

***TRABAJO FIN DE MÁSTER:***

***EFECTOS RADIACIONES NO***

***IONIZANTES EN EL CUERPO***

***HUMANO***

Autor:  
**Víctor Manuel Febles Santana**

Tutores:  
**Dra. Aurora Andújar Linares**  
**Dr. Jaume Anguera Pros**

22 de Junio de 2015





Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)



# Resumen

En los últimos años, los ciudadanos han mostrado una creciente preocupación por la incidencia que pudiera tener en la salud la exposición involuntaria o inconsciente a campos electromagnéticos (CEM).

El origen de esta inquietud se encuentra en la constante proliferación de dispositivos móviles, así como la publicación de algunos estudios epidemiológicos que asociaron esta exposición a campos electromagnéticos de frecuencias extremadamente bajas, procedentes de líneas de alta tensión, con determinados tipos de patologías, así como de la continuada instalación de antenas de telefonía y el uso generalizado de terminales móviles.

En este estudio, hemos intentado abordar a modo de Trabajo Fin de Máster, unos primeros estudios para conocer cómo se han abordado en algunos estudios serios la estimación de la Tasa de Absorción Específica (SAR), tanto en terminales móviles, como estaciones base, y puntos hot-spot WiFi. Finalmente, se resumen las siguientes conclusiones que de los estudios se derivan con el objetivo de mostrar la situación actual del impacto de los CEM sobre el cuerpo humano.

También se aborda el problema, del apantallamiento de dichas radiaciones. Así como el análisis del uso beneficioso de las radiaciones electromagnéticas en la salud humana.

## **Palabras clave:**

Campos electromagnéticos (CEM), radiación electromagnéticas, radiaciones no ionizantes, protección electromagnética, salud, cuerpo humano.



## **Abstract**

In recent years, citizens have shown a growing concern about the impact that could have on the health of involuntary or unconscious exposure to electromagnetic fields (EMF).

The origin of this concern is the continued proliferation of mobile devices, as well as the publication of some epidemiological studies associated with this exposure to electromagnetic fields of extremely low frequencies from high-voltage lines, with certain types of diseases and the continued installation of phone masts and the widespread use of mobile terminals.

In this study, we tried to address as a Master's Thesis, a first studies to learn how they have addressed some serious studies estimate the specific absorption rate (SAR), both mobile terminals, base stations, and WiFi hot-spot points. Finally, the following conclusions are derived from studies with the aim of showing the current status of the impact of EMF on the human body are summarized.

The problem of such radiation shielding is also addressed. And the analysis of beneficial use of electromagnetic radiation on human health.

### **Keywords:**

Electromagnetic fields (EMF), electromagnetic radiation, non-ionizing radiation, electromagnetic protection, health, human body.





## *Agradecimientos*

*A mis padres.*

*Por su perseverancia en las ideas y el convencimiento que han hecho que no me  
quede otra que imitarlos.*



# ÍNDICE



<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1</b>	<b>RADIACIONES NO IONIZANTES.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2</b>	<b>DOSIMETRÍA. ....</b>	<b>8</b>
<b>1.3</b>	<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>12</b>
<b>2.</b>	<b>EFFECTOS DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES EN LA SALUD. ....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>EFFECTOS RNI EN LA SALUD. ....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE EL EFECTO SOBRE SALUD. ....</b>	<b>15</b>
2.2.1	EFFECTOS BIOLÓGICOS SOBRE LA SALUD.....	17
2.2.1.1	Campos Electrostáticos. ....	20
2.2.1.1.1	Campos Eléctricos. ....	20
2.2.1.1.2	Campos Magnéticos. ....	20
2.2.1.2	Bajas Frecuencias. ....	21
2.2.1.3	Radiofrecuencias. ....	22
2.2.2	ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS. ....	22
2.2.2.1	Campos Electrostáticos. ....	22
2.2.2.1.1	Campos Eléctricos. ....	23
2.2.2.1.2	Campos Magnéticos. ....	23
2.2.2.2	Bajas Frecuencias. ....	24
2.2.2.3	Radiofrecuencias. ....	24
2.2.3	ESTUDIOS CLÍNICOS. ....	25
2.2.3.1	Campos Electrostáticos. ....	26
2.2.3.1.1	Campos Eléctricos. ....	26
2.2.3.1.2	Campos Magnéticos. ....	27
2.2.3.2	Bajas Frecuencias. ....	27
2.2.3.3	Radiofrecuencias. ....	28
<b>2.3</b>	<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>MODELOS DE SIMULACIÓN Y RESTRICCIONES BÁSICAS DE SAR.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>MODELOS DE SIMULACIÓN DE EFECTOS SOBRE LA SALUD.....</b>	<b>32</b>
3.1.1	MÉTODOS DE CÁLCULOS DEL SAR.....	32
3.1.1.1	Micro-antenas. ....	32
3.1.1.2	Pruebas térmicas en miniatura. ....	33
3.1.2	MODELOS DE SIMULACIÓN DEL SAR. ....	34
3.1.2.1	Modelado numérico por método de las Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo (FDTD). 35	
3.1.2.2	Modelado numérico por método de los Momentos (MoM).....	36
3.1.2.3	Modelado numérico por métodos Híbridos (FDTD - MoM). ....	36
<b>3.2</b>	<b>HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES COMERCIALES. ....</b>	<b>37</b>
<b>3.3</b>	<b>RESTRICCIONES BÁSICAS Y LÍMITES ESTABLECIDOS. ....</b>	<b>39</b>
3.3.1	RECOMENDACIONES SAR ORGANISMOS INTERNACIONALES. ....	40
3.3.2	LEGISLACIÓN NACIONAL Y EUROPEA. ....	42
3.3.2.1	Legislación Nacional. ....	42
3.3.2.2	Legislación Europea.....	42
<b>3.4</b>	<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>44</b>
<b>4.</b>	<b>RADIACIONES NO IONIZANTES PRODUCIDAS EN ANTENAS DE COMUNICACIONES. ....</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>RADIACIÓN EM DE LAS ANTENAS DE DISPOSITIVOS MÓVILES.....</b>	<b>46</b>
4.1.1	CÁLCULO DE DENSIDAD DE POTENCIA (S) DE LAS ANTENAS DE DISPOSITIVOS MÓVILES. ....	46

4.1.2	CÁLCULO DE SAR DE LAS ANTENAS DE DISPOSITIVOS MÓVILES.....	49
4.1.3	EVIDENCIAS DE EFECTOS DE LOS DISPOSITIVOS MÓVILES EN LA SALUD. ....	50
4.1.4	NORMATIVAS Y REGULACIONES APLICABLES EN ESPAÑA. ....	51
<b>4.2</b>	<b>RADIACIÓN EM DE LAS ANTENAS DE ESTACIÓN BASE. ....</b>	<b>51</b>
4.2.1	CÁLCULO DE DENSIDAD DE POTENCIA (S) DE LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES BASE.....	51
4.2.2	CÁLCULO DE SAR DE LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES BASE. ....	53
4.2.3	EVIDENCIAS DE EFECTOS DE LAS ESTACIONES BASE EN LA SALUD.....	54
4.2.4	NORMATIVAS Y REGULACIONES APLICABLES EN ESPAÑA. ....	54
<b>4.3</b>	<b>EFFECTOS DE LA RADIACIÓN EM DE LAS ANTENAS DE HOT-SPOTS WIFI. ....</b>	<b>55</b>
4.3.1	CÁLCULO DE SAR DE LAS ANTENAS DE ANTENAS DE HOT-SPOT WIFI. ....	55
4.3.2	CÁLCULO DE SAR DE LAS ANTENAS HOT-SPOTS WIFI. ....	56
4.3.3	EVIDENCIAS DE EFECTOS DE LAS ANTENAS DE HOT-SPOT WIFI EN LA SALUD. ....	56
4.3.4	NORMATIVAS Y REGULACIONES APLICABLES EN ESPAÑA A HOT-SPOT WIFI. ....	57
<b>4.4</b>	<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>58</b>
<b>5.</b>	<b>APANTALLAMIENTOS DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1</b>	<b>MÉTODOS DE PROTECCIÓN RNI. ....</b>	<b>60</b>
5.1.1	FILTROS.....	60
5.1.2	MASAS Y TIERRAS. ....	60
5.1.3	PANTALLAS. ....	61
5.1.4	BLINDAJES O JAULAS DE FARADAY.....	64
<b>5.2</b>	<b>PROTECCIÓN A LAS PERSONAS DE RNI PROCEDENTES DE ANTENAS DE COMUNICACIONES.....</b>	<b>67</b>
5.2.1	PROTECCIÓN DE LAS ANTENAS DE TELÉFONOS MÓVILES.....	67
5.2.2	PROTECCIÓN DE LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES BASE.....	68
5.2.3	PROTECCIÓN DE LAS ANTENAS DE HOT-SPOTS WIFI. ....	68
<b>5.3</b>	<b>PROTECCIÓN A PERSONAS HIPERSENSIBLES DE LA RADIACIÓN EM.....</b>	<b>69</b>
<b>5.4</b>	<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>71</b>
<b>6.</b>	<b>APLICACIONES MÉDICAS DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES.....</b>	<b>73</b>
<b>6.1</b>	<b>CONTROL DOSIMÉTRICO.....</b>	<b>74</b>
<b>6.2</b>	<b>TIPOS DE EQUIPOS QUE USAN RNI.....</b>	<b>74</b>
6.2.1	EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO MÉDICO.....	74
6.2.1.1	Resonancia Magnética. ....	75
6.2.1.2	Tomografía de microondas. ....	76
6.2.1.3	Espectroscopía de resonancia magnética nuclear.....	77
6.2.2	EQUIPOS DE TERAPIA A PACIENTES. ....	79
6.2.2.1	Generadores Onda Corta.....	79
6.2.2.2	Estimulador magnético transcraneal.....	80
6.2.3	EQUIPOS DE INTERVENCIÓN A PACIENTES. ....	82
6.2.3.1	Desfibriladores. ....	82
6.2.3.2	Electrobisturís.....	84
6.2.3.3	Equipo Hipertermia Electromagnética. ....	85
<b>6.3</b>	<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>87</b>
<b>7.</b>	<b>LÍNEAS DE FUTURO.....</b>	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>GLOSARIO DE ACRÓNIMOS.....</b>	<b>93</b>
<b>9.</b>	<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>95</b>

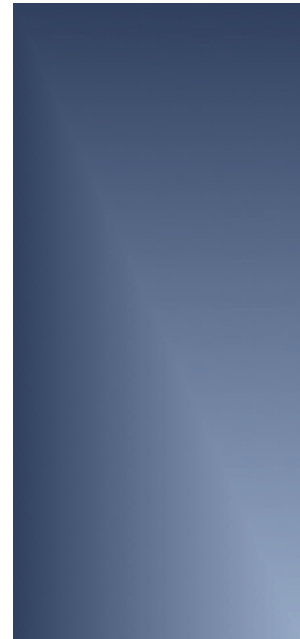
<b><u>10.</u></b>	<b><u>ÍNDICE DE TABLAS .....</u></b>	<b><u>99</u></b>
<b><u>11.</u></b>	<b><u>BIBLIOGRAFÍAS .....</u></b>	<b><u>101</u></b>







## JUSTIFICACIÓN



La reciente proliferación de dispositivos móviles ha provocado un debate en la sociedad que hace pensar si es perjudicial para la salud, el uso de dispositivos móviles y la tecnología inalámbrica asociada.

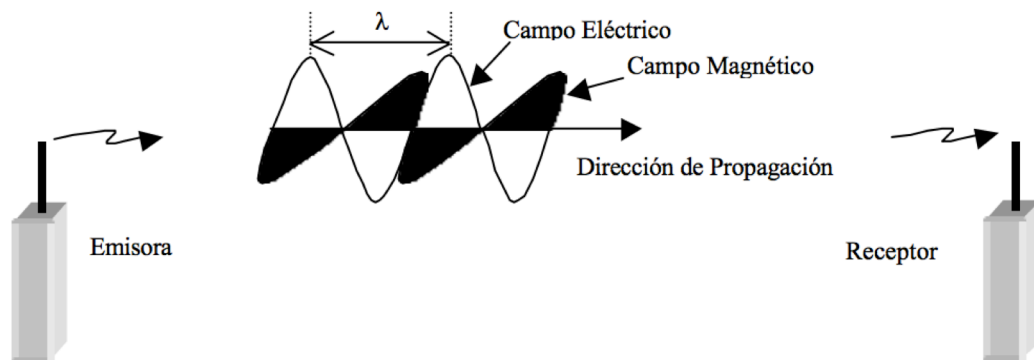
El principio de funcionamiento de dichos dispositivos y tecnología, está basado en la radiación electromagnética.

La radiación electromagnética esta formada por campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio en forma de ondas portadoras de energía que viajan a través del espacio, sin necesidad de un medio material por el que propagarse, tal como se ve en la figura 1.



Cuando la radiación electromagnética interactúa con átomos y moléculas puntuales, su comportamiento también depende de la cantidad de energía que lleve.

Así, la influencia de las ondas electromagnéticas producida por un microondas, por un teléfono móvil, por las antenas de telefonía móvil o por los cables de alta tensión, se analiza en función de la energía que transportan.



**Figura 1-** Ondas electromagnéticas en un sistema de comunicación.

Las interacciones de las radiaciones electromagnéticas con las personas no están bien determinadas, ya que se basan en estudios que están siendo revisados por varios grupos de científicos, y de momento, no existe consenso al respecto [2][3][19][20][21][29]. Aun así, los diferentes países redactan legislación, donde se adoptan diferentes límites de radiación para las personas, en base a recomendaciones de diversos organismos internacionales. Esto puede dar lugar a límites de zonas en las que su acceso es restringido [23][24][25].

Las radiaciones electromagnéticas se dividen en radiaciones no ionizantes (RNI) y radiaciones ionizantes (RI). Radiación no ionizante (RNI) es aquella radiación que no tienen suficiente energía para ionizar la materia. Es decir, es incapaz de impartir suficiente energía a una molécula o un átomo para alterar su estructura quitándole uno o más electrones.

En la tabla 1, se puede ver la relación entre la longitud de onda ( $\lambda$ ), la frecuencia ( $f$ ) y la energía ( $E$ ) que tienen las diferentes bandas del espectro electromagnético no ionizante.



Banda	Longitud de Onda ( $\lambda$ )	Frecuencia (f)	Energía (E)	Uso
ELF	100000 km - 100 km	1 Hz - 3 kHz	$1,98 * 10^{-30}$ J	Líneas Eléctricas
VLf	100 km - 10 km	3 kHz - 30 kHz	$1,98 * 10^{-29}$ J	--
LF	10 km - 1 km	30 kHz - 300 kHz	$19,8 * 10^{-28}$ J	--
MF	1 km - 100 m	300 kHz - 3 MHz	$19,8 * 10^{-27}$ J	Radio AM
HF	100 m - 10 m	3 MHz - 30 MHz	$19,8 * 10^{-26}$ J	--
VHF	10 m - 1 m	30 MHz - 300 MHz	$19,8 * 10^{-25}$ J	Radio FM
UHF	1 m - 100 cm	300 MHz - 3 GHz	$19,8 * 10^{-24}$ J	Móvil, Microondas
SHF	100 cm - 10 cm	3 GHz - 30 GHz	$19,8 * 10^{-23}$ J	E. Base, WiFi
EHF	10 cm - 1 cm	30 GHz - 300 GHz	$19,8 * 10^{-22}$ J	--

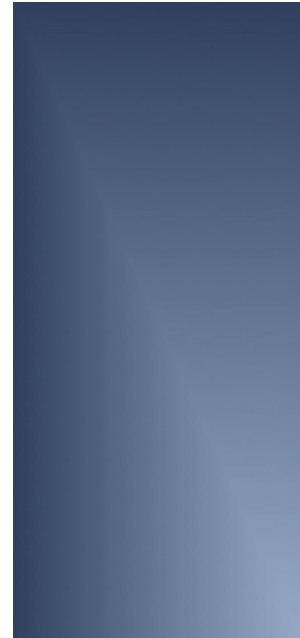
**Tabla 1-** Relación bandas frecuencias con longitud ondas y energía del espectro electromagnético no ionizante.

Desde el punto de vista de la salud, se plantea la importancia de conocer como las RNI afectan a la salud. Para abordar este efecto se utilizará la tasa de absorción específica (SAR) que puede absorber el cuerpo humano.

Así se analizará las RNI que emiten los dispositivos teléfonos móviles, estaciones base, y puntos Hot Spot WiFi, qué SAR y qué normativa los regula (capítulo 4), así como que protecciones se pueden hacer a las RNI (capítulo 5), y por último, se analizará algunos casos de uso beneficiosos de las RNI en medicina, para ayudar a la salud de las personas (capítulo 6).



# **CAPÍTULO 1**



## **1. INTRODUCCIÓN.**

Las radiaciones electromagnéticas, se clasifican entre ionizantes (RI) y no ionizantes (RNI), en este capítulo se analizará el espectro electromagnético, en concreto la parte del espectro que concierne a este trabajo de efecto de las radiaciones no ionizantes en el cuerpo.



## 1.1 RADIACIONES NO IONIZANTES.

Como se ha dicho, las radiaciones electromagnéticas, se clasifican entre ionizantes (RI) y no ionizantes (RNI), el límite se suele establecer en una longitud de onda de 10-100 nm.

Según diferentes artículos especializados [19], las RNI tiene el potencial necesario para interactuar con los sistemas biológicos, y las consecuencias de esto pueden ser beneficiosas, irrelevantes o perjudiciales en diferentes grados para la salud humana.

Mediante la ecuación de la energía desarrollada por Max Planck, se describe la propagación de la energía electromagnética como una onda.

$$E = h f$$

Donde  $h$  es la constante de Planck que equivale a  $6.2760 \times 10^{-27}$  erg/s. Con esta ecuación se ve más claramente, la división del espectro electromagnético en radiaciones ionizantes y no ionizantes.

La ionización se refiere al proceso mediante el cual es arrancado un electrón de las capas exteriores de un átomo, por acción de una radiación externa. Para organismos vivos esta radiación debe presentar frecuencias  $f > 300$  GHz, es decir, 100 nm. de longitud de onda [19].

Atendiendo a la forma de producirse, existen **dos tipos de RNI**, radiaciones naturales y radiaciones artificiales, como se ve en la figura 2.

Las **radiaciones naturales** son las no producidas por el hombre. Proceden del núcleo de la tierra en modo de campo estático; del sol en modo de campo estático, radiación infrarroja, y luz visible hasta el ultravioleta próximo; y de cuerpos que de forma natural está a alta temperatura, generando radiación infrarroja, luz visible y ultravioleta próximo.

Las **radiaciones artificiales** son las producidas mediante métodos desarrollados por el hombre, como por ejemplo, los aparatos de redes de comunicaciones, equipamiento electrónico e instalaciones, etc. La naturaleza física de las radiaciones artificiales es idéntica a la de las naturales.

La mayor potencia de radiación que se encuentra en el ambiente, es producida por la radiación artificial. Esta la podemos controlar, en cuanto a su potencia, longitud de onda, su dirección y polarización. También podemos controlar su presencia, no sólo mediante el control de la emisión o no emisión, sino también mediante diversos sistemas de apantallamiento, que reduzcan o minimicen en mayor o menor grado, sus efectos, tal y como veremos en el capítulo 5.

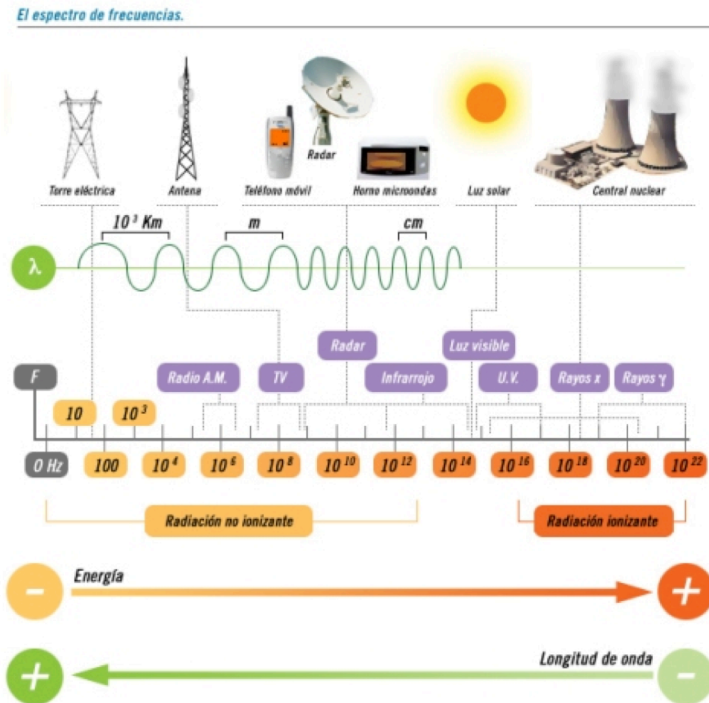


Figura 2-. Espectro electromagnético y su uso [89].

Los efectos de las RNI cuando interacciona con la materia se complica aún más por las interacciones de las ondas electromagnéticas en objetos. En general, cuando las ondas electromagnéticas encuentran un objeto, una parte de la energía incidente se refleja, otra parte es absorbida y el resto se transmite hacia el siguiente medio. Las proporciones de energía transmitida, absorbida o reflejada por el objeto dependen de la frecuencia y polarización del campo, del ángulo de incidencia y de las propiedades eléctricas y la forma de objeto.

La superposición de las ondas incidente y reflejada puede producir ondas estacionarias o cuasi-estacionarias. Como las ondas se reflejan totalmente en los objetos metálicos, cerca de estos objetos se forman ondas estacionarias puras, pues la onda incidente y la reflejada tienen amplitudes muy similares [22].

Dado que la interacción de los campos de RF con los sistemas biológicos depende de numerosas características de los campos y éstos son complejos en la práctica, al describir exposiciones a campos de RF deberían tenerse en cuenta los siguientes factores:



- Si se produce en la de campo cercano, es necesario conocer los valores de E y de H.
- Si se dan en la de campo lejano, se necesita E o H, es decir, uno de los dos pues en campo lejano existe una relación escalar conocida entre el campo E y H siendo esta la impedancia del medio  $\eta$ .
- La variación espacial de la magnitud del campo o campos.
- La polarización de campo, es decir, la dirección del campo eléctrico con respecto a la dirección de propagación de la onda.

## 1.2 DOSIMETRÍA.

Son varios los parámetros que se pueden medir de una señal electromagnética. Es importante tener valores de parámetros de referencias comunes, por los que comparar los diversos estudios que se realicen sobre campos electromagnéticos (CEM) y así poderse comparar sus resultados y conclusiones.

Así, la dosimetría es uno de los elementos más importantes para cualquier estudio científico. Tiene que ver con la definición de dosis que en términos fisiológicos, una dosis es una cantidad de un agente o producto que se recibe en un tiempo determinado.

Con los CEM, no es tan simple, la dosimetría que describe la interacción del campo eléctrico y magnético con los tejidos biológicos en la región de campos estáticos, bajas frecuencias y radiofrecuencias en este caso.

La dosimetría es uno de los principales problemas, ya que actualmente no se conoce con certeza qué aspecto del CEM al que se está sometido es el más importante a la hora de producir un efecto sobre la salud.

La comunidad científica, considera al la medida de SAR el parámetro más importante y con el que expresar los valores medidos y las conclusiones. Aún así, se detalla las unidades dosimétricas más importantes a tener en cuenta para cualquier estudio de interacciones de CEM con personas humanas.

- **Densidad de Flujo Magnético o Inducción Magnética (B)**. Se mide en teslas (T) que es la fuerza que ejerce un campo magnético que ejerce una fuerza de 1 newton (N) sobre una carga de 1 culombio (C) que se mueve a velocidad de 1 metros por segundo (m/s) dentro del campo y perpendicularmente a las líneas de inducción magnética.

- **Densidad de corriente (J)** . Es la magnitud que mide el movimiento promedio de las cargas en un material. Se define como la corriente que fluye por una unidad de sección transversal perpendicular a la dirección de la corriente, en





un conductor volumétrico, como puede ser el cuerpo humano o parte de éste. Se mide en amperios por metro cuadrado ( $A/m^2$ ).

Si un campo de electromagnético induce potenciales eléctricos sobre objetos conductores, este potencial eléctrico, se puede derivar a tierra a través de un cuerpo que entra en contacto con él. La cantidad de corriente depende tanto del objeto conductor como de la frecuencia de la onda EM, de la intensidad del campo y de la impedancia de los tejidos humanos. Esta magnitud se suele medir para frecuencia entre los 3 kHz y los 10 MHz, debido a que la inducción eléctrica es el efecto predominante de estas frecuencias [23].

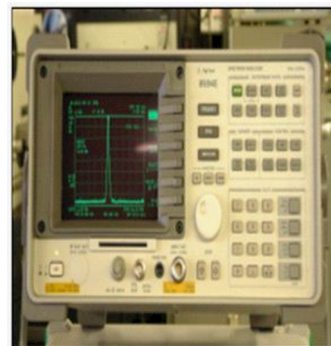


Figura 3-. Analizador de campos con sonda y analizador de espectro.

- **Corrientes inducidas (I)**. Se producen cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, o viceversa, y dicho movimiento relativo, causa una circulación de electrones, o corriente inducida dentro del conductor. Se mide en amperios (A).

No necesariamente la persona debe estar en contacto con objetos conductores para que se produzcan las corrientes de RF. Por cercanía a campos de RF se puede generar corriente eléctrica en el cuerpo. Estas corrientes son medidas en el intervalo de frecuencias comprendido entre los 100 kHz y los 100 MHz [32].

- **Intensidad de campo eléctrico (E)**. Es una magnitud de medida vectorial que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se mide en voltios por metros (V/m). Esta unidad de corriente se suele medir en el rango de 10 MHz a 110 MHz [32].

- **Intensidad de campo magnético (H)**. Es una magnitud de medida vectorial que junto con la inducción magnética, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Se mide en amperios por metros (A/m).



- **Densidad de flujo magnético o inducción magnética (B).** Es una magnitud vectorial que da lugar a una fuerza que actúa sobre cargas en movimiento. Se mide en teslas (T). En espacio libre y en materiales biológicos, la densidad de flujo o inducción magnética y la intensidad de campo magnético se pueden intercambiar utilizando la equivalencia  $1 \text{ A/m} = 4 \pi 10^{-7} \text{ T}$ .

Además la densidad de flujo magnético se relaciona con la intensidad de campo magnético mediante la fórmula  $B = \mu H$ , donde  $\mu$  es la permeabilidad magnética.

- **Absorción específica de energía (SA).** Se define como la energía absorbida por unidad de masa de tejido biológico, se mide en julios por kilogramos (J/Kg). Se suele utilizar para limitar los efectos no térmicos de la radiación de microondas pulsátil.

- **Tasa de absorción específica (SAR).** Es la media de la tasa de energía absorbida por un tejido biológico debido a la exposición a una fuente de transmisión de RF.

El índice SAR de un organismo biológico depende de parámetros de exposición tales como la frecuencia de la radiación, la intensidad, la polarización, la configuración de la fuente radiante y del cuerpo, las superficies de reflexión y tamaño y la forma y propiedades eléctricas del cuerpo, de ahí la importancia de poderlo medir con analizadores similares a los que se ven en las figuras 3 y 4.

La distribución espacial de la SAR en el interior del cuerpo presenta una marcada falta de uniformidad. Esta distribución no uniforme de la energía provoca un calentamiento no uniforme de las partes profundas del cuerpo y puede producir gradientes de temperatura internos. A frecuencias superiores a 10 GHz, la energía se deposita cerca de la superficie corporal.



**Figura 4-** Diversos tipos de analizadores de campos E y H con sus sondas.



- **Densidad superficial de potencia (DSP).** Corresponde a la potencia que atraviesa un área de  $1 \text{ m}^2$ , se expresa en vatios por metros cuadrado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Y representa la cantidad de energía absorbida por el tejido mostrado a la radiación.

Cuando el tejido es expuesto a un campo de RF, parte de la radiación es reflejada, y otra parte es absorbida por el cuerpo. La radiación producida por esta interacción debe ser cuantificada, ya que es la principal fuente de efectos biológicos [5].

Se considera la densidad superficial de potencia (DSP) como el mejor indicador de potencia absorbida, aunque la tasa de absorción específica (SAR) fue oficialmente designada como el parámetro de referencia por la comunidad científica.

- **Densidad de potencia (S).** Se define como la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación. Es la magnitud utilizada para frecuencias muy altas ( $>10 \text{ GHz}$ ), donde la profundidad de penetración en el cuerpo es baja. Es la potencia radiante que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de la superficie, y se expresa en vatios por metro cuadrado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Es un concepto más genérico que el anterior.



### 1.3 CONCLUSIONES.

En este capítulo se estudia como las radiaciones electromagnéticas, se clasifican entre ionizantes (RI) y no ionizantes (RNI), el límite se suele establecer en una longitud de onda de 10-100 nm.

La ionización se refiere al proceso mediante el cual es arrancado un electrón de las capas exteriores de un átomo, por acción de una radiación externa. Para organismos vivos esta radiación debe presentar frecuencias  $f > 300$  GHz, es decir, 100 nm. de longitud de onda.

Las RNI tiene el potencial necesario para interactuar con los sistemas biológicos, y las consecuencias de esto pueden ser beneficiosas, irrelevantes o perjudiciales en diferentes grados para la salud humana.

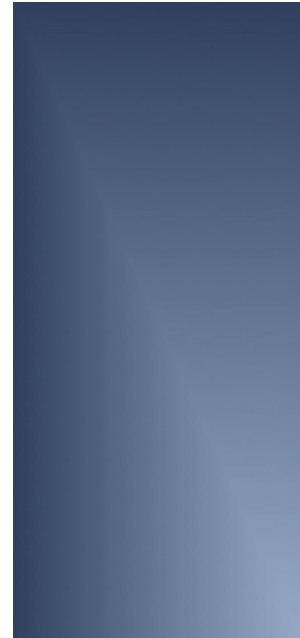
Atendiendo a la forma de producirse, existen dos tipos de RNI, radiaciones naturales y radiaciones artificiales.

La mayor potencia de radiación que se encuentra en el ambiente, es producida por la radiación artificial. Esta la podemos controlar, en cuanto a su potencia, longitud de onda, su dirección y polarización. También podemos controlar su presencia, no sólo mediante el control de la emisión o no emisión, sino también mediante diversos sistemas de apantallamiento, que reduzcan o minimicen en mayor o menor grado, sus efectos.

Dado que la interacción de los campos de RF con los sistemas biológicos depende de numerosas características de los campos y éstos son complejos en la práctica, al describir exposiciones a campos de RF deberían tenerse en cuenta las intensidades de campo, la polarización y el tiempo que esta dura.

Por tanto, para poder determinar causa-efecto entre las radiaciones no ionizante y los sistemas biológicos o el cuerpo humano, es necesario que se tenga medidos los parámetros dosimétricos de referencia de las radiaciones no ionizantes, por ello, se hace una exposición de los parámetros dosimétricos de las RNI.

## **CAPÍTULO 2**



### **2. EFECTOS DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES EN LA SALUD.**

En general la radiación por radiofrecuencia y microondas, tienen como principal mecanismo de interacción, el calentamiento. Aunque en la región de baja frecuencia del espectro, los campos de alta intensidad pueden inducir corrientes en el cuerpo y por ello también resultar peligrosos. Se desconocen los mecanismos de interacción de las intensidades de los campos de bajo nivel.

En este capítulo, se tratan de los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) dentro de las regiones de campos estáticos, bajas frecuencias y radiofrecuencias.



## 2.1 EFECTOS RNI EN LA SALUD.

Cuando una entidad biológica se expone a un campo electromagnético (CEM), se produce una interacción entre la potencia del campo, la corriente eléctrica inducida y las cargas del tejido corporal. El efecto biológico es la respuesta fisiológica a esa interacción, que puede ser o no, perceptible por el organismo expuesto.

El efecto biológico no tiene porque ser necesariamente una lesión. Se produce una lesión cuando el efecto biológico supera las propiedades biológicas de compensación del organismo.

Los efectos producidos por exposición a CEM desde el punto de vista clínico se pueden clasificar en agudos y crónicos. Los efectos agudos se relacionan con efectos inmediatos y objetivos, y los crónicos no son ni inmediatos ni objetivos, se pueden denominar a largo plazo, además se pueden clasificar como nocivos y benéficos, estando estos últimos en el campo de la magnetoterapia. En el capítulo 6 de este TFM, abordamos algunos de estas aplicaciones médicas que son beneficiosas para la salud [19].

Las ondas electromagnéticas interactúan entre sí, y dado que los seres vivos somos cuerpos electromagnéticos que interactuamos con el espectro electromagnético que nos rodea, se producen fenómenos de absorción, transmisión y emisión de energía, con cambios de estado en niveles energéticos de las moléculas.

La interacción del material biológico con una emisión electromagnética depende de la frecuencia de emisión, o sea de la cantidad de energía que este absorbe.

Los CEM inducen la formación de momentos de fuerza sobre las moléculas que pueden ocasionar el desplazamiento de iones situados en posiciones sin perturbación, vibraciones en cargas unidas, y la rotación de moléculas bipolares como las del agua.

Estos mecanismos, son incapaces de ocasionar efectos observables tras la exposición a CEM de bajo nivel, dado que quedan superpuestos a agitación térmica aleatoria y el tiempo de respuesta debe de ser lo suficientemente rápido como para permitir que la respuesta se produzca durante el periodo de tiempo de la interacción [19].



## 2.2 ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE EL EFECTO SOBRE SALUD.

Los efectos principales apreciables de la interacción de las ondas electromagnéticas sobre el cuerpo humano, tal y como se ilustra en la figura 5, son el calentamiento y la inducción de corriente.



**Figura 5-** Interacción ondas electromagnéticas con cuerpo humano.

El calentamiento por RF es un mecanismo de interacción que ha sido estudiado en profundidad. Se han observado efectos térmicos a menos de 1 W/Kg, pero en general no se han determinado umbrales de temperatura para estos efectos. Al evaluar efectos biológicos debe tenerse en cuenta el perfil tiempo-temperatura.

Aún así, para establecer los límites establecidos se ha tenido en cuenta que cuando una persona realiza una actividad física moderada, su temperatura aumenta ligeramente y se produce una disipación de calor de unos 4 W/kg, que se evacúa de manera natural al medio circundante a través fundamentalmente de la piel y el sudor.

Este pequeño valor se ha tomado como valor máximo permitido de absorción del cuerpo humano cuando está sometido a un campo electromagnético. Es decir, los organismos internacionales encargados de fijar las normas industriales de seguridad y salud han consensuado como valor límite de absorción, inocuo la salud el de 4 W/kg [16] [17].

Esta recomendación ha sido adoptada con un factor de seguridad de 50, por lo que sólo se permite una absorción máxima de 0,08 W/kg en el caso de población general, en el caso de trabajadores no se considera este factor de seguridad.

El consejo de la Unión Europea basándose en las recomendaciones de la ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiations Protection), ha promulgado la Recomendación 1999/519/CE, de 12 de julio, relativa a la



exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz) para lograr un alto nivel de protección de la salud de los ciudadanos [23], y la Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos) (decimoctava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE) [24] [25]. El gobierno de España, traspuso la directiva con el RD. 1066/2001, de 28 de septiembre [18].

Pero, además, diversos estudios en humanos y en animales [19][26][28], indican que los campos RF pueden causar efectos biológicos nocivos debido al calentamiento excesivo de los tejidos internos como los tejidos de cerebrales. Los sensores térmicos son en la piel, con lo que no pueden detectar el calentamiento en zonas profundas del cuerpo .

En la amplia gama de las radiofrecuencias, la percepción cutánea del calor y el dolor térmico no son indicadores de detección fiables, ya que los receptores térmicos están situados en la piel y no perciben fácilmente el calentamiento profundo del cuerpo originado por estos campos. Es necesario establecer límites de exposición como protección contra estos efectos adversos para la salud de la exposición a los campos de radiofrecuencia.

En cuanto a **inducción de corriente** en el cuerpo, en esos niveles se pueden estar produciendo efectos indirectos, por ejemplo, corrientes eléctricas en implantes metálicos en el organismo que causan molestias, o bien alteran el funcionamiento de aparatos como por ejemplo, marcapasos [17].

Vemos de manera genérica, los efectos que la densidad de corriente eléctrica tiene sobre el organismo humano, tal y como se puede ver en la figura 6:

- ***Efecto farádico.***

Las células susceptible de estimulación fácil, como los nervios y los músculos, se estimulan por el paso de corriente eléctrica. La estimulación del tejido humano llega como máximo con una corriente alterna de aproximadamente 100 Hz, disminuyendo si la frecuencia va aumentando y pierde paulatinamente su efecto nocivo como mejorar la circulación y el efecto anestésico.

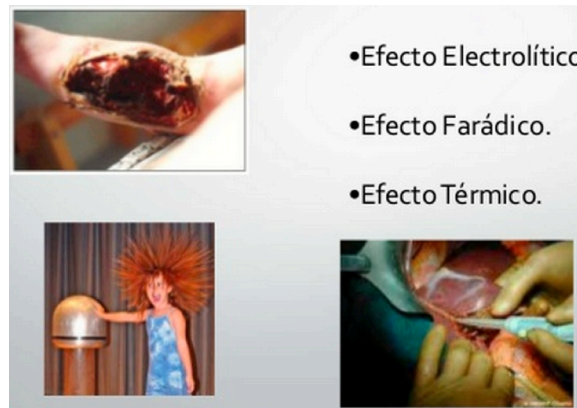
- ***Efecto electrolítico.***

La corriente eléctrica causa en el tejido biológico una corriente de iones. Los iones son las más pequeñas partículas cargadas de electricidad. En el caso de corriente continua, los iones positivos se desplazan hacia el polo negativo y los iones negativos hacia el polo positivo. En los polos, el tejido biológico sufriría daño debido a esta acumulación de cargas que buscan cerrar el circuito eléctricamente a través de la placa de tierra que va pegado a la piel del paciente, y cualquier mala





adaptación de impedancia con el paciente, provocaría arco eléctrico. Por tanto, la corriente continua no es apropiada para el uso en cirugía. Sin embargo, la corriente alterna con alta frecuencia, los iones cambian permanentemente su dirección de movimiento, es decir, están oscilando y por tanto no causan daño en el tejido [30].



**Figura 6-** Efectos de corriente en el cuerpo humano.

▪ ***Efecto térmico.***

Cuanto más intensidad de corriente, mayor es el aumento de temperatura y por tanto el efecto térmico. La corriente eléctrica calienta el tejido, siendo el calentamiento en función de:

- La resistencia específica del tejido.
- La intensidad de la corriente.
- El tiempo de acción de la energía eléctrica.

En este Trabajo Final de Máster, se analizará también el uso de RNI en beneficio de la salud de las personas (capítulo 5), por eso se analizará detalladamente, los efectos sobre la salud de las RNI, en la parte del espectro de ondas de radio (30 kHz-300 GHz), bajas frecuencias (3 Hz-30 kHz) y campos estáticos.

### **2.2.1 EFECTOS BIOLÓGICOS SOBRE LA SALUD.**

En este apartado se mencionan algunos de los efectos biológicos que se encontraron en diferentes bibliografías, en función de la parte del espectro



electromagnético que se hable, ya que no son los mismos efectos de la radiación producida por radiofrecuencias, bajas frecuencias o por campos estáticos, tal y como se ilustra en la figura 7, de radiación cotidiana que interactúa con el hombre.

El principal parámetro que determina el tipo de mecanismo de interacción con los tejidos biológicos es la frecuencia. De forma general puede afirmarse que a bajas frecuencias la interacción se produce por acoplamiento campo eléctrico/campo magnético con el cuerpo, mientras que a frecuencias superiores, por encima de 100 kHz, la interacción se genera básicamente por la transferencia y consecuentemente absorción de energía en el medio biológico [31].

Los campos eléctricos variables de baja frecuencia interactúan con el cuerpo humano por inducción de corrientes eléctricas, formación de dipolos eléctricos o reorientando los dipolos eléctricos presentes en el tejido. La importancia relativa de unos u otros efectos depende de la conductividad eléctrica (para la generación de corrientes) y de la permitividad eléctrica (para la generación de dipolos) del tejido en cuestión, y estas a su vez, dependen del valor de la frecuencia del campo eléctrico. Destacar que la distribución de las corrientes es función de la posición del sujeto en relación con el campo eléctrico externo y de la forma y tamaño del cuerpo expuesto [32].

A su vez, los campos magnéticos variables de baja frecuencia generan campos eléctricos inducidos y dan lugar a la circulación de corrientes eléctricas. La importancia relativa de estos fenómenos nuevamente depende de la frecuencia del campo magnético y de su intensidad, de la conductividad eléctrica del tejido y de la geometría del cuerpo. Dado que el cuerpo no es eléctricamente homogéneo, la dirección y sentido, así como los valores de intensidad de las corrientes resultantes, dependen de múltiples variables. Por esta razón, para estimar con cierta fiabilidad los valores de estos parámetros, es preciso realizar simulaciones y aplicar modelos computacionales. Es decir, a partir de las magnitudes dosimétricas más relevantes como densidad de corrientes ( $J$ ) en el rango de frecuencias hasta 10 MHz, e intensidad de corrientes ( $I$ ) en el rango de frecuencias hasta 110 MHz [32].



**Figura 7-.** Radiación cotidiana sobre cuerpo humano.



Para CEM de frecuencias próximas o superiores a los 100 kHz el cuerpo humano puede absorber energía que produce incrementos de temperatura generalmente apreciables, tal y como se ve en la figura 8. El efecto sobre el cuerpo no es uniforme, y el conocimiento exacto de la distribución de los incrementos térmicos en el cuerpo humano es altamente dependiente de la frecuencia, por lo que se requieren modelos matemáticos basados en medidas o estimaciones de las magnitudes dosimétricas relevantes para cada zona del espectro, tal y como da pautas la International Commission on Non-ionising Radiation Protection (ICNIRP), donde la tasa de absorción específica (SAR) es usado para medir el rango de frecuencias 100 kHz-10 GHz; la densidad de potencia (S), es usada para medir 10-300 GHz; la absorción específica (SA) es usada para medir campos pulsados en el rango 300 MHz-10 GHz [32].

En los tejidos, la SAR, suele definirse en el cuerpo entero o promediada para un cierto valor de masa de tejido. Es proporcional al cuadrado del campo eléctrico interno, la distribución del SAR en promedio es altamente dependiente de la forma que tenga la parte del cuerpo expuesta al campo, así como de la ubicación exacta y geometría de la fuente (exposición a campo lejano o cercano), presencia de objetos, efectos de toma de tierra, etc. Alcanzando valores máximos en condiciones de campo lejano, si el eje mayor del cuerpo humano es paralelo al vector del campo eléctrico, y para el hombre adulto sin conexión a tierra eléctrica, hay una frecuencia de resonancia de la absorción próxima a los 70 MHz [31].



**Figura 8-** Mapa termográfico sobre cuerpo humano, indicando mayor absorción calor en sistema nervioso central.



En base a trabajos publicados, se suele establecer una clasificación del espectro electromagnético atendiendo a la zona de interacción térmica con el cuerpo humano [33]:

- 100 kHz – 20 MHz: La absorción se produce fundamentalmente en el cuello y las piernas.
- 20 MHz – 300 MHz: La absorción es relativamente alta en todo el cuerpo.
- 300 MHz – 10 GHz: La absorción es localizada y no uniforme.
- > 10 GHz: La absorción se produce en la superficie del cuerpo.

### **2.2.1.1 CAMPOS ELECTROSTÁTICOS.**

Debido a que los efectos biológicos pueden ser bien distintos, se habla de cada uno de los campos E y H por separado.

#### **2.2.1.1.1 CAMPOS ELÉCTRICOS.**

Un campo eléctrico estático induce cargas eléctricas sobre la superficie de un objeto. A consecuencia de ello, el campo eléctrico de la superficie de un objeto, sobre todo si el radio de curvatura es pequeño como en el caso de una punta afilada, puede ser mayor que el campo eléctrico no perturbado (sin la presencia del objeto).

#### **2.2.1.1.2 CAMPOS MAGNÉTICOS.**

El campo magnético natural es la suma de un campo interno debido a la acción de la Tierra como un imán permanente y un campo externo generado en el medioambiente por la actividad solar o los de tipo atmosférico.

Los campos magnéticos artificiales provienen principalmente de los electroimanes o los imanes permanentes que se encuentran en diversos equipos electrónicos y eléctricos. Superan en muchos órdenes de magnitud al terrestre.

El cuerpo humano es relativamente transparente a los campos magnéticos estáticos. Tales campos interactúan fundamentalmente con los materiales ferromagnéticos y con cargas en movimiento.

Teóricamente en condiciones extremas, los efectos magnéticos podrían reducir la velocidad de la sangre que circula en un campo magnético intenso y producir un aumento de la presión arterial.



### 2.2.1.2 BAJAS FRECUENCIAS.

Existe un rango de frecuencias por debajo del rango de radiofrecuencias, denominado como bajas frecuencias (1Hz–30 kHz), que se utilizan principalmente en la distribución de energía eléctrica, y otras aplicaciones, que generan un campo eléctrico, magnético o electromagnético, con una consideración diferente a las radiofrecuencias.

Tienen una importancia especial, porque suelen tener una energía significativamente mayor, que las señales de radiofrecuencias, pero cabe señalar que los límites reglamentados para estas frecuencias permiten niveles de Intensidades de Campo Eléctrico (E), e Intensidades de Campo Magnético (H) o Inducción Magnética (B), son superiores a los rangos de radiofrecuencias.

Los campos eléctricos y magnéticos de muy baja frecuencia o extremadamente baja frecuencia, que se generan en las líneas de alta tensión, tal y como se ve en la figura 9, abarcan el intervalo de frecuencia por encima de los campos estáticos de 0Hz hasta los 30 kHz. Sus longitudes de onda van desde casi el infinito hasta los 10 km, por lo que los campos eléctricos y magnéticos actúan de forma esencialmente independiente entre sí, debido a que el campo eléctrico se genera siempre que exista tensión, y el campo magnético se genera siempre que exista corriente, y deben tratarse por separado [37].



**Figura 9.-** Radiación bajas frecuencias provocada por líneas alta tensión.



### **2.2.1.3 RADIOFRECUENCIAS.**

La radiación de radiofrecuencias (RF), se utiliza en diversas aplicaciones en la industria, medicina e investigación, así como en el hogar. En la gama de frecuencias de 300 kHz a 300 GHz, se encuentran aplicaciones muy conocidas tales como las emisiones de radio y televisión, comunicaciones, radar, calentadores dieléctricos, calentadores de inducción, fuentes de alimentación conmutadas, etc.

La radiación RF de alta potencia es una fuente de energía térmica que comporta todas las implicaciones conocidas del calentamiento para los sistemas biológicos, incluyendo quemaduras, cambios temporales y permanentes en la reproducción, cataratas y muertes. La percepción cutánea del calor y del dolor térmico no son indicadores de detección fiables, ya que los receptores térmicos están situados en la piel y no perciben fácilmente el calentamiento profundo del cuerpo originado por radiación radiofrecuencias [37].

La SAR de un organismo biológico depende de parámetros de exposición tales como la frecuencia de la radiación, la intensidad, la polarización, la configuración de la fuente radiante y del cuerpo, las superficies de reflexión y tamaño y la forma y propiedades eléctricas del cuerpo.

Además, la distribución espacial de la SAR en el interior del cuerpo presenta una marcada falta de uniformidad. Esta distribución no uniforme de la energía provoca un calentamiento no uniforme de las partes profundas del cuerpo y puede producir gradientes de temperatura internos. A frecuencias superiores a 10 GHz, la energía se deposita cerca de la superficie corporal. El máximo valor de SAR se da aproximadamente a 70 MHz en el sujeto estándar y a unos 30 MHz cuando la persona se encuentra de pie y en contacto con tierra eléctrica. En condiciones extremas de humedad y temperatura, valores de SAR de 1 a 4 W/Kg a 70 MHz en todo el cuerpo suelen originar un aumento de temperatura interno de 2 °C aproximadamente en seres humanos sanos, en una hora [37].

### **2.2.2 ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS.**

En este apartado se mencionan algunos de los efectos biológicos encontrados en bibliografías determinados en estudios epidemiológicos que permiten establecer causas de la enfermedad y la influencia de estas. Aplicamos el mismo criterio adoptado en este TFM y definimos en función de la parte del espectro electromagnético, ya que no son los mismos efectos de la radiación producida por radiofrecuencias, bajas frecuencias o por campos estáticos.

#### **2.2.2.1 CAMPOS ELECTROSTÁTICOS.**

Debido a que los efectos biológicos pueden ser bien distintos, se habla de cada uno de los campos E y H estáticos, por separado.



### 2.2.2.1.1 CAMPOS ELÉCTRICOS.

Los estudios experimentales aportan pocas pruebas de un posible efecto adverso de los campos electrostáticos para la salud humana [37]. Tampoco los escasos estudios realizados con animales parecen haber aportado datos que confirmen efectos perjudiciales genéticos, de crecimiento de tumores o sobre los sistemas endocrino o cardiovascular.

### 2.2.2.1.2 CAMPOS MAGNÉTICOS.

Estudios epidemiológicos han notificado consecuencias adversas y cáncer infantil tras exposición materna y también paterna a campos magnéticos, indicándose en el caso de la exposición paterna un efecto genotóxico. Los esfuerzos realizados por otros equipos de investigación para reproducir los resultados positivos no han tenido éxito. Los estudios epidemiológicos con operadores de pantallas expuestos a los campos eléctricos y magnéticos emitidos por éstas han dado en su mayor parte resultados negativos, y los estudios teratogénicos realizados en animales utilizando campos como los de las PVD han arrojado resultados demasiado contradictorios para apoyar conclusiones fiables. Tampoco los estudios en ratones han demostrado ningún daño del feto por exposición a campos magnéticos de hasta 1 T [37].

Existen estudios epidemiológicos, que dicen que los pacientes con fracturas óseas que no cicatrizan o no sueldan bien, son tratados con campos magnéticos de impulsos, que se generan con equipos como el que se puede ver en la figura 10. Asimismo, se están realizando estudios sobre el uso de los campos magnéticos de impulsos para mejorar la cicatrización de heridas y la regeneración tisular. También, la estimulación del crecimiento ósea se utilizan diversos dispositivos que generan impulsos de campos magnéticos [37].



**Figura 10-.** Estimulador magnético.



### 2.2.2.2 BAJAS FRECUENCIAS.

Existen diferentes tipos de efectos en las radiaciones de bajas frecuencias [37] como son:

**Efecto de Cáncer.** Existen estudios epidemiológicos sobre la leucemia infantil y exposición residencial a líneas aéreas de tendido parece indicar un ligero aumento del riesgo. Se han notificado riesgos excesivos de leucemia y tumores cerebrales en profesionales eléctricos con leucemias mieloide aguda y leucemia linfática crónica.

**Reproducción con especial referencia a las consecuencias para el embarazo.** También existen estudios epidemiológicos sobre consecuencias adversas y cáncer infantil tras exposición materna y paterna a campos magnéticos producidos por las líneas de tensión aéreas, siendo en el caso de la exposición paterna un efecto genotóxico.

Resultados de estudios residenciales realizados en Escandinavia, indican que el riesgo de leucemia se duplica a partir de  $0,2 \mu T$ , es decir, con niveles de exposición a distancia de 50 o 100 metros de una línea de alta tensión. No obstante, el número de casos de leucemia infantil, bajo cables de tendido aéreo es reducido, y por lo tanto el riesgo es bajo en comparación con otros riesgos ambientales que se dan en la sociedad. Se calcula que cada año se producen en Suecia dos casos de leucemia infantil debajo o cerca de líneas de alta tensión. De estos dos casos, uno podría atribuirse al riesgo de los campos magnéticos de las líneas eléctricas de tensión, si existe realmente .

Los niveles de exposición laboral a los campos magnéticos suelen ser mayores que en la exposición residencial, y los cálculos sobre riesgos de leucemia y tumores cerebrales de los trabajadores expuestos dan valores más altos que para los niños que viven cerca de líneas eléctricas aéreas. Según un estudio realizado en Suecia, cada año podrían atribuirse a campos magnéticos unos 20 casos de leucemia, 20 de tumores cerebrales. Estas cifras deben compararse con el número total de casos anuales de cáncer que se dan en Suecia, y que es de 40.000, de los cuales se calcula que 80<sup>º</sup> son de origen profesional [37].

### 2.2.2.3 RADIOFRECUENCIAS.

Existen notificaciones de personal expuestos a campos RF como los de un radar, torres emisoras de radio, etc. Que indican que han experimentado una sensación de calentamiento algún tiempo después de haber estado expuesto.

Existen algunos estudios epidemiológicos de radiofrecuencias en Europa, relacionados con cáncer en animales [38], y relacionados con campos RF a personal expuesto, que por lo general, no concluyen efectos sobre la salud [39].





Otros estudios muy particularizados en industrias que usan la radiofrecuencia para sellado de plásticos [40], que han dado como resultados la posible presentación de los efectos de quemaduras por radiofrecuencias, entumecimiento de manos y dedos, así como perturbación o alteración de la sensibilidad táctil y calentamiento y malestar significativo en las piernas (posiblemente debido al flujo de corriente a tierra a través de las piernas).

Estudios epidemiológicos relacionados con el sistema nervioso sobre trabajadores apuntan a dolor de cabeza, nerviosismo, fatiga, irritabilidad, insomnio, pérdida del apetito, vértigo, inestabilidad emocional, depresión, pérdida de la memoria, agrandamiento de tiroides, sudoración temblor de dedos, pérdida del deseo sexual e impotencia [42]. Otro estudio epidemiológico, no sólo confirmaban lo anterior, sino que también añadía malestar general, náuseas, trastornos del sueño, dificultad para concentrarse [43].

Estudios epidemiológicos sobre el aumento del riesgo de cáncer, no son concluyentes, ya que indican que encontraron algunos casos de leucemia y tumores cerebrales, pero que no permiten aportar hipótesis para señalar la exposición a radiación por radiofrecuencia provocadas por antenas de radioenlaces como se pueden ver en la figura 11, como causa directa del cáncer [44].



**Figura 11-.** Radiofrecuencias provocadas por antenas radioenlaces.

### 2.2.3 ESTUDIOS CLÍNICOS.

Los estudios clínicos son ensayos que se hacen con personas y que permiten medir parámetros biológicos en los seres vivos.



De igual manera que hicimos con los estudios epidemiológicos, en este apartado se mencionan algunos de los efectos biológicos encontrados en bibliografías determinados en estudios clínicos.

### **2.2.3.1 CAMPOS ELECTROSTÁTICOS.**

Tal y como ya dijimos, los efectos biológicos pueden ser bien distintos, si se habla de campos E estáticos y campos H estáticos, por eso los consideramos por separado.

#### **2.2.3.1.1 CAMPOS ELÉCTRICOS.**

Algunos estudios conocidos indican inducción de cambios significativos observada en los EEG de ratas, pero sin ningún indicación clara de respuesta consistentelina de las proteínas séricas en ratas.

Algunos estudios sobre animales indican [37]:

##### **Hematología e Inmunología -.**

- Cambios en las fracciones de albúmina y globulina de las proteínas séricas en ratas.
- Respuestas inconsistentes.
- Ausencia de diferencias significativas en los recursos de hematíes, proteínas de la sangre indicación clara sanguínea en ratones.

##### **Sistema Nervioso -.**

- Ausencia de cambios significativos en las concentraciones y tasas de utilización de diversos neurotransmisores en el cerebro de ratas macho.

##### **Comportamiento -.**

- Recientes estudios bien realizados sugieren ausencia de efectos en el comportamiento de roedores.
- Comportamiento de evitación en ratas macho, evitando que estas reacciones ante estímulos aversivos o desagradables.

##### **Reproducción y Desarrollo -.**

- Ausencia de diferencias significativas en el número total de crías y en el porcentaje de crías supervivientes en ratones, de forma general



para exposiciones a campos en el orden de 3 kV/m a 340 Kv/m durante varios días.

Otros estudios con voluntarios jóvenes parecen indicar alteraciones fisiológicas tales como disminución de la frecuencia cardiaca y alteraciones del electroencefalograma (EEG) tras la exposición a campos eléctricos relativamente débiles [37].

### **2.2.3.1.2 CAMPOS MAGNÉTICOS.**

Los efectos biológicos de los campos magnéticos, determinado en laboratorio con animales, indican ausencia de efectos significativos en los numerosos factores de desarrollo, de comportamiento y fisiológicos evaluados a densidades de flujo magnético estático de hasta 2T [37].

Los resultados realizados sobre personas expuestas a imanes (trabajadores de resonancias magnéticas), indican diversos síntomas subjetivos y alteraciones funcionales como: irritabilidad, fatiga, dolor de cabeza, pérdida del apetito, bradicardia, taquicardia, disminución de la presión arterial, alteración del EEG, picores, quemazón y entumecimiento. En cualquier caso, son efectos producidos a una exposición a muy largo plazo, y con efectos muy ligeros [37].

Tal y como indicamos en los campos eléctricos, diversos estudios de provocación con voluntarios jóvenes parecen indicar alteraciones fisiológicas tales como disminución de la frecuencia cardiaca y alteraciones del electroencefalograma (EEG) tras la exposición a campos magnéticos relativamente débiles [37].

### **2.2.3.2 BAJAS FRECUENCIAS.**

Cuando las personas se acercan lo suficiente a objetos metálicos expuestos a un campo eléctrico intenso, pueden producirse descargas transitorias.

Los campos electromagnéticos de bajas frecuencias, pueden interferir en dispositivos médicos implantados y causar mal funcionamiento del dispositivo.

Estudios de provocación con voluntarios jóvenes parece indicar alteraciones fisiológicas tales como la disminución de la frecuencia cardiaca y alteraciones del electroencefalograma (EEG) tras la exposición a campos electromagnéticos relativamente débiles. El reciente fenómeno de la hipersensibilidad a la electricidad parece ser de origen multifactorial, y no está claro si los campos tienen que ver o no con él [37].



### 2.2.3.3 RADIOFRECUENCIAS.

Los tejidos que más se alteran son los que tiene un mayor porcentaje de agua como el sistema nervioso central, el globo ocular, etc. En tejidos con poca circulación de sangre, como el globo ocular, el daño puede ser mayor puesto que la pérdida de calor es más lenta.

La exposición a radiofrecuencias de 0.1 T a 0.28 T produce cambios en la temperatura de la piel humana, detectados mediante el uso de cámaras de termografía sobre fantasmas conteniendo fluidos similares a los biológicos [19].

Las elevaciones moderadas de la temperatura inducen la síntesis por parte de las células afectadas, de proteínas de choque térmico (HSP), las cuales protegen a las células contras las altas temperaturas y otras condiciones de stress físico o químico, pero también protegen a las células neoplásicas de la acción de agentes anticancerígenos o del mismo sistema inmune [41].

En cuanto a los teléfonos móviles, tal y como se puede ver ilustrado en la figura 12, se ha demostrado elevación de temperatura superficial y profunda en tejidos de la cabeza expuestos localmente a radiación en las frecuencias de 900 MHz de teléfonos móviles, indicando que el efecto térmico puede alcanzar al tejido cerebral, con sus consiguientes efectos adversos para la salud y también efectos neuroconductuales [19].



**Figura 12-**. Simulación de radiofrecuencias provocadas por teléfonos móviles.



## 2.3 CONCLUSIONES.

En este capítulo se estudia que pasa cuando una entidad biológica se expone a un campo electromagnético (CEM), que se produce una interacción entre la potencia del campo, la corriente eléctrica inducida y las cargas del tejido corporal. El efecto biológico es la respuesta fisiológica a esa interacción, que puede ser o no, perceptible por el organismo expuesto.

Las ondas electromagnéticas interactúan entre sí, y dado que los seres vivos somos cuerpos electromagnéticos que interactuamos con el espectro electromagnético que nos rodea, se producen fenómenos de absorción, transmisión y emisión de energía, con cambios de estado en niveles energéticos de las moléculas.

Para establecer los límites establecidos se ha tenido en cuenta que cuando una persona realiza una actividad física moderada, su temperatura aumenta ligeramente y se produce una disipación de calor de unos 4 W/kg, que se evacúa de manera natural al medio circundante a través fundamentalmente de la piel y el sudor. Esta recomendación ha sido adoptada con un factor de seguridad de 50, por lo que sólo se permite una absorción máxima de 0,08 W/kg en el caso de población general.

En cuanto a inducción de corriente en el cuerpo, en esos niveles se pueden estar produciendo efectos indirectos, por ejemplo, corrientes eléctricas en implantes metálicos en el organismo que causan molestias, o bien alteran el funcionamiento de aparatos como por ejemplo, marcapasos.

Los efectos que la densidad de corriente eléctrica tiene sobre el organismo humano, son:

- ***Efecto farádico.***
- ***Efecto electrolítico.***
- ***Efecto térmico.***

En base a trabajos publicados, se suele establecer una clasificación del espectro electromagnético atendiendo a la zona de interacción térmica con el cuerpo humano:

- - 100 kHz – 20 MHz: Absorción fundamentalmente en cuello/piernas.
- - 20 MHz – 300 MHz: Absorción relativamente alta en todo el cuerpo.
- - 300 MHz – 10 GHz: Absorción localizada y no uniforme.
- - > 10 GHz: Absorción producida en la superficie del cuerpo.



Finalmente, a partir de aquí, se analizan los efectos biológicos que se ocasionan en el cuerpo humano, así como diversos estudios epidemiológicos como clínicos en función de la parte del espectro donde se encuentre, y que en este estudio se dividió en campos estáticos, baja frecuencias y radiofrecuencias.

## **CAPÍTULO 3**



### **3. MODELOS DE SIMULACIÓN Y RESTRICCIONES BÁSICAS DE SAR.**

Basándose en estudios de modelización de los efectos de las RNI sobre la salud humana, y las conclusiones de los diferentes estudios de investigación se establecen las restricciones básicas que se verán en este capítulo.



### 3.1 MODELOS DE SIMULACIÓN DE EFECTOS SOBRE LA SALUD.

El principal parámetro aceptado por la comunidad científica, usado para calcular los efectos de las radiaciones ionizantes sobre la salud es el SAR. El SAR depende principalmente de los siguientes factores:

- Los parámetros del campo incidente, tales como la frecuencia, la intensidad, la polarización, la posición del objeto con respecto a la fuente.
- Las características del objeto expuesto. Su tamaño, la geometría externa e interna y las propiedades dieléctricas del material.
- Efectos generados por reflexiones causados por algún otro objeto presente en el campo cercano.

El caso en que el eje principal del cuerpo humano (de pies a cabeza), está en paralelo al vector de campo eléctrico, y si este cuerpo está sometido a una exposición de ondas EM planas, se considera que la SAR alcanza su valor máximo. Basados en las características de absorción del cuerpo humano, el intervalo de frecuencias de RF puede ser dividido en 4 regiones [61]:

- Región sub-resonancia (<30 MHz), donde la energía absorbida se incrementa rápidamente con la frecuencia.
- Región de resonancia, comprendida en un intervalo de frecuencias desde los 30 MHz hasta los 300 MHz para el cuerpo humano completo. Es posible que el cuerpo entre parcialmente en resonancia para frecuencias mayores.
- Región intervalo. Banda de frecuencias donde el cuerpo puede absorber energía de manera localizada, esta absorción decrece con la frecuencia. Se extiende desde los 400 MHz hasta los 10 GHz.
- Intervalo de absorción superficial en donde la absorción se incrementa superficialmente y el aumento de temperatura es localizado en la superficie del cuerpo ocurre para frecuencias superiores a 10 GHz.

#### 3.1.1 MÉTODOS DE CÁLCULOS DEL SAR.

El SAR se estima utilizando dos métodos diferentes:

##### 3.1.1.1 MICRO-ANTENAS.

Se usan antenas muy pequeñas para determinar la intensidad del campo eléctrico en el tejido y teniendo en cuenta que se conoce previamente el valor de la conductividad efectiva, se calcula el SAR como vemos [6] [53]:





$$SAR = \sigma \frac{|E|^2}{\rho}$$

Donde  $\rho$  es la densidad de masa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $\sigma$  es la conductividad efectiva del tejido ( $\text{S}/\text{m}$ ) y  $E$  es la magnitud del campo eléctrico ( $\text{V}/\text{m}$ ).

Esta medida se define como la derivada con respecto al tiempo de la variación de energía  $dW$ , absorbida o disipada, por una masa incremental  $dm$ , con una densidad dada por  $\rho$ , contenida en un volumen  $dV$ .

$$SAR = \frac{\partial(\frac{\partial W}{\partial m})}{\partial t} = \frac{\partial(\frac{\partial W}{\rho \partial V})}{\partial t}$$

La SAR está expresada en unidades de vatios por kilogramo ( $\text{W}/\text{kg}$ )

Sobre los tejidos biológicos, la SAR es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico y está dada por la siguiente ecuación:

$$SAR = (E_{LOCAL})^2 \cdot \frac{\sigma_{eff}}{\rho}$$

En donde  $E_{LOCAL}$  es el valor RMS del campo eléctrico en el organismo en el punto de interés expresado en  $\text{V}/\text{m}$ ,  $\sigma_{eff}$  es la conductividad efectiva en Siemens/ $\text{m}$  y  $\rho$  es la densidad de la masa local en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

### 3.1.1.2 PRUEBAS TÉRMICAS EN MINIATURA.

En este caso se toma como base que la radiación RF causa calentamiento en el tejido. Recordando, calor específico, es la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de 1 gr de una sustancia en  $1^\circ\text{C}$ .

Para determinar el valor de la SAR se realizan pruebas de temperaturas. En un medio espacialmente homogéneo la SAR se calcula utilizando la siguiente relación [53]:

$$SAR = \zeta \frac{\partial T}{\partial t}$$

En donde  $\zeta$  es el calor específico medido a presión constante en  $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  y  $\partial T$  es el incremento en la temperatura en un intervalo de tiempo  $\partial t$ .

En condiciones de extrema humedad y temperatura, se ha demostrado que exposiciones de 1 hora y valores de SAR inferiores a  $4 \text{ W}/\text{kg}$ , el aumento de temperatura es de aproximadamente  $2^\circ\text{C}$  [31] [37] [55].



### 3.1.2 MODELOS DE SIMULACIÓN DEL SAR.

Se trata de desarrollar las ecuaciones de Maxwell mediante métodos numéricos que permitan calcular el campo eléctrico, en un área o volumen [56][57].

En general, la forma más general de analizar el problema de la simulación de las ecuaciones de Maxwell, se usan métodos numéricos de las Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo (FDTD) [6], y el Método de los Momentos (MoM) [10].

El método FDTD es un método particular del método de Diferencias Finitas [58][59], que es un método estándar para la resolución de Ecuaciones en Derivadas Parciales (EDP).

El método FDTD es un método donde las ecuaciones en derivadas parciales se reemplazan por un sistema de ecuaciones en diferencias finitas, eligiendo convenientemente los puntos en que se evalúan las componentes de los campos en estas ecuaciones, la solución de ecuaciones satisface las condiciones de borde que involucran superficies conductoras ideales, una representación de esta simulación, se puede ver en la figura 13.

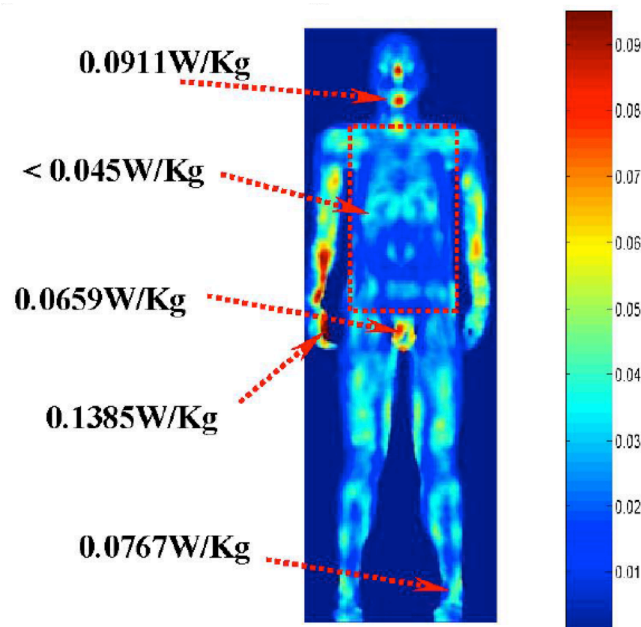


Figura 13-. Simulación de SAR en cuerpo humano, mediante método FDTD [60].

La desratización del espacio que utiliza el método FDTD es muy flexible para el modelado de estructuras de medios complejos. El inconveniente se centra



en modelar regiones del espacio muy grandes, ya que un incremento en el número de celdas necesarias para implementar el método, aumenta los requisitos de memoria y el tiempo de computación. Por ello es el método FDTD idóneo para modelar el cuerpo humano) [56].

El método FDTD permite implementar medios complejos ya que las características del dieléctrico se pueden asignar a cada punto de la malla.

El método MoM para resolver las ecuaciones de Maxwell se basa en resolver el problema tantas veces con frecuencias se requiera analizar. Este método derivan en una serie de ecuaciones lineales que resuelven el sistema con un esquema de inversión de matrices, por ello para simular órganos del cuerpo humano implican que para conseguir un alto grado de precisión, requiere de una matriz de grandes dimensiones que deberá invertirse para poder aplicar el método. Lo que comporta un alto grado de procesamiento [56].

El método MoM permite resolver problemas eléctricamente grandes, como antenas embarcadas en aviones, coches o barcos. Cuando el problema resulta eléctricamente grande, se requieren métodos híbridos[56] [8].

### **3.1.2.1 MODELADO NUMÉRICO POR MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS FINITAS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO (FDTD).**

En este método, dados como parámetros un organismo y una región geométrica irradiada bien caracterizada, se pueden realizar simulaciones computarizadas para modelar y calcular la SAR [57].

La comunidad científica se ha interesado en la construcción de modelos, a partir de los cuales se puede determinar la incidencia real de una onda electromagnética en partes del cuerpo tales como la cabeza.

El método FDTD es utilizado para calcular las corrientes y las SAR inducida dentro de la cabeza humana debida a los campos electromagnéticos producidos por un teléfono móvil. Por razones de costo computacional y para simplificar los cálculos no se suelen incluir otras partes del cuerpo.

Se introduce un modelo maniquí que se encarga de simular de la manera más real las características físicas y anatómicas de la cabeza y sobre el cual se realizaron las medidas de la SAR. Las pruebas hechas buscan localizar el pico de la SAR en la cabeza de un usuario de un teléfono celular.

Para estos análisis, se toma como consideración que la piel que recubre el cráneo, los huecos de las regiones, parietales, occipitales y temporales del mismo, la masa cerebral de las mismas regiones, los órganos acústicos y la porción baja de la cara desde la oreja a la boca son las regiones más expuestas a la radiación. Para cada una de estas regiones anatómicas se analiza y se determina su conductividad



efectiva e igualmente su constante dieléctrica relativa que es reproducida utilizando materiales sintéticos.

Uno de los estudios de referencia, realizados por Hsing-Yi Chen y Hou-Hwa Wang [6], a cabeza humana ha sido simulada, con un modelo de 57.263 celdas, cada uno con constante dieléctrica y conductividad no homogénea. La máxima SAR inducida que se encontró corresponde a un valor de 1.48 W/kg a una distancia de 2 cm. Los valores más altos fueron obtenidos en el tejido de la piel.

### **3.1.2.2 MODELADO NUMÉRICO POR MÉTODO DE LOS MOMENTOS (MoM).**

Otra de los modelados más importantes para modelar la interacción entre la cabeza humana y las antenas de telefonía móvil, es el método en el dominio de la frecuencia (MoM) [7] [8] [10].

El método de los momentos se utiliza para calcular el campo eléctrico dispersado por un objeto, para analizar cómo afecta la presencia de dicho objeto a la distribución de los campos electromagnéticos, teniendo como aplicación el estudio de la distorsión del campo electromagnético radiado por una antena en presencia de objetos.

Aunque también hay un potencial para calcular el campo en el interior de objetos dieléctricos, como el estudio del nivel de energía electromagnética absorbida por tejidos biológicos expuestos a un campo electromagnético, calculando el SAR absorbido por dichos tejidos. Para ello se necesitan modelos teóricos de objetos detallados que son difíciles de crear y desarrollar [10].

### **3.1.2.3 MODELADO NUMÉRICO POR MÉTODOS HÍBRIDOS (FDTD - MoM).**

En el dominio de la frecuencia, el método de los momentos (MoM) y el método de las diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD), son ampliamente usados para análisis complejos de problemas electromagnéticos.

El tratamiento de estructuras eléctricamente grandes y/o penetrables requieren mucha cantidad de recursos computacionales, en el MoM. Por otro lado las estructuras curvas son difíciles de implementar en los métodos FDTD.

Por lo tanto se desarrolló un método híbrido que permite tanto el análisis eficiente de situaciones que entrañan tales combinaciones de estructuras. Son métodos híbridos que operan en su totalidad en el dominio del tiempo han sido reportados en la literatura [14] [15], por el MoM en el dominio del tiempo, aunque no están en el estado de madurez y flexibilidad de la versión de dominio de la frecuencia. El acoplamiento entre regiones se explica empleando el principio de equivalencia en las superficies limítrofes.



También se abordan problemas de la hibridación del método FDTD con el dominio de la frecuencia MoM. EL problema se divide en regiones separadas, cada una de las cuales se puede modelar por el más adecuado método, por ejemplo MoM para dispositivos artificiales, y FDTD para tejidos biológicos.

### 3.2 HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES COMERCIALES.

Algunas de las herramientas más utilizadas para la simulación que implementan algoritmos FDTD son optimizadas para funcionar en grupos de procesamiento paralelo. En las figuras 14 y 15, y en la tabla 2, podemos ver algunos ejemplos de herramientas de simulación.

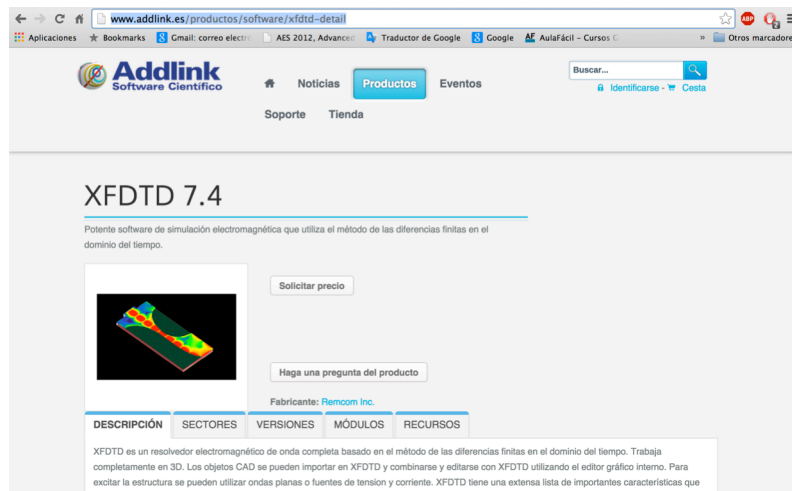


Figura 14-. Programa XFDTD 7.4 de cálculo SAR por el método FDTD.

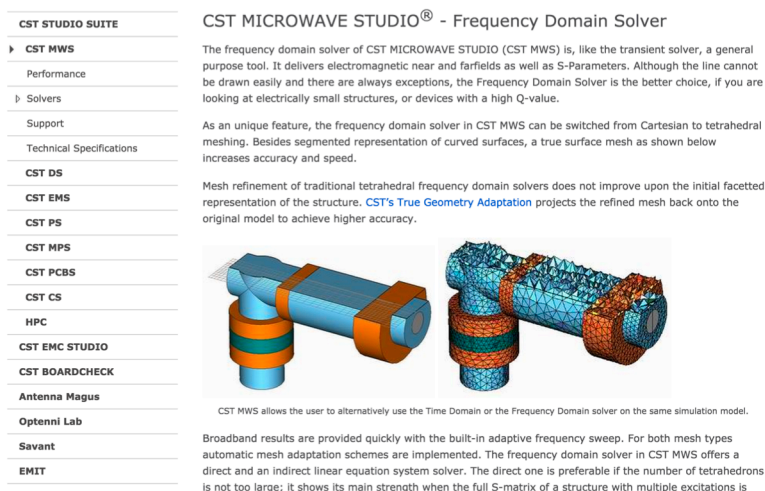


Figura 15-. Programa XFDTD 7.4 de cálculo SAR por el método FDTD.



En el mercado existen algunas herramientas tal y como se puede ver en la siguiente tabla:

Nombre Comercial	Tipo Código	Web
WOLFSIM	Abierto	<a href="http://www.ece.ncsu.edu/oleg/wolfstim_tutorial.html">http://www.ece.ncsu.edu/oleg/wolfstim_tutorial.html</a>
openEMS	Abierto	<a href="http://www.canberra.com/products/data_management/">http://www.canberra.com/products/data_management/</a>
Meep	Abierto	<a href="http://add0n.com/meep.html">http://add0n.com/meep.html</a>
MedFDTD	Abierto	<a href="http://sourceforge.net/projects/medfDTD/?source=recommended">http://sourceforge.net/projects/medfDTD/?source=recommended</a>
AcouSTO		<a href="http://sourceforge.net/projects/acousto/?source=recommended">http://sourceforge.net/projects/acousto/?source=recommended</a>
GMES	Abierto	<a href="http://sourceforge.net/projects/gmes/?source=recommended">http://sourceforge.net/projects/gmes/?source=recommended</a>
Parallel FDTD	Abierto	<a href="http://sourceforge.net/projects/pfDTD/?source=recommended">http://sourceforge.net/projects/pfDTD/?source=recommended</a>
EMPro 2010	Comercial	<a href="http://www.agilent.com/about/newsroom/presrel/2010/20may-em10077.html">http://www.agilent.com/about/newsroom/presrel/2010/20may-em10077.html</a>
Wifi Solver FDTD	Comercial	<a href="http://www.androidsis.com/mapea-como-se-propaga-tu-red-wifi-por-tu-casa-con-wifi-solver-fDTD/">http://www.androidsis.com/mapea-como-se-propaga-tu-red-wifi-por-tu-casa-con-wifi-solver-fDTD/</a>
XFDTD	Comercial	<a href="http://www.addlink.es/productos/software/xfDTD-detail">http://www.addlink.es/productos/software/xfDTD-detail</a>
CST Microwave Studio	Comercial	<a href="https://www.cst.com/Products/CSTMWS">https://www.cst.com/Products/CSTMWS</a>
ETHZ	Comercial	<a href="http://www1.itis.ethz.ch/results/results_03_08.html">http://www1.itis.ethz.ch/results/results_03_08.html</a>
Silvaco	Comercial	<a href="http://www.silvaco.com/examples/tcad/section45/example6/">http://www.silvaco.com/examples/tcad/section45/example6/</a>
Lumerical	Comercial	<a href="https://www.lumerical.com/downloads/fDTD_evaluation_trial_download.html">https://www.lumerical.com/downloads/fDTD_evaluation_trial_download.html</a>
Wireless Insite	Comercial	<a href="http://www.remcom.com/wireless-insite-xstream/">http://www.remcom.com/wireless-insite-xstream/</a>

Tabla 2-. Relación herramientas algoritmos simulación SAR por FDTD.

En las figuras 16, 17, 18 y 19, podemos ver algunas representaciones de distribución SAR en varias aplicaciones comerciales.

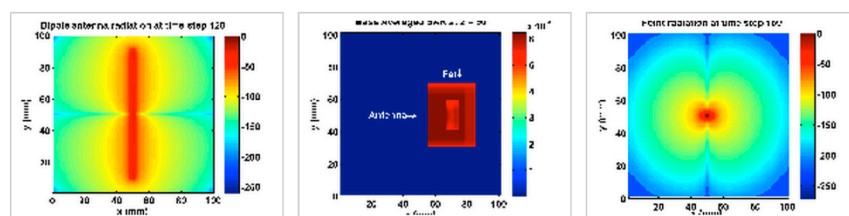


Figura 16-. Simulación de SAR por programa MedFDTD.

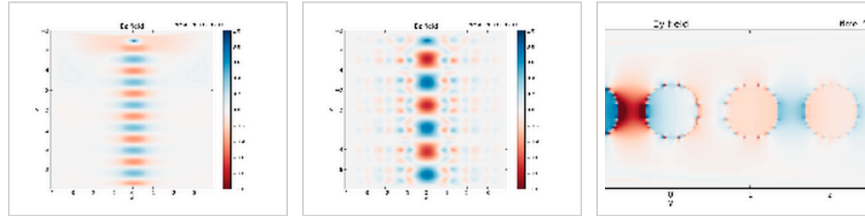


Figura 17-. Simulación de SAR por programa GMES.



Figura 18-. Simulación de SAR por programa WOLFSIM.

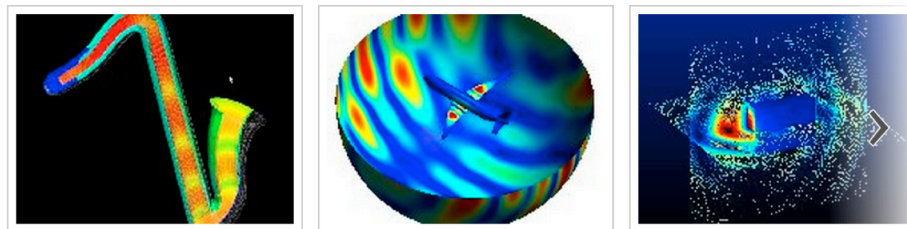


Figura 19-. Simulación de SAR por programa AcouSTO.

### 3.3 RESTRICCIONES BÁSICAS Y LÍMITES ESTABLECIDOS.

Los límites de exposición mencionados, fueron establecidos gracias a la revisión de los resultados obtenidos en experimentos sobre organismos biológicos en los que se incluyen seres humanos, animales, y sistemas celulares. En el intervalo de frecuencia desde 100 kHz a 10 GHz, se tomo como base para el nivel de la SAR necesario para aumentar en 1°C la temperatura del cuerpo expuesto a la radiación. Bajo condiciones ambientales moderadas se encontró que en un tiempo de 30 minutos la SAR requerida para conseguir este aumento, esa de 4 W/kg. Los límites recomendados para trabajadores expuestos a la radiación tomaron un



factor de seguridad de 10 con el cual se considera que se proporciona una protección adecuada (0.4 W/kg).

Un factor adicional de seguridad de 50 ha sido introducido para la exposición del público en general, obteniendo una SAR límite promediada sobre la masa del cuerpo completo de 0.08 W/kg. Los factores mencionados se han tomado, teniendo en cuenta que la exposición del público en general puede ser de 24 horas al día, 7 días a la semana en ambientes no controlados, comparada con la de un trabajador para el cual la exposición es de 8 horas al día, 5 días a la semana en una ambiente controlado. Además se considera que ciertos miembros del público en general son más susceptibles a los peligros de la radiación RF [61].

En todas estas recomendaciones se establecen restricciones básicas de SAR, así como niveles de referencia de magnitudes fáciles de medir. Estos niveles de referencias, para limitar la exposición, son calculados con un acoplamiento máximo del campo con el individuo de la exposición calculados espacialmente sobre toda la extensión del cuerpo del individuo expuesto, lo cual asegura una protección máxima, ya que ese acoplamiento máximo es el caso extremo.

En determinadas situaciones en las que la exposición está muy localizada, como ocurre con los teléfonos móviles y la cabeza del individuo, no es apropiado emplear los niveles de referencia, sino que debe evaluarse directamente las restricciones básicas localizadas.

### 3.3.1 RECOMENDACIONES SAR ORGANISMOS INTERNACIONALES.

Las principales recomendaciones hechas para regular la SAR a nivel internacional son:

- Estados Unidos: La FCC (Federal Communications Commission) ha adoptado en los Estados Unidos las recomendaciones sobre los límites de exposición a intensidad de campos, densidad de potencia para transmisores y la tasa de absorción de energía (SAR) para equipos de comunicaciones que operen en el intervalos de frecuencias desde los 3 kHz a los 300 GHz dados por la ANSI (American National Standards Institute) y la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Los límites de la SAR para equipos terminales son efectivos desde Agosto de 1996.





- Unión Europea: Medidas regulatorias han sido igualmente implantadas en la UE. El consejo de la UE publicó en el Diario Oficial de la CE las recomendaciones de los límites a la exposición del público en general. Estas recomendaciones están basadas en un documento emitido por la ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiations Protection), la cuales publican en su página web que se muestra en la figura 20. La UE recomendó restricciones básicas y niveles de referencia para asegurar la protección del público en general, solamente considerando los efectos térmicos.

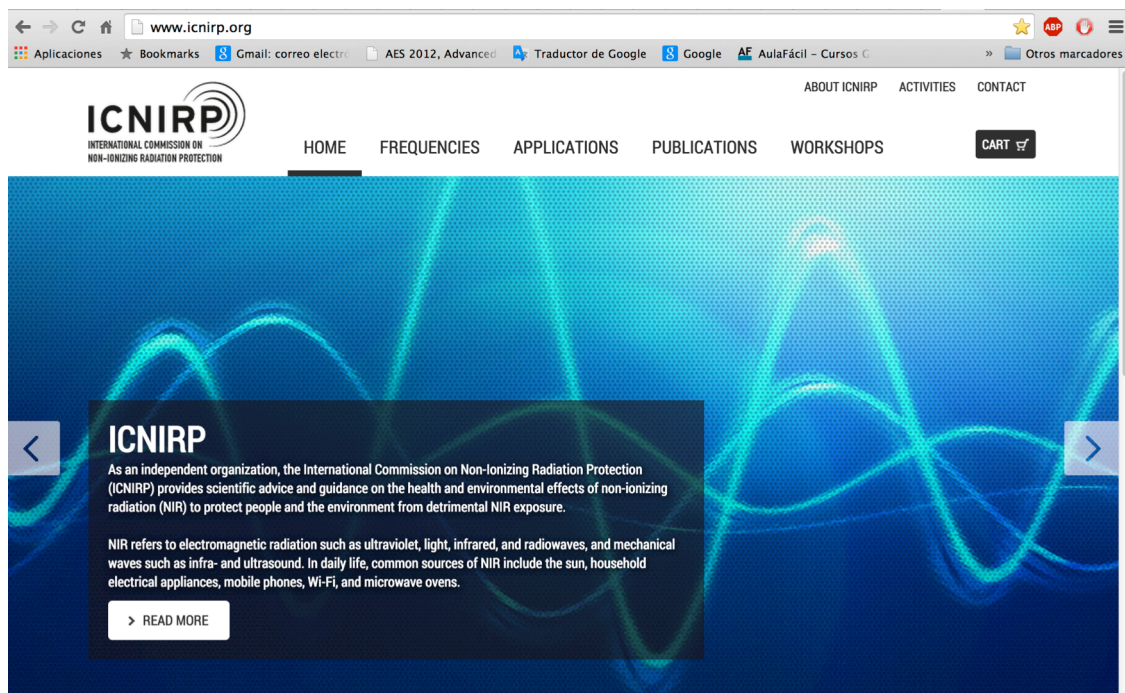


Figura 20-. Página web de la ICNIRP. (www.icnirp.org)

- Japón: El MPT (Ministry of Posts and Telecommunications) en Japón publicó en Mayo de 1998 recomendaciones para los transmisores de radiocomunicaciones con el objetivo de limitar la tasa de absorción específica (SAR). Las recomendaciones de medidas de la SAR son voluntarias pero podrían volverse regulaciones obligatorias cuando las medidas de la dosimetría de la SAR sean establecidas en un estándar internacional.

- Canadá: En Julio de 1998 la Oficina de Protección a la Radiación y Salud de Canadá preparó el código 6 de seguridad que especifica los requerimientos para el uso seguro de dispositivos de telecomunicación inalámbricas.

- Australia: La seguridad estándar para las radiaciones electromagnéticas son puestas por ARPANSA (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency) y reguladas por ACMA (Australian Communications and Media Authority).



Los límites de seguridad en Australia son basados sobre los límites de la ICNIRP que son 2.0 W/kg promediado sobre 10 g de tejido de cuerpo.

La diferencia entre la ANSI/IEEE y la ICNIRP está dada por el valor de la SAR en cabeza, cuello y tronco, promediada sobre un gramo de tejido el de la ANSI y de 10 gr de tejido el de la ICNIRP. En el primer caso este valor es de 1.6 W/kg, y en segundo es de 2.0 W/kg. Como no existe evidencia médica que justifique la selección de un valor menor se acogió el estándar europeo.

### **3.3.2 LEGISLACIÓN NACIONAL Y EUROPEA.**

En base a estas recomendaciones, cada estado miembro elabora su legislación según sus obligaciones adquiridas como estado. España al estar dentro del tratado de la Unión Europea, traspone directivas europeas en su legislación nacional.

#### **3.3.2.1 LEGISLACIÓN NACIONAL.**

Así, la legislación española mediante el RD 1066/2001, de 28 de septiembre, aprueba el reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

Con dicho RD se pretende conseguir la protección efectiva de la salud pública, dejando claro que es necesaria una coordinación de las competencias del Ministerio de Ciencia y Tecnología, en relación con los límites de emisiones y gestión y protección del dominio público radioeléctrico, con las competencias sanitarias del Ministerio de Sanidad y Consumo.

También, el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales elaboran Notas Técnicas de Prevención (NTP). Con la norma NTP 698, establece los criterios ICNIRP para valorar la exposición laboral a los campos electromagnéticos entre 0 Hz y 300 GHz. La norma NTP 522 y la NTP 523, establece los criterios de evaluación de la exposición laboral a las radiofrecuencias y microondas. Estas NTP se basan en la directiva 2004/40/CE (actualmente Directiva 2013/35/UE) del Parlamento Europeo y del Consejo.

#### **3.3.2.2 LEGISLACIÓN EUROPEA.**

La legislación europea se basa en una Recomendación del Consejo, 1999/519/CE, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz).

Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2013, sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la



exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos).

La Directiva Europea 2004/108/CE del parlamento europeo y del consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética.



### 3.4 CONCLUSIONES.

En este capítulo se ve, como el principal parámetro aceptado por la comunidad científica, usado para calcular los efectos de las radiaciones no ionizantes sobre la salud es el SAR. El SAR depende principalmente de los siguientes factores:

- Frecuencia, intensidad, polarización, posición del objeto.
- Características del objeto expuesto y las propiedades dieléctricas.
- Reflexiones causados por algún otro objeto presente en el campo cercano.

Basado en las características de absorción del cuerpo humano, el intervalo de frecuencias de RF puede ser dividido en 4 regiones:

- Región sub-resonancia (< 30 MHz). Mayor absorción energía que aumenta con la frecuencia.
- Región de resonancia (30 MHz - 300 MHz).
- Región intervalo (300 MHz – 10 GHz). Absorción localizada de energía que decrece con la frecuencia.
- Intervalo de absorción superficial (> 10 GHz).

Se analizan dos métodos de cálculo de SAR como es el método de las micro-antenas y el método pruebas térmicas en miniatura.

El método de las micro-antenas calcula el SAR en base a la fórmula:

$$SAR = \sigma \frac{|E|^2}{\rho}$$

El método de las pruebas térmicas en miniatura calcula el SAR en base a la fórmula:

$$SAR = \varsigma \frac{\partial T}{\partial t}$$

Para luego ver modelos numéricos de cálculo de SAR, como FDTD, MoM, y métodos híbridos, que implementan algunos de estos dos métodos. Así como algunas implementaciones de aplicaciones o herramientas comerciales.

Y finalmente se ve, las recomendaciones hechas por organismos internacionales, que restringen los niveles de radiación, basándose en estudios biológicos analizados en el capítulo 2.

## **CAPÍTULO 4**



### **4. RADIACIONES NO IONIZANTES PRODUCIDAS EN ANTENAS DE COMUNICACIONES.**

Las radiaciones electromagnéticas producidas por las antenas de comunicaciones deben ser situadas en su justa medida y sus efectos no deben ser magnificados gratuitamente. Las evidencias cada vez más claras de su inocuidad han acallado las voces discordantes que, sobre todo en años pasados, alertaban de posibles efectos perjudiciales basándose en estudios aislados, cuyo carácter contradictorio o no reproducible se ha demostrado con el paso del tiempo y por consiguiente no han podido ser aceptados científicamente, pues una de las premisas fundamentales, pues una de las premisas fundamentales para la aceptación universal de un experimento es su reproducibilidad.



## 4.1 RADIACIÓN EM DE LAS ANTENAS DE DISPOSITIVOS MÓVILES.

Los dispositivos móviles, tienen la particularidad de que la radiación que generan no es muy alta, sin embargo, debido a la distancia que tienen con respecto al cuerpo humano, o la cabeza en concreto, inducen más radiación a las personas, que la que reciben de una estación base, o de otros dispositivos como pueden ser los hot-spots WiFi.

Como ya se ha comentado, los efectos de la radiación electromagnética por parte de los teléfonos móviles sobre el organismo y sobre la salud, varía con la intensidad de campo, con la frecuencia y con la duración de la exposición.

La evaluación de la interacción electromagnética entre la antena del terminal móvil y el cuerpo humano es caracterizada por varios efectos biológicos sobre el tejido [2][4]. Para poder determinar causa efecto, y reproducir experimentos, hay que adoptar una aceptación científica de que parámetro dosimétrico será el que sea referencia en la mayoría de los estudios científicos. Actualmente, la mayoría de estudios están referenciados a el SAR, pero este depende de parámetros propios de cada tejido como son la conductividad ( $\sigma$ ) y la densidad ( $\rho$ ). Por eso también es útil analizar para evaluar a los terminales móviles, y que estos cumplen legislación, analizando su densidad de potencia (S).

### 4.1.1 CÁLCULO DE DENSIDAD DE POTENCIA (S) DE LAS ANTENAS DE DISPOSITIVOS MÓVILES.

Teniendo en cuenta que las ondas electromagnéticas se propagan de manera que su intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia. Para una antena ideal, la densidad de potencia transmitida viene dada por la siguiente fórmula [16]:

$$S[W/m^2] = \frac{P}{4 \pi d^2}$$

Donde  $P$  es la potencia isotrópica equivalente (PIRE) y  $d$  la distancia a la antena. En cualquier caso, la fórmula indica claramente que la densidad de potencia decae rápidamente con la distancia.

En las tablas 3, 4 y 5, se puede ver diferentes valores de la densidad de potencia en función de la distancia al terminal. Se toma como ejemplo la potencia máxima de 250 mW que da un terminal 2G ya que usa sólo un time slot de los 8 que tiene la trama [16].



Distancia (cm)	Densidad de Potencia ( $mW/cm^2$ )	Niveles Referencia Densidad Potencia ( $mW/cm^2$ ) 900 MHz	Niveles Referencia Densidad Potencia ( $mW/cm^2$ ) 1800 MHz
2,2	0,41	0,45	0,90
3	2,21	0,45	0,90
4	1,24	0,45	0,90
5	0,80	0,45	0,90
10	0,20	0,45	0,90
20	0,05	0,45	0,90
50	0,01	0,45	0,90

Tabla 3-. Densidad de potencia terminales móviles 2G, en base a distancia del cuerpo humano.

Distancia (cm)	Densidad de Potencia ( $mW/cm^2$ )	Niveles Referencia Densidad Potencia ( $mW/cm^2$ ) 900 MHz	Niveles Referencia Densidad Potencia ( $mW/cm^2$ ) 2100 MHz
2,2	0,41	0,45	1,00
3	2,21	0,45	1,00
4	1,24	0,45	1,00
5	0,80	0,45	1,00
10	0,20	0,45	1,00
20	0,05	0,45	1,00
50	0,01	0,45	1,00

Tabla 4-. Densidad de potencia terminales móviles 3G, en base a distancia del cuerpo humano.



Distancia (cm)	Densidad de Potencia (mW/cm <sup>2</sup> )	Niveles Referencia Densidad Potencia (mW/cm <sup>2</sup> ) 800 MHz	Niveles Referencia Densidad Potencia (mW/cm <sup>2</sup> ) 1800 MHz	Niveles Referencia Densidad Potencia (mW/cm <sup>2</sup> ) 2600 MHz
2,2	0,41	0,40	0,90	1,00
3	0,22	0,40	0,90	1,00
4	0,12	0,40	0,90	1,00
5	0,08	0,40	0,90	1,00
10	0,02	0,40	0,90	1,00
20	0,00	0,40	0,90	1,00
50	0,00	0,40	0,90	1,00

**Tabla 5-.** Densidad de potencia terminales móviles 4G, en base a distancia del cuerpo humano.

Si se compara los valores de la tabla 3, con los valores de la tabla 6, se comprueba que los valores de densidad de potencia que generan los teléfonos móviles son mil veces inferior a los que genera una estación base, sin embargo, su repercusión sobre el cuerpo humano es muy superior, debido a que la producida por ellas se encuentra a una distancia pequeñísima.

Se observa en los valores de la tabla 3, y se comprueba que el valor de densidad de potencia es superior, a el valor de referencia que se indica en el cuadro 2 del RD 1066/2001 [18], cuando la distancia entre el teléfono móvil 2G/4G y la cabeza es inferior a 2,2 cm. Ya que se puede ver en esta tabla de valores de referencia, que en la banda de 400-2000 MHz, el valor de densidad de potencia es  $f/200$ , lo que nos da que nuestros valores deben ser inferiores los indicados en la columna de valores de referencia de la tabla 3-5.

Para ahorrar batería, la potencia emitida por el teléfono móvil se ajusta automáticamente al valor mínimo necesario, de manera que es más pequeña cuanto más cerca se encuentre de una antena estación base receptora. Por lo tanto, cuanto más antenas de estaciones base haya, menor en la potencia emitida por los terminales móviles, y por tanto más seguros estarán los usuarios.

La potencia que produce el móvil está en función de la distancia a la estación base, donde la densidad de potencia producida por el móvil es [16]:

$$S [W/m^2] = \frac{p}{4 \pi d^2}$$





Donde  $p$  es la potencia emitida por el móvil y  $d$  la distancia del móvil a la antena receptora. La potencia  $p$  se controla desde la estación base de manera que en ésta, la densidad sea la mínima necesaria ( $S_o$ ), así:

$$p [W] = 4 \pi d^2 S_o$$

Así, la potencia emitida por el teléfono móvil es proporcional al cuadrado de su distancia a la antena receptora, por lo que cuando hay  $N$  antenas, la distancia media disminuye entre el móvil y la estación base, tanto como  $\sqrt{N}$  veces inferior al caso de existir una sola, la potencia del móvil es  $N$  veces inferior y también la densidad de potencia que llega al usuario, lo cual asegura densidad de potencia inferiores a los que indican los niveles de referencia, a 2 cm de distancia de la cabeza.

En todo esta comparativa, hay que volver a indicar lo que ya se indicó en el capítulo 3, que los niveles de referencia están indicados con un factor de seguridad de 50 veces inferior a la insignificante elevación de temperatura cuando realizamos ejercicio moderado [16][61].

#### 4.1.2 CÁLCULO DE SAR DE LAS ANTENAS DE DISPOSITIVOS MÓVILES.

La intensidad de campo eléctrico en el espacio libre a una distancia de una antena transmisora, está dada por:

$$E [V/m] = \frac{\sqrt{30 G_t P_t}}{d}$$

Donde:  $d$  es la distancia entre el punto donde medimos y la antena transmisora,  $G_t$  es la ganancia de la antena transmisora respecto a una antena isotrópica, y  $P_t$  es la potencia radiada de la antena transmisora.

El cálculo de SAR ya vimos en el capítulo 2, que se calcula como:

$$SAR [mW/gr] = \sigma \frac{|E|^2}{\rho}$$

Por lo que calcular el SAR que absorbe el cuerpo humano producido por las antenas de los teléfonos móviles, se puede obtener de forma similar a lo que ya se hizo con la densidad de potencia, con la única consideración que se debe tener en cuenta que tejido se trata.



### 4.1.3 EVIDENCIAS DE EFECTOS DE LOS DISPOSITIVOS MÓVILES EN LA SALUD.

Se considera que un efecto biológico es causado cuando se produce un cambio en el organismo y este puede ser medido como tal, después de haberlo sometido a un estímulo.

Los efectos biológicos no sólo son peligrosos cuando este causa un daño perceptible sobre su salud, sino también, cuando es perceptible sobre su descendencia, es decir, genotóxico.

Los tejidos biológicos tienen propiedades dieléctricas que les permiten acumular y disipar energía inducida por un campo electromagnético externo. Existen dos áreas del cuerpo especialmente sensibles a este efecto como son los ojos y los testículos, debido a que no tienen forma rápida de poder disipar el calor absorbido.

Existen otros efectos que pueden causar la radiación considerados de tipo no-térmico, que son aquellos que ocurren cuando la intensidad de la radiación de radiofrecuencia es suficientemente baja, debido a que la energía generada no es capaz de lograr ningún incremento de temperatura de una célula, tejido u organismo, aunque sí puede realizar algún cambio físico o bioquímico. Se incluyen en este nivel influencias potenciales sobre los tejidos excitables eléctricamente, tales como el sistema nervioso y sobre el ADN porque pueden llegar a inducir una inestabilidad genómica.

Este tipos de efectos son los que se le atribuyen a la radiación generada en antenas de equipos de baja potencia como son los terminales móviles, los puntos hot-spots WiFi, así como las antenas de estaciones base a la mayoría de las personas están a distancias suficientes que garanticen estar por debajo de límites de radiación establecidos por los diferentes organismos.

Se analiza un artículo donde se estudia el SAR y el aumento de la temperatura en la cabeza debido al uso del teléfono móvil [70]. En dicho artículo se comenta que existe riesgo neuronal para incrementos de temperaturas de 4.5 °C [73]. También habla de evidencias de riesgo de inducción de cataratas para incrementos de temperaturas por arriba de 3 °C – 5 °C [70][71]. Así como riesgos en la piel para incrementos de temperaturas de 10 °C [74][75]. También hablan de varios estudios hechos sobre animales donde han tenido efectos psicológicos para incrementos de 1 °C a 2 °C [61].

En dicho artículo se evalúa la potencia de absorción y el correspondiente incremento de temperatura inducido en un anatómico modelo heterogéneo de la exposición de la cabeza humana a 900 MHz. En particular, se compara teléfonos equipados con distintas antenas como dipolo de media onda, monopolo de cuarto de onda, WHIP y PIFA. Se usa el método de distribución espacial SAR en un modelo de cabeza humana computarizado por el método FDTD.



Los resultados obtenidos, se reflejan que para niveles de  $SAR_{10g}$ , entre 1- 2 W/Kg, los incrementos de temperatura en la cabeza variaban entre 0.23 y 0.43 °C, siendo estas variaciones de temperaturas en el cerebro, entre 0.08 y 0.19 °C, mientras que las variaciones en el ojo, eran mucho menores, entre 0.003 y 0.022 °C.

#### 4.1.4 NORMATIVAS Y REGULACIONES APLICABLES EN ESPAÑA.

La normativa aplicable en España de obligado cumplimiento de los dispositivos móviles en materia de radiaciones no ionizantes, es:

- RD 1066/2001, de 28 de septiembre, aprueba el reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

#### 4.2 RADIACIÓN EM DE LAS ANTENAS DE ESTACIÓN BASE.

Los dispositivos estaciones base tienen la particularidad de que generan radiación mil veces más alta que los terminales móviles, pero que sin embargo, debido a la distancia que tienen con respecto al cuerpo humano, inducen menos radiación a las personas.

Nuevamente, decir que, los efectos de la radiación electromagnética por parte de las estaciones base sobre el organismo y sobre la salud, varía con la intensidad de campo, con la frecuencia y con la duración de la exposición.

##### 4.2.1 CÁLCULO DE DENSIDAD DE POTENCIA (S) DE LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES BASE.

Como ya comentamos, en la parte de los dispositivos móviles, para una antena ideal, la densidad de potencia transmitida viene dada por la siguiente fórmula [16]:

$$S = \frac{P}{4 \pi d^2}$$

Donde  $P$  es la potencia isotrópica equivalente (PIRE) y  $d$  la distancia a la antena. En cualquier caso, la fórmula indica claramente que la densidad de potencia decae rápidamente con la distancia.

En las tablas 6, 7 y 8, se puede ver diferentes valores de la densidad de potencia en función de la distancia a la estación base y teniendo en cuenta que una estación base que con una PIRE de 500 W [16].



Distancia (m)	Densidad de Potencia (W/ m <sup>2</sup> )	Niveles Referencia Densidad Potencia (W/ m <sup>2</sup> ) 900 MHz	Niveles Referencia Densidad Potencia (W/ m <sup>2</sup> ) 1800 MHz
2	9,95	4,50	9,00
3,15	4,01	4,50	9,00
4	2,49	4,50	9,00
5	1,59	4,50	9,00
10	0,40	4,50	9,00
20	0,10	4,50	9,00
50	0,02	4,50	9,00

Tabla 6-. Densidad de potencia estaciones base 2G, en base a distancia del cuerpo humano.

Distancia (m)	Densidad de Potencia (W/ m <sup>2</sup> )	Niveles Referencia Densidad Potencia (W/ m <sup>2</sup> ) 900 MHz	Niveles Referencia Densidad Potencia (W/ m <sup>2</sup> ) 2100 MHz
2	9,95	4,50	10,00
3,15	4,01	4,50	10,00
4	2,49	4,50	10,00
5	1,59	4,50	10,00
10	0,40	4,50	10,00
20	0,10	4,50	10,00
50	0,02	4,50	10,00

Tabla 7-. Densidad de potencia estaciones base 3G, en base a distancia del cuerpo humano.



Distancia (m)	Densidad de Potencia (W/ m <sup>2</sup> )	Niveles Referencia Densidad Potencia (W/ m <sup>2</sup> ) 800 MHz	Niveles Referencia Densidad Potencia (W/ m <sup>2</sup> ) 1800 MHz	Niveles Referencia Densidad Potencia (W/ m <sup>2</sup> ) 2600 MHz
2	9,95	4,00	9,00	10,00
3,15	4,01	4,00	9,00	10,00
4	2,49	4,00	9,00	10,00
5	1,59	4,00	9,00	10,00
10	0,40	4,00	9,00	10,00
20	0,10	4,00	9,00	10,00
50	0,02	4,00	9,00	10,00

**Tabla 8-**. Densidad de potencia estaciones base 4G, en base a distancia del cuerpo humano.

Exactamente que lo que se comento ya en las antenas de dispositivos móviles, es decir, se compara los valores de la tabla 3, con los valores de la tabla 6, se comprueba que los valores de densidad de potencia que generan los teléfonos móviles son mil veces inferior a los que genera una estación base, sin embargo, su repercusión sobre el cuerpo humano es muy superior, debido a que la potencia producida por ellas se encuentra a una distancia pequeñísima.

Se observa en los valores de la tabla 6, y se comprueba que incluso el valor de densidad de potencia es superior, al valor de referencia que se indica en el cuadro 2 del RD 1066/2001 [18], cuando la distancia entre la estación base 2G/4G y la personas es inferior a 3,15 m. Ya que se puede ver en esta tabla de valores de referencia, que en la banda de 400-2000 MHz, el valor de densidad de potencia es  $f/200$ , lo que nos da que nuestros valores deben ser inferiores los indicados en la columna de valores de referencia de la tabla 6-8.

#### 4.2.2 CÁLCULO DE SAR DE LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES BASE.

La intensidad de campo eléctrico en el espacio libre a una distancia de una antena transmisora, está dada por:

$$E [V/m] = \frac{\sqrt{30 G_t P_t}}{d}$$



Donde:  $d$  es la distancia entre el punto donde medimos y la antena transmisora,  $G_t$  es la ganancia de la antena transmisora respecto a una antena isotrópica, y  $P_t$  es la potencia radiada de la antena transmisora.

El cálculo de SAR ya vimos en el capítulo 2, que se calcula como:

$$SAR[mV/gr] = \sigma \frac{|E|^2}{\rho}$$

Por lo que calcular el SAR que absorbe el cuerpo humano producido por las antenas de los teléfonos móviles, se puede obtener de forma similar a lo que ya se hizo con la densidad de potencia, con la única consideración que se debe tener en cuenta que tejido se trata, tal y como indicamos para el terminal de teléfono móvil.

#### 4.2.3 EVIDENCIAS DE EFECTOS DE LAS ESTACIONES BASE EN LA SALUD.

Como se comentó con los dispositivos móviles, los tejidos biológicos tienen propiedades dieléctricas que les permiten acumular y disipar energía inducida por un campo electromagnético externo. Existen dos áreas del cuerpo especialmente sensibles a este efecto como son los ojos y los testículos, debido a que no tienen forma rápida de poder disipar el calor absorbido.

Las evidencias de efectos en la salud del cuerpo humano serán las mismas que con los dispositivos o terminales móviles, siempre que estemos en un escenario similar en cuanto a un SAR similar. Es decir, a partir de 1 metro de distancia de la estación base. Lo cual se da prácticamente en el 100% de la población, y sólo quedarían expuestos, los trabajadores de dicha estación base. Tal y como se ha evidenciado en varios estudios hasta la fecha, donde se puede ver que los niveles de SAR inducidos en la población debidos a las estaciones base son bajos [76].

#### 4.2.4 NORMATIVAS Y REGULACIONES APLICABLES EN ESPAÑA.

La normativa aplicable en España de obligado cumplimiento de las estaciones base en materia de radiaciones no ionizantes, es:

- RD 1066/2001, de 28 de septiembre, aprueba el reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

- Orden CTE/23/2002, de 11 de enero, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones.



### 4.3 EFECTOS DE LA RADIACIÓN EM DE LAS ANTENAS DE HOT-SPOTS WIFI.

Los antenas de Hot-Spot WiFi, tienen la particularidad de que generan radiación mucho más baja que los terminales móviles, pero que sin embargo, debido a la distancia que tienen con respecto al cuerpo humano, inducen menos radiación a las personas.

Nuevamente, decir que, los efectos de la radiación electromagnética por parte de las estaciones base sobre el organismo y sobre la salud, varía con la intensidad de campo, con la frecuencia y con la duración de la exposición.

#### 4.3.1 CÁLCULO DE SAR DE LAS ANTENAS DE ANTENAS DE HOT-SPOT WIFI.

Como ya comentamos, para una antena ideal, la densidad de potencia transmitida viene dada por la siguiente fórmula [16]:

$$S = \frac{P}{4 \pi d^2}$$

Donde  $P$  es la potencia isotrópica equivalente (PIRE) y  $d$  la distancia a la antena. En cualquier caso, la fórmula indica claramente que la densidad de potencia decae rápidamente con la distancia.

En la tabla 9, se puede ver diferentes valores de la densidad de potencia en función de la distancia a la antena Hot-Spot WiFi, y teniendo en cuenta que una estación base que con una PIRE de 100 mW [67].

Distancia (cm)	Densidad de Potencia ( $mW/cm^2$ )	Niveles Referencia Densidad Potencia ( $mW/cm^2$ ) 2,45 GHz	Niveles Referencia Densidad Potencia ( $mW/cm^2$ ) 5,2 GHz
1	0,80	1,0	1,0
2	0,20	1,0	1,0
3	0,09	1,0	1,0
4	0,05	1,0	1,0
5	0,03	1,0	1,0
10	0,01	1,0	1,0
20	0,00	1,0	1,0

Tabla 9-. Densidad de potencia hot-spot WiFi, en base a distancia del cuerpo humano.



Se compara los valores de las tres tecnologías y se comprueba que los valores de densidad de potencia que generan las antenas hot-spots WiFi, son inferiores a los que generan los teléfonos móviles, y son mil veces inferior a los que genera una estación base, sin embargo, su repercusión sobre el cuerpo humano es ínfima porque prácticamente a menos de 1 cm del cuerpo humano, estos niveles son inferiores a los que indica la normativa vigente [18].

#### 4.3.2 CÁLCULO DE SAR DE LAS ANTENAS HOT-SPOTS WiFi.

La intensidad de campo eléctrico en el espacio libre a una distancia de una antena transmisora, está dada por:

$$E[V/m] = \frac{\sqrt{30 G_t P_t}}{d}$$

Donde:  $d$  es la distancia entre el punto donde medimos y la antena transmisora,  $G_t$  es la ganancia de la antena transmisora respecto a una antena isotrópica, y  $P_t$  es la potencia radiada de la antena transmisora.

El cálculo de SAR ya vimos en el capítulo 2, que se calcula como:

$$SAR [mW/gr] = \sigma \frac{|E|^2}{\rho}$$

Por lo que calcular el SAR que absorbe el cuerpo humano producido por las antenas de los teléfonos móviles, se puede obtener de forma similar a lo que ya se hizo con la densidad de potencia, con la única consideración que se debe tener en cuenta que tejido se trata.

#### 4.3.3 EVIDENCIAS DE EFECTOS DE LAS ANTENAS DE HOT-SPOT WiFi EN LA SALUD.

Ya se ha comentado varias veces que los tejidos biológicos tienen propiedades dieléctricas que les permiten acumular y disipar energía inducida por un campo electromagnético externo, y que existen dos áreas del cuerpo especialmente sensibles a este efecto como son los ojos y los testículos, debido a que no tienen forma rápida de poder disipar el calor absorbido.

En base a esto, se analiza algún estudio relacionado con el SAR y el incremento de la temperatura en el ojo humano [68], donde se simula y se analizan estudios realizados donde las conclusiones principales es que a frecuencias de 2,45 GHz y con una densidad de potencia de 100 mW/cm<sup>2</sup>, al menos durante 30 min, pueden causar cataratas [69]. Además de que pueden subir la temperatura 3°C pasando de 38 °C a 41 °C la temperatura de la sangre [70]. Este hecho también se comprobó con perros, con idénticos resultados [71].





La interacción desde el punto de vista termal, tiene límites máximos de incremento de temperatura aceptable en la lente es de 0.3 °C y de 1 °C en la cornea. En dicho estudio, se comprueba mediante algoritmo de cálculos numéricos FDTD, las frecuencias de 5.8 GHz y 18-19 GHz, donde se comprueba que con niveles de densidad de potencia de 10 mW/cm<sup>2</sup> no supera los 0.3 °C en la lente de los ojos tanto a 6 GHz como a 18 GHz. Recordando que la normativas y recomendaciones indican un nivel de densidad de potencia de 1 mW/cm<sup>2</sup> [68].

#### **4.3.4 NORMATIVAS Y REGULACIONES APLICABLES EN ESPAÑA A HOT-SPOT WiFi.**

La normativa aplicable en España de obligado cumplimiento de los hot-spot WiFi en materia de radiaciones no ionizantes, es:

- RD 1066/2001, de 28 de septiembre, aprueba el reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.



## 4.4 CONCLUSIONES.

En este capítulo se puede como se calcula la densidad de potencia que genera un terminal móvil y luego las estaciones base de telefonía, tanto en 2G, como 3G y 4G. Partiendo de que sabemos que para una antena ideal, la densidad de potencia transmitida viene dada por la siguiente fórmula [16]:

$$S[W/m] = \frac{P}{4 A \pi A d^2}$$

Donde  $P$  es la potencia isotrópica equivalente (PIRE) y  $d$  la distancia a la antena. En cualquier caso, la formula indica claramente que la densidad de potencia decae rápidamente con la distancia.

Se obtiene las diferentes tablas para ver las diferenciaciones entre las diferentes generaciones y se observa que el valor de densidad de potencia es superior cuando la distancia entre el teléfono móvil 2G/4G, y la cabeza es inferior a 2,2 cm. a el valor de referencia que se indica en el RD 1066/2001.

Luego se plantea el cálculo de SAR que dependerá de la parte del cuerpo que se analice, así como se comentan algunos estudios elaborados hasta la fecha. Finalmente se comenta la normativa aplicable en España.

Se observa que el valor densidad de potencia es superior cuando la distancia entre la estación base 2G/4G y la personas es inferior a 3,15 m., con respecto al valor de referencia que se indica en el cuadro 2 del RD 1066/2001 .

Se comparan los valores de los dispositivos móviles con los de las estaciones base, y se comprueba que los valores de densidad de potencia que generan los teléfonos móviles son mil veces inferior a los que genera una estación base, sin embargo, su repercusión sobre el cuerpo humano es muy superior, debido a que la potencia producida por ellas se encuentra a una distancia pequeñísima.

De igual manera se plantean los mismo cálculos para las antenas hot-spots WiFi. Y se comparan los resultados entre ambos tres tipos de antenas de comunicación y se comprueba que los valores de densidad de potencia que generan las antenas hot-spots WiFi, son inferiores a los que generan los teléfonos móviles, y son mil veces inferior a los que genera una estación base, sin embargo, su repercusión sobre el cuerpo humano es ínfima porque prácticamente a menos de 1 cm del cuerpo humano, estos niveles son inferiores a los que indica la normativa vigente.

Finalmente se comentan algunos estudios relativos a efectos asociados a cada una de las tres tecnologías, y también se analiza la normativa en España aplicable a cada una.

## **CAPÍTULO 5**



### **5. APANTALLAMIENTOS DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES.**

Una protección de las RNI se debe hacer dependiendo de cómo estas afecten a las personas, equipos o instalaciones, es decir, si estas son conducidas o radiadas por cables de alimentación, o radiación a través del ambiente.

En este capítulo, se analizan los tipos de apantallamientos que existen, que principalmente están destinadas a proteger instalaciones o equipamiento, aunque también pueden ser usado para proteger a personas que es el objeto de este trabajo.

Desde el punto de vista de protección a las RNI, existen dos métodos de protección, o bien se apantalla la fuente generadora de radiación, o bien se apantalla la zona a proteger. Dependiendo de que sea una u otra la forma elegida, se procederá de una forma u otra.



## 5.1 MÉTODOS DE PROTECCIÓN RNI.

Tal y como se comenta, no es lo mismo proteger de las RNI a una persona, que a un equipamiento o instalación. Así que se analizará diferentes métodos usados, cada caso por separado y luego se verán aplicaciones.

En general, las protecciones que se pueden adoptar para proteger de interferencias electromagnéticas pueden ser por conexiones de masas y tierras, por filtros, y por apantallamientos o blindajes.

### 5.1.1 FILTROS.

Un filtro eléctrico es un dispositivo que conectado entre dos redes selecciona o controla la transmisión de frecuencias de una a otra, permitiendo el paso de ciertas frecuencias y atenuando o bloqueando el paso de las restantes.

En un filtro hay que distinguir dos bandas de frecuencias: banda pasante y banda de corte, correspondientes respectivamente a los márgenes no atenuados y atenuados. De acuerdo a esta denominación, los filtros se clasifican en paso-bajo, paso-alto y paso-banda.

Los filtros eléctricos utilizados para controlar interferencias electromagnéticas pueden dividirse básicamente en dos grupos: filtros de comunicación y filtros de red eléctrica.

### 5.1.2 MASAS Y TIERRAS.

Generalmente los términos masa y tierra son utilizados como sinónimos. Por lo que es necesario aclarar estos conceptos que resultan además fundamentales en el estudio de EMI.

Una gran cantidad de casos de mal funcionamiento de los equipos electromagnéticos por causas de las interferencias electromagnéticas son el resultado de diversos fenómenos que se producen en los circuitos de masa.

Son circuitos también denominados comunes, donde se mezclan todos los diferentes subsistemas de un equipo e incluso equipos diferentes interconectados y operando conjuntamente, y son así la vía más sencilla para el intercambio energético entre ellos.

Hay que distinguir entre toma de tierra y masas. Masa es el conductor de referencia de potencial cero respecto con el cual se miden el resto de potenciales del circuito, y que coincide con el cero de la alimentación. Físicamente es el conductor donde se suelen realizar los retornos de las señales activas del circuito.



Un sistema completo de conexiones a masa, puede estar flotante con respecto a la tierra y ser totalmente independiente de ella (aviones, satélites, condiciones de laboratorio de medidas, etc.). Generalmente, en el entorno normal de trabajo, los equipos están situados cerca de elementos estructurales de edificios puestos a tierra, y la influencia de la tierra, al menos a través de los acoplamientos electrostáticos es inevitable.

Todos los aparatos conductores tienen una resistencia determinada, y la Tierra también presenta diferentes conductividades, que pueden adoptar valores muy dispersos en función de la meteorología, de la estación del año y de la composición química.

También las corrientes de tierra pueden tener su origen en las descargas atmosféricas. Por lo tanto, aunque se diseñe como flotante, nunca se puede ignorar la influencia del potencial de tierra.

En cualquier caso, no es el tipo de protección que se puede aplicar directamente al ser humano, pero sí es un tipo de protección a tener en cuenta para aislar una sala o jaula de Faraday, de los efectos de las RNI, tal y como se comentará en el apartado de jaula de Faraday.

### 5.1.3 PANTALLAS.

Excepto las interferencias conducidas, el resto de interferencias electromagnéticas (EMI) se deben al acoplamiento de campos eléctricos (acoplamiento capacitivo), magnéticos (acoplamiento inductivos) y campos electromagnéticos (acoplamiento por radiación electromagnética). Un método de protección frente a estos acoplamientos consiste en evitarlos utilizando pantallas metálicas.

El ámbito de atenuación de los blindajes abarca un extenso espectro de frecuencias, ya que en el mercado existen materiales para apantallar desde 1 Hz a 1 THz. La forma en que se presentan los blindajes son: cajas, armarios, juntas eléctricas, compartimentos internos, pinturas conductoras, láminas metálicas, cables apantallados, diferentes tipos de depósitos conductores como el cromo sobre plásticos, etc, tal y como se puede ver en la figura 21.



Figura 21-. Depósito de cromo sobre plástico.

La efectividad total de una pantalla electromagnética es igual a la suma de las pérdidas por absorción más las pérdidas por reflexión más un factor que contabiliza las múltiples reflexiones en los blindajes. En la figura 22 se puede ver como una onda se propaga y al llegar a otro medio, una parte se refleja, otra se transmite sobre el nuevo medio, siendo esta parte la que se absorbe.

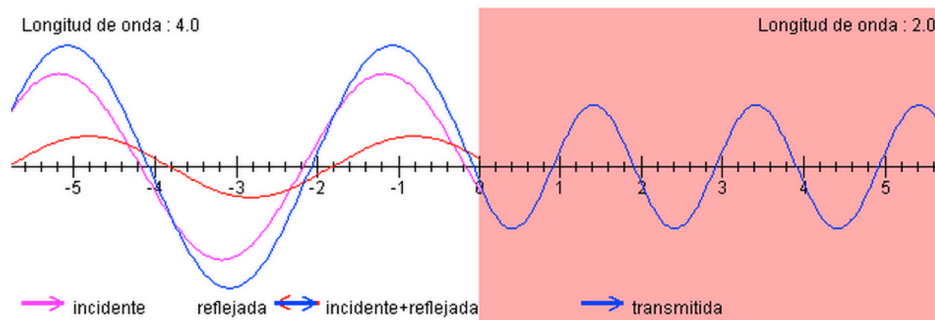


Figura 22-. Propagación de una onda desde un medio con un índice de refracción a otro medio con otro índice de refracción.

Una pantalla electrostática contra campos eléctricos debe incluir todos los componentes a proteger, debe conectarse a un potencial constante que puede ser la masa del sistema y debe tener alta conductividad como la plata, el cobre o el aluminio, del orden de  $10^6$  S/m.

Una pantalla magnética efectivo también debe encerrar totalmente a los componentes que se quieren proteger y debe tener alta permeabilidad como el



níquel, o aleaciones de níquel como el Ni80-Fe15-Mo5, que el tener permeabilidades relativas  $>1$  absorben el vector magnético de las ondas planas [1].

No existe la pantalla electromagnética perfecta contra campos de alta frecuencia. Una pantalla compuesta por un material buen reflector, alta conductividad, y uno con alta permeabilidad da buenos resultados en bastantes casos con una considerable efectividad.

La pantalla compuesta por estos dos materiales da buenos resultados en bastantes casos con una considerable efectividad pero, sin embargo, no es práctico. Esta pantalla se suele conseguir de forma más práctica, utilizando pantallas múltiples, con dos metales diferentes compuestos el uno junto al otro gracias a un baño galvánico. Es usual apantallar con un material ferromagnético galvanizado y con cobre dirigido hacia la fuente campo para provocar una pérdida sustancial por reflexión. La presencia del material ferromagnético provoca luego altas pérdidas por absorción.

La forma de trabajo de esta pantalla utiliza el hecho de que los campos EMI inducen corrientes en el material de la pantalla. Las corrientes inducidas disipan energía de dos modos: pérdida de calor (absorción) en el material y pérdidas de radiación (reflexión) al re-radiar sus propios campos sobre la pantalla. La energía necesaria a ambos mecanismos es absorbida de los campos incidentes EMI, y por ello, las EMI queda sin energía para penetrarlo.

Como hemos dicho, al incidir una onda electromagnética en una superficie metálica existen dos efectos. La onda es parcialmente reflejada por la superficie, y la parte transmitida es atenuada al pasar a través del blindaje. Este último efecto provoca las llamadas pérdidas por absorción y son las mismas en los dos tipos de campo: cercano y lejano. Las pérdidas por reflexión dependen del tipo del campo y de la impedancia de onda y, por tanto, no son iguales en los campos cercano y lejano.

La efectividad total de un blindaje es igual a la suma de las pérdidas por absorción (A), más las pérdidas por reflexión (R), más un factor (B) que contabiliza las múltiples reflexiones en los blindajes. Así, se puede escribir [1]:

$$S \text{ [dB]} = A + R + B$$

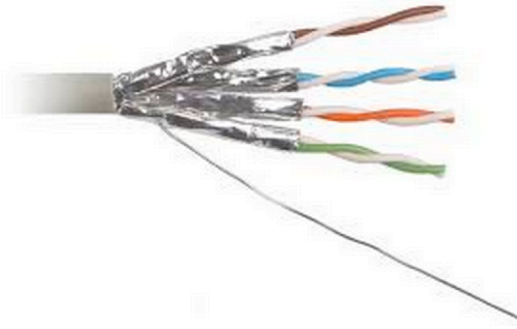
Otras técnicas de apantallado que difieren de los materiales presentados en forma de planchas, cajas, armarios o racks metálicos, son las que se usan para apantallar zonas pequeñas que van dentro de cajas o equipos.

Tales técnicas son juntas elásticas conductoras, blindajes de capas de plásticos conductores, galvanizado selectivo (electrodepósito), pinturas conductoras, láminas conductoras, y depósitos de capas conductoras.



Para seleccionar un cable apantallado, hay que identificar anticipadamente el tipo de interferencia determinando su margen de frecuencias, extraer de los catálogos la mejor información sobre el método de prueba más idóneo para la aplicación específica y el cable apantallado más efectivo para solventar el problema específico de interferencias, siempre que se cumpla los parámetros de diseño (coste, cobertura, flexibilidad).

Para apantallar cables, se consideran las técnicas de blindajes trenzados, blindajes en forma de espiral, blindajes laminados, blindajes combinados, tal y como se puede ver en la figura 23.



**Figura 23-** Cables de pares apantallados STP.

#### 5.1.4 BLINDAJES O JAULAS DE FARADAY

Una jaula de Faraday es una caja metálica cuyo efecto provoca que el campo electromagnético en el interior de un conductor en equilibrio sea nulo. Una jaula de Faraday, es un blindaje o pantalla, que se cierra y se conecta a tierra. Los conocimientos que se expusieron para los blindajes, se aplican a las jaulas de Faraday.

El funcionamiento de la jaula de Faraday se basa en las propiedades de un conductor en equilibrio electrostático. Cuando la caja metálica se coloca en presencia de un campo eléctrico externo, las cargas positivas se quedan en las posiciones de la red, sin embargo los electrones, que en un metal son libres, empiezan a moverse en sentido contrario al campo eléctrico, y aunque la carga total del conductor es cero, uno de los lados de la caja (en el que se acumulan los electrones) se queda con un exceso de carga negativa, mientras que en el otro lado queda con un defecto de electrones (carga positiva). Este desplazamiento de las cargas hace que en el interior de la caja se cree un campo eléctrico de sentido





contrario al campo externo. Como en el interior de la caja no hay campo, ninguna carga puede atravesarla.

Una jaula de Faraday es un recipiente hecho de material conductor como por ejemplo una malla de alambre, tal y como se ve en la figura 24, o planchas de metal, que protege lo que encierra de campos eléctricos externos.



**Figura 24-** Jaula de Faraday hecho con malla de alambre.

Para entender como es el funcionamiento de una jaula de Faraday, analizamos como es el campo eléctrico ( $E$ ) a una distancia  $r$  de una carga estacionaria puntual ( $Q$ ), se puede calcular mediante la ley de Coulomb [62]:

$$E[V/m] = \frac{Q}{4 \pi \epsilon_0 r^2} e_r$$

Donde  $\epsilon_0$  es la permitividad del espacio libre y  $e_r$  es el vector unitario radial. Básicamente significa que la intensidad del campo eléctrico disminuye cuanto más lejos estés de una fuente eléctrica.

Si la jaula está hecha de material conductor, la característica clave de este es que evita que cargas externas introduzcan campos eléctricos dentro de ese volumen. Las dos principales reglas que rigen este efecto de barrera son:

- Ley de Coulomb exige que las cargas en un conductor en equilibrio están lo más separadas posible, y por lo tanto la carga eléctrica neta de un conductor reside enteramente en su superficie.
- Cualquier campo eléctrico neta dentro del conductor causaría un movimiento de carga, ya que ésta es abundante y móvil, pero el



equilibrio exige que la fuerza neta en el conductor sea igual a cero. Así, el campo eléctrico dentro del conductor es cero.



**Figura 25-** Jaula de Faraday con  $E=0$  en interior.

Si se aplica la ley de Gauss es necesario conocer la dirección y el sentido de las líneas de campo generadas por la distribución de carga. La elección de la superficie gaussiana dependerá de cómo sean estas líneas. En la figura 25 se puede ver un ejemplo de jaula de Faraday, y una persona está midiendo el  $E=0$  en el interior. En la figura 26 se puede ver un ejemplo real de jaula de Faraday.

Las propiedades de los conductores en equilibrio electrostático se pueden resumir en:

- El campo eléctrico en el interior es nulo.
- La carga eléctrica se distribuye sobre la superficie, concentrándose en las zonas de menos curvaturas.
- La superficie del conductor es una superficie equipotencial.

El campo eléctrico en la superficie está dirigido hacia fuera y es perpendicular a la superficie.

Las superficies equipotenciales son:

- Superficies en la que el potencial tiene el mismo valor en todos los puntos.



- Tienen líneas de campo eléctrico perpendiculares a las superficies equipotenciales.
- Cuando las cargas están en reposo el conductor siempre es una superficie equipotencial.
- Cuando hay una cavidad en el interior del conductor que no tiene carga, la cavidad en su totalidad es una región equipotencial y no hay carga superficial en ninguna parte de la superficie de la cavidad.



**Figura 26-** Ejemplo práctico de jaula de Faraday.

A la hora de implementar una jaula de Faraday, se comprueba que es muy difícil, ya que cualquier fisura de apertura de una puerta, rompe la jaula de Faraday. Existen estudios de comprobación de jaulas de Faraday, que demuestran, que la teoría es más fácil que la práctica [81][82].

## **5.2 PROTECCIÓN A LAS PERSONAS DE RNI PROCEDENTES DE ANTENAS DE COMUNICACIONES.**

Para proteger de las RNI a las personas, de los efectos de las antenas de telefonía móvil, se tiene que recurrir a lo indicado en este tema, así que analizamos algunos ejemplos de situaciones a apantallar.

### **5.2.1 PROTECCIÓN DE LAS ANTENAS DE TELÉFONOS MÓVILES.**

La protección a las personas de la telefonía móvil pasa por proteger a la persona que usa el terminal. La protección se puede tomar de dos formas:



- Diseño de las antenas, donde se busca disminuir la SAR hacia las personas, y en concreto hacia la cabeza. En concreto se diseña buscando adaptarse a los niveles de SAR indicados en la normativa ya indicadas en capítulo 3 de este trabajo [18][23][25].
- Apantallamiento del terminal móvil en la zona de la cabeza, en tal caso se habla de una pantalla o blindaje de la carcasa. Desde el punto de vista de eficiencia del terminal móvil, no tiene tanto sentido usarlo como apantallamiento ya que con un diseño eficiente de las antenas, es más eficiente [63].

### 5.2.2 PROTECCIÓN DE LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES BASE.

La protección a las personas de las radiaciones no ionizantes generadas es las estaciones base pasa por:

- Protección a las personas que viven en el edificio o que pueden acceder al emplazamiento de la ubicación de las antenas. Para ello se valorará:
  - Delimita el acceso a la zona donde la radiación supera los niveles de referencias establecidos en el RD 1066/2001 [18].
  - Orientación de antenas sectoriales o lóbulos principales.
  - Pantallas o blindajes para proteger una zona concreta.
- Protección a los trabajadores de la operadora de telefonía.
  - Adoptar medidas de anular la radiación en el momento del trabajo, mediante apagado o desconexión de las antenas sectoriales.
  - Limitar el tiempo de exposición, en caso de que no se pueda evitar la radiación y sea necesario un mínimo de exposición.
  - Apantallar o blindar el área de trabajo que puede quedar expuesta a radiación en caso de trabajo, mediante métodos expuestos.
  - Uso de trajes jaula de Faraday.

### 5.2.3 PROTECCIÓN DE LAS ANTENAS DE HOT-SPOTS WiFi.

La protección a las personas de las radiaciones no ionizantes generadas en las antenas hot-spots WiFi se base en:



- Ubicación más lejana de la antena WiFi .
- Pantallas o blindajes para proteger una zona concreta.

### 5.3 PROTECCIÓN A PERSONAS HIPERSENSIBLES DE LA RADIACIÓN EM.

Existen personas que son muy sensibles a la radiación electromagnética, y que presentan síntomas de reacción de su cuerpo a niveles de radiación que normalmente pasarían desapercibidos para el público en general. Normalmente suele ser gente intoxicada por productos químicos como insecticidas, pesticidas, metales pesados, etc.

Se sabe que los campos electromagnéticos interfieren en el funcionamiento de nuestro organismo y de todos los seres vivos como hemos visto en el capítulo 2, pero estas personas que muestran hipersensibilidad a las radiaciones electromagnéticas, suelen quejarse de síntomas como, cefalea, insomnio, cansancio crónico, irritabilidad, alteraciones en la piel incluido picor, quemazón, infecciones recurrentes, dificultad para concentrarse, pérdida de memoria a corto plazo, tristeza sin motivo aparente, alteraciones cardíacas, mala circulación sanguínea, desorientación, congestión nasal, disminución de la libido, trastornos del tiroides, escozor de ojos, acúfenos, ganas de orinar frecuentemente, nerviosismo, debilidad capilar, manos y pies fríos, rigidez muscular.

Las personas que padecen hipersensibilidad a los campos electromagnéticos ven mermadas enormemente su calidad de vida no sólo por sus síntomas físicos sino también por los profundos cambios emocionales que suele llevar aparejados.

A parte hay que añadir la dificultad de diagnóstico, y errores de diagnósticos que retrasan un tratamiento correcto, así como rechazo social que no termina de asociar sus quejas a una enfermedad diagnosticada por la OMS, sino más a actitud.

El parlamento europeo a través de resoluciones [65][66], ha solicitado a todos los estados miembros que sigan el ejemplo de Suecia y reconozcan la hipersensibilidad electromagnética a fin de proporcionar una protección adecuada y garantizar la igualdad de oportunidades entre los que la padecen.

Aunque hemos visto que no es así, y como se sabe que los niveles más altos de densidad de potencia están en las líneas de distribución eléctrica, los focos más recurrentes de contaminación radioeléctrica son las antenas de telefonía móvil, a la par que los teléfonos inalámbricos y los router WiFi instalados en el interior de las viviendas. Todos ellos emiten microondas de manera permanente, 24 horas del día, 7 días a la semana, en los lugares donde se instalan. Tal y como se ha visto en este trabajo, los niveles de densidad de potencia, bajan bastante en cuanto



alejamos unos centímetros de la superficie de la cabeza, y están siempre por debajo de la normativa vigente que tiene un factor de seguridad de 50.



**Figura 27-** Traje jaula de Faraday.

Una persona hipersensible, no le queda otra más que anular el campo eléctrico en el que se encuentran, así que pasa por estar dentro de una jaula de Faraday. Si tenemos en cuenta nuestra condición humana, que necesitamos de movimiento, en principio. Una solución para personas hipersensibles, es un traje que haga de jaula de Faraday, tal y como se puede ver en la figura 27, y permita estar permanentemente dentro de una burbuja sin campo eléctrico. De manera alternativa, está una tienda de campaña tipo jaula de Faraday.



## 5.4 CONCLUSIONES.

En este capítulo se exponen diferentes métodos usados para apantallar las RNI, tanto a nivel de proteger equipos, como a nivel de proteger a las personas, que es el caso que nos ocupa en este trabajo fin de máster.

En general, las protecciones que se pueden adoptar para proteger de interferencias electromagnéticas son conexiones de masas y tierras, por filtros, por apantallamientos o por blindajes considerados también como jaulas de Faraday como un tipo de apantallamiento o blindaje, que encierra un espacio donde la idea es que tengo campo eléctrico nulo.

Como norma general se usaran materiales con alta conductividad para apantallar los campos eléctricos, y con alta permeabilidad para apantallar los campos magnéticos, siendo necesario combinar ambos materiales, para conseguir apantallamiento electromagnético.

Los diferentes dispositivos usados son para apantallar son:

Un filtro eléctrico es un dispositivo que conectado entre dos redes selecciona o controla la transmisión de frecuencias de una a otra, permitiendo el paso de ciertas frecuencias y atenuando o bloqueando el paso de las restantes.

Generalmente los términos masa y tierra son utilizados como sinónimos. Hay que distinguir entre toma de tierra y masas. Masa es el conductor de referencia de potencial cero respecto con el cual se miden el resto de potenciales del circuito, y que coincide con el cero de la alimentación. Un sistema completo de conexiones a masa, puede estar flotante con respecto a la tierra, ejemplo los aviones.

Una pantalla es una superficie metálica dispuesta entre dos regiones del espacio que se utilizan para atenuar la propagación de los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos.

Una jaula de Faraday es una caja metálica cuyo efecto provoca que el campo electromagnético en el interior de un conductor en equilibrio sea nulo. Una jaula de Faraday, se suele conectar a tierra. Los conocimientos que se expusieron para los pantallas, se aplican a las jaulas de Faraday.

Finalmente, se comenta que medios se pueden tener en cuenta a la hora de proteger a las personas de las antenas de comunicaciones que hemos visto en el capítulo 4 para acabar explicando como proteger a las personas hipersensibles.





## **CAPÍTULO 6**

### **6. APLICACIONES MÉDICAS DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES.**

En este capítulo se detallan algunos ejemplos de uso de las radiaciones no ionizantes en aplicaciones médicas.

Según la Organización Mundial de la Salud, la radiación no ionizante puede ser beneficiosa o dañina para la salud humana, dependiendo de cómo se utilice, tanto en duración como en intensidad de la misma.

Así, en este capítulo, se exponen algunas aplicaciones prácticas de uso de las RNI desde el punto de vista de beneficio para la salud. Se distinguen los equipos en tres grupos, equipos de uso para diagnóstico médico, equipos de uso para terapia a pacientes, y equipos de uso para intervención a pacientes.



## 6.1 CONTROL DOSIMÉTRICO.

Actualmente, muchos hospitales, están implementando un control dosimétrico por paciente, para que aquellos paciente que hacen uso de las radiaciones ionizante (RI), tengan dicho datos junto con su historial médico. Hay que hacer notar que la exposición a las RI tienen un efecto mucho más determinista que la exposición a radiaciones no ionizantes (RNI) en cuanto a los efectos dañinos sobre la salud humana.

De igual manera que sucede con las RI, se debería hacer un control dosimétrico por paciente de cuanta radiación recibe un paciente a lo largo de su vida, porque si bien no hay estudios que evidencien efectos nocivo de radiaciones en diagnóstico, terapia o intervención, el beneficio de tener mayor número de datos con los que sacar conclusiones, supera el coste efectivo de dicha implementación, que debido a la economía de alcance bajaría el coste de implementación. Además, la cantidad de radiación debe ser contraindicada por un facultativo y controlada por un físico médico, de esta manera tendría un control electrónico y no una simple anotación del número de sesiones como sucede hasta ahora.

## 6.2 TIPOS DE EQUIPOS QUE USAN RNI.

Como ya se ha dicho, se distinguen tres grupos de equipos médicos que usan las radiaciones no ionizantes, equipos de uso para diagnóstico médico, equipos de uso para terapia a pacientes, y equipos de uso para intervención a pacientes.

Se detallan algunos tipos de equipos a modo de ejemplo de la radiación que usan, sin querer entrar en detalle de su funcionamiento, ni de parámetros característicos concretos.

### 6.2.1 EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO MÉDICO.

Son aquellos equipos que se usan para poder dar información al médico sobre el estado de salud del paciente. En estos equipos, se puede justificar un exceso de radiación con respecto a los niveles de referencia de intensidades de campo (E), basándose principalmente en que su exposición no es prolongada en el tiempo y que además, el beneficio que repercute en el paciente, al obtener un diagnóstico médico certero y a tiempo, supera el perjuicio por rebasar un nivel de referencia un determinado tiempo.

Algunas aplicaciones de equipos médicos son la resonancia magnética, tomografía de microondas, etc.



### 6.2.1.1 RESONANCIA MAGNÉTICA.

La resonancia magnética, tal y como se puede ver en la figura 28, es un equipo que permite hacer una exploración radiológica que permite obtener imágenes del organismo de forma no invasiva, sin emitir radiación ionizante y en cualquier plano del espacio.

Un campo magnético de 1 a 3 Tesla alinea los momentos magnéticos de los átomos de hidrógenos de los tejidos, cuando se interrumpe el pulso magnético, vuelven a su posición inicial de relajación emitiendo señales de radio captadas por antenas receptoras que son analizadas computacionalmente y obteniendo una imagen en tres planos, axial, coronal y sagital, sin que el paciente cambie de posición. Cada tejido produce una señal diferente.



**Figura 28-** Resonancia magnética con bobinas de cabeza en paciente y otras bobinas de otras partes del cuerpo en estanterías.

El campo magnético es generado mediante una corriente de 400 A continua que se inyecta y circula por una bobina con propiedades de superconductor y para no perder la energía inyectada, y que la resistencia en sus extremos sea prácticamente cero de forma que no presente tensión en sus extremos y no genere campo eléctrico. Para conseguir la superconductividad, debido a que el cobre o la plata tienen impurezas y otros defectos que producen esta pequeña falta de conductividad, el núcleo de la bobina debe ser enfriada mediante helio para conseguir esa superconductividad cuando la temperatura baja de un valor de temperatura crítico.



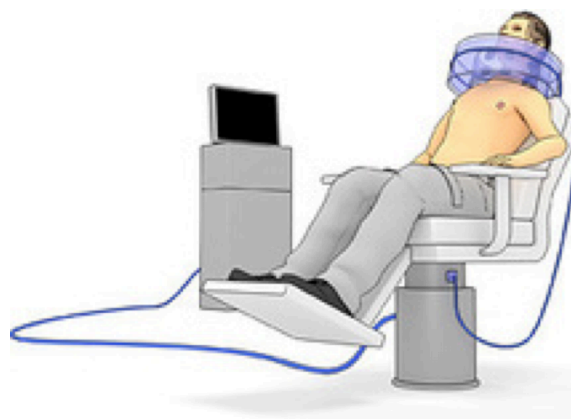
El alineamiento de los momentos magnéticos de los átomos de hidrógenos va a depender de la intensidad de campo de la bobina, que determinan una frecuencia de resonancia de dichos momentos magnéticos de los átomos de hidrógeno, así como la proporción de núcleos que se encuentran en cada uno de los dos estados en que se pueden encontrar, en dirección paralela (los vectores apuntan en el mismo sentido) y anti-paralela (los vectores apuntan en sentido contrario).

La frecuencia de resonancia de los átomos que determina la intensidad de campo de la bobina, es la frecuencia a la que se debe emitir mediante pulsos de radiofrecuencia (RF) la radiación electromagnética del imán, para que los núcleos de los átomos de hidrógenos cambien de un estado paralelo o de baja energía, a otro anti-paralelo o de alta energía. En el momento en que no se emite radiación electromagnética, los núcleos de dichos átomos vuelven a su estado paralelo, perdiendo energía en forma de fotón. La información se genera mediante el movimiento de estos núcleos que varían según el tejido que contenta dicho átomos. Para detectar esta información, se usan bobinas que hacen las veces de antenas, un amplificador y un sintetizador RF.

En la resonancia magnética se supera el umbral de radiación indicado por normativa, pero tal y como hemos indicado, el balance riesgo beneficio, es positivo y por lo tanto está más que justificado dicho rebasamiento del umbral [83].

### 6.2.1.2 TOMOGRAFÍA DE MICROONDAS.

La tomografía por computación activa de microondas, tal y como se puede ver en la ilustración de la figura 29, es una nueva tecnología que permite medir las propiedades fisiológicas de los tejidos y órganos en tiempo real, se basa en las diferenciaciones de las propiedades dieléctricas de los tejidos.



**Figura 29-** Ilustración de equipo de tomografía por microondas.



Un tomógrafo de microondas es un equipo que tiene una serie de elementos radiantes localizados en una superficie plana o cilíndrica que radian a una parte de un cuerpo que va a ser estudiado y que está introducido en una solución salina débil.

Las onda que atraviesan dicho cuerpo, son captadas por otros elementos radiantes que permiten finalmente la reconstrucción de la función objetivo, que en este caso bien podría ser la distribución de la constante dieléctrica y/o la conductividad.

### 6.2.1.3 ESPECTROSCOPIA DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR.

La espectroscopía de resonancia magnética nuclear (ERMN) es una técnica empleada en la elucidación de estructuras moleculares, aunque también se puede emplear con fines cuantitativos y en estudios cinéticos y termodinámicos. En la figura 30 se puede ver un ejemplo de un equipo de espectroscopía de resonancia magnética nuclear.

Algunos núcleos atómicos sometidos a un campo magnético externo absorben radiación electromagnética en la región de las radiofrecuencias. Como la frecuencia exacta de esta absorción depende del entorno de estos núcleos, tal y como vimos con la resonancia magnética, se puede emplear para determinar la estructura de la molécula en donde se encuentran éstos.

Existen dos tipos de espectroscopía con onda continua (RMN-CW) y con pulsos y transformada de Fourier (RMN-TF). En la RMN-CW, se mantiene constante la frecuencia del campo oscilante, y se va variando la intensidad del campo magnético para encontrar las transiciones o picos del espectro, donde las señales del espectro se registran como señales en resonancia. La RMN-CW está limitada por su baja sensibilidad ya que cada señal se registra una sola vez por cada barrido y la técnica de resonancia magnética nuclear ya es de por sí no demasiado sensible, es decir, la técnica tiene una baja relación señal a ruido que puede ser mejorada mediante promediado de la señal, que consiste en repetir la adquisición del experimento e ir sumando los espectros que se obtienen.

La técnica de RMN-TF es la que se utiliza más actualmente. Permite disuadir drásticamente el tiempo que requiere adquirir una acumulación del espectro completo de RMN. En vez de realizar un barrido lento de la frecuencia, una en cada instante, esta técnica explora simultáneamente e instantáneamente, todo el rango de frecuencias, ya que actualmente existe velocidad de computo para poder pasar desde el dominio del tiempo al de la frecuencia, es decir, espectro y conocimiento sobre cómo poder excitar simultáneamente todo un rango de frecuencias.

La RMN-TF funciona con los espines nucleares sometidos a un campo magnético externo constante. Se irradia la muestra con un pulso electromagnético de muy corta duración en la región de las radiofrecuencias. La forma que suele



usarse para este pulso es rectangular, es decir, la intensidad de la radiofrecuencia oscila entre un máximo y un mínimo que es constante mientras dura el pulso. Un pulso de cierta duración, tiene una cierta incertidumbre en la frecuencia. La descomposición de Fourier de una onda rectangular contiene contribuciones de todas las frecuencias. El pulso que se genera es por tanto policromático y cuanto más corto sea, es capaz de excitar un mayor rango de frecuencias.

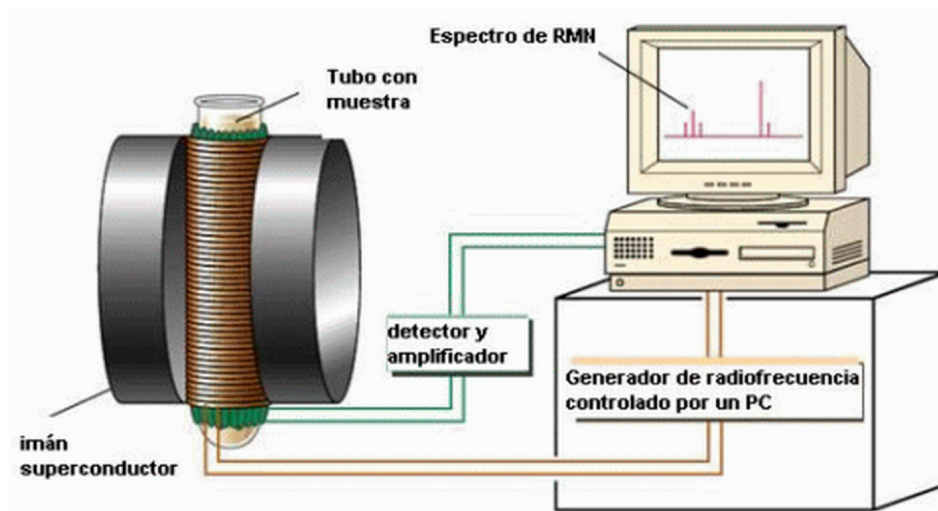


Figura 30-. Espectroscopía de resonancia magnética nuclear.

La aplicación de un pulso policromático en una región estrecha de la banda de radiofrecuencias (MHz) afecta a aquellos espines nucleares que resuenan en esa región. Un pulso policromático con una anchura en frecuencia de unos pocos kHz puede llegar a excitar simultáneamente sólo a los espines nucleares de un mismo tipo de núcleo atómico dentro de una molécula, por ejemplo, todos los núcleos de hidrógeno. Antes del pulso el vector de polarización neta de cada uno de los espines nucleares se encuentra en situación de equilibrio alineado en la dirección del campo magnético. Durante el tiempo que se aplica el pulso, el pulso introduce un segundo campo magnético en una dirección perpendicular al campo principal del imán y el vector polarización realiza un determinado movimiento de precesión. Tras cesar el pulso, el vector polarización de todos los espines afectados puede formar un cierto ángulo con el eje del campo magnético principal. En este momento, los espines, comportándose como pequeños imanes polarizados, comienzan a precesionar con su frecuencia característica en torno al campo magnético externo, induciendo una pequeña corriente oscilante de RF en una bobina receptora situada en las inmediaciones de la muestra. A medida que los núcleos van regresando poco a poco a la situación inicial de equilibrio alineados con el campo magnético principal, la señal detectada va disminuyendo de



intensidad hasta hacerse cero. Esta caída de la señal se conoce como caída libre de la inducción y da lugar al espectro de RMN.

## 6.2.2 EQUIPOS DE TERAPIA A PACIENTES.

Son aquellos equipos que se usan para poder dar radiación con el fin de causar un bienestar al paciente, ya que busca aprovechar los efectos que la radiación en el cuerpo humano, como medio para proporcionar estimulación en algún órgano del cuerpo. Estos efectos son principalmente calor, e inducción de corriente.

Los equipos que usan la radiación para dar terapia a los pacientes, se usan principalmente en rehabilitación. La dosis de radiación que se aplica por pacientes, es analizada de forma genérica por el médico que decide dar un número de ciertas terapias a los pacientes, y el fabricante de los equipos que da una solución técnica con niveles de radiación estudiados por la comunidad médica, sin que en ello intervenga un físico médico que le de validez al tratamiento, y un control dosimétrico a los generados de radiofrecuencia (RF) La radiación que se suele suministrar a los pacientes busca inducir corrientes o calentamiento local, que estimulen músculos o riegos sanguíneos.

Algunos ejemplos de equipos son los equipos usados en rehabilitación como los generadores de onda corta, o estimuladores magnéticos transcraneales.

### 6.2.2.1 GENERADORES ONDA CORTA.

Son equipos que generan radiofrecuencia de modo continuo y pulsado que permite su uso en aplicaciones de la termoterapia endógena clásica. En la figura 31 se puede ver un ejemplo de generador de onda corta. El modo pulsado posibilita una terapia atérmica, para el tratamiento de las afecciones en estado agudo.

La onda corta se aplica usualmente con dos electrodos, colocados a ambos lados de la zona afectada, sin que entren en contacto con la piel del paciente. Con una emisión continua, se consigue producir calor en los tejidos. Este calor aplicado en una zona cutánea limitada produce un aumento del flujo sanguíneo y un fenómeno de vasodilatación teniendo efectos analgésicos y estados inflamatorios, fibrosis.

Con una emisión pulsada, permite extender las indicaciones para la aplicación de las ondas cortas, y tratar eficazmente trastornos postraumáticos, posoperatorio, trastornos de la circulación periférica.



**Figura 31-** Generador onda corta.

El generador de onda corta genera señal RF de 27 MHz, que se ha estudiado que es la de mayor utilidad terapéutica. La onda corta logra sus efectos como hemos dicho, debido a que logra un aumento de la temperatura en profundidad y a la intensidad del campo magnético que genera, recibe también otros nombres como diatermia.

La onda corta tiene dos formas básicas de aplicación, que con por campo condensador y por inducción. Por campo condensador, la zona a tratar se sitúa entre dos electrodos que forman el par condensador, y el dieléctrico que es el tejido a tratar, que se ve sometido a un campo eléctrico con frecuencia de 27 MHz. Una fuerza electromotriz es la responsable del calentamiento debido al desplazamiento de iones libres.

La onda corta por inducción coloca frente al electrodo condensador un cable arrollado que produce un campo magnético inductivo. El efecto es similar al de los antiguos radares, con un monocabezal que permite adaptarse mejor a zonas como el hombro, está siendo desplazados actualmente por equipos de diatermia a 1 MHz.

#### **6.2.2.2 ESTIMULADOR MAGNÉTICO TRANSCRANEAL.**

Son equipos que estimulan la corteza cerebral y constituye una herramienta llena de posibilidades de estudio e investigación en el ámbito de las neurociencias,





así como para el tratamiento de diversos padecimientos y trastornos neuropsiquiátricos. En la figura 32 se puede ver un ejemplo de aplicación de estimulación magnética transcraneal sobre un paciente.

La estimulación magnética transcraneal, permite la estimulación incruenta del tejido nervioso, sin dolor, y permite interferir de forma controlada la actividad normal del cerebro humano. Se usan alternativamente en terapias de padecimientos y trastornos, entro los que se cuentan la depresión, la ansiedad, déficit de atención, hiperactividad, autismo, migrañas, epilepsias, esquizofrenia, disminución de la libido, trastornos del sueño, bipolares y obsesivos-compulsivos.



**Figura 32-** Estimulador magnético transcraneal.

La estimulación transcraneal se basa en el principio de inducción electromagnética. Se aplica una corriente eléctrica de determinada fuerza y duración que proviene de una bobina de estimulación ubicada sobre el cuero cabelludo, lo cual genera campos magnéticos que penetran hasta el cerebro con una atenuación insignificante. Estos campos inducen una corriente eléctrica en el tejido neural, cuyo volumen depende de la forma y tamaño de la bobina de estimulación, de la fuerza del campo magnético y de la frecuencia y duración de los pulsos magnéticos producidos.



Estos pulsos magnéticos de intensidad específica, producen una despolarización selectiva de neuronas de la corteza cerebral, ubicadas entre 1,5 y 2 cm por debajo del cráneo. Estos pulsos pueden ser únicos en la estimulación magnética transcranea o bien transcranea regulares repetitivos.

### 6.2.3 EQUIPOS DE INTERVENCIÓN A PACIENTES.

Son aquellos equipos que se usan para intervenir directamente sobre un paciente, con el objetivo principal de mejorar en el estado de su salud. En estos equipos, nuevamente, se puede justificar un exceso de radiación con respecto a los niveles de referencia de intensidades de campo indicados por normativa, debido principalmente a que su exposición no es prolongada en el tiempo, además de que es más el beneficio que el paciente obtiene paliando su enfermedad, o mejorando su salud.

Algunos ejemplos de equipos de intervención a pacientes son los desfibriladores, electrobisturís, equipos de hipertermia electromagnética, etc.

#### 6.2.3.1 DESFIBRILADORES.

La desfibrilación es el uso terapéutico de la corriente eléctrica liberada en grandes cantidades por períodos breves de tiempo. La descarga eléctrica despolariza temporalmente al miocardio, terminando una fibrilación ventricular (FV) u otras arritmias y logrando la recuperación de la actividad eléctrica norma.



**Figura 33-** Desfibrilador.



Los desfibriladores como el que se muestra en la figura 33, aplican desfibrilación sobre un paciente. La desfibrilación es la aplicación de un pulso breve de corriente eléctrica que atraviesa el corazón, promoviendo la despolarización simultánea de una masa crítica de fibras musculares. Entre un 75 % a 90 % de la masa de las fibras responderán simultáneamente a esta activación forzada, cuando regresen al estado de reposo estarán en condiciones de responder al marcapaso natural, restaurándose el sincronismo y el bombeo de sangre.

El choque es aplicado a través del tórax, por medio de paletas de desfibrilación o parches adhesivos o electrodos colocados sobre la piel. La preparación de la superficie de la piel y una correcta colocación de los electrodos, son factores importantes para tener un resultado exitoso.

Las formas de desfibrilación más utilizadas en la actualidad, son la onda senoidal amortiguada y la onda bifásica. En el primer caso el pulso se obtiene cuando la descarga del capacitor se da a través de un inductor, que se encuentra en el equipamiento interno, y la resistencia transtorácica del paciente, por lo tanto tenemos un circuito de descarga RLC serie. La forma de onda resultante depende de la definición de los valores de estos componentes. En la Fig.34 apreciamos diferentes ondas senoidales amortiguadas.

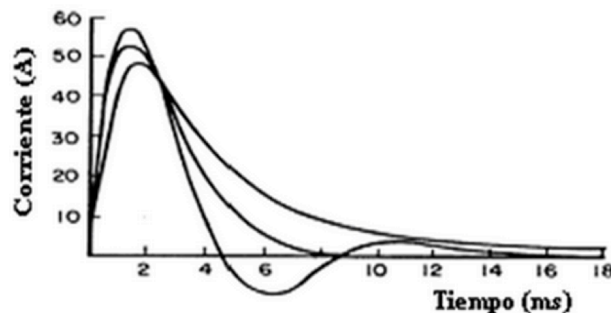


Figura 34-. Diferentes ondas senoidales amortiguadas.

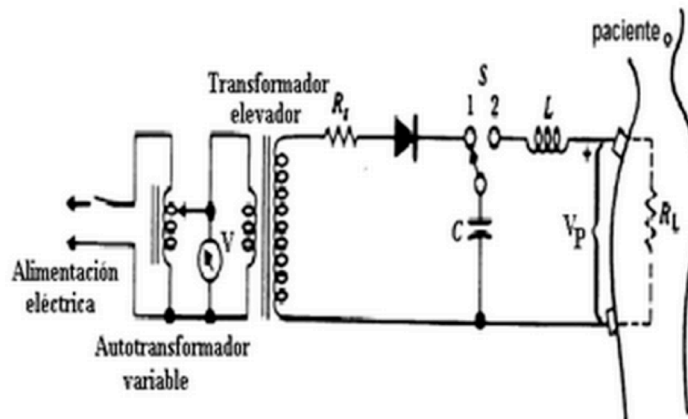
La Fig. 35 muestra el circuito básico de un desfibrilador de onda senoidal amortiguada. Este circuito tiene un transformador elevador y un rectificador, que son usados para cargar el condensador C. La carga del condensador está determinada por la tensión del autotransformador variable del circuito primario.

La resistencia en serie  $R_s$ , limita la corriente de carga, protegiendo los componentes del circuito y define una constante de tiempo de carga  $R_s C$  mayor de 2 segundos. Cuando el operador de la orden de disparo, la llave S para a la posición



2 donde el condensador C se descarga por medio de la inductancia L y de la resistencia  $R_L$ .

Una vez completada la descarga, la llave vuelve a la posición 1 donde el capacitor se carga nuevamente.



**Figura 35-** Circuito básico de un desfibrilador de onda senoidal amortiguada.

Los desfibriladores, no generan más radiación que la permitida según normativa aplicable en España a equipos generadores [88][84][85][87].

### 6.2.3.2 ELECTROBISTURÍS.

El electrobisturí, como el que se muestra en la figura 36, es un instrumento quirúrgico que usa la generación de ondas electromagnéticas de alta frecuencia, para provocar un efecto termal que es usado para destruir o seccionar tejidos vivos. Utiliza tensión de 1200 V y puntas de hasta 4000 V.

Al hacer circular corriente eléctrica a través de un medio, el flujo de electrones tiene la dificultad de circular libremente y va cediendo energía en su avance. La oposición al paso de electrones recibe el nombre de resistencia eléctrica y tiene relación con la temperatura. El cuerpo humano presenta una resistencia eléctrica entre los 5000 y los 10000 ohmios.

La hacer circular la corriente de alta frecuencia e intensidad moderada o elevada entre dos electrodos aplicados al cuerpo, generará calor en el sitio deseado haciendo que las células se desintegren en esta región.

La cantidad de calor entregada (Q) depende de la corriente aplicada (I), de la resistencia del cuerpo (R) y del tiempo de aplicación (t).

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \text{tiempo}$$



**Figura 36-. Electrocoagulación.**

Mientras menor sea la superficie sobre la que apliquemos la corriente, mayor será el calor que generemos sobre esa superficie. Esta corriente se induce a través de un campo eléctrico de altas frecuencias que se induce en el paciente mediante electrodo y tierra en el caso de técnicas monopolares, o de dos electrodos en caso de técnicas bipolares. Se suele modular una señal senoidal de 350 kHz, de 1000 Vpp y una potencia de 100 W sobre 10 kohm, si lo que se busca es el efecto de cortar tejidos. Si lo que se busca es coagular, se suele modular una señal senoidal de 350 kHz, de 1000 Vpp y una potencia de 8 W sobre 10 kohm.

El electrocoagulator, genera más radiación que la partida en España a equipos que generen radiación, pero como se ha comentado, se compensa con el beneficio que también repercute al paciente [80][84][85][87].

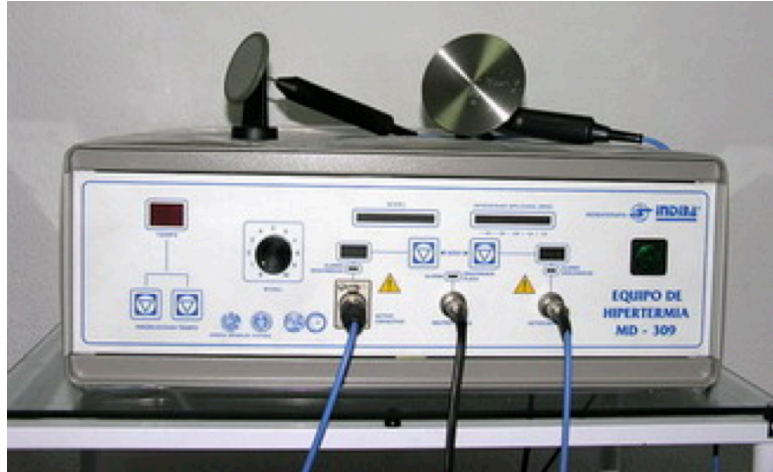
### **6.2.3.3 EQUIPO HIPERTERMIA ELECTROMAGNÉTICA.**

Los tejidos cancerosos, salvo en estado necrótico, tienen un alto contenido de agua. Lo que da lugar a un incremento de la permitividad de los tumores. Busca elevar las temperaturas (del orden de 45<sup>o</sup>), para disminuir el volumen tumoral, y reducir la dosis de narcóticos utilizados en la fase paliativa del cáncer.

Por eso existe un considerable interés en el uso de equipos de hipertermia con RF y microondas como el que se puede ver en la figura 37, en el tratamiento de cáncer, ya sea utilizando sólo el calor provocado por la radiación, o una combinación con radiación ionizante o fármacos. La hipertermia puede ser de gran valor en el tratamiento de células tumorales pobremente oxigenadas las cuales son resistentes a los rayos X. Se cree que la efectividad de la radioterapia puede ser aumentada calentando la lesión a una temperatura superior de la que rodea al



tejido afectado. Actualmente, diversos equipos de investigación llevan a cabo trabajos enfocados al diseño de aplicadores y al mejoramiento de la distribución de temperatura resultante. Para ellos se usa la frecuencia de 2,450 MHz.



**Figura 37-.** Hipertermia electromagnética.

La clave de este proceso está en calentar, medir la temperatura y controlar el sistema. El tiempo de calentamiento deber ser entre 15 y 30 minutos. Esto ha conducido a establecer exposiciones recomendables o estándar, a controlar la cantidad de SAR.



### 6.3 CONCLUSIONES.

En este capítulo se detallan algunos ejemplos de uso de las radiaciones no ionizantes en aplicaciones médicas para dar una visión positiva del uso de las radiaciones no ionizantes y como estas se usan para dar beneficios a la salud.

Se divide el capítulo en tres tipos de equipos que usan RNI en hospitales:

Equipos diagnósticos médico, usados para diagnosticar el estado de salud de las personas. Se hablan de cómo usan las RNI la resonancia magnética, la tomografía por microondas y la espectroscopía por resonancia magnética nuclear.

Equipos terapéuticos, que son usados para dar sesiones de terapias a los pacientes de forma que mejoren el estado de su salud. Se hablan de cómo usan las RNI los generadores de onda corta y los estimuladores magnéticos.

Equipos intervencionistas, que son usados para intervenciones invasivas en los pacientes de forma que ayuden en una cirugía o intervención sobre las personas. Se hablan de cómo usan las RNI los desfibriladores y electrobisturías.





## **7. LÍNEAS DE FUTURO**





En este trabajo se ha comprobado que existen una cantidad de trabajos sobre modelización del índice de absorción específica (SAR) así como de estudios epidemiológicos y clínicos, sobre las radiación que producen las antenas de comunicaciones debido a su continua proliferación debido al uso tan extendido de los terminales móviles. Sin embargo se considera necesaria una continua renovación de dichos estudios con diferentes enfoques que siempre pueden dar lugar a nuevos descubrimientos.

Por otro lado, prácticamente la totalidad de los estudios están enfocados a los efectos agudos de la radiación, pero cabe también un análisis de los efectos crónicos de los mismos, ya que aunque estos estudios lleven más tiempo, y se este hablando de una tecnología sin tanto pasado como para poder tener estudios de efectos crónicos, si que es necesarios conocer los efectos a largo plazo, y ya estamos en periodo donde es más factible.

En cualquier caso, cabe destacar que aunque sólo sea en el caso en que los dispositivos móviles que se pegan a la oreja, el nivel de densidad de potencia está por encima del determinado por normativa. De todas formas, cabe se destaca también, que este nivel de densidad de potencia de referencia está establecido en base a un factor de seguridad de 50, con respecto al aumento de temperatura que producirían las RNI en relación con el aumento de temperatura que se produce en el cuerpo humano cuando practicamos ejercicios físicos moderados, para los que nuestro organismo tiene mecanismos de compensación. Por lo que se consideran que las antenas de comunicación, no son perjudiciales para la salud.

Sin embargo, existen otros puntos de especial interés en el cuerpo que no admiten tanta subida de temperatura, como pueden ser los ojos, o la mielina que recubren el tejido nervioso del sistema central.

Si bien se han encontrado numerosos artículos con referencias al efectos de las radiaciones en los ojos, es de especial también analizar cómo afectan las RNI al tejido nervioso y neuronal, ya que los dispositivos móviles si que están cercanos a la cabeza. Unos niveles de densidad de potencia con los que el cuerpo estaría preparado para compensar su efecto térmico desde el ámbito de cuerpo entero, pero no se considera solo el efecto térmico en el cerebro, desde el punto de vista de cómo afecta al tejido nervioso, y de cómo afecta a la circulación sanguínea y de los efectos sobre aneurismas y otras enfermedades neuronales como ictus, alzheimer, puedan ocasionar. Los estudios que se encontraron al respecto, son cercanos en el tiempo, al contrario que los más genéricos, o cuerpo entero.

Al fin y al cabo, las neurociencias están en un proceso de avance gracias a nuevo equipamiento médico. Nuevos detectores, mejores resoluciones de imagen, nuevas técnicas de tratamiento de imágenes que son capaces de extraer información de señales con mucho ruido, están revolucionando las resonancias magnéticas y las tomografías axial computerizada, etc. Aprovechar todo esta nueva información del cerebro, y fusionarla con estudios del sistema nervioso y vascular



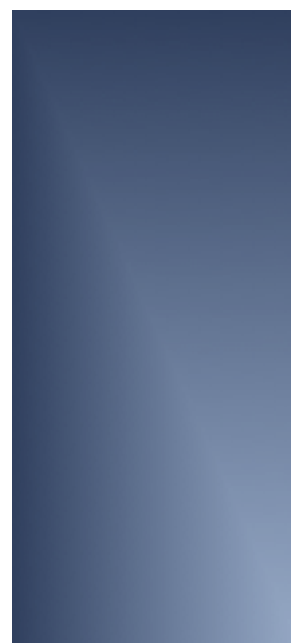
del cerebro y la médula, sería una de las líneas a tratar más concienzudamente, desde un punto de vista de la RNI absorbida por cuerpo entero, o por zonas concretas, podría descubrir nuevo conocimiento.

Por otro lado, avanzar en el exceso de radiación que se genera en el ambiente y favorecer políticas de aminoramiento de radiación que es aditiva en sus efectos sobre el cuerpo humano, se considera uno de los campos a avanzar con el paso de los años. En base a esto, hemos expuesto unos conocimientos iniciales para el estudio de apantallamientos, pero se considera uno de los campos también a desarrollar, con nuevos materiales, y técnicas.

Ni que decir tiene, que esto también ayudaría a diseñar una vida mejor para aquellas personas que han mostrado síntomas de hipersensibilidad, que aunque en principio suelen ser achacables a radiación de bajas frecuencias. También es verdad que las alergias o reacciones del cuerpo se suelen producir por una acumulación de circunstancias, y en el caso de la hipersensibilidad, hablamos de lo mismo, según pasen los años, se comprobará si también pueden ser achacados en alguna medida a las radiaciones de las antenas de comunicaciones.



## **8. GLOSARIO DE ACRÓNIMOS**





**ACMA:** Australian Communications and Media Authority.

**ANSI:** American National Standards Institute.

**ARPANSA:** Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency.

**B:** Electromagnetic Induction o Densidad de flujo magnético o inducción magnética.

**CEM:** Electromagnetic Field o Campos electromagnéticos.

**DSP:** Density Superficial power o Densidad superficial de potencia.

**E:** Electric Field o Intensidad de campo eléctrico.

**FCC:** Federal Communications Commission.

**H:** Magnetic Field o Intensidad de campo magnético.

**ICNIRP:** International Commission on Non-Ionizing Radiations Protection.

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association

**Ic:** Contact Current o Corriente de contacto.

**J:** Current Density o Densidad de corriente.

**MPT:** Ministry of Posts and Telecommunications.

**RF:** Radiofrequency o Radiofrecuencias.

**S:** Power Density o Densidad de Potencia.

**SA:** Specific Energy Absorption o Absorción Específica de Energía.

**SAR:** Specific Absorption Rate o Índice de Absorción Específica de Energía.

**UE:** Unión Europea.

## **9. ÍNDICE DE FIGURAS**





**JUSTIFICIÓN:**

**Figura 1-** Ondas electromagnéticas en un sistema de comunicación.

**CAPÍTULO 1:**

**Figura 2-** Espectro electromagnético y su uso.

**Figura 3-** Analizador de campos E y H, con sus sondas y analizador de espectro electromagnético.

**Figura 4-** Diversos tipos de analizadores de campos E y H con sus sondas.

**CAPÍTULO 2:**

**Figura 5-** Interacción ondas electromagnéticas con cuerpo humano.

**Figura 6-** Efecto de corriente en el cuerpo humano.

**Figura 7-** Radiación cotidiana sobre cuerpo humano.

**Figura 8-** Mapa termográfico sobre cuerpo humano, indicando mayor absorción de calor en sistema nervioso central.

**Figura 9-** Radiación bajas frecuencias provocada por líneas de alta tensión.

**Figura 10-** Estimulador magnético.

**Figura 11-** Radiofrecuencias provocadas por antenas de radioenlaces.

**Figura 12-** Simulación de radiofrecuencias provocadas por teléfonos móviles.

**CAPÍTULO 3:**

**Figura 13-** Simulación de SAR en cuerpo humano mediante método FDTD.

**Figura 14-** Programa XFDTD 7.4, de cálculo por el método FDTD.

**Figura 15-** Programa CSD Microwave Studio, de cálculo por el método FDTD.

**Figura 16-** Simulación de SAR por programa MedFDTD.

**Figura 17-** Simulación de SAR por programa GMES.

**Figura 18-** Simulación de SAR por programa WOLFSIM.





**Figura 19-** Simulación de SAR por programa AcouSTO.

**Figura 20-** Página web de la ICNIRP. ([www.icnirp.org](http://www.icnirp.org))

### **CAPÍTULO 5:**

**Figura 21-** Baño de cromo sobre plástico.

**Figura 22-** Propagación de una onda a través de dos medio con un índice de refracción distintos.

**Figura 23-** Cables de pares apantallados STP.

**Figura 24-** Jaula de Faraday hecho con malla de alambre.

**Figura 25-** Jaula de Faraday ( $E_{\text{interior}}=0$ ).

**Figura 26-** Ejemplo práctico de jaula de Faraday ( $E_{\text{interior}}=0$ ).

**Figura 27-** Traje de jaula de Faraday ( $E_{\text{interior}}=0$ ).

### **CAPÍTULO 6:**

**Figura 28-** Resonancia magnética con bobinas de cabeza en paciente y otras bobinas de otras partes del cuerpo en estanterías.

**Figura 29-** Ilustración de equipo de tomografía por microondas.

**Figura 30-** Espectroscopía de resonancia magnética nuclear.

**Figura 31-** Generador onda corta.

**Figura 32-** Estimulador magnético transcraneal.

**Figura 33-** Desfibrilador.

**Figura 34-** Diferentes ondas senoidales amortiguadas.

**Figura 35-** Circuito básico de un desfibrilador de onda senoidal amortiguada.

**Figura 36-** Electrobisturí.

**Figura 37-** Hipertermia electromagnética.



## **10. ÍNDICE DE TABLAS**





**JUSTIFICIÓN:**

**Tabla 1-** Relación bandas frecuencias con longitud ondas y energía del espectro electromagnético no ionizante.

**CAPÍTULO 3:**

**Tabla 2-** Relación herramientas algoritmos SAR por FDTD.

**CAPÍTULO 4:**

**Tabla 3-** Densidad de potencia de terminales móviles 2G en base a la distancia del cuerpo humano.

**Tabla 4-** Densidad de potencia de terminales móviles 3G en base a la distancia del cuerpo humano.

**Tabla 5-** Densidad de potencia de terminales móviles 4G en base a la distancia del cuerpo humano.

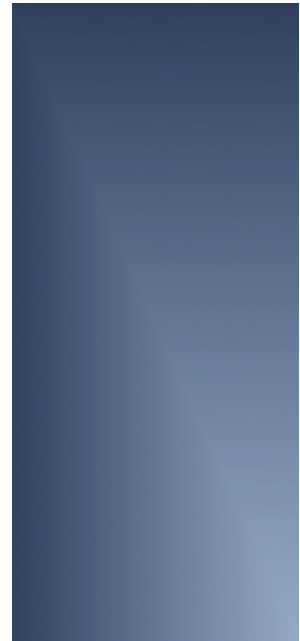
**Tabla 6-** Densidad de potencia de las estaciones base 2G en base a la distancia del cuerpo humano.

**Tabla 7-** Densidad de potencia de las estaciones base 3G en base a la distancia del cuerpo humano.

**Tabla 8-** Densidad de potencia de las estaciones base 4G en base a la distancia del cuerpo humano.

**Tabla 9-** Densidad de potencia de las antenas hot-spot WiFi en base a la distancia del cuerpo humano

## **11. BIBLIOGRAFÍAS**



- [1] Rafael Guirado Torres. "Requisitos de la Directiva 2004/108/CEE de Compatibilidad Electromagnética (EMC)". Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial. LT1 EMC02.rev0. (ISBN: 84-95108-35-6).
- [2] R. Vignal "Effects of mobile phones and radar radiofrecuencias on the eyes", Science direct, Pathologie Biologie 57 (2009) 503-508.
- [3] F. Eid, M. Abou Zeid, N Hanafi and A. El-Dahshan, "Mobile Phone Radiation Induced Plasma Protein Alterations and Eye Pathology in Newly Born Mice". The Egyptian Journal of Hospital Medicie (July 2013) Vol. 52, Page 573-593.
- [4] W. Wnag, "Research on Asymmetric Characteristics of Mobile Communications System Based on Electromagnetic Radiation", Progress In Electromagnetics Research Symposium 2007, Prague, Czech Republic, August 27-30, p.p. 145-149.
- [5] Moumen Cherif and Benslama Malek, "Modelling Radiation Electromagnetic Between Mobile, Antenna and the Human Body in the Calculation of SAR". International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering. 2013.
- [6] Hsing-Yi Chen and Hou-Hwa Wang, "Current and SAR Induced in a Human Head Model by the Electromagnetic Fields Irradiated from a Cellular Phone". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 42, No. 12 December 1994.
- [7] M. Zamorano y H. Torres-Silva, "SAR Inducido en un Modelo Bioplasmático Quiral por Radiación de Teléfonos Celulares". Revista Mexicana de Física 51 (2) 209-216. Abril 2005.
- [8] R.A. Abd-Alhameed, P.S. Excell, K. Khalil, R. Alias and J.Mustafa, "SAR and Radiation Performance of Balanced and Umbalanced Mobile Antennas Using a Hybrid Computational Electromagnetics Formulation". IEE Proc-Sci. Meas Technol, Vol. 151, No. 6. November 2004.
- [9] Mangoud, M.A. and Adb-Alhameed, R.A. "Simulation of Human Interaction With Mobile Telephones Using Hybrid Techniques Over Coupled Domains". Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on Vol. 48. Issue. 11. November 2000.
- [10] C. García González, "Estudio y Desarrollo de un Método de los Momentos Volumétrico para Análisis de Cuerpos de Geometría y Composición Arbitraria". Premios Proyectos Fin de Carrera "Catedrá Telefónica" 2009.
- [11] Ticse Torres Royer y C. Javier Solano Salinas, "Simulación de radiación electromagética usando el método de los momentos (MoM)". Tópicos de

- [12] Investigación I. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias. Escuela Profesional de Física.
- [13] Mohab A. Mongoud, Raed A. Abd-Alhameed and Peter S. Excell, "Simulation of Human Interaction with Mobile Telephones Using Hybrid Techniques Over Coupled Domains", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 48, No. 11, November 2000.
- [14] A. R. Bretones, R. Mittra and G. Martin, "A hybrid technique combining the MoM in the time domain and FDTD", IEEE Microwave Guided Wave Lett., Vol 8, pp. 281-283, August 1998.
- [15] G. Cerri and P. Russo et al., "MoM-FDTD hybrid technique for analyzing scattering problems, "Electron. Lett., Vol. 34, pp. 433-440, 1998.
- [16] J. A. Gualda Gil, "¿Es peligrosa la telefonía?", Mundo Electrónico. pp. 389. Septiembre 2007.
- [17] Andrei N. Tchernitchin, R. Riveros, "Efectos de la Radiación Electromagnética sobre la Salud", Cuad Méd Soc (Chile) 2004, 44: 221-234.
- [18] Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio public radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.
- [19] J. Ignacio Torres O., L. Hildebrando Alzate A., "Efectos de las Radiaciones Electromagnéticas No Ionizantes en Sistemas Biológicos", Revista Médica de Risaralda, 12 (2), Noviembre de 2006.
- [20] Organización Mundial de la Salud, "Campos Electromagnéticos y Salud Pública. Exposición a Campos de Frecuencia Extremadamente Baja", Nota descriptiva nº322. Junio 2007.
- [21] Peña Fernández L., Rastor Vega, J. M., Ruiz Gomez, M. J., Martínez Morillo M., "Riesgo laboral y residencial por exposición a campos electromagnéticos", Mapfre Medicina, 2002; vol. 13, nº3.
- [22] Marcelo Alonso y Edward J Finn, "Física Vol. 2: Campos y ondas", Editorial Fondo Educativo Interamericano. Octubre 2011.
- [23] Recomendación del Consejo (1999/519/CE), de 12 de Julio de 1999 relativa a la exposición del public en general a campos electromagnéticos (o Hz a 300 GHz).

- [24] Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos) (decimoctava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).
- [25] Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2013, sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos).
- [26] James C. Lin, "Hearing Microwaves: The Microwave Auditory Phenomenon", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 43, No. 6, December 2001.
- [27] James C. Lin, "RadioFrequency Exposure and Safety Associated with Base Stations Used for Personal Wireless Telecommunication", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 44, No. 1, February 2002.
- [28] James C. Lin, "Cellular-Phone Radiation Effects on Cancer in Genetically Modified Mice", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 44, No. 6, December 2002.
- [29] Subdirección general de sanidad ambiental y salud laboral, "Campos electromagnéticos y salud pública", Dirección de sanidad y consumo. Ministerio de Sanidad y Consumo. 11 de mayo de 2001.
- [30] Caldo Ignacio, Quiñones Sabrina, Trelles Félix, Hernán Morlan, "Guía de electrocirugía en endoscopia digestiva", Servicio de Gastroenterología del Hospital Carlos G. Durand. Buenos Aires.
- [31] E. Guibelalde, "Exposiciones ocupacionales a campos electromagnéticos en la proximidad de equipos de resonancia magnética para uso clínico. Estado actual de la Directiva Europea 2004/40/EC.", Revista de Física Médica 2008; 9(1): 25-32.
- [32] International Commission on Non-ionising Radiation Protection, ICNIRP. "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)". Health Phys 1998;74:494-522.
- [33] Durney CH, Massaudi H, Iskander NIF, "Radiofrequency radiation dosimetry handbook", Reg. no. SANI-TF-85-73. IJ.S. Air Force School of Aerospace, Medical Division, Brooks Air Force Base Texas, 1985.
- [34] World Health Organisation, "Environmental Health Criteria 238: Extremely Low Frequency (ELF) Fields". Who, Geneva, Switzerland, 2007.



- [35] Barnes FS, Greenebaum B. Eds, "Biological and medical aspects of electromagnetic fields. Handbook of biological effects or electromagnetics fields. 3<sup>rd</sup> edition. CRC Press Boca Raton, 2007.
- [36] Tenforde TS. Biological interactions of extremely-low frequency electric and magnetic fields. *Bioelectrochem Bioenerg* 1991; 25:1-17.
- [37] Bengt Knave, Kjell Hansson Mild, David H. Silney, R. Matthes, Michael H. Repacholi, Martino Grandolfo, "Radiaciones No Ionizantes. Riesgos Generales." Capítulo 49. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*.
- [38] Szmigielski, S., M. Bielec, S. Lipski, G. Sokolska, "Immunologic and cancer related aspects or exposure to low-level microwave and radioteradiofrequency fields." *Modern bioelectricity*, 1988.
- [39] Silverman, C., "Epidemiological studies of cancer and electromagnetic fields." Capítulo 17. *Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy*. 1990. New Jersey. Prentice Hall.
- [40] Kolmodin-Hedman, B. K. Hansson Mild, E. Jönsson, MC Anderson, A Eriksson, "Health problems among operations of plastic welding machines and exposure to radiofrequency electromagnetic fields". *Int Arch Occup Environ Health* 60:243-247.
- [41] De Pomerai D, "Microwave radiation induces a heat-shock response and enhances growth in the nematode *Caenorhabditis elegans*". *IEEE Trans Microwave Theor Tech* 2000; 48:2076-2081.
- [42] Cidet, "Propuesta de norma colombiana sobre campos electromagnéticos y salud.", Itagüí, Antioquia 1999.
- [43] Johansen C. Exposure to Electromagnetic Fields and Risk of Central Nervous System Disease in Utility Workers. *Epidemiology* 2000; 11(3): 539-543.
- [44] IV Congreso Nacional de Medioambiente (Fundación Conama), España 1998.
- [45] La Directiva Europea 2004/108/CE del parlamento europeo y del consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética.
- [46] Norma NTP 598, del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, donde sobre exposición a campos magnéticos estáticos.

- [47] Norma NTP 698, del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, donde establece los criterios ICNIRP para valorar la exposición laboral a los campos electromagnéticos entre 0 Hz y 300 GHz.
- [48] Norma NTP 894, del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, donde establece las bases del proceso de evaluación que propone la Norma UNE EN 50499:2009 para demostrar conformidad con los requisitos establecidos en la Directiva 2004/40/CE.
- [49] Norma NTP 522, del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, donde establece los criterios de evaluación de la exposición laboral a las radiofrecuencias y microondas (I).
- [50] Norma NTP 523, del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, donde establece los criterios de evaluación de la exposición laboral a las radiofrecuencias y microondas (II).
- [51] UNE -EN 60601 -1 -2. Equipos Electromédicos. Parte 1-2: Requisitos generales para la seguridad. Norma colateral: Compatibilidad electromagnética. Requisitos y ensayos. Septiembre 2008.
- [52] International Electrothechnical Commission (IEC) Standard IEC 60601-1-2 Electromedical devices.
- [53] Comisión de Regulación de Telecomunicaciones –CRT. Informe Final. Proyecto Marco Regulatorio Sobre Límites de la Exposición Humana a Campos Electromagnéticos en Servicios de Telecomunicaciones.
- [54] Shellock F, Crues V. “Temperature, heart rate and blood pressure changes associated with clinical imaging at 1.5 T”. Radiology 1987; 163:259-262.
- [55] P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa, E. Piuze, “Safety Aspects of Magnetic Resonance Imaging for Pacemaker Holders”. 978-1-4244-3386-5/09/\$25.00, IEEE. 2009.
- [56] J. Anguera Pros, A. Andújar Linares, “Métodos numéricos para la resolución de las ecuaciones de Maxwell”. Módulo 3, Diseño y Aplicaciones de Antenas. Máster Universitario Ingeniería Telecomunicación, 2014. Universitat Oberta de Catalunya.
- [57] Anguera, J. “Simulación electromagnética mediante el método de las diferencias finitas en el dominio del tiempo”. Ingeniería y Arquitectura, núm. 23. Barcelona: La Salle, Universidad Ramon Llull.
- [58] D. Hernández Abreu, “Integración Numérica de PVFs en EDOs de Segundo Orden”, Lección 4. Matemáticas Avanzadas. Máster Universitario en Ingeniería Industrial. Universidad de La Laguna.

- [59] R. Cruz Barroso, "Métodos en Diferencias Finitas para la Ecuación de Onda y la Ecuación del Calor", Lección 6. Matemáticas Avanzadas. Máster Universitario en Ingeniería Industrial. Universidad de La Laguna.
- [60] Fabrice Lacroux, Albert Cortel Carrasco, Azeddine Gati, Man-Fai Wong and Joe Wiart, "SAR and averaged power density near a UMTS base-station antenna", 0-7803-9542-5/06/\$20.00. IEEE. 2006.
- [61] International Commission On Non Ionizing Radiation Protection. "Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)." Health Phys 74:494-522; 1998.
- [62] R. Idrovo Urgilés, D. Gálvez Nan, "Aplicación de campo electric en base a la jaula de Faraday". Teoría electromagnetica I, 2012-2013.
- [63] J. Anguera Pros, A. Andújar Linares, "Tecnologías de Antenas para Terminals Móviles". Módulo 1, Diseño y Aplicaciones de Antenas. Máster Universitario Ingeniería Telecomunciación, 2014. Universitat Oberta de Catalunya.
- [64] J. Anguera Pros, A. Andújar Linares, "Optimización de Antenas mediante Algoritmos Genéticos". Módulo 1, Diseño y Aplicaciones de Antenas. Máster Universitario Ingeniería Telecomunciación, 2014. Universitat Oberta de Catalunya.
- [65] Resolución del Parlamento Europeo, de 2 de abril de 2009, sobre las consideraciones sanitarias relacionadas con los campos electromagnéticos ( 2008/2211(INI)).
- [66] Resolución 1815 (2011) del Parlamento Europeo, de 27 de mayo de 2011, sobre Peligros potenciales de los campos electromagnéticos y sus efectos sobre el medio ambiente.
- [67] IEEE Standars Association. IEEE standar for information technology – Telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks – Specific requeriments. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- [68] Paolo Bernardi, Marta Cavagnaro, Stefano Pisa and Emanuele PiuZZi, "SAR Distribution and Temperature Increase in an Anatomical Model of the Human Eye Exposed to the Field Radiated by the User Antenna in a Wireless LAN", IEEE transactions on microwave theory and techniques, vol. 46, No. 12, Pp. 1475. December 1998.
- [69] S. Baranski and P. Czernski, Biological Effects of Microwaves. Stroudsburg, PA: Dowden, 1976, pp. 146-149.

- [70] A. W. Guy, J. C. Lin, P. O. Kramar, and A.F. Emery, "Effect of 2450 MHz radiation on the rabbit eye", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol MTT-23, pp. 492-498, June 1975.
- [71] B. Appleton, S.E. Hirsch, and P.V.K. Brown, "Investigation of single-exposure microwave ocular effects at 3000 MHz", Annals New York Academy Sci., vol. 247, pp. 125-134, 1975.
- [72] Paolo Bernardi, Marta Cavagnaro, Stefano Pisa, Emanuele Piuzzi, "Specific Absorption Rate and Temperature Increases in the Head of a Cellular-Phone User", IEEE transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 48, No 7, July 2000.
- [73] A.C. Guyton, textbook of Medical Physiology. Philadelphia, PA: Saunders, 1991.
- [74] D.H. Sliney and B.E. Stuck, "Microwave exposure limits for the eye: Applying infrared laser threshold data", in Radiofrequency Radiation Standards. New York: Plenum, 1994, pp. 79-87.
- [75] J.D. Hardy, H.G. Wolff, and H. Goodel, "Pain Sensations and Reactions.", Baltimore, MD: Williams & Wilkins, 1952.
- [76] Paolo Bernardi, Marta Cavagnar, Stefano Pisa and Emanuele Piuzzi, "Human Exposure to Radio Base-Station Antennas in Urban Environment", IEEE transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 48, No. 11, November 2000.
- [77] Carranza N., García J., Febles Santana V.M, Fernández de Aldecoa J.C, Monteagudo J.L., Ramos V. "Evaluation of Electromagnetic Compatibility and Safety Assessment in Healthcare Environments". Proceedings of EMC 2009. VIII International Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology; 16 al 19 de junio de 2009; St. Petersburg. Russia. 2009
- [78] Carranza N, Febles V, Hernández JA, Bardasano JL, Monteagudo JL, Fernández de Aldecoa JC, Ramos V. Patient safety and electromagnetic protection: a review. *Health Physics*, vol 100 (5), 2011, pp 530-541
- [79] Febles Santana VM, Suárez Rodríguez S, Melián del Castillo MR, Hernández Armas JA, de Miguel Bilbao S, Ramos González V, Fernández de Aldecoa JC. Emisiones radioeléctricas de electrobisturías durante intervenciones quirúrgicas. *XXIX Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (CASEIB 2011)*, Cáceres, 2011 (ISBN: 978-84-614-2693-4)
- [80] Febles Santana, Víctor M.; Placeres Pascual, José Manuel; Melián del Castillo, Manuel de los Reyes; Lubary Rodríguez, Carlos; Fernández de



- Aldecoa, José Carlos, "Comprobación de emisiones radioeléctricas de electrobisturries", Congreso SEEIC 2010- Sociedad Española de Electromedicina e Ingeniería Clínica. 16 al 18 de junio de 2010; Santa Cruz de Tenerife. ISBN: 978-84-693-533-2.
- [81] Melián del Castillo M.R., Febles Santana V.M., Placeres Pascual J.M., Lubary Rodríguez C., Fernández de Aldecoa J.C. "Análisis de situación real de interferencias radioeléctricas sobre equipos electromédicos (ECG, EEG y EMG)". DVD de Comunicaciones del IX Congreso Nacional de la SEEIC-2010. ISBN: 978-84-693-5333-2; 16 al 18 de junio de 2010; Santa Cruz de Tenerife. España. Sociedad Española de Electromedicina e Ingeniería Clínica (SEEIC), 2010. ISBN: 978-84-693-533-2.
- [82] V. Febles Santana, S. de Miguel Bilbao, C.S. Lubary Rodriguez, M.R. Melián del Castillo, J.G. Herránz Gómez, V. Ramos González, J.C. Fernández de Aldecoa, "Eficacia del apantallamiento de una unidad de neurofisiología frente a interferencias electromagnéticas", II Congreso Conjunto SEFM-SEPR. D.L.: M-19859-2011.
- [83] V.M. Febles Santana, J.A. Hernández Armas, M.A. Martín Díaz, S. de Miguel Bilbao, J.C. Fernández de Aldecoa, V. Ramos González, "Assessment of Magnetic Field in the Surroundings of Magnetic Resonance Systems: Risk for Professional Staff", L.M. Roa Romero (ed.), XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineerin and Computing, 2013. DOI: 10.1007/978-3-319-00846-2\_47, Springer International Publishing Switzerland 2014.
- [84] Silvia de Miguel-Bilabao, Miguel Angel Martín, Alejandro del Pozo, Víctor Febles, José A. Hernández, José C. Fenández de Aldecoa and Victoria Ramos, "Analysis of Exposure to Electromagnetic Fileds in a Healthcare Enviroment: Simulation and Experimental Study.", *Electromagnetic fields in healthcare*, Vol. 105, suppl 5. November 2013.
- [85] V. Ramos Gonzalez, V.M. Febles Santana, J.A. Hernández Armas, J.C. Fernández de Aldecoa, Proyecto FIS: "Seguridad y Protección Electromagnética de Pacientes", DGPY 1445/08, perteneciente al Plan Nacional de Investigación Desarrollo e Innovación 2008-2011".
- [86] V. Ramos, N. Carranza, J. García, J.L. Monteagudo, "Assesment of the Urban Electromagnetic Environment for Home Telemedicine", presentado en "*Journée Scientifique CNFRS*", URSI, Mayo 2008.
- [87] V.M. Febles Santana, J.M. Placeres Pascual, C. Ascanio Velázquez, M. Melián del Castillo. "Convivencia de señales electromagnéticas en medios hospitalarios". *VII Congreso Nacional de la Sociedad Española de*



---

*Electromedicina e Ingeniería Clínica (SEEIC-07)*, Córdoba, Junio 2007  
(ISBN: 978-84-691-3368-2)

[88] V.M. Febles Santana, C. Lubary Rodríguez, M.R. Melián del Castillo, D.S. Suárez Rodríguez, J.C. Fernández de Aldecoa y V. Ramos González, "Emisiones Radioeléctricas de Desfibriladores Durante se Utilización", España. X Congreso de la Sociedad Española de Electromedicina e Ingeniería Clínica, SEEIC-2012, Barcelona.

[89] <http://www.omtel.com.mx/analisis-de-espectro-electromagnetico.php>