guía de práctica clínica, diagnostico y tratamiento de Artritis Reumatoide*.
- Secretaria Nacional de Salud e Instituto Nacional de Salud Pública. (2016). *Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco (ENCODAT)*. México.
- shutterstock. (s.f.). *shutterstock.com*. Obtenido de <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/rheumatoid-arthritis-hands-isolated-on-white-135276098?src=CxgwQqEtKUJQByEBw7In1A-1-48>
- Sodi Pallares, D. (1998). *Lo que he descubierto del Tejido Canceroso*. México: N/D.
- Sodi Pallares, D. (s.f.). *Magnetoterapia*.
- Terra.com. (s.f.). *Osteoartritis qué es, causas y tratamiento*. Obtenido de Vida y estilo Terra: <https://vidayestilo.terra.com.mx/mujer/osteoartritis-que-es-datos-en-mexico-causas-y-tratamiento,c2364e84c31a9310VgnVCM5000009ccceb0aRCRD.html>
- Thomas L. Smith, D. W.-G. (2004). Efectos de los Campos Electromagneticos pulsados sobre la microcirculación. *Journal of Orthopaedic Research*, 80-84.
- Toche, N. (24 de Mayo de 2017). *El Economista.com*. Obtenido de <https://www.economista.com.mx/arteseideas/Principales-causas-de-muerte-en-el-mundo-20170524-0018.html>
- Trends, G. (04 de 06 de 2019). *Google Trends*. Obtenido de <https://trends.google.com.mx/trends/explore?date=all&q=PEMF,magnetoterapia>
- Ueno, S. (2012). Studies on Magnetism and Bioelectromagnetics for 45 Years: From Magnetic Analog Memory to Human Brain Stimulationand Imaging. *Bioelectromagnetics*, 33, 3-22.
- UNAM. (05 de 06 de 2019). *DISCOVERY SERVICE PARA UNAM*. Obtenido de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/results?vid=0&sid=efc7e059-1d92-4bef-afaa-6458e9d26da4%40sessionmgr4006&bquery=campos%2Belectromagn%25c3%25a9ticos%2Bpulsados&bdata=JmNsaTA9RIQmY2x2MD1ZJmxhbmc9ZXMdHlwZT0xJnNIYXJjaE1vZGU9U3RhbmRhcmQmc2I0ZT1lZH MtbgI2ZQ%3d%3d>
- UNAM, L. J. (s.f.). *AR afecta al 1% de la población*. Obtenido de <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2015/05/09/artritis-reumatoide-afecta-al-uno-por-ciento-de-la-poblacion-mundial-oms-2634.html>

Unidos, I. N. (10 de enero de 2018). *medlineplus.gov*. Obtenido de medlineplus.gov: <https://medlineplus.gov>

Vidas., B. y. (06 de 06 de 2019). *Biografías y Vidas*. Obtenido de <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/>

Vincenzi F, R. A. (May de 2017). Pulsed Electromagnetic Field Exposure Reduces Hypoxia and Inflammation Damage in Neuron-Like and Microglial Cells. *J Cell Physiol*, 232(5), 1200-1208.

Wikipedia. (06 de 06 de 2019). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert

Yasuda, I. (1954). Piezoelectric activity of bone. *J. Jpn Orthop Surg. Soc.*, 28, 267-271.

Zayas Guillot, J. d. (2002). La Magnetoterapia y su Aplicación en la Medicina. *Rev Cubana med. gen. Integr.*, 18, 60-72.

Impreso en México, 2019



Electroestimulación Inducida

Por Campos Electromagnéticos Pulsados

Bases Biofísicas, Efectos Biológicos y su Aplicación Clínica

Considerada la medicina del futuro, es utilizada en todo el mundo. Una verdadera solución a las enfermedades crónicodegenerativas, por sus efectos regenerativos de la función celular.

- No invasiva y sin medicamentos.
- Actúa en forma profunda.
- Desinflama y controla el dolor.
- Acelera la cicatrización de fracturas y heridas.
- Acelera la formación de cartílago.
- Mejora la circulación sanguínea, aumentando su flujo.
- Estimula a la formación de nuevos vasos sanguíneos.
- Incrementa la densidad de los huesos.
- Mejora la oxigenación de tejidos.
- Incrementa la nutrición celular.

www.sencamexico.com



@MagnetoterapiaMexico