

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

Jessenia Paola Ochoa Bustamante
Silvio Eleuterio Ortiz Dueñas
Eloy José Mite Vernaza
Luis Enrique Rivadeneira Junco
Patricia Carolina Rodríguez Cornejo
Leonel Amador Zúñiga Arreaga
Janeth Mabel Rojas Riera
Geovanny Eloy Marcillo Merino
Gabriela Elizabeth Sarmiento Ávila
Arcadio Jacinto Giacomán Jiménez

EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

AUTORES

Jessenia Paola Ochoa Bustamante

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales;
Maestría en Seguridad y Salud Ocupacional (cursando);
PhD. Doctorado en Educación (cursando);
Diplomado en Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo
basado en la ISO 45001;
Diplomado en Sistema de Gestión de Calidad, Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente; Diplomado en Higiene Ocupacional;
Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional basado en la Ley 29783 y 30222; Médico; Obstetra; Investigadora Independiente;
Guayaquil, Ecuador;
pao_ochoab@hotmail.com

Silvio Eleuterio Ortiz Dueñas

Especialista en Ginecología y Obstetricia; Médico;
Investigador Independiente; Guayaquil, Ecuador
seod801@hotmail.com

Eloy José Mite Vernaza

Magister en Gerencia y Administración en Salud;
Doctor en Medicina y Cirugía; Investigador Independiente;
Guayaquil, Ecuador
dr.elmiver1962@hotmail.com



Luis Enrique Rivadeneira Junco

Magister en Gerencia y en servicios de Salud;
Especialista en Ginecología y Obstetricia;
Doctor en Medicina y Cirugía; Guayaquil, Ecuador
lrj59@hotmail.com

Patricia Carolina Rodríguez Cornejo

Médico; Investigadora Independiente; Guayaquil, Ecuador
pacaroli19@yahoo.com

Leonel Amador Zúñiga Arreaga

Magister en Gerencia de Seguridad y Salud en el Trabajo;
Magister en Epidemiología; Especialista en Salud y Seguridad
Ocupacional Mención en Salud Ocupacional;
Licenciado en Laboratorio Clínico; Médico;
Investigador Independiente; Guayaquil, Ecuador
dr.leonelzuniga@outlook.com

Janeth Mabel Rojas Riera

Especialista en Medicina Familiar y Comunitaria; Médico;
Investigadora Independiente; Guayaquil, Ecuador
mabelina87@gmail.com

Geovanny Eloy Marcillo Merino

Licenciado en Laboratorio Clínico; Tecnólogo medico Especialidad
Laboratorio Clínico; Investigador Independiente; Guayaquil, Ecuador
geovan155@hotmail.com

Gabriela Elizabeth Sarmiento Ávila

Odontóloga; Investigadora Independiente; Guayaquil, Ecuador
gaby1993sa@gmail.com

Arcadio Jacinto Giacoman Jiménez

Magister en Administración de Empresas mención en dirección estra-
tégica de Empresas familiares; Diploma Superior en Atención Primaria
en Salud; Médico; Investigador Independiente; Guayaquil, Ecuador
arcadio-giacoman@hotmail.com

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

REVISORES

Cristhian Rubén Vallejo Zambrano MD.

MÉDICO – CIRUJANO de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. (ULEAM)
Vicepresidente Académico Nacional (ANAMER) 2019 – 2020
Miembro del Departamento de Investigación y Falla Cardíaca INCAP-CICCMA
Cursa Estudio para posgrado (EEUU)
Miembro de la European Society of Cardiology
Docente en Empresa Pública Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
“CENFOR”. (2017)
Cursos de la American Heart Association (BLS – ACLS - PALS)
Curso de Society of Critical Care Medicine (FCCS)
Cursos Internacionales: Harvard Medical School, ST. George’s University,
Johns Hopkins University, Stanford University
World Health Organization.
mdcardiologycrvz@hotmail.com
New York - United States. (EEUU)

María José Espinosa Cedeño MD. MGS.

MÉDICO – CIRUJANO de la Universidad Técnica de Manabí (UTM)
Magíster en Gestión de la Seguridad Clínica del Paciente y
Calidad de la Atención Sanitaria.
Universidad Internacional de la Rioja España (UNIR).
Médico en UNILACADENA SA. Capacitaciones en Emergencia y Desastre,
Gestión de seguridad y salud, psicología laboral, salud laboral.
majoespinosa8@hotmail.com
Portoviejo – Manabí – Ecuador

DATOS DE CATALOGACIÓN

AUTORES: Jessenia Paola Ochoa Bustamante
Silvio Eleuterio Ortiz Dueñas
Eloy José Mite Vernaza
Luis Enrique Rivadeneira Junco
Patricia Carolina Rodríguez Cornejo
Leonel Amador Zúñiga Arreaga
Janeth Mabel Rojas Riera
Geovanny Eloy Marcillo Merino
Gabriela Elizabeth Sarmiento Ávila
Arcadio Jacinto Giacomani Jiménez

Título: Los efectos de la radiación electromagnética en la salud humana

Descriptores: Ciencias médicas, medicina nuclear, radiación, riesgo para la salud.

Código UNESCO: 3207.15 Patología de la Radiación

Clasificación Decimal Dewey/Cutter: 612/01448 / Oc34

Área: Ciencias Médicas

Edición: 1^{era}

ISBN: 978-9942-826-70-1

Editorial: Mawil Publicaciones de Ecuador, 2020

Ciudad, País: Quito, Ecuador

Formato: 148 x 210 mm.

Páginas: 168

DOI: <https://doi.org/10.26820/978-9942-826-70-1>



Texto para docentes y estudiantes universitarios

El proyecto didáctico **Los efectos de la radiación electromagnética en la salud humana**, es una obra colectiva escrita por varios autores y publicada por MAWIL; publicación revisada por el equipo profesional y editorial siguiendo los lineamientos y estructuras establecidos por el departamento de publicaciones de MAWIL de New Jersey.

© Reservados todos los derechos. La reproducción parcial o total queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo sanciones establecidas en las leyes, por cualquier medio o procedimiento.

Director Académico: PhD. Jose María Lalama Aguirre

Dirección Central MAWIL: Office 18 Center Avenue Caldwell; New Jersey # 07006

Gerencia Editorial MAWIL-Ecuador: Mg. Vanessa Pamela Quishpe Morocho

Editor de Arte y Diseño: Lic. Eduardo Flores, Arq. Alfredo Díaz

Corrector de estilo: Lic. Marcelo Acuña Cifuentes

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

ÍNDICE



EDICIONES **MAWIL**



CONTENIDO

PRÓLOGO..... 15

INTRODUCCIÓN 18

CAPÍTULO I 22

1. LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA 22

1.1 Campos electromagnéticos ionizantes y no ionizantes 28

CAPÍTULO II 34

2.TORMENTAS GEOMAGNÉTICAS: NUEVO FACTOR DE RIESGO AMBIENTAL 34

2.1. El sol 37

CAPÍTULO III 53

3. CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA 53

3.1 Sistema de protección 57

3.2 Fuentes de exposición 61

3.3. Tipos de exposición 63

3.4. Individuos expuestos 63

3.5 Efectos por interacción con campos electromagnéticos 67

3.6 Campos magnéticos y patologías..... 73

CAPÍTULO IV 79

4. LAS CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN EN LA ETAPA DE LA EMBRIOGÉNESIS 83

CAPÍTULO V 89

5.LA RADIACIÓN COMO RIESGO DE LEUCEMIA 89

5.1 Las RNI y la leucemia 93

CAPÍTULO VI 100

6. LA EXPOSICIÓN DE RADIACIÓN DURANTE EL TRABAJO 100

6.1 Trabajadores expuestos 101

6.2 La protección radiológica 102

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



6.3 Niveles de protección radiológica	104
6.4 Límites de exposición ocupacional.....	106
6.5 Cómo implementar la protección radiológica	106
6.5.1 Situación de exposición planificada	106
6.6 Delimitación de las zonas radiactivas.....	110

CAPÍTULO VII

7. TRASTORNO DEL SISTEMA ENDOCRINO E INMUNITARIO POR LA RADIACIÓN	113
7.1 El sistema inmunológico.....	116
7.2 Campos electromagnéticos y expresión de genes	120
7.3 Efectos de los campos electromagnéticos sobre la melatonina	120
7.4 Radiación ionizante y cáncer de tiroides	122
7.5 Campos electromagnéticos y cáncer de mama	124

CAPÍTULO VIII

8. ALTERACIÓN CELULAR POR EFECTO DE LA RADIACIÓN	125
8.1 Radiosensibilidad.....	128
8.2. Reacción celular.....	128
8.3 Efectos sobre los cromosomas	128
8.4 Mutación.....	130
8.5 Mutaciones puntuales	132
8.6 Reacciones bioquímicas por la radiación ionizante	133
8.7 Efectos de las radiaciones en los sistemas biológicos.....	134
8.8. Efectos somáticos estocásticos	136

CAPÍTULO IX

9. OSTEORADIONECROSIS COMO SECUELA DE LA RADIACIÓN	138
9.1. Cómo se produce la ORN	143
9.3 Consideraciones del paciente antes de la radioterapia	147



CAPÍTULO X	149
10. AFECTACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL POR LA RADIACIÓN	149
10.1 La radioterapia y el SNC	154
10.2 Efectos adversos en el sistema nervioso central	155
10.3 Diagnóstico clínico	163
REFERENCIAS	164

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

TABLAS



EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Tabla 1. Factores de ponderación de la radiación recomendada..	59
Tabla 2. Factores de protección de los tejidos recomendados	59
Tabla 3. Dispositivos eléctricos de radiación.....	77
Tabla 4. Unidades de medidas radiación ionizante	86
Tabla 5. Probabilidad de niños sanos en función de dosis de radiación.....	87
Tabla 6. Límites de dosis recomendados en situaciones de exposición planificadas	107
Tabla 7. Clasificación de zonas radiactivas y efectos	112
Tabla 8. Grados de ORN.....	142
Tabla 9. Tiempo comprendido entre el inicio y el final del tratamiento (tx) de radioterapia (RT) y la aparición de la ORN en pacientes del Hospital General de México	147
Tabla 10. Complicaciones orales de la oncoterapia	148

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

FIGURAS



EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

Figura 1. Campo eléctrico y campo magnético	25
Figura 2. Resonancia magnética	26
Figura 3. Campo electromagnético natural.....	27
Figura 4. Campo electromagnético artificial	27
Figura 5. Fuentes electromagnéticas.....	28
Figura 6. Cáncer y antenas	29
Figura 7. Radiaciones ionizantes y no ionizantes	31
Figura 8. Antenas, ondas y radiación por 5G	33
Figura 9. Radiación	35
Figura 10. Tormenta geomagnética	37
Figura 11. Radiación solar	38
Figura 12. Corona solar	39
Figura 13. Auroras boreales.....	41
Figura 14. Erupción solar	42
Figura 15. El sol.....	43
Figura 16. Magnetosfera terrestre y relación tierra-sol	45
Figura 17. Fuentes y espectros de radiación ionizante y no ionizante	48
Figura 18. Índice Kp.....	50
Figura 19. Ecografías	51
Figura 20. Contaminación electromagnética	55
Figura 21. Exposición en área de trabajo	64
Figura 22. Impacto de las radiaciones en la salud.....	65
Figura 23. Radiación electromagnética	66
Figura 24. Electromagnético	68
Figura 25. Niveles de radiación electromagnética	73
Figura 26. Campos electromagnéticos	75
Figura 27. Espectro electromagnético	76
Figura 28. Embriogénesis	80
Figura 29. Feto humano	82
Figura 30. Leucemia.....	92
Figura 31. Leucocito.....	93
Figura 32. Leucemia linfoblástica	94
Figura 33. Niño con leucemia	95

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Figura 34. ADN.....	98
Figura 35. Niño con leucemia II	99
Figura 36. Principio ALARA.....	103
Figura 37. Área controlada.....	104
Figura 38. Señalización de fuente de radiación.....	106
Figura 39. Intervención de cateterismo cardíaco	109
Figura 40. Cateterismo cardíaco.....	110
Figura 41. Delimitación de zonas radiactivas	112
Figura 42. Sistema endocrino	115
Figura 43. Hipotálamo	116
Figura 44. El Sistema inmunológico	117
Figura 45. Efectos de la radiación en sistemas biológicos.....	119
Figura 46. Radiación de teléfonos móviles	120
Figura 47. Nódulos tiroideos	123
Figura 48. Efectos biológicos de la radiación.....	127
Figura 49. Cromosoma.....	129
Figura 50. Esquema cariotipo con síndrome de Turner	130
Figura 51. ADN mutado.....	133
Figura 52. Estructura de la cromatina.....	134
Figura 53. Radiación dental	140
Figura 55. Osteoradionecrosis (ORN).....	142
Figura 56. Fisiopatología de la ORN	144
Figura 57. Tomografía computada del maxilar inferior, corte axial: se aprecia necrosis afectando el hueso medular y ambas corticales (asteriscos)	146
Figura 58. Sistema Nervioso Central.....	151
Figura 59. Human nervous system vector illustration	152
Figura 60. CT brain trauma comparison	154
Figura 61. Encefalopatía aguda.....	156
Figura 62. Vascularización	157
Figura 63. Accidente cerebrovascular	158
Figura 64. Radiólogo de laboratorio.....	159
Figura 65. Mielopatía.....	160
Figura 66. Meduloblastoma.....	161
Figura 67. Funcionamiento neuronal.....	162

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

PRÓLOGO



EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Dice la física cuántica que todo a nuestro alrededor es energía y así lo demuestra el clima espacial al cual estamos sometidos. Cualquier emisión eyectada de la corona del sistema solar puede generar vientos solares que impacten el campo magnético de la tierra y en consecuencia la vida del planeta.

No podría pensarse en un desarrollo científico alejado de esta relación. Cualquier cambio o actividad generada en ese espacio incide directamente en nuestras vidas. Así, altas temperaturas pueden producir efectos negativos en la salud de los seres humanos, inestabilidad en el funcionamiento normal de nuestras redes eléctricas, sistemas de comunicación etc.

El ser humano ha logrado a través del desarrollo de la ciencia y la técnica, importantes avances para mejorar la calidad de vida de la humanidad; siempre partiendo del principio de la sostenibilidad y la relación en “equilibrio” con el entorno. En este sentido, podemos afirmar que el mundo moderno y contemporáneo es un mundo más cómodo que hace dos siglos, científicamente hablando, en el entendido que los avances científicos y el desarrollo industrial permiten hoy diagnosticar de manera más certera y rápida cualquier situación inusual que pueda alterar la vida de los seres vivos.

En este marco la radiación electromagnética entendida como un hecho natural que forma parte de nuestra relación con el entorno material y cósmico del que somos parte, es un recurso valioso que contribuye con la salud de los pacientes y el desarrollo industrial siempre y cuando esté sometida a las regulaciones y recomendaciones de la comunidad científica.

Desde una mirada integral, éste texto contribuye sin duda alguna a reflexionar sobre este tema, no solo considerando la radiación como un hecho natural y científico, las bondades que puede permitir para la ciencia y la industria, sino también los efectos que puede generar so-

bre la salud, considerando la necesidad de la construcción cooperada de una nueva ciencia que contribuya con el desarrollo sostenible de los países. La corresponsabilidad de todos los actores es un elemento fundamental que se trata en este texto; no es suficiente con evaluar los nuevos hallazgos de las enfermedades generadas por la exposición a los campos electromagnéticos ionizantes y no ionizantes, sino también la labor sostenida y comprometida del sector industrial, así como las regulaciones pertinentes de los gobiernos regionales, donde se establezcan un equilibrio entre los intereses de orden económico y los intereses de la vida.

En la medida que avanzan las tecnologías, en la misma medida se generan nuevos impactos sobre la salud. Establecer las reglas y criterios tempranos, sobre cómo gestionar y reducir los impactos es tarea de la agenda del nuevo siglo.

Finalmente consideramos, que el criterio que debe prevalecer frente a los problemas es la vida del ser humano. El fin último es prolongar la vida de la manera más humanamente posible y ese es nuestra contribución con este libro.

La realización de este libro fue con el fin de contribuir con la ciencia y la educación para que el profesional de la salud tenga los conocimientos suficientes de los efectos de la radiación electromagnética en la salud humana y relacionarla con las múltiples patologías que hoy en día son desconocidas para llegar a un diagnóstico con mayor sensibilidad y especificidad. En un futuro muy cercano prevenir la radiación electromagnética en el mundo con mayor entusiasmo desde la etapa embrionaria hasta la vejez para lograr una atención médica de calidad.

Dr. Silvio Ortiz Dueñas

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

INTRODUCCIÓN



EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



La radiación electromagnética, está presente en nuestra vida sin darnos cuenta: en los conectores eléctricos, el teléfono celular, el sol, el agua que tomamos, existen campos magnéticos que son de origen natural y artificial necesarios para facilitar las actividades de la vida diaria.

Utilizamos radiación para curar enfermedades, hacer diagnósticos clínicos, comunicarnos, generar energía eléctrica, diagnosticar el clima espacial y su impacto en la tierra. En líneas generales podemos decir que la radiación genera beneficios para el ser humano. Sin embargo, cuando ésta proviene de fuentes radiactivas generadas por el desarrollo científico puede crear efectos irreparables adversos para la salud. En este sentido, en el presente texto queremos distinguir como un uso indiscriminado de estas fuentes naturales pueden provocar daños irreparables.

Todos los seres humanos estamos sometidos a fuentes ionizantes y no ionizantes de manera simultánea, y por tanto expuestos a los efectos adversos, distintas comunidades científicas en el mundo se han dedicado a estudiar los impactos. Entre otras podemos mencionar: la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), la Organización Mundial de la Salud (OMS) Organismo Internacional del Trabajo (OIT), el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA), Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Todos estos organismos han generado importantes documentos no vinculantes que nos dan una guía para minimizar las consecuencias.

En vista de las polémicas surgidas en la comunidad científica, en relación a los impactos sobre la salud, asumimos que no se puede hacer un uso indiscriminado de la radiación y que es importante considerar los tres principios que establece la CIRP los cuales son: Principio de

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



justificación, Principio de optimización (ALARA) y Principio de Aplicación de límites de dosis.

Siguiendo las recomendaciones de la ICRP compartimos el criterio de las exposiciones prolongadas como objeto de acciones protectoras, aquellas que se encuentran por debajo o cercanas a 100 mSv (milisievert) por año. Establecer una banda límite es una manera de regular las exposiciones por radiación. En este marco, y en un hilo conductor hemos desarrollado nuestra temática en diez capítulos partiendo de:

En el capítulo I: trabajamos la concepción básica de los campos magnéticos y la conformación de campos electromagnéticos, dónde surgen las fuentes de radiación y la distinción de las radiaciones ionizantes y no ionizantes, sus usos en la vida diaria y los fines médicos. Seguidamente en el capítulo II hacemos énfasis en las fuentes naturales de radiación tales como el sol y como su actividad puede afectar el campo magnético de la tierra y afectar la vida en el planeta, generando a su vez efectos sobre los organismos vivos, según investigaciones realizadas en el mundo.

Abordamos en el capítulo III la manera como el uso indebido de las fuentes de radiación puede dar lugar a la contaminación electromagnética, las fuentes de exposición y los protocolos de seguridad para detener los efectos sobre la salud; estas patologías se abordan de manera detallada a partir del capítulo IV: consecuencias de la radiación en la embriogénesis; cómo la radiación puede interrumpir la vida del feto o impedir un desarrollo sano.

En el capítulo V hablamos sobre los efectos de la radiación en la leucemia.

En el capítulo VI, tratamos de la radiación en la medicina ocupacional, las normas de seguridad y la delimitación de las áreas de trabajo.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



En el capítulo VII, desarrollamos el impacto de la radiación en el sistema endocrino e inmunitario.

En el capítulo VIII, conversamos sobre las alteraciones celulares producidas como consecuencia de la radiación.

En el capítulo XIX trabajamos el tema de la osteoradionecrosis como consecuencia de la radiación y finalmente en el capítulo X, las afectaciones en el sistema nervioso central luego de estar expuesto a una fuente RT.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

CAPÍTULO I LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA



Autor
Jessenia Paola Ochoa Bustamante

EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



La radiación electromagnética son ondas oscilantes perpendiculares acopladas entre sí y portadoras de energía, que viajan por el espacio a la velocidad de la luz y se propaga por la interacción de campos eléctricos y magnéticos procedentes de una fuente emisora. Su generación y propagación son compatibles con las Ecuaciones de Maxwell. Vivimos en un medio rodeado de campos electromagnéticos necesarios para el desarrollo industrial y la vida moderna de la humanidad. El funcionamiento de las redes de comunicación, teléfonos celulares, electrodomésticos y el diagnóstico de algunas lesiones o enfermedades etc., es posible gracias al desarrollo del electromagnetismo, sin embargo, el contacto permanente con estos campos de radiación de uso cotidiano, han generado en las últimas décadas impactos en la salud humana.

Antes de hablar de los efectos de la radiación electromagnética que-remos puntualizar dos conceptos: campos eléctricos y campos mag-néticos.

El campo eléctrico lo constituye un espacio donde interactúan cargas eléctricas o cuerpos cargados de una fuerza eléctrica, así lo demostró Michel Faraday, quien comprobó en su teoría de la inducción electro-magnética la relación entre el magnetismo y la electricidad. Posteriormente los aportes de James Maxwell permitieron describir la dinámica de estos campos a través de su teoría del campo electromagnético (1). No es posible medir la fuerza de un campo eléctrico, pero si la fuerza que interactúa sobre la carga (es decir su intensidad). La fórmula del campo eléctrico se expresa como:

$$F=qE$$

F, representa la fuerza eléctrica que incide sobre la carga, q es la carga eléctrica y E, la intensidad. Ambas (F, E) son magnitudes vectoriales dotadas de sentido y dirección.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Por su parte los campos magnéticos son la representación del modo en que las fuerzas magnéticas se distribuyen en un espacio alrededor de una fuente magnética. Esta puede ser un imán, una corriente eléctrica, una carga etc. Estos campos poseen dos polos (dipolares) polo positivo y polo negativo.

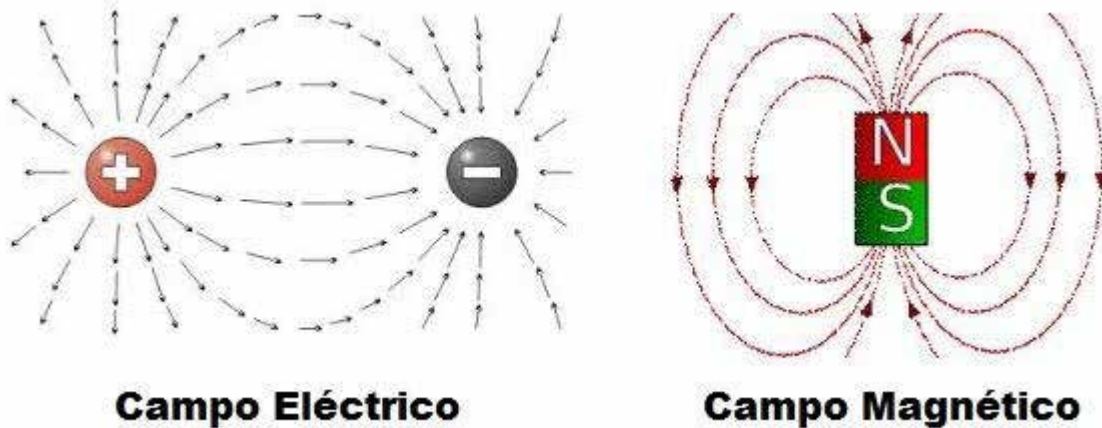
Los seres vivos están cargados de energía, nuestras células se comportan como un dipolo, debido a la “diferencia de potencial a través de la membrana celular, entre -10 y -100 mV”. De igual manera la tierra tiene un campo electromagnético, que se manifiesta a través de eventos naturales como: las auroras boreales, las tormentas geomagnéticas etc.

Esto evidencia que los seres vivos siempre han estado sometidos al impacto de ciertas cargas magnéticas que generan efectos sobre la vida. Los campos magnéticos que forman parte de la tierra e influyen sobre las corrientes eléctricas y los materiales magnéticos. Estos campos se encuentran con el viento solar, corrientes que provienen del sol y tienen como función evitar que impacten directamente en la tierra. Asimismo, existe en el centro de la tierra, un núcleo de hierro sólido, el cual por la fuerza de la gravedad no puede convertirse en líquido, sin embargo, alrededor de ese núcleo se encuentra una capa de unos 2000 km de espesor que es líquida, formada de hierro, níquel y otros metales, cuyo movimiento genera corrientes eléctricas que producen campos magnéticos (2).

Para que exista un campo magnético debe haber una fuente de energía magnética. En este sentido, una carga de energía de un cuerpo moviéndose en un espacio genera un campo magnético que ejercerá una fuerza sobre otra carga. De acuerdo a las Ley Ampère y la Ley Maxwell, campos magnéticos y campos eléctricos existen de manera conjunta en la naturaleza (1).



Figura 1. Campo eléctrico y campo magnético



Relación entre campo magnético y eléctrico [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://cursoparalaunam.com/relacion-entre-campo-magnetico-y-electrico>

La unidad de campos magnéticos con los campos eléctricos forma campos electromagnéticos.

El electromagnetismo tiene aplicaciones muy importantes en la vida diaria que permiten satisfacer necesidades y resolver problemas, en áreas como la electrónica, la salud, la aeronáutica, entre otras, se encuentra en nuestra vida sin darnos cuenta: en el microondas, los rayos x, el timbre, la telefonía celular etc.

Existen campos electromagnéticos de origen natural y otros generados por el desarrollo de la ciencia y la técnica. Por ejemplo, el campo magnético de la tierra, orienta las agujas de las brújulas y los vuelos de los pájaros; equipos médicos que emiten radiación ionizante permiten el diagnóstico de lesiones en la columna vertebral de los pacientes a través de la aplicación de resonancias magnéticas.



Figura 2. Resonancia magnética

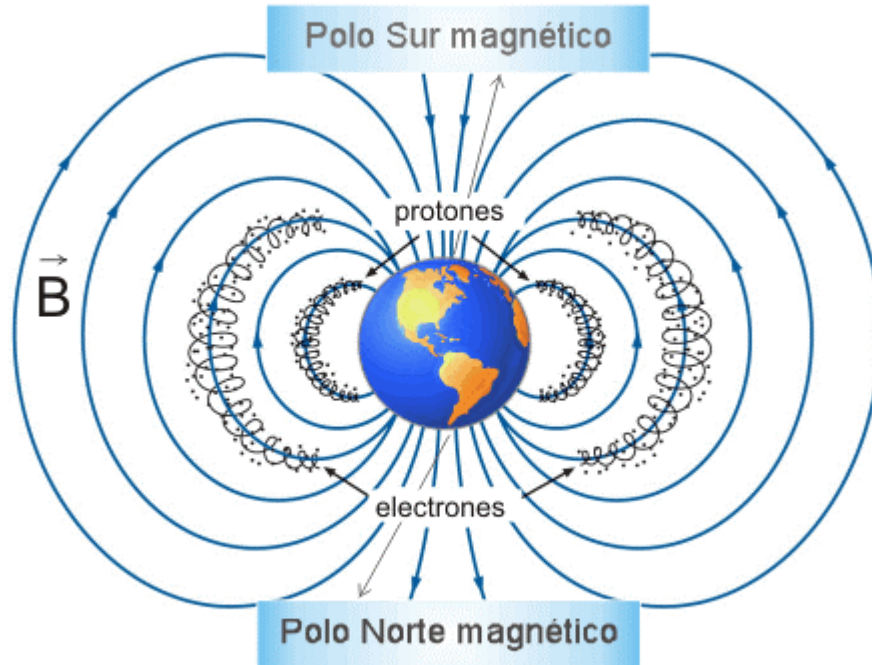


Tratamiento del cáncer [Internet]. 2020 [citado 25/02/2020]. Disponible en: <https://www.zwrotnikraka.pl/pielegnacja-skory-i-paznokci/>

No obstante, lo que caracteriza a un campo electromagnético (CEM) (Ver figura 2) es su frecuencia y longitud de onda. Las ondas electromagnéticas se desplazan a través del espacio a una velocidad; la frecuencia representa el número de oscilaciones por segundos y la longitud representa la distancia entre una onda y otra. En consecuencia, el efecto de los CEM sobre la salud depende de su frecuencia y longitud de onda (3).

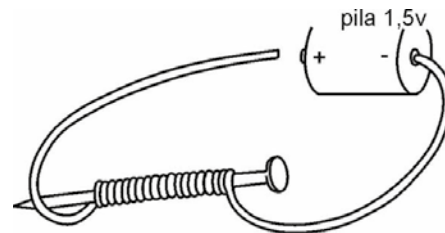


Figura 3. Campo electromagnético natural



Carbonell María Victoria, Flórez Mercedes, Martínez Elvira y Álvarez José. Aportaciones sobre el campo magnético: Historia e influencia en sistemas biológicos [Internet]. 2017 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://images.app.goo.gl/ZBAzJQQ6maroZHiMA>

Figura 4. Campo electromagnético artificial



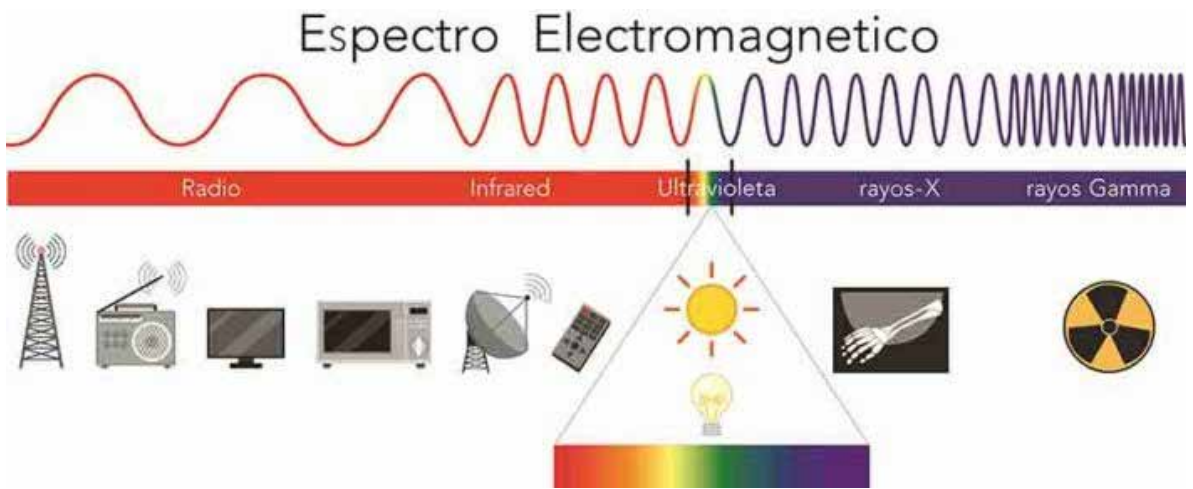
educacion.uncomo.com/. Cómo hacer un electroimán con un clavo [Internet]. 2017 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://educacion.uncomo.com/video/como-hacer-un-electroiman-con-un-clavo-20102.html>



1.1. Campos electromagnéticos ionizantes y no ionizantes

Todas las personas están expuestas a fuentes de radiación natural como el suelo, el agua, la vegetación y fuentes de radiación artificial como los rayos X utilizados para fines médicos. A medida que aumenta el uso industrial de las radiaciones, también aumentan los posibles riesgos de salud. En tal sentido, cuando se superan los límites permitidos por el propio cuerpo, se puede sufrir efectos severos como quemaduras, riesgos de padecer cáncer etc. (4).

Figura 5. Fuentes electromagnéticas



Contaminación electromagnética [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.carlessuria.com/contaminacion-electromagnetica/>

Sobre la base de la longitud y frecuencia de ondas de los CEM, se distinguen dos campos electromagnéticos de alta frecuencia y de baja frecuencia. Así podemos clasificar en radiaciones de baja frecuencia, aquellas que oscilan a una velocidad de 3kHz, utilizadas para fines médicos como resonancias magnéticas, electrodomésticos etc. ; los de frecuencia media, entre 3kHz a 30MHz, en las que se encuentra las computadoras personales, antenas de radiodifusión, entre otras y los de alta frecuencia que comprenden de 30kHz a 300kHz, este grupo

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

incluye los teléfonos celulares, hornos microondas, antenas de televisión, radares, etc., de acuerdo a esta clasificación, los CEM los podemos diferenciar como radiaciones de baja frecuencia, media, alta, muy alta frecuencia (30-300MHz) y ultra alta frecuencia (0,3-3 GHz-3-30GHz) (5).

Figura 6. Cáncer y antenas



Adobe stock. Telecommunication tower [Internet]. 2017 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/telecommunication-tower-communication-tower-with-wi-fi-wave-in-c/93413502>

Según el impacto que tiene el desarrollo industrial generado por el electromagnetismo sobre la salud humana, las radiaciones se clasifican de acuerdo a la longitud y el número de ondas emitidas por segundo en: ionizantes y no ionizantes.

Las radiaciones ionizantes es un tipo de energía liberada por átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma o rayos x) tienen

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



una frecuencia muy alta, cuya energía puede generar alteraciones celulares, puesto que su velocidad es capaz de romper los enlaces químicos. Estas radiaciones son capaces de ionizar la materia, es decir, sacar electrones de los átomos y en consecuencia producir daños en los tejidos. Un ejemplo de ellas pueden ser los rayos ultravioletas de mayor energía, los rayos X y los rayos gamma.

Este tipo de radiación puede provocar efectos químicos, físicos y nucleares.

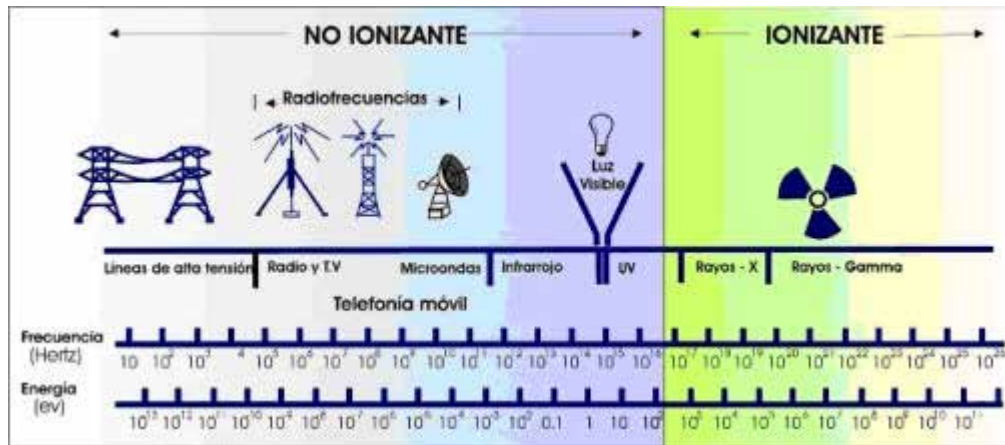
Así por ejemplo los efectos nucleares, cuando los rayos alfa y los rayos gamma están a $>20\text{MeV}$, pueden producir, transmutaciones nucleares. En el caso de los efectos químicos, podrían causar radiolisis, acelerar las reacciones químicas, formar radicales libre reactivos etc.

La exposición a radiación puede ser interna y externa. La exposición interna se produce cuando un radionucleido entra en el torrente sanguíneo (por vía de heridas) y la exposición externa ocurre cuando se entra en contacto con material radiactivo presente en el aire, la vía de contaminación puede ser a través de la ropa, la piel y en algunos casos puede eliminarse por el lavado.

La exposición también puede ocurrir cuando la persona entra en contacto con un campo de irradiación, por ejemplo, al someterse a exámenes de rayos x; esta se detiene cuando la persona sale del área irradiada. Todas las personas pueden estar expuestas a radiación en muchos lugares: la casa, lugares públicos, espacios de trabajo, hospitales (4).

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

Figura 7. Radiaciones ionizantes y no ionizantes



Ramanujan. Radiaciones que pueden ser letales. Radiaciones ionizantes [Internet]. 2014 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <http://ramanujan25449.blogspot.com/2014/02/radiaciones-que-pueden-ser-letales.html>

Las radiaciones no ionizantes se caracterizan por poseer una carga energética baja, insuficiente para generar alteraciones celulares, sin embargo, puede producir efectos biológicos que pueden ser nocivos para la salud.

Las radiaciones no ionizantes pueden producir efectos biológicos en las personas dependiendo de la frecuencia de la emisión y la cantidad de energía absorbida por el organismo. Podemos resumir varios tipos:

- Radiaciones ultravioletas: se encuentran fundamentalmente en el sector sanitario, se utilizan para esterilizar herramientas quirúrgicas, pero también lo podemos encontrar en la industria (equipos de soldadura), esta radiación puede producir daños en la piel, quemaduras, etc.
- De tipo visible: se encuentra en maquinaria, capaces de concentrar la energía en una zona limitada. Afecta los ojos, entre otros riesgos laborales.
- Radiofrecuencias y microondas: presentes en el ámbito médico,

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



su efecto puede producir lesiones en la piel.

- Los campos de frecuencia de estas radiaciones son campos de 0-300 GHz: las radiaciones de baja frecuencia (0 Hz a 30 KHz)
- Las radiofrecuencias, (30 KHz-300 MHz)
- Microondas (300 MHz a 300 GHz)
- Radiaciones ópticas que van de 300 GHz a 1660 THz: infrarrojos (300 GHz a 400 THz) visibles (400 THz A 750 THz). Ultravioletas (750 THz a 16660 THz).

Las radiaciones no ionizantes pueden producir efectos térmicos, no térmicos y atérmicos.

No obstante, la proliferación de muchas fuentes de radiación electromagnéticas ha traído consecuencias sobre la salud.

Las respuestas que pueden tener los sistemas bioquímicos ante el efecto de un campo magnético depende de las características del campo. En este sentido, la interacción del campo electromagnético y los organismos vivos ocurre en las células, así por ejemplo las radiaciones no ionizantes pueden afectar procesos bioquímicos como: producción hormonal, alteraciones en el ADN, sistema inmunitario, condicionamiento de la aparición de cáncer, entre otros.

Las ondas milimétricas son longitud de onda corta de 1 a 10 mm y bandas de alta frecuencia de 30 GHz y 300 GHz. Podrían clasificarse como posibles carcinógenos para la salud y actualmente se están realizando investigaciones científicas.



Figura 8. Antenas, ondas y radiación por 5G



Adobe stock. 5G [Internet]. 2018 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/5g-tower-health-risk-danger-template-concept/344346669>

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

CAPÍTULO II TORMENTAS GEOMAGNÉTICAS: NUEVO FACTOR DE RIESGO AMBIENTAL



Autor
Silvio Eleuterio Ortiz Dueñas

EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

El sol es una estrella más en el espacio que irradia energía imprescindible para la vida en el planeta, en forma de emisiones en todo el espectro electromagnético y se propagan por toda la galaxia a través del viento solar que intercepta la tierra y puede producir una tormenta geomagnética.

A la Tierra lo que llega del Sol, no es una onda de calor sino un intenso bombardeo de radiación y partículas subatómicas de tipo fermiónico, sin carga y espín $\frac{1}{2}$, llamadas neutrinos que contienen gran energía.

Figura 9. Radiación UV



Adobe stock. UV radiation [Internet]. 2017 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/uv-radiation-diagram-vector-realistic-illustration/214771024>

De acuerdo a las investigaciones científicas, se ha demostrado que el planeta tiene un campo geomagnético y el sol un centro electromagnético; éste último, puede producir efectos sobre la salud y sobre la vida del ser humano. En este sentido, en los últimos años ha cobrado mayor fuerza la relación entre las tormentas geomagnéticas y las enfermedades cardiovasculares, así estudios en el mundo refieren que las tormentas geomagnéticas son causantes de afecciones cardiovasculares, alteraciones psicológicas, entre otras (6).

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



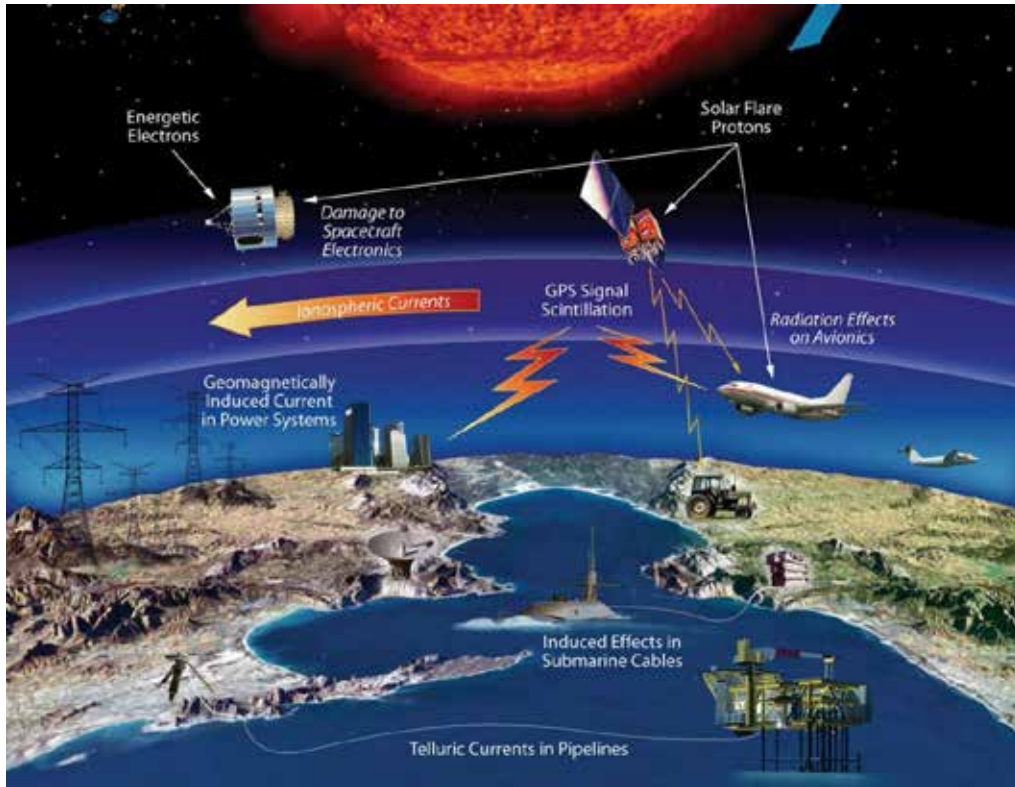
En este sentido, podemos mencionar el estudio de Babayev et al (6) realizado en el año 2007 en Baku, Azerbaijan, donde mujeres con alteraciones cerebrales, fueron sometidas a estudios para determinar su relación con las tormentas geomagnéticas y se determinó que sus actividades habían sido alteradas como consecuencia de las perturbaciones geomagnéticas.

Por otro lado, el estudio realizado por Sierra Figueredo en Cuba, también nos da cuenta de ello; éste demuestra un incremento de las muertes producidas por infarto agudo de miocardio relacionadas con las tormentas solares y geomagnéticas durante un período de 10 años (2001-2010) en la provincia Guantánamo (Cuba). Fueron analizados la frecuencia de fallecidos por infarto alrededor de los días activos con alta actividad geomagnética y los resultados fueron una elevada correspondencia entre los períodos perturbados y el incremento en la frecuencia de infarto agudo de miocardio. La distribución del número de infartos indica que el tiempo de acción de la perturbación del medio cósmico sobre el sistema cardiovascular es del orden de 3 días, con un día de retraso. (6).

Estas evidencias, nos permiten concluir que efectivamente existe una relación entre estas tormentas y algunas afecciones de la salud.



Figura 10. Tormenta geomagnética



Barrado David. El poder disruptivo de las tormentas solares y su impacto económico [Internet]. 2017 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/investigacion/el-poder-disruptivo-de-las-tormentas-solares-y-su-impacto-economico/>

2.1. El sol

Se le conoce como el astro rey y es el planeta de mayor magnitud y más cercano a la tierra. Ejerce una fuerte atracción gravitacional en el espacio, por tanto, los hace girar a su alrededor.

El sol está compuesto de un núcleo, una zona radiactiva, zona convectiva, fotosfera y la cromosfera. En él se encuentran los mismos minerales que hay en la tierra y el resto de los planetas, tales como: hidrógeno, helio, oxígeno, carbono, neón y hierro.



Figura 11. La radiación solar



Adobe stock. [Internet]. 2019 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/%E9%9D%92%E7%A9%BA%E3%81%A8%E5%A4%AA%E9%99%BD%E3%81%A8%E7%99%BD%E3%81%84%E9%9B%B2/400293973>

El sol produce una energía, generada por el incremento de su temperatura que provoca reacciones nucleares, libera protones, que se funden para formar partículas de helio que luego son expulsadas en forma de energía.

El sol produce su propia energía y su actividad se refleja a través de manchas solares, llamaradas o el viento solar.

La llamarada Solar es una rápida liberación de energía de una región específica en el Sol en la forma de radiación electromagnética, partículas energéticas y movimientos de masa.



Figura 12. Corona solar



Adobe stock. Sun with corona. [Internet]. 2019 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/sun-with-corona-solar-storm-solar-flares/103699633>

Las manchas solares son regiones del Sol en las que se emite aproximadamente la mitad de la energía que, en el resto de la superficie solar, por tal razón una forma de cuantificar la actividad del Sol en un instante determinado, se puede hacer contabilizando el número de manchas solares. Un aumento en el número de manchas solares puede producir la ionización de la ionosfera.

Las manchas de un hemisferio solar determinado (Norte o Sur) tendrán la misma polaridad en el transcurso de un ciclo solar de 11 años. El Sol invierte su polaridad de acuerdo al hemisferio solar opuesto como si el polo norte y el sur de la Tierra intercambiaran lugares y durante este tiempo su actividad se acelera. Cuando la actividad es baja, se conoce

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



como mínimo solar, y cuando es alta se conoce como máximo solar. A medida que el sol se acerca al máximo solar y su ciclo de actividad se acelera, su superficie se cubre de manchas, efímeras marcas oscuras creadas por esa fuerte actividad magnética.

La radiación ionizante procedente del Sol en este caso los rayos UV (longitud de onda entre 20-300 angstroms) y los rayos X (longitud de onda entre 8 y 20 angstroms) pueden producir reacción de las moléculas de oxígeno e hidrógeno presentes en la ionosfera, provocando que entren en oscilación y que cada molécula de oxígeno o hidrógeno desprendan electrones. Cuando aumenta el contenido total de electrones (TEC) esto indica fenómenos de ionización de distinto origen: fotoionización, absorción. Las anomalías de radiación de ondas largas salientes pueden volverse negativas en cualquier territorio del mundo por el aumento de densidad de electrones en capa F2 de la ionosfera. Se puede intensificar la actividad convectiva por el movimiento ascendente del aire por efecto del calentamiento en la superficie terrestre y esto provocaría humedad en el ambiente y una masa inestable de aire caliente que los seres humanos pueden ser afectados en la salud.

AUTOR

2.1.1 El viento solar

Es el flujo de partículas ionizadas emitido por el sol, formando un plasma que extiende el campo geomagnético terrestre; algunas veces, esas partículas quedan atrapadas en el campo magnético de la tierra formando así las auroras boreales. (*O.B.*, 2017, p.9).



Figura 13. Auroras Boreales



National geographic. Auroras boreales [Internet]. 2020 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com.es/temas/auroras-boreales/fotos>

Las erupciones solares producen el viento solar **que** están compuesto de partículas con carga eléctrica y estas tormentas solares cuando son muy intensas pueden impactar en la ionosfera y afectar el funcionamiento de los satélites espaciales, la red de telecomunicación, redes eléctricas en la tierra entre otros efectos.

Cuando el Sol origina una llamarada solar o por efecto de onda de choque asociada a una eyección de masa coronal hay eventos de protones solares que alcanzan altos niveles energéticos y esto al impactar a la Tierra puede causar tormentas de radiación solar.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Estas tormentas se originan en un periodo que oscila entre 15 minutos y varias horas tras una erupción solar y pueden tener una duración comprendida entre horas y días, con posibles riesgos biológicos.

Figura 14. Erupción solar



Centro de Recursos de radio HF. Meteorología espacial actual [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <http://www.ipellejero.es/hf/>

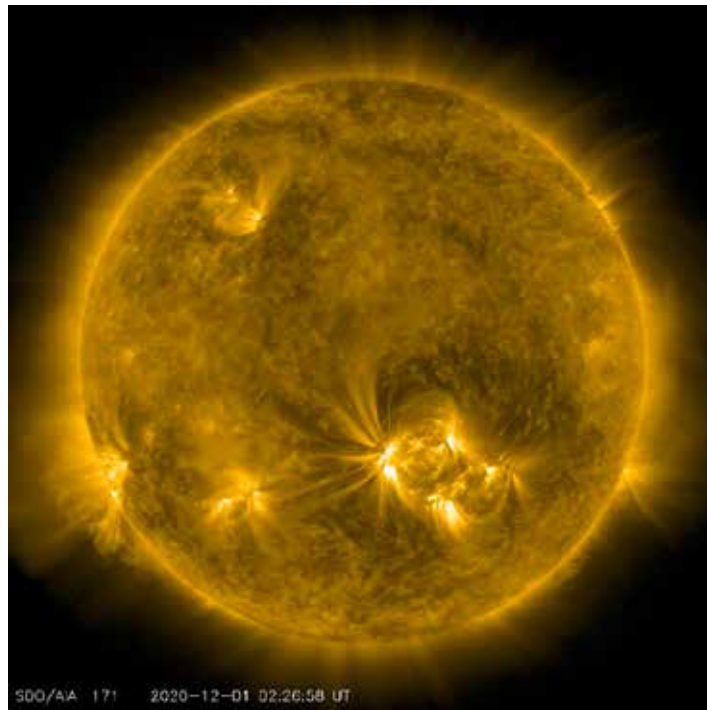
Las tormentas geomagnéticas se producen tras una erupción solar o una eyección de masa coronal y este flujo solar alcanza la Tierra entre uno y cuatro días saturando la ionosfera provocando modificaciones en la magnetosfera. Son más frecuentes en periodos de elevada actividad solar, sobre todo tras eventos de eyecciones de masa coronal.

El campo magnético terrestre sufre perturbaciones como consecuencia de la interacción con el campo magnético interplanetario. Estas perturbaciones se miden con magnetómetros instalados en distintos puntos de la Tierra, dando lugar a los llamados índices K. La combinación de los índices K medidos por distintos magnetómetros cada 3 horas da lugar al índice planetario Kp.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

Kp	NOAA	Estado
Kp = 0	Sin tormenta	Campo geomagnético inactivo
Kp = 1	Sin tormenta	Campo geomagnético muy tranquilo
Kp = 2	Sin tormenta	Campo geomagnético tranquilo
Kp = 3	Sin tormenta	Campo geomagnético intranquilo
Kp = 4	Sin tormenta	Campo geomagnético activo
Kp = 5	G1	Tormenta geomagnética menor
Kp = 6	G2	Tormenta geomagnética mayor
Kp = 7	G3	Tormenta geomagnética severa
Kp = 8	G4	Tormenta geomagnética muy severa
Kp = 9	G5	Tormenta geomagnética extremadamente severa

Figura 15. El sol



Spaceweatherlive. Solar Dynamics Observatory (SDO) [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/solar-images/sdo.html>

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Aunque el campo magnético de la tierra funcione como un escudo de esta actividad, constantemente sufre el impacto de los vientos solares. Sin embargo, durante una tormenta, el campo magnético de la tierra puede resistir efectos extremos, puesto que la atmosfera sirve de blindaje de las partículas cargadas de la radiación.

Cabe destacar que una tormenta geomagnética, es una actividad normal que se produce cuando el viento solar y su aura magnética entran en relación con el campo magnético de la tierra. Este hecho se registra de manera permanente en zonas como el hemisferio norte, a través de la formación de auroras boreales, al norte de Noruega, Suecia y Finlandia. Según la Agencia estadounidense NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) un ciclo solar tarda once años y durante el mismo se pueden producir entre cien y doscientas tormentas suaves o fuertes, lo que significa que es un hecho normal. La alerta de mayor magnitud se produjo en septiembre de 1859 cuando una intensa tormenta solar geomagnética conocida como Evento Carrington impactó sobre la tierra (6).

Posteriormente en el año 1989 se produjo en Quebec un apagón de nueve horas que causó cortocircuitos y explosiones en la red eléctrica de la provincia, y en el 2012, se produjo un evento parecido sin embargo la órbita de la tierra impidió que este impactara sobre ella (7).

Las tormentas geomagnéticas se originan por el aumento en la densidad de plasma y el aumento del viento solar producido por una eyección de masa orientada a la tierra.

Nos plantea Hernández (6) que tanto el espacio como el mundo en general son magnéticos, por lo tanto, todos los cuerpos lo son, incluyendo el cuerpo humano. Los cuerpos humanos son un imán que ha acompañado por siglos la evolución de la humanidad.

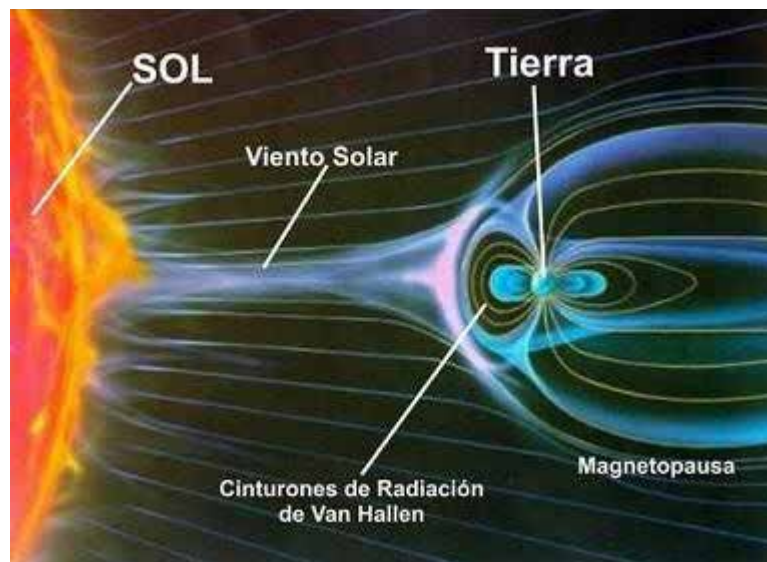
En este sentido, los seres humanos nos constituimos en “seres bioquí-

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

micos” pero también en “naturaleza bioelectromagnética”, las células se comportan como un dipolo y la tierra está rodeada de un campo electromagnético en consecuencia, todos los seres vivos han estado sometidos durante siglos a campos electromagnéticos (6).

No obstante, si las tormentas electromagnéticas afectan las redes de comunicación, la electricidad y toda la vida en el planeta, como no pensar en que afectará no al ser humano.

Figura 16. Magnetosfera terrestre y relación tierra-sol



Atwell Bianca. Tormentas geomagnéticas. ¿Qué son? [Internet]. 2011 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <http://mariaarboleda-lacuartamorada.blogspot.com/2011/02/tormentas-geomagneticas-que-son.html>

En muchos artículos científicos se detallan que personas expuestas a la radiación electromagnética ionizante (rayos UV y los rayos X) se producen una versatilidad de síntomas que aparecen de acuerdo a la exposición prolongada. Por tal razón las tormentas geomagnéticas severas por efecto de la radiación ionizante pueden alterar al sistema psiconeuroinmunoendocrino produciendo una desincronización interna llevando a la inestabilidad orgánica funcional. En el sistema endocrino

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



como la glándula pineal es principalmente afectada repercutiendo al reloj biológico central. Al afectarse las señales eferentes que llegan al hipotálamo se altera la producción rítmica de hormonas hipotalámicas que regulan la producción y secreción de las hormonas de la hipófisis produciendo una alteración endocrina general. La hormona melatonina es afectada en su producción el cual alteraría al ritmo circadiano de las hormonas hipotalámicas e hipofisarias. Pueden producirse estados de estrés acompañados de aumento de cortisol, infertilidad por alteración de las hormonas reproductoras, así como trastornos tiroideos y metabólicos por el acúmulo de radicales libres que generan daño y muerte celular, que activa al sistema inmunitario, dando lugar a un proceso inflamatorio reduciendo la capacidad de defensa del organismo, aumentando la susceptibilidad a todas las patologías.

Puede afectarse el proceso de cronodisrupción o disfunción circadiana que tiene lugar cuando la señal que sincroniza todos nuestros ritmos biológicos, es decir, la melatonina, desaparece, lo que hace que la relación temporal entre dichas fases se altera, promoviendo la enfermedad.

Las tormentas geomagnéticas afectan la actividad bioeléctrica del cerebro y por tal razón estos impulsos eléctricos que transmiten señales en el cerebro entre las neuronas se alteran y afectara a los sentidos como la audición y lo óptico. En tormentas geomagnéticas de intensidad alta, el tiempo de reacción se alarga es decir que el retardo del tiempo de reacción ante estímulos sonoros o visuales puede provocar aumentos de accidentes de tránsito.

Nos dice Hernández (6) que el bioelectromagnetismo es una ciencia moderna que tiene por objeto el estudio de campos electromagnéticos de baja frecuencia, generados por los seres vivos y su relación con otros campos magnéticos naturales o artificiales.

De acuerdo al planteamiento de Hernández (6), en el organismo exis-

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

ten dos sistemas de comunicación: el sistema químico y el sistema eléctrico. En el primer sistema, (constituido por el sistema endocrino, nos referimos a las hormonas y los procesos metabólicos) y el sistema eléctrico (comprendido por el sistema nervioso y toda su red de distribución a través de las células) ambos controlados por la glándula pineal, trabajan de manera armónica en los ritmos y ciclos del cuerpo. En este orden, las investigaciones científicas, han demostrado que la actividad solar tiene una incidencia en la salud humana, por tanto, se ha encontrado que existe una relación entre ciertas enfermedades y las tormentas electromagnéticas, estamos hablando concretamente de enfermedades cardiovasculares trastornos psiquiátricos, cambios en la presión arterial, migrañas entre otras.

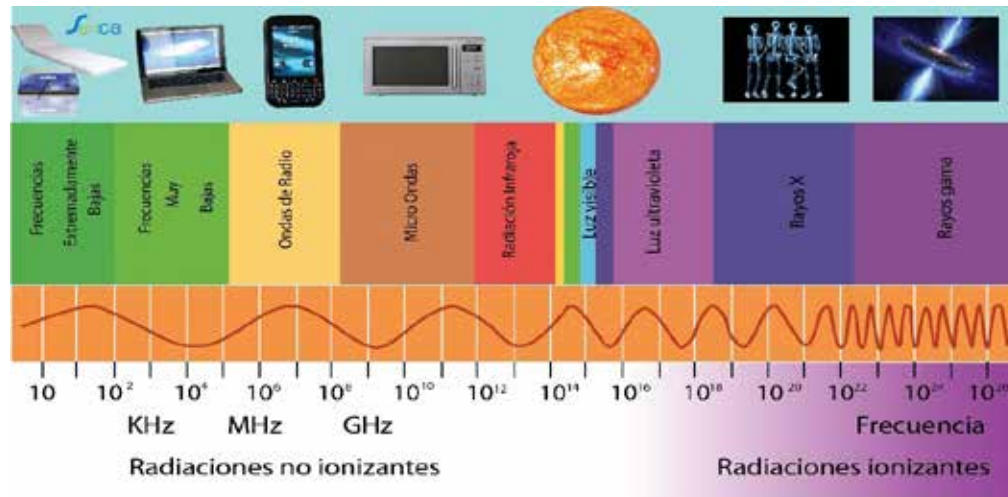
Según la OMS (6) quince millones de personas padecen de Ictus (infarto cerebral) es la tercera causa de muerte en el mundo occidental y afecta fundamentalmente a personas entre 20 y 64 años de edad; afecta a jóvenes, quienes luego de padecerla en algunos casos, sufren de una discapacidad permanente.

Por otro lado, entre el año 2003 y el año 2011 en Nicaragua, se analizaron los datos de pacientes por morbilidad a causa de enfermedades circulatorias un total 75632; el cual evidenció que los efectos de la actividad geomagnética a ciertos niveles de actividad solar, tiene una perturbación de la salud de pacientes, en su mayoría mujeres, procediendo fundamentalmente de zonas urbanas, donde existen grandes espectros de radiación de campos electromagnéticos tales como antenas, celulares, señales de radio y televisión, radares etc.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Figura 17. Fuentes y espectros de radiación ionizante y no ionizante



Resnick Et/AL. Ubicación de los Campos Electromagnéticos Pulsados de Frecuencias Extremadamente Bajas en el Espectro Electromagnético [Internet]. 2002 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.mimagnetoterapia.com/espectro-electromagnetico>

Este estudio nos muestra como durante la actividad solar alta registrada en la misma ciudad, se evidenció un aumento de enfermedades isquémicas con un 54,4% de pacientes que ingresaron a centros hospitalarios por esta causa.

Es importante resaltar, que el hecho de que la actividad solar sea una actividad natural y transitoria, no merece menor importancia para su estudio; cada día el desarrollo de la industria requiere de la generación de nuevos campos electromagnéticos, que impactan el clima geomagnético y en consecuencia la vida del ser humano.

El espacio geomagnético es un factor a considerar para el equilibrio de la vida en el planeta; comprender que somos parte de ese universo con el que compartimos la misma energía, puede constituir un factor modular para la salud humana y el ecosistema en general.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

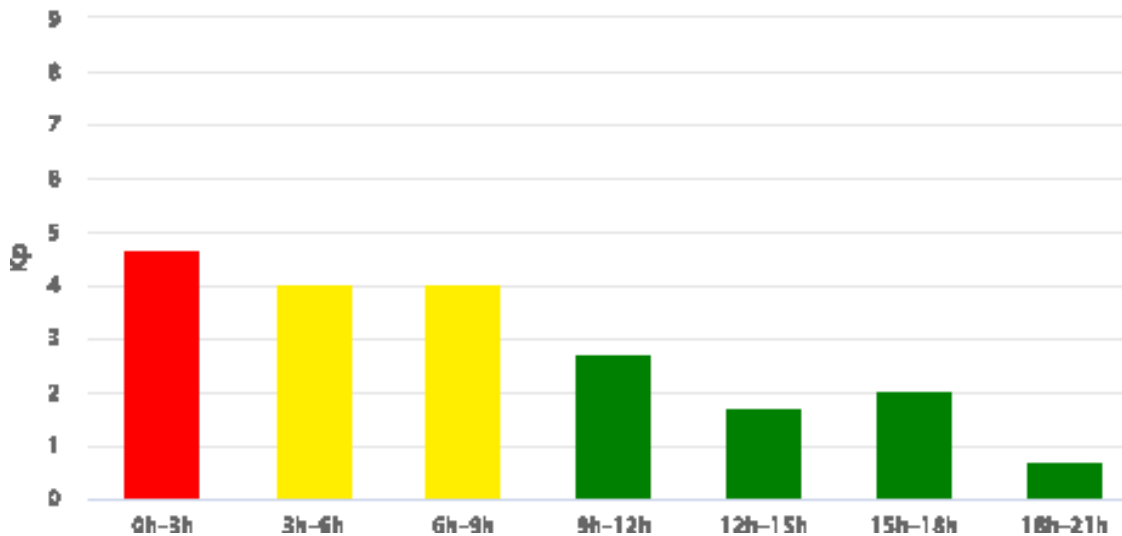


En la actualidad se está realizando un modelo físico capaz de anticipar las grandes fulguraciones solares Llamado kappa-scheme y creado por investigadores de la Universidad de Nagoya (Japón), esto identifica umbrales críticos de inestabilidad en la superficie solar. De tal manera predice cuando una gran erupción solar en la superficie es inminente y también identificar el lugar donde ocurrirá y cuánta energía puede liberar. Este sistema es basado en la magnetohidrodinámica, disciplina que estudia la dinámica de fluidos conductores y su relación con campos eléctricos y magnéticos. Esto ayudaría a la raza humana para predecir qué días pueden ocurrir estos fenómenos astrales, para estar prevenidos antes tormentas geomagnéticas severas.

En la Ciudad de Guayaquil, el Dr. Silvio Ortiz especialista en Ginecología y Obstetricia, realizaba controles embrionarios y fetal por ultrasonografía, por casualidad el día 18 de marzo del 2019 pudo evidenciar a 5 pacientes con aborto retenido que le llamo mucho la atención que el embrión - feto de 8 a 10 semanas de gestación estaban íntegros, no había maceración, hematomas o desprendimientos placentario, sin ninguna causa como justificar el aborto. Cabe recalcar que en los días (16 y 17 de marzo del 2019) hubo tormenta geomagnética G1 con índice Kp 5.



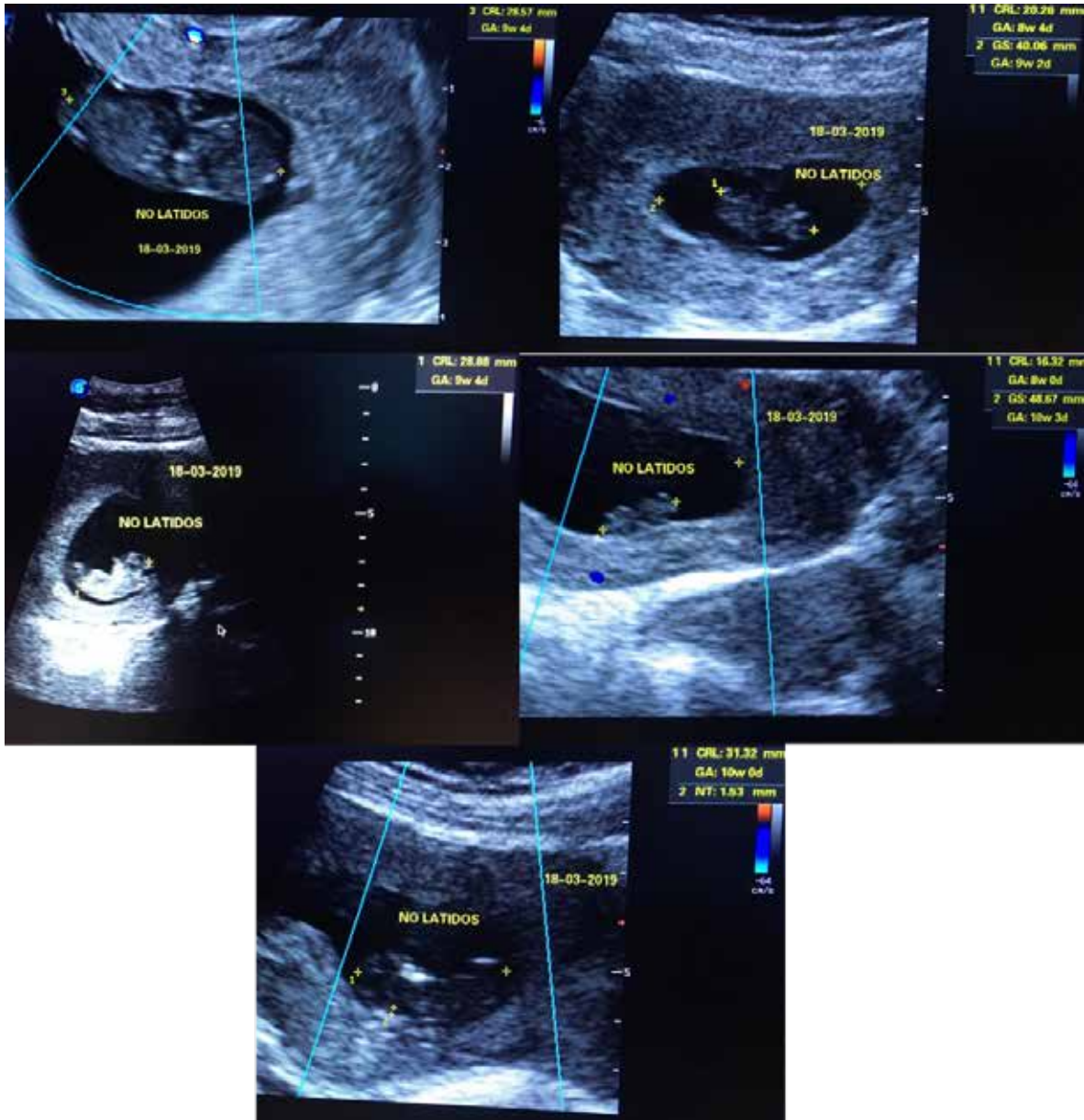
Figura 18. Índice Kp



spaceweatherlive.com. Índice Kp oficial GFZ Potsdam [Internet]. 2019 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://www.spaceweatherlive.com/es/archivo/2019/03/17/kp.html>

Hay algunas probabilidades que se pueda evidenciar este riesgo en la gestación después de 24 horas que se produzca la tormenta geomagnética tomando cuenta el punto de impacto de la radiación solar en el planeta. Esta energía que llega del sol provocaría una alteración en la secreción de la neurohormona protectora melatonina y esto induciría a un desbalance bioeléctrico entre las células y desbalance bioquímico en la producción de moléculas inestables como los radicales libres que se acumulan en las células produciendo daño en el ADN, lípidos y proteínas. Este desbalance en el organismo descompensaría al embrión-feto llevándolo a una acidosis. Sería importante realizar estudios científicos sobre la repercusión embrionaria - fetal por la radiación ionizante procedentes del sol para que se amplíen las investigaciones científicas para que en un futuro no muy lejano se puedan prevenir enfermedades que en la actualidad la ciencia desconoce sus orígenes.

Figura 19. Ecografías



Fuente: Elaboración propia



Recomendaciones del autor a los profesionales

1. fortalecer el registro en los hospitales de la morbilidad de enfermedades circulatorias con los eventos espaciales a partir de la actividad solar mediante el índice Kp.
2. Promover estudios de enfermedades en general en niños y adultos que estén relacionadas al mismo día que acontece la actividad geomagnética.
3. Promover estudios de enfermedades en el embarazo y que estén relacionadas al mismo día que acontece la actividad geomagnética.
4. Concientizar a los profesionales de la medicina sobre los efectos de la radiación ionizante solar en la salud humana.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

CAPÍTULO III CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA



Autor
Eloy José Mite Vernaza

EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Hablamos en el capítulo anterior de la actividad geomagnética como una actividad normal en el ciclo del sol que impacta (algunas veces) la vida en el planeta; existen así fuentes de magnetismo de origen natural, así como fuentes artificiales producidas por el desarrollo industrial. Si se somete al sistema biológico a cierta frecuencia radiactiva y durante un tiempo determinado esta puede producir efectos sobre la salud humana. En este sentido, la contaminación electromagnética se puede definir como aquella generada por la mano del hombre, que resulta de la interacción con equipos eléctricos caseros o industriales de alta o baja frecuencia. Tales como: electrodomésticos, líneas de telecomunicaciones, sistema y tendido eléctrico, etc.

La OMS define la salud como un estado de bienestar, físico, mental y social. (OMS, citado por Torres y Hildebrando, 2006, p. 46), así, cuando un cuerpo interactúa con un CEM se expone a la energía que pasa por todos sus tejidos la cual genera un efecto que no necesariamente debe ser nocivo; cuando este último produce una lesión, es decir supera la capacidad del cuerpo de soportar esa frecuencia de ondas y su capacidad de compensación, se produce lo que conocemos como contaminación electromagnética.

Como todos los cuerpos son energía, al interactuar con esta carga, se producen cambios en sus células que generan efectos.



Figura 20. Contaminación electromagnética



Contaminación electromagnética y sus efectos sobre nuestra salud [Internet]. 2016 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <http://dieteticamaite.es/blog/contaminacion-electromagnetica-y-sus-efectos-sobre-nuestra-salud>

Aunque inicialmente el desarrollo industrial supuso un cierto avance para la humanidad, pronto los efectos de las fuentes de radiación sobre la salud se hicieron sentir. En este sentido, se hizo necesario establecer una norma de protección biológica para reducir el impacto en los seres vivos.

Así, a lo largo del siglo XX se conformaron distintas organizaciones de comunidades científicas con el propósito de vigilar e investigar los efectos de las radiaciones y generar recomendaciones para reducir el impacto de las radiaciones y contribuir con la seguridad radiológica. En este sentido, el año 1928 se fundó la “Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) la cual presta asesoramiento y hace re-

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



comendaciones contra las fuentes de exposición. Ese organismo, junto a otras organizaciones, sirve de apoyo científico para los gobiernos y autoridades internacionales para establecer normas internas de seguridad radiológica.

La Comisión es una sociedad internacional sin fines de lucro que trabaja de manera hermanada con otros organismos como la Comisión Internacional de Unidades Radiológicas y Mediciones (ICRU) y tiene relación con el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), la Organización Mundial de la Salud (OMS) Organismo Internacional del Trabajo (OIT), el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA), Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), por otro lado la comisión también considera los estudios promovidos por las comunidades científicas nacionales (8).

Esta comisión basa sus orientaciones en tres principios:

1. Principio de Justificación: toda práctica de radiación ionizante debe tener un beneficio para la sociedad.
2. Principio de optimización de la protección (ALARA): cualquier exposición de las personas y la magnitud de las dosis debe ser tan baja como sea razonablemente alcanzable; ALARA siglas en ingles que significan "As low Reasonably Achievable", considerando factores de índole social y económico.
3. Principio de Aplicación de límites de dosis: las dosis a los cuales se exponen las personas, no deben superar los límites establecidos por la comisión. (ICRP, 2007, p.13).

Las últimas recomendaciones de la ICRP fueron aprobadas en el año 2007, las cuales proporcionan orientación en relación a la protección radiológica para minimizar los efectos de las fuentes internas y externas de radiación no ionizante. Aunque las recomendaciones no son vinculantes en la legislación internacional, esta comisión pretende dar



luces para un consenso de protección radiológica mundial y su aplicación.

De acuerdo a Torres y Hildebrando (9) uno de las variables que se debe tomar en cuenta, al momento de evaluar los efectos de las CEM sobre los cuerpos es la dosis. Se entiende por dosis la cantidad de un producto que se recibe durante un tiempo determinado. Según este planteamiento no se sabe con certeza qué aspecto del CEM al que se está sometido es el que produce una lesión, sin embargo, en el campo de la biología, las RAI (radiaciones no ionizantes) están definidas según la cantidad de energía y la tasa según la potencia. De manera que la tasa de absorción de un cuerpo, la TAE (tasa de absorción de energía) no es más que la cantidad de energía con la que ha interactuado el organismo vivo y se expresa en W/Kg, por lo tanto, es la dosis una de las variables para reflexionar en los estudios científicos.

3.1 Sistema de protección

Son muy diversas las situaciones de exposición a la radiación y la necesidad de lograr un criterio hermanado de acciones recomendadas en dichas situaciones. Hay exposiciones que son planificadas y otros productos de accidentes, en ese sentido, el sistema de protección propuesto se basa en: modelos anatómicos y fisiológicos del ser humano, estudios a nivel celular y molecular, estudios experimentales con animales y estudios epidemiológicos.

Estos estudios han permitido establecer datos estándar sobre las dosis comprometidas de “diferentes radionucleidos” para las exposiciones internas y la unidad de “kerma” para las dosis externas de trabajadores, pacientes y público en general.

Dada las diferencias entre las comunidades científicas y la incertidumbre que presentan algunos valores de los factores de ponderación, la comisión considera pertinente para los propósitos de protección, establecer “factores de ponderación de los tejidos y estimaciones numéricas del riesgo” según edad y género.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Las estimaciones de riesgo consideradas por la comisión se denominan nominales, ya que se encuentran en relación con una población nominal de hombres y mujeres con una edad promedio. En este orden, se considera las exposiciones prolongadas como objeto de acciones protectoras, aquellas que se encuentran por debajo o cercanas a 100 mSv por año.

Por tal razón la comisión cree que: el aumento de las incidencias de efectos estocásticos ocurre proporcionalmente con el aumento de la dosis de radiación por encima de la dosis de fondo. Este modelo denominado “lineal sin umbral” es el considerado como el enfoque más práctico para la gestión de riesgos de radiación y se propone como una base de protección de dosis bajas (8).

El procedimiento adoptado por la comisión para evaluar la magnitud de la dosis se basa en el valor denominado “dosis absorbida”; en radiobiología la dosis absorbida D es la magnitud física de la dosis utilizada para los tipos de radiaciones ionizante. Esta se mide sobre los órganos y tejidos, aplicando los factores de ponderación considerando las diferencias en la eficacia biológica de las distintas radiaciones.

Por consiguiente, calcular las dosis absorbidas en órganos y tejidos y la totalización de las dosis medias ponderadas en los mismos, constituye la base para definir los límites de exposición utilizados para protección de los efectos estocásticos a dosis bajas. Este enfoque se basa en el modelo LNT y permite la suma de las dosis de la exposición interna y externa (8).

Para especificar los límites de exposición la comisión emplea ciertas magnitudes de protección para garantizar que los efectos sobre la salud se mantengan por debajo de los límites establecidos. La magnitud de protección está establecida por la dosis absorbida D_{TR} , por un tejido u órgano específico T , debido a la exposición al tipo de radiación R ; la magnitud de protección de un tejido H_t se define por:

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$$

Donde W_R equivale al factor de ponderación para la radiación R. La suma se realiza en todos los tipos de radiaciones involucrados.

Tabla 1. Factores de ponderación de la radiación recomendada

Tipo de radiación	Factor de ponderación de la radiación W_R
Fotones	1
Electrones y muones	1
Protones y piones cargados	2
Partículas en alfa, iones pesados, fragmentos de fisión	20
Neutrones	Una función continua de la energía del neutrón.

Fuente: (8)

Tabla 2. Factores de protección de los tejidos recomendados

Tejido	W_T	ΣW_T
Médula ósea, colon, pulmón, mama resto de los tejidos	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Vejiga, esófago, hígado, tiroides	0,04	0,16
Superficie del hueso, cerebro, glándulas salivales, piel	0,01	0,04
	total	1,00

Fuente: (8)

El propósito de la protección contra las radiaciones es garantizarles a las personas un nivel adecuado de protección, sin limitar los beneficios que pueda tener esta para la salud. El fin último es evitar cualquier incidencia de los efectos deterministas y reducir la probabilidad de padecer los efectos estocásticos.

La protección contra la radiación forma parte de la agenda de la OIT y la ICRP y de muchos otros organismos que de manera conjunta establecen criterios a los gobiernos y organizaciones empleadoras y de trabajadores para reducir accidentes laborales, enfermedades ocupa-

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



cionales, a través de la elaboración de programas y convenios, recomendaciones y guías que buscan mejorar las condiciones de los trabajadores.

Estas organizaciones alientan a los trabajadores y los gobiernos en general para que apliquen las normas de protección ocupacional (8).

- Algunas medidas protección que puede aplicar el trabajador, frente a una fuente de exposición no ionizante pueden ser:
- Encender la maquinaria exclusivamente en el momento que se vaya a encender.
- Seleccionar siempre la potencia más baja.
- Limitar el tiempo de exposición.
- Mantener los protocolos de distancia frente al material radiactivo o maquinaria.

Hacer uso de equipos de protección individual.

En el caso de las organizaciones empleadoras, pueden:

- Clasificar las áreas de radiación según protocolos establecidos.
- Garantizar el entrenamiento del personal que operará en las áreas de exposición
- Garantizar los equipos de protección del personal expuesto.
- Informar al trabajador de los riesgos de salud que implica estar expuesto.
- Establecer controles médicos de las personas expuestas.

En relación a los gobiernos y autoridades regionales:

- Establecer mecanismos de control y seguimiento para garantizar la salud de las personas expuestas a radiaciones en los espacios públicos y laborales.
- Crear equipos multidisciplinarios para investigar los riesgos de salud como consecuencia de la radiación.
- Establecer mecanismos de cooperación con organismos internacionales responsables de la protección radiológica.
- Establecer bandas de exposición límites a ondas electromagné-



ticas, considerando las recomendaciones de la ICRP y demás organismos vigilantes.

- Crear planes de riesgos y evacuación en casos de exposición masiva a material radiactivo.
- Vigilar de manera permanente la salubridad de las aguas y alimentos que consuma la población.
- Crear planes de evacuación y alojamiento provisional ante una situación de emergencia.

3.2 Fuentes de exposición

Según la ICRP (8) la fuente de exposición es el espacio físico, procedimiento, material radiactivo, equipos o instalaciones nucleares que da lugar a una dosis de radiación cuantificable en una persona o grupo. Si las sustancias radiactivas se dispersan en el medio pueden considerarse como una fuente.

El material radiactivo puede liberarse en el aire en forma de partículas o gas, puede venir de fuentes naturales y de procesos industriales, como consecuencia de actividades científicas, médicas, laborales. Nadie está exento de exponerse a radiación proveniente de distintas fuentes, ya que en un mundo moderno y lleno de tecnología todos realizamos actividades distintas. Necesitamos ir al trabajo, al médico, mantenernos informados, comunicarnos, movilizarnos de un lugar a otro, almacenar alimentos y agua, recrearnos, todas estas actividades están mediadas de radiación. En tal sentido siempre tendremos contactos con muchas fuentes de manera simultánea.

El material radiactivo viaja por el aire y se esparce en la atmosfera, cuando el viento sopla entra en contacto con las plantas, el agua, los alimentos y los tejidos de los seres humanos. La lluvia por su parte puede lavar estos materiales y dispérsalos también por estos mismos torrentes. Al entrar en contacto con el agua, se dispersa de manera más rápida y existe mayor probabilidad de contaminar a más personas, ya que tiene una mayor circulación y vías para llegar a sitios públicos,



hospitales, viviendas etc.

Las fuentes pueden ser:

- Una instalación física: hospital, empresa, hogar.
- Un material radiactivo
- Un equipo o maquinaria.
- Un procedimiento de medicina nuclear.

Si desde una instalación (hospital, empresa) se liberan al medio ambiente una sustancia radiactiva, puede considerarse una fuente, si por el contrario las sustancias ya han entrado en el medio ambiente por distintas vías y este se encuentra disperso, ya puede considerarse fuente a la zona afectada; siempre habrá muchas fuentes con las que las personas tienen contacto, pero habrá una que predomine.

La definición de la fuente está asociada a la estrategia de protección que establezcan los gobiernos locales, si se distorsiona la política lejos de los criterios establecidos por la ICRP se pueden presentar problemas y consecuencias graves para la población. En este sentido es importante siempre establecer una política protectora asociada a los principios y normas de los organismos vigilantes.

Todos los actores involucrados son los encargados de velar por la necesidad de una acción conjunta que apliquen al caso.

Según la ICRP se consideran tres tipos de situaciones de exposición:

1. Situaciones de exposición planificadas: son aquellas que implican una introducción ya considerada, donde se puede prever que sucederá en situaciones normales.
2. Situaciones de exposición de emergencia: son aquellas que pueden ocurrir por una exposición ya planificada o por una mala praxis, procedimiento, actos violentos o cualquier situación inesperada.
3. Situaciones de exposición existente: son aquellas de exposición



posterior a una emergencia donde debe tomarse el control de la misma.

3.3. Tipos de exposición

La comisión distingue tres tipos o categorías de exposición a fuentes de radiación: ocupacionales, exposiciones de público y exposiciones médicas de pacientes, incluyendo los cuidadores y los voluntarios de equipos de investigación.

Exposición ocupacional: es aquella a la cual están sometidos todos los trabajadores en su área de trabajo. Se refiere al contacto con cualquier agente peligroso y que implica la responsabilidad del empleador de garantizar la protección radiológica.

Exposición del público: están atribuibles a fuentes naturales, se produce como resultado de un conjunto de fuentes de radiación que pueden ser naturales o artificiales.

Exposición médica de pacientes: es aquella que ocurre en procesos de diagnósticos, intervención y terapias con fines médicos; esta exposición es intencional y busca la mejoría del paciente. En esta clasificación se consideran también las personas cuidadoras y los voluntarios de investigaciones (8).

3.4. Individuos expuestos

Corresponde al tipo de personas consideradas en el apartado anterior y que son las que potencialmente están expuestas a padecer un efecto por radiación. Un mismo individuo puede estar expuesto como público, paciente y trabajador.

3.4.1 Trabajadores: es aquella persona contratada por un empleador al cual se le reconocen sus derechos y deberes labores y de protección radiológica ocupacional, cuyas labores implican una exposición planificada, controlada y prolongada.



Figura 21. Exposición en área de trabajo

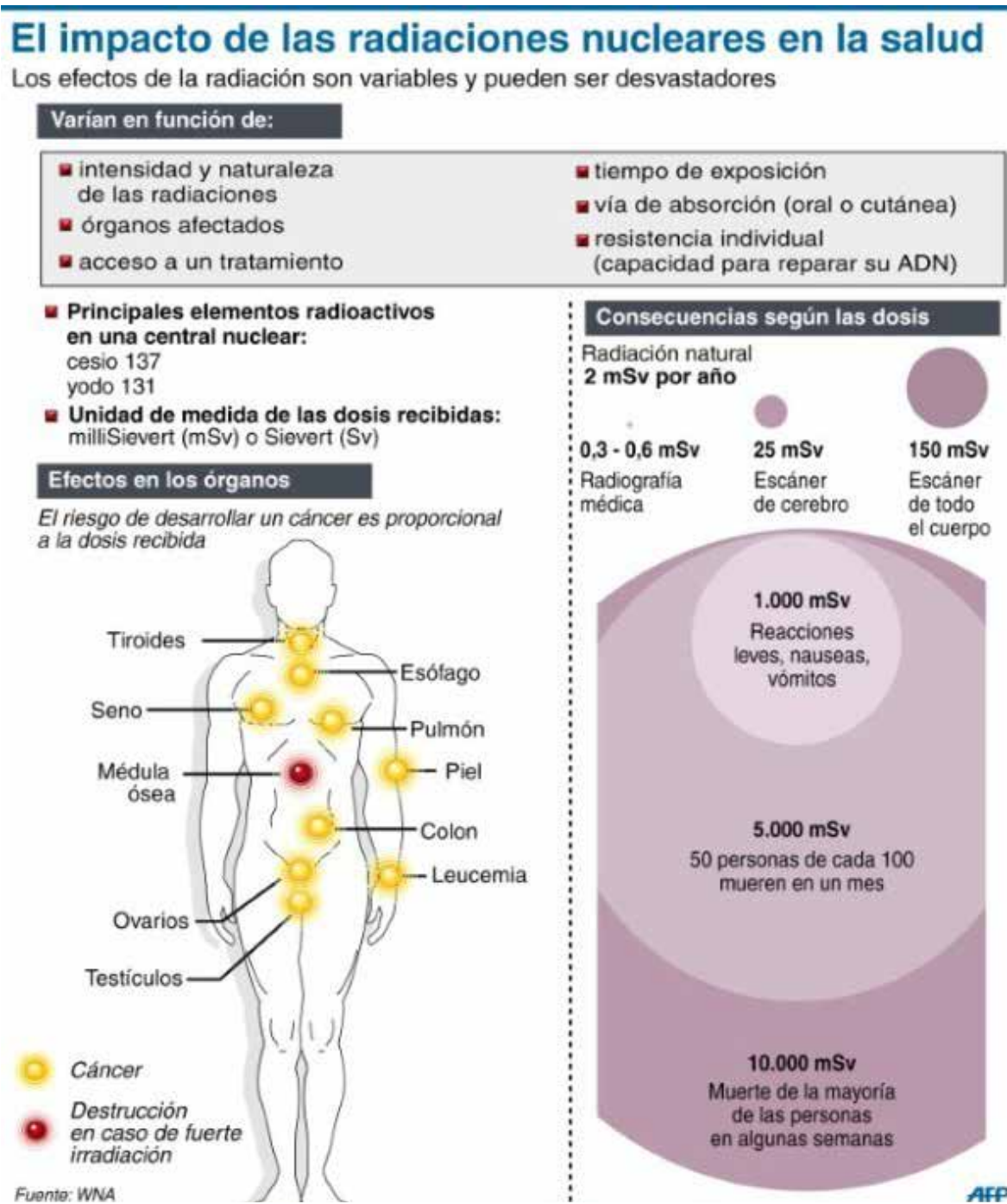


rinconeducativo.org. Protección radiológica [Internet]. 2016 [citado 20/12/2020]. Disponible en: https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/6proteccion_radiologica.html

3.4.2 Público: se considera a todo individuo que no cumple funciones ocupacionales ni médicas pero que está expuesto a una fuente de radiación natural o artificial, como consecuencia del impacto ambiental, el desarrollo industrial desmedido o por ausencia de políticas públicas de planeamiento urbano.

3.4.3 Pacientes: es aquella persona que recibe una exposición como consecuencia de un procedimiento diagnóstico o tratamiento.

Figura 22. Impacto de las radiaciones en la salud

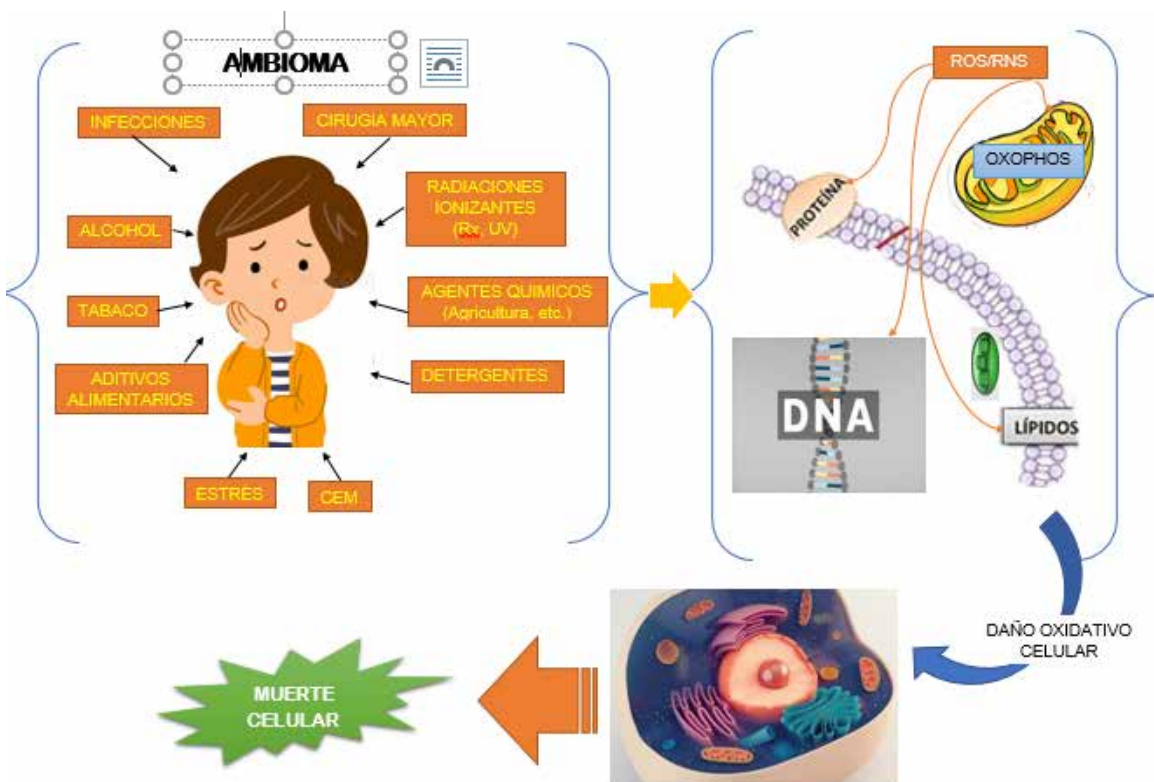


Radiación y salud [Internet]. 2016 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://invdes.com.mx/wp-content/uploads/2016/06/29-06-16-radiaciones.jpg>

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

El Dr. Acuña en sus investigaciones refiere que los campos electromagnéticos forman parte del conjunto de factores externos, llamado 'amboma', que afecta a nuestra salud. Entre los factores negativos aquí representados se incluyen los campos electromagnéticos, cuya exposición puede causar trastornos severos incluyendo cáncer, a través de mecanismos relacionados con la generación de radicales libres. Hay que evitar la exposición a campos electromagnético sobre todo a la población de más riesgo, es decir, niños, embarazadas y ancianos. Lo mejor es prevenir para que no exista repercusión en la salud

Figura 23. Radiación electromagnética



La radiación electromagnética afecta al sistema nervioso, inmunitario y endocrino [Internet]. 2015 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.adelantosdigital.com/web/la-radiacion-electromagnetica-afecta-al-sistema-nervioso-inmunitario-y-endocrino/>



3.5 Efectos por interacción con campos electromagnéticos

De acuerdo a la ICRP los efectos biológicos de los CEM sobre la salud pueden agruparse de manera general en dos grandes categorías:

- Efectos deterministas: corresponde a reacciones tisulares nocivas causadas principalmente a la muerte/defectos en el funcionamiento de las células tras dosis elevadas.
- Efectos estocásticos: se refiere al riesgo de padecer cáncer y efectos heredables implicando, bien el desarrollo de cáncer en los individuos expuestos debido a la mutación de células somáticas o una enfermedad heredable en su progenie debido a la mutación en células reproductoras (germinales) (8).

Considerando que las radiaciones emitidas por los CEM se dividen de acuerdo a su frecuencia (número de ondas electromagnéticas que pasan por un determinado punto en 1d), ellas pueden ser ionizantes y no ionizantes. Las primeras corresponden (como explicamos en capítulos anteriores) a frecuencias muy altas cuya energía puede afectar las células de manera significativa y las segundas son de frecuencia baja los efectos están vinculados al calor y la inducción de las corrientes en los tejidos.

Podemos hablar de un efecto biológico cuando se produce un cambio fisiológico detectado en el sistema del organismo vivo y excede los límites normales de su funcionamiento y presenta una dificultad de adaptación a los nuevos niveles, en detrimento de su salud.

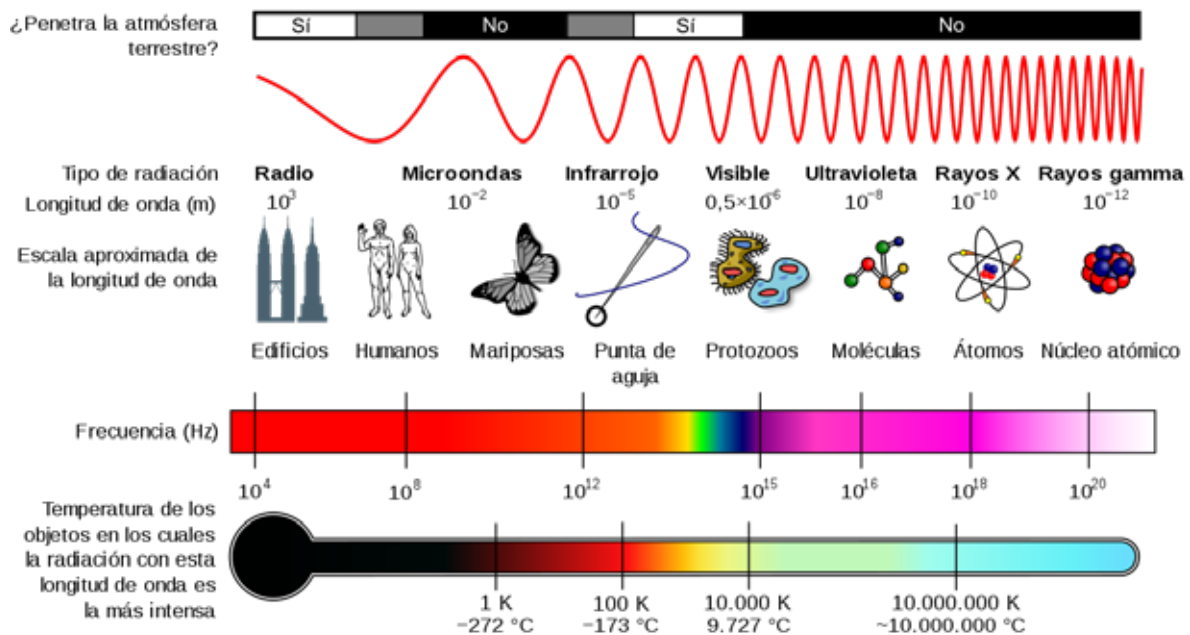
Los efectos producidos por los CEM sobre los seres vivos, depende de la cantidad de energía absorbida por el cuerpo y del sistema en el cual impacta, de sus propiedades intrínsecas.

La radiación electromagnética se propaga por el espacio e incide sobre los cuerpos, produciendo efectos a mayor o menor contacto de energía con los organismos vivos.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

En tal sentido, Guerrero Pérez (5) nos proponen tres tipos de clasificación de los efectos de las radiaciones no ionizantes: térmico, no térmicos y atérmicos.

Figura 24. Electromagnético



Adobe stock. Full Electromagnetic [Internet]. 2020 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/full-electromagnetic-spectrum-information-collection-vector-illustration-diagram-with-wave-lengths-frequency-and-temperature-electromagnetic-wave-structure-scheme-physics-infographic-elements/196401239>

3.5.1 Efectos térmicos: es la radiación que causa un aumento en la temperatura del cuerpo (objeto o persona) más de 1 °C.7,8 y la energía al incidir sobre este provoca un incremento de temperatura y en consecuencia produce “un cambio en la orientación espacial (oscilación) de las moléculas bipolares” fundamentalmente del agua y los iones que se encuentran en los tejidos. Los órganos más afectados son el humor



vítreo del ojo, glándulas como el hígado, el páncreas, ganglios linfáticos, estomago, vejiga y vesícula en Las radiaciones no ionizantes y su efecto sobre la salud humana

Asimismo, provocan una dilatación de los poros de la “barrera hematoencefálica”, la que impide que ciertas sustancias pasen a las neuronas. Es por esta razón que las radiaciones, aunque algunas investigaciones no las establecen como condicionantes de producir enfermedades cancerígenas, si producen un efecto de aceleración de enfermedades que pueden desencadenar en el cáncer, así como Alzheimer, pérdida de memoria, trastornos de sueño y depresión.

Las altas temperaturas producen afectaciones fisiológicas y mentales debido al efecto sobre el cuerpo. Sin embargo, es importante destacar que los procesos regulares de la temperatura corporal permiten reducir los mismos, el problema se presenta cuando se excede el tiempo y la frecuencia de relación rompiendo así con el equilibrio del cuerpo (5).

3.5.2 Efectos no térmicos

Se refiera aquellos que no generan aumento en la temperatura corporal, sin embargo, la exposición prolongada puede alterar los sistemas biológicos.

Como se trata de frecuencias bajas, 1 MHz no produce un efecto significativo, sino que estimulan corrientes y campos eléctricos en los tejidos, produciendo así alteraciones en valores tales como encefalogramas o en la actividad colinérgica de animales, aunque a juicio de Guerrero Pérez (5), la OMS no presta mucha atención a estos efectos, puesto que no son potencialmente nocivos, o sus efectos son de baja intensidad. Igualmente, algunos científicos rusos consideran que pueden afectar la salud, dado el efecto acumulativo de este tipo de radiaciones fundamentalmente en personas que han tenido contacto permanente con equipos de radiolocalización.



Por su parte Torres y Hildebrando (9) plantea que las radiaciones de baja frecuencia actúan según las leyes de Maxwell, la cual se trata de orientar a las moléculas a una configuración mínima de energía, los CM inducen energía sobre los tejidos y es la densidad de ella la que determinará el efecto sobre los tejidos.

3.5.3 Efectos atérmicos

Se produce cuando existe una carga de energía suficiente para causar un incremento de la temperatura corporal, generando un efecto inductor de corrientes eléctricas que permite estimular las células nerviosas y musculares.

No obstante, los efectos tratados hasta ahora corresponden a estudios realizados a exposición de CEM, divididos en frecuencias extremadamente bajas (FEB), Radio frecuencias (RF) y Microondas (MO) denominados por algunos investigadores en el mundo como frecuencias medias, altas y muy altas.

Lo que queremos significar es el nivel de intensidad de la frecuencia de las ondas sobre los cuerpos y los efectos que produce. En tal sentido podemos distinguir dos grandes grupos: los de frecuencia baja y los de frecuencia alta.

En relación a los efectos, hemos constatado que existen posturas encontradas en las investigaciones. Para los investigadores cubanos Guerrero Díaz (5) las radiaciones ionizantes pese a ser REB si producen efectos sobre la salud. Tales como:

Afecciones del aparato reproductor en mujeres y hombres, cáncer, alteraciones neuropsíquicas, sistema inmunológico, sistema cardiovascular, sistema hematopoyético.

No así, para Torres Hildebrando (9) quienes afirman que estudios con CEM FEB han concluido que son de bajo efecto cancerígeno, refieren que estudios relacionados con el cáncer de mamá no manifestaron una

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



evidencia clara de la relación a la exposición de CEM FEB y la enfermedad, asimismo, la relación de CEM con casos de leucemia en niños que residen en cerca de líneas de alta tensión, a su juicio, la postura de que sea esta la causa del cáncer es cuestionable en tanto la disparidad de resultados de los casos. Mencionamos algunos: "Fulton (1980), Myers (1985), Tomenius, (1986), Kaune (1987) y Coleman (1988)", para estos investigadores, no hay una correlación estadística entre la enfermedad de leucemia y las líneas de alta tensión, a su juicio, existe una especulación y falta de soporte de las investigaciones para afirmarlo. Postura que contradice al investigador español Bardasano cuando afirma que efectivamente las líneas de alta tensión pueden producir cierto tipo de neoplasias, al referirse a estudios realizados en Suecia en el Instituto Karolinska por los investigadores Feychting y Ahlbom que señala la posible relación entre la leucemia y el CEM, así como otro tipo de neoplasias (9).

Aunque no exista un consenso en la comunidad científica en relación a los efectos de la radiación no ionizante sobre la salud, nosotros asumimos la primera postura, creemos firmemente que si existen suficientes evidencias para determinar que hay una relación de la radiación de ondas no ionizantes, presentes en teléfonos celulares, líneas de alta tensión, ordenadores, timbres, pantallas etc., con enfermedades como la leucemia, Parkinson, Alzheimer y otras afecciones de menor impacto como insomnio, migrañas, pero que deja muy claro los intereses de tipo económico que se mueven alrededor del tema, de ahí la falta de estudios y de consenso en las investigaciones.

Dada la polémica e incertidumbre en relación a estas evidencias, la OMS ha tomado medidas internacionales para regular esta situación. En el año 1996, la OMS puso en marcha un proyecto internacional con el fin de estudiar los efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos generados por la tecnología, en el año 2007 se concluyó un estudio que revela las repercusiones sanitarias de las FEB.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

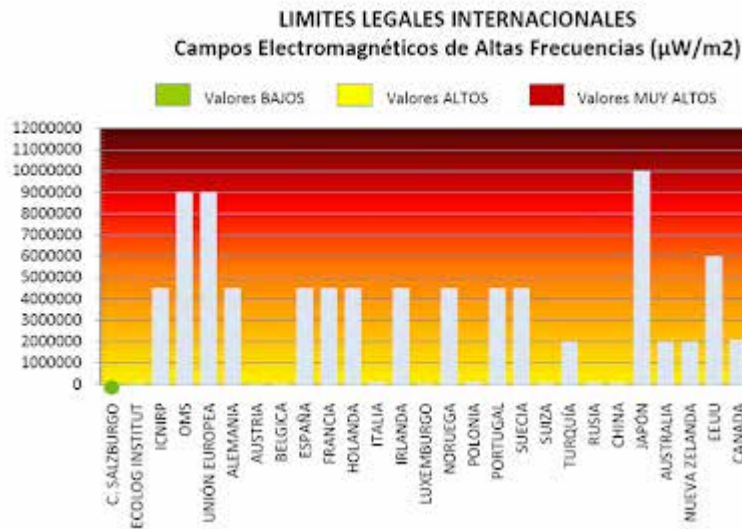


Según este estudio, la exposición aguda (por encima de 100uT) se le atribuye efectos de tipo biológicos de tipo biofísico, si la corriente alcanza una intensidad elevada puede producir estimulación neural y muscular y cambios en la excitación de SNC.

A largo plazo, el estudio refiere que las investigaciones se han centrado en los efectos de las FEB y su relación con la leucemia infantil, sin embargo, dado que los mismos son referencias de investigaciones desarrolladas con animales y escasamente probadas en personas, se consideran como insuficientes para establecer tal relación.

Finalmente, la OMS recomienda a los gobiernos y el sector industrial seguir de cerca los avances científicos en relación al tema y promover programas que coadyuven a reducir las polémicas en este sentido. Los límites de exposición varían de un país a otro, sin embargo, no debe instaurar criterios arbitrarios para establecer sus regulaciones internas. Solo el consenso entre los gobiernos, la comunidad científica y el sector industrial será el mejor criterio para la norma (10).

Figura 25. Niveles de radiación electromagnética



Niveles de radiación electromagnética permitidos por la legislación de distintos países [Internet]. 2012 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <http://seguridad-wireless.blogspot.com/2012/04/niveles-de-radiacion-electromagnetica.html>

3.6 Campos magnéticos y patologías

Los radicales libres son átomos que al entrar en nuestro cuerpo tienen el potencial de dañarlo; se producen durante el metabolismo aeróbico celular, a partir de reacciones no enzimáticas y por el contacto con fuente de radiación. El daño que pueden producir en los tejidos puede ser severo, por tal razón es necesario un equilibrio entre aquellos que el cuerpo requiere para mantener su sistema inmune y su neutralización si se producen en exceso.

Ante la pérdida del equilibrio puede que estemos en presencia de daños grandes, con presencia de una cantidad exagerada de radicales libres, causando mutaciones genéticas, muerte celular, que acelera el envejecimiento y posibilita la aparición de enfermedades.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Entre los efectos adversos de la interacción con los campos electromagnéticos se encuentra el aumento de los radicales libres: oxígeno, nitrógeno y la disminución de los antioxidantes.

Los principales efectos perjudiciales de la exposición a campos electromagnéticos son los siguientes:

- Trastornos neurológicos: irritabilidad, cefalea, astenia, hipotonía, síndrome de hiperexcitabilidad, somnolencia, alteraciones sensoriales, temblores, mareos.
- Trastornos mentales: alteraciones del humor y del carácter, depresiones, tendencias suicidas.
- Trastornos cardiopulmonares: alteraciones de la frecuencia cardíaca, modificaciones de la tensión arterial y alteraciones vasculares periféricas.
- Trastornos reproductivos: alteraciones del ciclo menstrual, abortos, infertilidad y disminución de la libido sexual. incremento del riesgo de algunos tipos de cáncer, como las leucemias agudas y los tumores del sistema nervioso central en la infancia.
- Trastornos dermatológicos: dermatitis inespecíficas y alergias cutáneas.
- Trastornos hormonales: alteraciones en el ritmo y niveles de melatonina, sustancia neurosecretoras y hormonas sexuales.
- Trastornos inmunológicos: Alteraciones del sistema de inmunovigilancia antiinfecciosa y antitumoral.

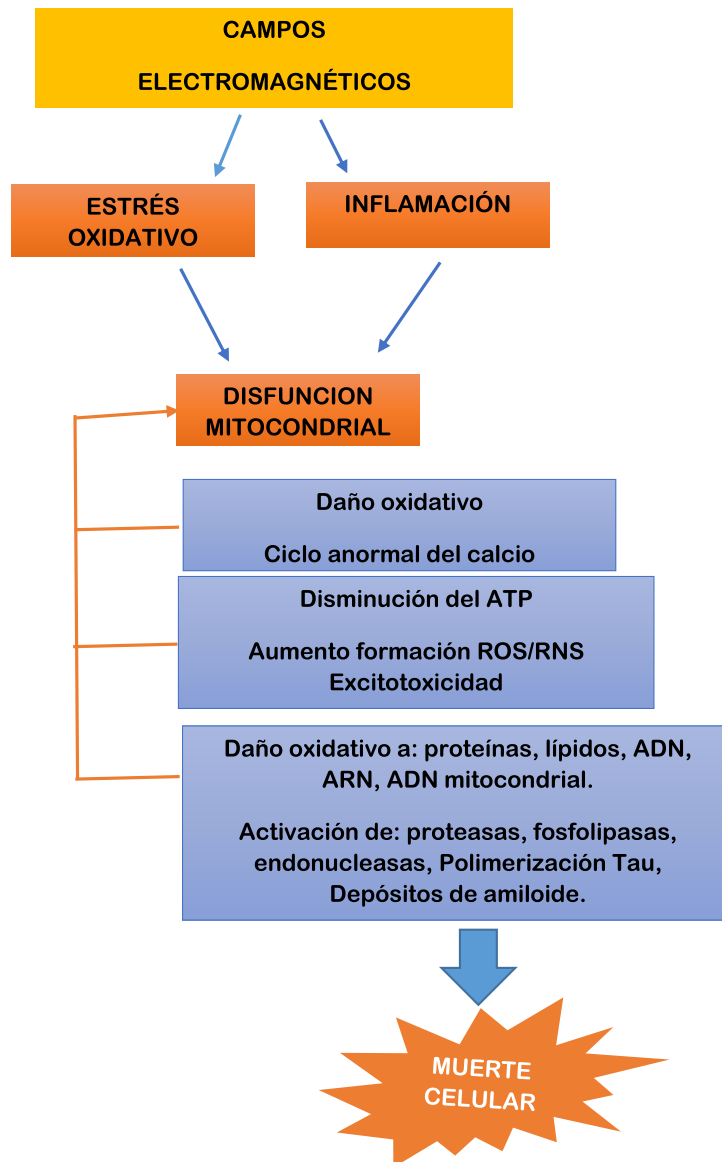
El riesgo potencial de estas complicaciones es mayor en los siguientes grupos: poblacionales, época pediátrica, tercera edad, mujeres embarazadas y lactantes y especialmente entre portadores de prótesis metálicas y marcapasos.

Los campos electromagnéticos al inducir el aumento de los radicales libres y la disminución de las defensas antioxidantes el alto estrés oxidativo daña las macromoléculas de la célula como los ácidos nucleicos del ADN y ARN, proteínas y lípidos que pueden conducir a mutaciones

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

y Cáncer o a la muerte celular, acelerando el proceso de envejecimiento y posibilitando la aparición de diversas enfermedades: lesiones vasculares, aterosclerosis, enfermedades neurodegenerativas Parkinson, Alzheimer.

Figura 26. Campos electromagnéticos



Fuente: Elaboración propia

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Uribe Reinaldo, Sáez Nicolás, Carvajal Jorge. Estudios de radiodiagnóstico durante el embarazo [Internet]. 2009 [citado 20/12/2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75262009000200009

El Dr. Acuña en sus investigaciones refiere que los campos electromagnéticos causan generación de radicales libres, los cuales generan daño oxidativo e inflamación, que impiden la adecuada función de la mitocondria, la organela de la célula responsable de la generación de energía para todo el funcionamiento celular, incluyendo la defensa antioxidante. El fallo mitocondrial promueve una serie de señales que terminan con la muerte celular o su mutación y tumorigénesis.

Figura 27. Espectro electromagnético



Adobe stock. Electromagnetic spectrum [Internet]. 2019 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/electromagnetic-spectrum-vector-illustration-flat-range-persons-concept/285245733>

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

En la ciudad de Guayaquil-Ecuador el Dr. Silvio Ortiz, escogió al azar 12 dispositivos eléctricos para valorar la exposición de la radiación electromagnética en el hogar mediante un detector de campos electromagnético para luego sacar conclusiones de acuerdo a la emisión de radiación de los dispositivos que se escogieron para la investigación. Se utilizó como unidad de medición el microtesla que es una medida de inducción magnética, igual a una millonésima de tesla y el símbolo es μT .

Al realizar la valoración mediante el detector de campos electromagnéticos se pudo observar que al acercarse al dispositivo eléctrico la radiación se eleva y al alejarse a más de 50 cm del dispositivo eléctrico la radiación disminuye, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3. Dispositivos eléctricos de radiación

NUMERO	DISPOSITIVOS ELECTRODOMESTICOS	MEDIDA MICROTESLA μT
1	Televisor	76
2	Cocina a gas con encendedor eléctrico	57
3	Microondas	101
4	Licuada	25
5	Refrigeradora de 2 puertas	367
6	Refrigeradora de 1 puerta	111
7	Computadora laptop	67
8	Wifi	50
9	Teléfono Inalámbrico	101
10	Teléfono Celular	148
11	Aire acondicionado	30
12	Olla arrocera	90

Fuente: Elaboración propia

Los dispositivos electrónicos como el microondas 101 μT , las refrigeradoras 111 y 367 μT y los teléfonos 101 y 148 μT , emiten más de 100 microtesla μT y según la OMS en una publicación sobre los campos electromagnéticos refieren que la exposición aguda a niveles elevados por encima de las 100 μT producen efectos biológicos, atribuibles a mecanismos biofísicos.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

Las conclusiones de la investigación fueron que una persona debe estar a más de 50 cm de los dispositivos eléctricos que emiten radiación de niveles elevados por encima de 100 μT como el caso de las refrigeradoras, microondas y teléfonos para prevenir efectos no deseados.



Adobe stock. Radiation supervisor in glove with geiger counter checks the level of radiation [Internet]. 2019 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/radiation-supervisor-in-glove-with-geiger-counter-checks-the-level-of-radiation/202946953>

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

CAPÍTULO IV LAS CONSECUENCIAS DE LA RADIACIÓN EN LA ETAPA DE LA EMBRIOGÉNESIS



Autor
Luis Enrique Rivadeneira Junco

EDICIONES **MAWIL**



Figura 28. Embriogenesis



Adobe stock. Embriogenesis. [Internet]. 2018 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/embriogenesis-embrio-genesis-in-vitro-fertilization-ivf-artificial-insemination-icsi-male-infertility-illustration-for-web-or-typography-magazine-brochure-flyer-poster/121457602>

La embriogénesis corresponde a la fase que se inicia tras el proceso de fertilización de dos gametos para la conformación de un embrión. Este proceso ocurre de manera similar en todos los seres vivos y en el caso de los seres humanos, tarda unas ocho semanas, momento en el

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



que finaliza la primera etapa de la concepción e inicia el desarrollo del feto. En este sentido y considerando la opinión de varios especialistas hemos distinguido a grandes rasgos cuatro etapas:

Fecundación: corresponde a la fase cuando el gameto masculino se une al gameto femenino y se funden las membranas del espermatozoide al entrar en el citoplasma del ovocito.

Segmentación: durante las primeras tres (3) a ocho (8) semanas de implantación, ocurre un proceso de proliferación y diferenciación celular que da lugar al primer esbozo de los órganos.

Período fetal temprano: corresponde al periodo embrionario (a partir del segundo mes de embarazo) que se caracteriza por formación de órganos y tejidos, aparece el sexo, ocurre un proceso de diferenciación celular que da lugar al desarrollo del sistema nervioso central. El feto entra en contacto con el mundo, la madre percibe los primeros movimientos, crecen huesos, uñas, cabellos, músculos.

Período fetal tardío: a partir del quinto mes, se acentúa el movimiento del feto, aumento de peso y tamaño, embellecimiento de piel, redondeo de la figura, el bebé gana fuerza y se prepara para nacer (11).

El nacimiento de un niño es un acontecimiento celebrado y aunque su llegada sea de manera inesperada siempre genera motivos de alegría, sin embargo, cuando el desarrollo del feto no ocurre de manera saludable este hecho puede convertirse en un sufrimiento para la familia que lo recibe y producir trastornos en su crecimiento e incluso la muerte.



Figura 29. Feto humano



Adobe stock. Human fetus [Internet]. 2016 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/human-fetus-on-scientific-background/242110173>

Las malformaciones congénitas han existido desde épocas remotas y constituyen una causa de muerte infantil, bien sea por discapacidad física o psíquica. Estas pueden originarse por varias causas: de origen genético, ambiental, multifactorial y causas desconocidas que pueden generar un desarrollo defectuoso de la embriogénesis (12).

No obstante, en este capítulo queremos tratar las malformaciones asociadas a causas ambientales; nos referimos concretamente aquellas producidas por las radiaciones ionizantes (rayos x y rayos gamma).

Durante la etapa de gestación muchas mujeres deben someterse a estudios clínicos con motivo del embarazo hecho que puede poner en peligro la vida del feto. El desconocimiento de muchos pacientes, así como las praxis irresponsables del personal de salud, así como

exposiciones externas en áreas contaminadas pueden ocasionar lesiones irreversibles en el desarrollo del feto, trayendo como consecuencia malformaciones congénitas, abortos, problemas en el crecimiento etc. Es por ello que ante cualquier estudio que se realice debe considerarse los protocolos de seguridad radiológica. Todo técnico radiólogo debe regirse bajo el principio ALARA el cual significa “tan bajo como sea razonablemente posible”, este protocolo consiste en el uso de dosímetros y dispositivos de monitoreo o bandas de retención de las radiaciones (12).

4. Las consecuencias de la radiación en la etapa de la embriogénesis

Como ya hemos conversado en capítulos anteriores, todos estamos expuestos a radiaciones ionizantes y no ionizantes de fuentes naturales y artificiales. En este caso, la fuente de contacto se transfiere a través de la exposición de la madre embarazada y dependiendo de la dosis absorbida por el embrión o el feto, este puede ser afectado.

La afectación puede ocurrir a partir de las primeras semanas, considerando que es la fertilización la que da lugar a la conformación posterior del embrión.

Así en base a los estudios realizados en poblaciones expuestas a radiación, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) clasifica los efectos en deterministas, de acuerdo a la dosis a la cual está expuesta, en este caso, la madre. Dando lugar a cambios “morfológicos o funcionales visibles” generados como consecuencia de la exposición a radiación durante una frecuencia y tiempo determinado (12).

En relación a los efectos durante las etapas del embarazo, podemos mencionar que durante las primeras semanas el efecto puede desencadenar con un aborto o afecciones cerebrales graves, como retardo mental ya que el embrión está en proceso de formación.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



De acuerdo a Pérez M. y Gisone P (13) los efectos de la radiación durante el embarazo están relacionados al momento del desarrollo del feto durante la cual ocurrió:

1. Etapa preimplantacional: corresponde a las primeras dos semanas de edad gestacional, también conocida como fecundación. Si la madre está sometida durante está a un proceso de radiación puede producir daños severos que pueden causar la muerte del embrión. Se estima que una dosis de 100 a 200 mGy puede ser letal para la vida del embrión.
2. Etapa de organogénesis principal: corresponde a las primeras tres a ocho semanas de edad gestacional, donde ocurre un proceso de formación temprana de los órganos. Refieren los estudios que no existe una evidencia clara entre la asociación de radiaciones y las malformaciones congénitas, sin embargo, se presume que un umbral de 100 a 200 mGy puede generar efectos en humanos.
3. Período fetal temprano: corresponde a partir del segundo mes de edad gestacional, estudios realizados a sobrevivientes de las bombas de Hiroshima y Nagasaki , correspondientes a más de 1600 niños expuestos “in útero” donde el efecto de la radiación fue de Retardo Mental Severo (RMS) en niños expuestos entre la semana ocho y quince de e.g. con un umbral de 500 mGy, por otro lado también reveló el estudio que niños expuestos antes de la semana ocho y después de la semana veinticinco presentaron microcefalia.
4. Período fetal tardío: en el último periodo de la edad gestacional, se estima que no se producen malformaciones o efectos por RMS, sin embargo, la exposición puede generar un mayor riesgo de padecer cáncer, fundamentalmente leucemia en niños menores de quince años (13).

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

Se considera que los estudios de diagnósticos que exponen al feto a una radiación por debajo de 50 mSv, no son dañinos o tienen un efecto que puede ser manejable por el embrión/feto, los posibles efectos biológicos se producen sobre los 100 mSv, considerando que pueden producir anomalías.

Por su parte, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (8) estableció entre sus recomendaciones que en el caso de las mujeres embarazadas que estén expuestas a exposición ocupacional por sus labores, una vez notificado a su empleador de su estado, este debe considerar un sistema de protección adicional al embrión/efecto, que no excede de 1 mSv durante el resto de la gestación.

La condición de embarazo no restringe a una mujer de trabajar en áreas expuestas a fuentes de radiación, el empleador debe considerar en este caso las condiciones y evaluar la posibilidad de realizar cambios en el modo de trabajo durante el embarazo, con el propósito de evitar una exposición extrema que pueda poner en peligro la vida del feto.

La comisión recomienda en este sentido que las mujeres embarazadas no deben estar involucradas a fuentes de exposición por emergencia que impliquen dosis altas. Asimismo, ha proporcionado coeficientes de cálculo de dosis en el embrión/feto y el niño recién nacido (8).

Por otro lado, la ICRP estima que antes de realizar cualquier procedimiento empleando radiación ionizante en un paciente, es importante determinar si se encuentra embarazada, evaluar la viabilidad de las exposiciones médicas, requiere una consideración especial dada la sensibilidad del feto/embrión a la radiación.

La aplicación de un correcto procedimiento clínico, permite que los diagnósticos se realicen correctamente sin poner en riesgo la vida del feto, incluyendo una malformación, deterioro mental, riesgo de cáncer como consecuencia de la exposición del útero. En tal sentido, las

pacientes deben conocer los riesgos que implican los diagnósticos y estos deben realizarse considerando los principios de la comisión (explicados en capítulos anteriores) que justifiquen en este caso, el mayor bienestar para la paciente. Si un examen de diagnóstico implica un riesgo potencial para el embrión/feto el mismo no debe realizarse.

Si una paciente embarazada padece de cáncer, raramente puede tratarse adecuadamente durante el embarazo sin que ello implique consecuencias graves. En estos casos de exposición alta, la interrupción será una decisión personal, sin embargo, la comisión considera que una dosis absorbida por debajo de 100 mGy no es una razón para interrumpirlo; en este caso, la paciente deberá recibir toda la información necesaria para llegar a esta decisión (8).

Tabla 4. Unidades de medidas radiación ionizante

UNIDADES DE MEDIDA DE RADIACION IONIZANTE			
Medida	Definición	Unidad Inglesa	Unidad SI
Exposición	Número de iones producidos por los rayos X y absorbidos por Kg de aire.	Roentgen (R)	Roentgen (R)
Dosis	Cantidad de radiación absorbida por Kg de materia.	Rad (rad) *	Gray (Gy) * 1 Gy= 100 rad
Dosis efectiva relativa	Cantidad de radiación absorbida por Kg de materia viva corregida por efecto biológico.	Roentgen equivalents man (rem) *	Sievert (Sv) * 1 Sv= 100 rem

* Para diagnóstico por rayos X, 1 rad= 1 rem ó 1 Gy= 1 Sv.

Uribe Reinaldo, Sáez Nicolás, Carvajal Jorge. Estudios de radiodiagnóstico durante el embarazo [Internet]. 2009 [citado 20/12/2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75262009000200009

Tabla 5. Probabilidad de niños sanos en función de dosis de radiación

PROBABILIDAD DE OBTENER NIÑOS SANOS EN FUNCIÓN DE LA DOSIS DE RADIACIÓN RECIBIDA DURANTE EL EMBARAZO		
Dosis absorbida por el embrión o feto en mGy (equivalente en rads)	Probabilidad de que el niño NO tenga malformaciones (%)	Probabilidad de que el niño NO desarrolle cáncer entre los 0-19 años (%)*
0 (0)	97	99,7
0,5 (0,05)	97	99,7
1 (0,1)	97	99,7
2,5 (0,25)	97	99,7
5 (0,5)	97	99,7
10 (1)	97	99,6
50 (5)	97	99,4
100 (10)	97	99,1

* Valores aproximados. Se asume de manera conservadora que el riesgo de cáncer fatal, debido a la radiación, es del 0,6% por 100 mGy de dosis fetal, lo que corresponde a 1/17.000 por mGy, y una relación dosis-respuesta lineal. Muchos estudios epidemiológicos sugieren que el riesgo puede ser aún menor que el asumido aquí. El riesgo natural de cáncer infantil fue calculado a partir de NCI-SEER (1994).

Uribe Reinaldo, Sáez Nicolás, Carvajal Jorge. Estudios de radiodiagnóstico durante el embarazo [Internet]. 2009 [citado 20/12/2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75262009000200009

Siempre existe incertidumbre en las mujeres embarazadas sobre los problemas en el desarrollo del feto, de manera que el papel del médico es fundamental para disipar cualquier miedo. Por otro lado, el avance tecnológico ha permitido minimizar este impacto lo que proporciona un clima de mayor tranquilidad en los pacientes.

La mayoría de los estudios radiológicos que exponen al feto a radiación no ionizante aportan dosis por debajo de 50 mSv las que han demostrado no ser perjudiciales; cuando se excede esta dosis por encima de 10 mGy se presentan riesgos de padecer malformaciones, probabilidad de padecer cáncer etc. durante la infancia.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



En términos generales no existe una evidencia del riesgo en aumento de anomalías fetales, retardo mental o abortos como consecuencia de radiación no ionizante menor a 50 mGy. El riesgo depende de tres factores. La dosis absorbida, el tiempo y la edad gestacional por tal razón los estudios radiológicos siempre se realizan en distintas etapas del embarazo (14).

El feto tiene una capa de musculatura y algo de grasa por lo cual la protección antes las radiaciones son mínimas por tal razón la mujer embarazada puede estar desarrollando mutaciones en los folículos de los ovarios de su hija que los pasará a su futura descendencia. Se afectará el ADN mitocondrial que controla las mitocondrias de las células germinativas u ovocitos y estos defectos pueden llegar hasta la quinta generación.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

CAPÍTULO V LA RADIACIÓN COMO RIESGO DE LEUCEMIA



Autor
Patricia Carolina Rodríguez Cornejo

EDICIONES **MAWIL**



La leucemia producida como consecuencia de una exposición por radioterapia, se encuentra dentro de las clasificaciones del Comité Internacional para la Investigación de las Radiaciones (ICRP) como efectos estocásticos, bien sea por una exposición directa o el desarrollo de un cáncer heredable.

A cerca de la médula, la sangre y las células sanguíneas:

La médula es el centro esponjoso del interior de los huesos, donde se producen las células sanguíneas.

- **Las células sanguíneas** se producen en la médula. Comienzan como células madre y luego se convierten en glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas.
- **Las plaquetas** forman tapones que ayudan a detener el sangrado en el sitio de una lesión.
- **Los glóbulos rojos** llevan oxígeno a todo el cuerpo. Cuando la cantidad de glóbulos rojos es menor de lo normal, se presenta un problema médico llamado anemia. La anemia puede causar cansancio o dificultad para respirar. Puede hacer que la piel se vea pálida.
- **Los glóbulos blancos** combaten las infecciones en el cuerpo. Hay dos tipos principales de glóbulos blancos: células que ingieren gérmenes (neutrófilos y monocitos) y células que combaten las infecciones, llamadas linfocitos (células B, células T y células citolíticas naturales).
- **El plasma** es la parte líquida de la sangre y contiene algunas vitaminas, minerales, proteínas, hormonas y otras sustancias químicas.

Pese a que las radiaciones no ionizantes, son consideradas como radiaciones con pocos efectos dado que se encuentran en un rango de frecuencia bajo y en consecuencia no son capaces de producir ionización, todavía sigue siendo hoy un debate en la comunidad científica mundial si son causantes o no de lesiones cancerígenas, en este caso, la leucemia.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

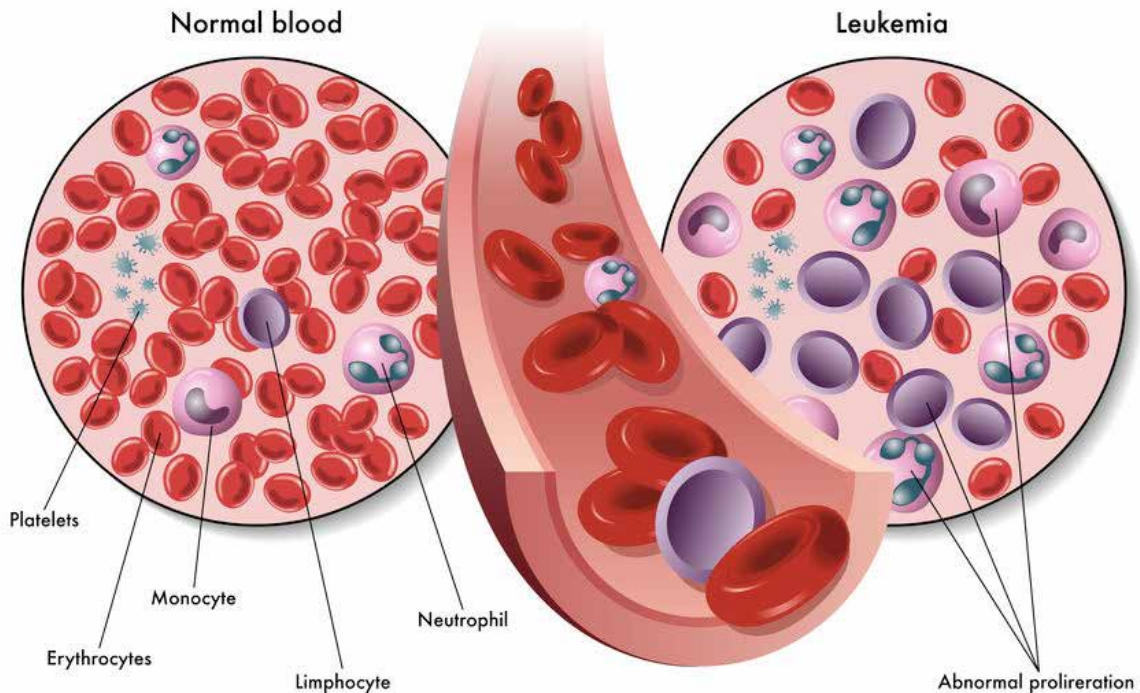


En el año 1974 se conformó un equipo para estudiar los efectos de las RNI sobre la salud, la Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación (IRPA), posteriormente en el año 1977 luego del Congreso de la IRPA realizado en París, este equipo se convirtió en el Comité Internacional para la Investigación de las Radiaciones No Ionizantes (INICRP), en cooperación con la División de Salud Ambiental de la OMS, contribuyó con importantes documentos de recomendación sobre salud ambiental y los efectos de las RNI, posteriormente ambas organizaciones se consolidaron como organismos no gubernamentales que dan recomendaciones no vinculantes reconocidas por la OMS. En el año 2002 la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC por sus siglas en inglés) evaluó los riesgos de la radiación RNI en campos de FEB, la cual fue clasificada como un grupo 2B como un posible causante cancerígeno.

Posteriormente en el año 2011 la misma agencia evaluó el riesgo de exposición a RNI en el rango de RF la cual clasificó como un agente cancerígeno 2B (15).



Figura 30. Leucemia

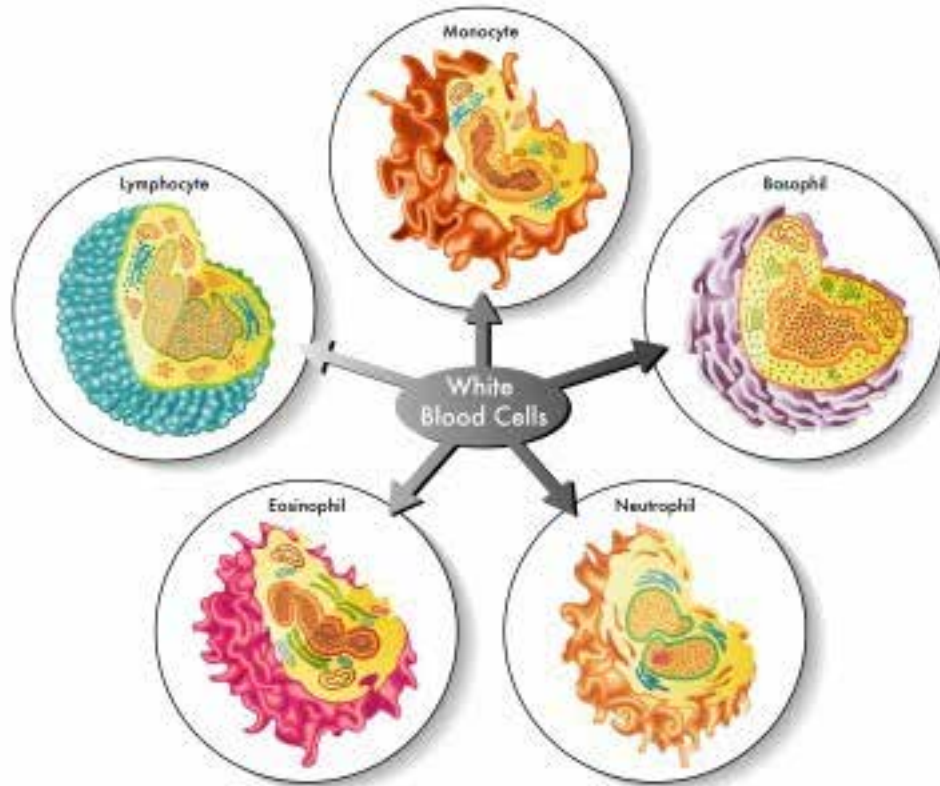


Adobe stock. Leucemia [Internet]. 2017 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/leucemia/81865344>

En el año 1998 la ICNIRP emitió una serie de recomendaciones sobre el efecto térmico de las emisiones sobre la salud, considerando como límite $10\text{W}/\text{m}^2$, el cual sería actualizado en el año 2011 a $5\text{W}/\text{m}^2$. Esto sirvió de base para que países en el mundo establecieran sus propias legislaciones internas sobre la salud ambiental. Así países como Nueva Zelanda establecieron una banda de $0.01\text{W}/\text{m}^2$ Suiza $0.05\text{W}/\text{m}^2$ (15). Desde 1990 mucha información se ha acumulado sobre los efectos biológicos de las radiaciones y el riesgo de desarrollar cáncer, mucha de la información proviene del seguimiento que se ha hecho a los sobrevivientes de las bombas atómicas en Japón en 1945, de manera que se tiene una base de datos más sólidas en relación a las incidencias, edad, tiempo, dosimetría, aunque la comisión internacional reconoce que existe una disparidad en las estimaciones, considera sin em-

bargo que son una fuente valiosa de información. Dada las polémicas e incertidumbres la comisión considera continuar usando como factor de estimación la eficacia de dosis y tasas de dosis para proyectar el riesgo de cáncer.

Figura 31. Leucocito



Adobe stock. Globuli bianchi [Internet]. 2015 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/globuli-bianchi/43109052>

5.1 Las RNI y la leucemia

La leucemia es una enfermedad que afecta las células del cuerpo humano y comienza en la médula ósea, tejido blando donde se forman las células sanguíneas.

Leucemia significa sangre blanca. Los glóbulos blancos son los encargados de combatir las infecciones en el cuerpo; cuando se produce



una leucemia se genera un aumento incontrolable de glóbulos blancos e impide que se produzcan glóbulos rojos, en consecuencia, presentan síntomas mortales en la medida que disminuyen las células normales (16).

Figura 32. Leucemia linfoblástica aguda



Adobe stock. Acute lymphoblastic leukemia [Internet]. 2016 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/acute-lymphoblastic-leukemia-3d-illustration-showing-abundant-lymphoblasts-in-blood/237552834>



Figura 33. Niño con leucemia



Martínez Levy. Estudio reveló las posibles causas de la leucemia infantil [Internet]. 2009 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.nuevawmujer.com/actualidad/2018/05/23/estudio-revelo-las-posibles-causas-la-leucemia-infantil.html>

Los continuos avances tecnológicos hacen que la incidencia de este tipo de contaminación vaya en aumento. A finales de los años setenta (70) aparecieron los primeros datos que indicaban una asociación entre campos electromagnéticos y cáncer, particularmente leucemia infantil. Desde entonces, se han realizado una gran cantidad de estudios epidemiológicos y de laboratorio, para establecer relación entre la exposición a campos electromagnéticos y patología humana.

Se han observado un aumento de la tasa de mortalidad por leucemia en profesionales relacionados con el trabajo en campos electromagnéticos y en niños que habitan en casas cercanas a tendidos de alta tensión.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Los cables eléctricos de 220 voltios y 50 Hz instalados en viviendas generan campos que elevan la presión parcial del oxígeno en la sangre, así como el hematocrito. Teniendo en cuenta que la actividad eléctrica cerebral del ser humano manifiesta una periodicidad que va de 14 a 50 Hz en el estado de conciencia de vigilia y entre 8 y 14 si esta relajado, se deduce que un campo externo de 50 Hz como el de la red eléctrica común puede incluir estados de nerviosismo. Además, esos campos pueden alterar el equilibrio de grasas y colesterol en la sangre, aumentar la producción del cortisol y elevar la presión arterial, lo que puede desembocar en trastornos cardíacos, renales, gastrointestinales, nerviosos y otros. Otras alteraciones biológicas debidas a la acción de campos electromagnéticos artificiales intensos incluyen cambios en la temperatura corporal, alteración del balance electrolítico de la sangre, dolor muscular en las articulaciones, dificultad en la percepción de los colores, fatiga, inapetencia, disfunciones en el sistema nervioso central, estrés, disminución de la cantidad de plaquetas etc. (17).

Las primeras investigaciones sobre la relación entre las RNI y la leucemia se realizaron en EEUU en el año 1930, tras el incremento de la tasa anual de casos en poblaciones donde había llegado el tendido eléctrico. El proceso de modernización y la llegada de la electricidad eran el causante de esta enfermedad en estas localidades, producida por el campo magnético de las líneas de alta tensión y baja frecuencia (FEB); el incremento de la tasa mantuvo una incidencia hasta 1950. Por otro lado, estudios en el Reino Unido UKCCS 1999, fueron considerados por la IARC para declarar que la RNI de FEB sea considerada como cancerígena (15).

Otros estudios concluyentes como el realizado en Guadalajara (15), donde se demostró la existencia de focos de Leucemia Alta (LA) en niños dio paso para que el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) emprendiera un estudio en los hospitales de Pediatría del Centro Médico Nacional de Occidente y el Hospital Civil de Guadalajara, con el fin de determinar la exposición a RNI (centrada a 60 Hz) y RF (en un rango

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



de 100 KHz a 5 GHz) en niños con leucemia. En el estudio participaron ochenta pacientes con LA y LAM niños de seis a cuatro años de edad encontrando los siguientes resultados:

El nivel de exposición promedio para FEB en las camas de los pacientes fue de $0.25 \pm 0.35 \mu\text{T}$ (mediana $0.09 \mu\text{T}$). En el 32 % de los casos se encontraron niveles superiores al punto de corte recomendado ($0.3 \mu\text{T}$). No hubo diferencias significativas entre el promedio y las medianas obtenida en las casas, entre pacientes de ambos hospitales: $0.28 \pm 0.37 \mu\text{T}$ (mediana $0.13 \mu\text{T}$) vs $0.19 \pm 0.28 \mu\text{T}$ (mediana $0.08 \mu\text{T}$) ($p = 0.251$). Cuando se categorizó en grupos para valores $\geq 0.3 \mu\text{T}$, el 32 % (26 casos) de las mediciones fueron valores más altos que el nivel de referencia y el 5 % de los casos obtuvo valores mayores a $1.0 \mu\text{T}$. Las fuentes de RNI en FEB identificadas fueron transformadores eléctricos, líneas de alta tensión, televisores y electrodomésticos (15).

Por otro lado, a juicio de Torres y Hildebrando (9) a partir de los estudios de Wertheimer-Leeper que detectaron una tasa elevada de mortalidad en niños con cáncer que vivían en hogares expuestos a CM, se sospechó que la exposición a estos CEM FEB podrían ser la causa de origen de este tipo de cáncer (leucemia linfoblástica). Pese a que ha sido este un punto de partida para las investigaciones, todos llegan a resultados contradictorios. Considera que el hallazgo más importante corresponde al realizado en el Instituto Karolinska por Feychitng y Ahlbom en 1992, en el que se evidenció que el riesgo de padecer leucemia infantil era mayor en niños expuestos a campos magnéticos cercanos a líneas de alta tensión.

Estudios epidemiológicos y experimentales referidos por la Comisión Internacional de Protección Radiológica ICRP refieren, aunque con incertidumbre, que exposiciones a radiación alrededor de 100 mSv de exposición pueden ser causantes de cáncer, asimismo, la acumulación de datos desde 1990 han fortalecido la idea de que, al daño del ADN en células únicas, son importante en el desarrollo de un cáncer luego de la exposición.



Figura 34. ADN



Adobe stock. DNA. Abstract 3d polygonal wireframe DNA molecule helix spiral isolate on black background. Copy space left [Internet]. 2018 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/dna-abstract-3d-polygonal-wireframe-dna-molecule-helix-spiral-isolate-on-black-background-copy-space-left/239061132>



Figura 35. Niño con leucemia II



sistemasalud.com. La Leucemia Infantil [Internet]. 2016 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <http://www.sistemasalud.com/la-leucemia-infantil/>

Dada la incertidumbre y la falta de consenso en la comunidad científica, la comisión propuso coeficientes nominales para medir las dosis de exposición que continúan siendo pertinentes para efectos de protección radiológica:

Coeficientes nominales de probabilidad para el riesgo de cáncer ajustado al detrimento de $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ para toda la población y de $4,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ para los trabajadores adultos. Para los efectos heredables, el riesgo nominal ajustado al detrimento en toda la población se estima en $0,2 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ y en los trabajadores adultos en $0,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (8).

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

CAPÍTULO VI LA EXPOSICIÓN DE RADIACIÓN DURANTE EL TRABAJO



Autor
Leonel Amador Zúñiga Arreaga

EDICIONES **MAWIL**

Dentro de las clasificaciones de exposición a fuentes de radiación de la Comisión Internacional para la Protección Radiológica, se encuentra la exposición ocupacional. Entendida esta como aquella exposición de tipo planificada a la cual está expuesta una persona por sus funciones laborales y, por consiguiente, el empleador debe tomar medidas de seguridad radiológica que garanticen la vida del trabajador que tiene la posibilidad de convertirse en paciente, si fuere el caso.

En este marco, podemos afirmar que tanto el trabajador como el empleador están conscientes de los niveles de exposición al que se encuentra sometido el primero, es por ello que la Comisión, conjuntamente con la consulta de otros organismos como la OIT hace recomendaciones para minimizar los efectos sobre la salud, estableciendo regímenes de protección radiológica, que establecen el uso adecuado de vestuario, manipulación correcta de equipos y material radiactivo, uso de bandas de protección, límites de distancias etc. Todo ello con el propósito de evitar accidentes y tener un mayor control sobre la exposición del personal, que eviten situaciones que puedan atribuirse a la responsabilidad legal del empleador.

Aunque el empleador tiene la responsabilidad principal de la protección, los trabajadores en virtud de portar una licencia o autorización, también son responsables de controlar la fuente de exposición.

En este sentido, ambas partes deben cooperar de manera oportuna con el intercambio de información permanente para contribuir con la adecuada protección en el lugar de trabajo.

6.1 Trabajadores expuestos

Según la Comisión Internacional para la Protección Radiológica, los individuos que se encuentran expuestos a una fuente de radiación son aquellos trabajadores que por funciones laborales deben estar expuestos tales como: personal médico de hospitales, trabajadores de la industria petrolera y metalmecánica, trabajadores de la industria aeroespacial.



6.2 La protección radiológica

Se entiende por protección radiológica todas las medidas pertinentes que tienen como propósito proteger al individuo de los riesgos de salud como consecuencia de una exposición a una fuente. El principio básico de la protección es garantizar un nivel apropiado de protección de la salud sin restringir los beneficios de la radiación para la misma. Dado que existen límites establecidos por la ICPR de las dosis recomendadas para evitar efectos deterministas, es recomendable minimizar los efectos limitando las dosis. Sin embargo, eso no significa que se pueda evitar los efectos estocásticos (de padecer cáncer), en todo caso se recomienda limitar las posibilidades de aparición.

En este marco las dosis de radiación recibida no deben superar el límite establecido por la ICRP, estos límites garantizan que los trabajadores, en este caso, estén expuestos dentro de los niveles aceptables. El uso de los tres principios fundamentalmente el principio ALARA traducido del inglés como “tan bajo como sea razonablemente posible” es una medida necesaria para limitar la exposición.

Las acciones que se pueden tomar en cuenta pueden ser:

1. El medio ambiente por el que la fuente llega al individuo expuesto.
2. Medidas de control a la fuente como al medio ambiente.
3. Los riesgos de exposición de la fuente se pueden reducir aplicando distancia, tiempo y blindaje.



Figura 36. Principio ALARA



@OperadorNuclear. Principios básicos de protección radiológica [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://twitter.com/OperadorNuclear/status/1310089575600132097/photo/1>

Para reducir los impactos sobre la salud, la comisión recomienda clasificar las áreas de trabajo de los trabajadores, esto permitirá tener un mayor control de la misma y prever alguna situación de emergencia. En tal sentido, usa las denominaciones como áreas controladas y áreas supervisadas.

Un área controlada: se define como un espacio donde se requieren tomar medidas puntuales de protección y seguridad para prevenir la dispersión de la contaminación en condiciones normales y prever una exposición de gran magnitud.

Un área supervisada: es un área donde las operaciones están controladas bajo observación permanente, pero no requieren procedimientos especiales.

Todos los trabajadores dentro y fuera del área que operan o no en ella, deberán estar debidamente informados y capacitados sobre los riesgos que implican estos espacios. A tales fines es recomendable conformar equipos que sean identificados fácilmente. A menudo estos equipos vigilados de manera permanente por un equipo médico especial (8).

Figura 37. Área controlada



@OperadorNuclear. ¿Cómo se trabaja en una central nuclear? [Internet]. 2018 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://twitter.com/OperadorNuclear/status/1025289984696373248>

6.3 Niveles de protección radiológica

Ya sabemos que existen muchas fuentes de radiación natural y artificial en el medio ambiente, de manera que para garantizar un mayor control

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

sobre ellas y medir los impactos sobre la salud es necesario determinar las fuentes desde las cuales proviene la dosis que afecta al individuo. Si se quiere medir la dosis que recibe el trabajador durante una exposición, es necesario determinar la fuente o las fuentes que impactan su cuerpo. Para ello la comisión ha establecido unos términos de distinción que permiten tener un mayor control y medir los efectos ocupacionales.

La ICRP considera que los efectos provenientes de dosis individuales son independientes de los efectos de las dosis que provienen de otras fuentes. De manera que ambas deben ser tratadas de forma independiente. A este procedimiento la ICRP lo denomina “enfoque relativo a la fuente”, este enfoque permite tomar acciones sobre la fuente directa. Asimismo, cuando se trata de una exposición planificada, se denomina “restricción de dosis”, porque permite controlar la dosis que proviene de una fuente ya concebida.

En el caso de las exposiciones potenciales es “restricción de riesgo” y en situaciones de emergencia se habla de “restricción relativa a la fuente” como nivel de referencia.

Uno de los principios de la comisión para garantizar la salud de las personas expuestas a fuentes es el de optimización, el cual invita a los equipos científicos y sectores empresariales y demás involucrados a reducir los impactos tanto como sea posible. Partiendo de este principio, la seguridad radiológica y sus protocolos, utiliza los conceptos de “restricción dosis y nivel de referencia” para garantizar que las exposiciones sean lo más bajas posibles.

No obstante, las restricciones y los niveles de referencia vienen a ser los factores claves para optimizar los niveles de exposición. En este orden, la comisión recomienda que siempre hay una fuente que predomina, por tanto, optimizar los niveles relativos a la fuente será la manera más eficaz de garantizar protección en este caso a los trabajadores (8).



6.4 Límites de exposición ocupacional

De acuerdo a lo recomendado por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, los límites de las dosis solo pueden ser aplicables a situaciones de exposición planificadas, en este caso las exposiciones ocupacionales: pacientes, médicos etc. Existe una diferencia muy pequeña en relación a las dosis recomendadas para las exposiciones del público y las laborales, en el caso de estas últimas las resume así:

Para exposición ocupacional en situaciones de exposición planificada, la Comisión continúa recomendando que el límite debiera expresarse como una dosis efectiva de 20 mSv por año, promediada en períodos definidos de 5 años (100 mSv en 5 años), con la condición adicional de que la dosis efectiva no debería exceder 50 mSv en cualquier año.

Figura 38. Señalización de fuente de radiación



isparamedico.com. Curso a distancia Riesgos de Radiaciones para el Personal de Salud [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://isparamedico.com.ar/course/riesgos-de-radiaciones-para-el-personal-de-salud/>

Tabla 6. Límites de dosis recomendados en situaciones de exposición planificadas

Tipo de limite	Ocupacional	Público
Dosis efectiva	20 mSv por año promediada en periodos definidos de 5 años	1 mSv en un año
dosis equivalente anual en:		
Cristalino	150 mSv	15 mSv
Piel	500 mSv	50 mSv
Manos y pies	500 mSv ---	-----
<p>a. Los límites de dosis efectivas son para la suma de las dosis efectivas de relevancia procedentes de exposiciones externas en el periodo de tiempo especificado y la dosis efectiva comprometida de la incorporación de radionucleidos en el mismo periodo. Para adultos, la dosis efectiva comprometida se calcula para un periodo de 50 años tras la incorporación, mientras que para niños se calcula para el periodo de hasta 70 años de edad.</p> <p>b. Este límite está actualmente siendo revisado por un Grupo de Trabajo de la ICRP.</p> <p>c. La limitación de dosis efectiva proporciona una protección suficiente para la piel frente a efectos estocásticos.</p> <p>d. Promediado en un área de 1 cm² de piel, independientemente del área expuesta.</p> <p>e. Con la condición adicional de que la dosis efectiva no debe exceder los 50 mSv en ninguno de los años individuales. En el caso de la exposición ocupacional de mujeres embarazadas se aplican restricciones adicionales.</p> <p>f. En circunstancias especiales, se puede permitir un nivel superior de dosis efectiva en un único año, a condición de que la media durante 5 años no exceda 1 mSv por año.</p>		

Fuente: (8)

6.5 Cómo implementar la protección radiológica

Conocidas las recomendaciones de los organismos vigilantes de la exposición de la radiación es necesario que las autoridades realicen una planificación adecuada para implementar la protección radiológica en las tres situaciones establecidas por la Comisión Internacional para la Protección Radiación: situación de exposición ocupacional, exposición planificada y exposición existente.

6.5.1 Situación de exposición planificada

Como ya sabemos este tipo de exposición es aquella donde puede planificarse toda la protección radiológica antes de que ocurra un incidente y cada una de las situaciones puedan ser previstas. En este tipo de exposición deberá considerarse: el espacio físico, las operaciones, la gestión de los desechos y la rehabilitación de las instalaciones.



Entran dentro de esta categoría, el personal médico, pacientes, los cuidadores, aplica también para el trabajo proyectado en relación a situaciones existentes o de emergencia. En ella puede concurrir el otro tipo de situaciones: ocupacional o existente, también califican aquellas en las que por alteración de los protocolos normales generen una exposición potencial.

6.5.2 Situación de una exposición ocupacional

En relación a la exposición ocupacional (centro de interés en nuestro capítulo) lo más recomendable es planificar una exposición controlada en relación a la optimización de exposición relativa a la fuente. Deberá en este caso planificarse las restricciones de los límites de las dosis recomendados por los organismos internacionales vigilantes de la radiación.

Es necesario en este sentido, clasificar las tareas, calcular los niveles de las dosis individuales promedios que serán contraídas durante las operaciones y el tiempo de exposición bien gestionado. Esta información será la base para establecer las normas en las áreas de trabajo. Al emplear una restricción de dosis, quien realice el diseño de la seguridad radiológica, deberá considerar las fuentes específicas a las cuales está vinculada para evitar confusiones en los trabajadores expuestos y garantizar el límite establecido.

Una adecuada norma para la protección de trabajadores requiere de la atención necesaria en tanto ambas partes tienen la responsabilidad compartida de garantizarla, también están involucrados las autoridades reguladoras, con el fin de mantener la su protección es necesaria. En el último tiempo ha ido creciendo la preocupación sobre el riesgo ocupacional de los Cardiólogos intervencionistas, radiólogos intervencionistas y profesionales aliados que se ven expuestos a niveles altos de radiaciones ionizantes por procedimientos guiados por fluoroscopia, en salas de hemodinamia, llevando a producir a dichos profesionales problemas en la salud como: tumores encefálicos (glioblastoma

multiforme maligno, astrocitoma, meningioma que en ciertos estudios predomina el compromiso del lado izquierdo del cerebro), cáncer de cerebro y hasta cataratas específicamente en la parte posterior del musculo cristalino que parece ser el más radio sensible. Por tal razón se ha incrementado los gorros quirúrgicos de radioprotección sin embargo su efecto protector no es completo. Estudios previos estiman que puede haber riesgo mayor de malignidad para el personal de las salas de cateterismo cardiaco. El cáncer se debe principalmente a un daño en la reparación del ADN, lo cual lleva a una transformación genética.

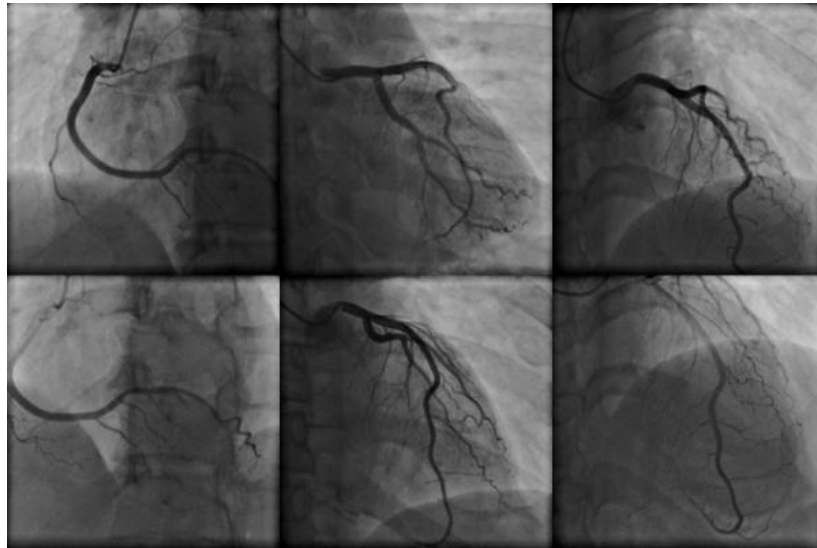
Figura 39. Intervención de cateterismo cardíaco



Adobe stock. Cateterismo cardíaco [Internet]. 2016 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/cateterismo-biliar/32687733>



Figura 40. Cateterismo cardíaco



Fuente: (ONSalus, 2016)

6.5.3 Exposiciones potenciales

Dentro de las exposiciones planificadas, pueden ocurrir situaciones inesperadas como consecuencia de la desviación de los procedimientos planificados para la operación, incluyendo accidentes, pérdida de control sobre la fuente de radiación, hechos violentos. Aunque en un protocolo de una exposición planificada, no se espera que esto ocurra, la comisión internacional las caracteriza como potenciales.

Aunque en los manuales de seguridad están previstos todos los procedimientos, hay que asumir que el ser humano siempre está sometido a un margen de error de sus propias facultades, lo que puede ocasionar accidentes.



A menudo existe una interacción entre la exposición potencial y las exposiciones existentes u originadas de las tareas planificadas; las primeras deberán ser consideradas en la programación de una situación de exposición planificada.

La exposición potencial cubre generalmente tres tipos de sucesos:

1. Suceso de exposición planificada, donde están involucradas un número reducido de personas pero que puede afectar su salud.

1. Suceso que involucra un número importante de personas, donde está en riesgo su salud y el terreno y existe una necesidad de control de consumo de alimentos.
2. Suceso que ocurrieron en un momento determinado cuyos daños colaterales se conocerán en el futuro (8).

6.6 Delimitación de las zonas radiactivas

De acuerdo a la forma en que se pueda producir la exposición de los trabajadores a las fuentes de radiación, las áreas se pueden clasificar como:

- **6.6.1 Zona vigilada**
 - Es aquella en la que existe la posibilidad de recibir dosis superiores a 1mSv por año, o una dosis equivalente superior a 1/10.
- **6.6.2 Zona controlada**
 - Son áreas donde existe la posibilidad de recibir una exposición superior a 6 mSv por año o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites equivalentes para el cristalino (150 mSv), piel y extremidades (500 mSv). Estas zonas pueden dividirse en:
- **6.6.3 Zonas de permanencia limitada**
 - Dosis superior 100 mSv al año.
- **6.6.4 Zona de permanencia reglamentada**
 - Requiere prescripciones especiales, se reciben dosis altas en corto tiempo.
- **6.6.5 Zona de acceso prohibido**



Se reciben dosis superiores a los límites de las dosis establecidas.

Figura 41. Delimitación de zonas radiactivas



rinconeducativo.org. Protección de los trabajadores de instalaciones radiactivas y del público. Delimitación de las zonas en instalaciones radiactivas. [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/proteccion-de-los-trabajadores-de-instalaciones-radiactivas-y-del-publico>

Tabla 7. Clasificación de zonas radiactivas y efectos

Clasificación de zonas	Color
Zona vigilada: 1mSv, peligro de irradiación externa	Gray
Zona controlada : 6mSv, peligro de contaminación	Green
Zona de permanencia limitada: dosis anual limite TPE	Yellow
Zona de permanencia reglamentada: dosis períodos cortos > límites TPE	Orange
Zona de acceso prohibido > dosis única > límites TPE, peligro de contaminación externa	Red

Fuente: Elaboración propia

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

CAPÍTULO VII

TRASTORNO DEL SISTEMA ENDOCRINO E INMUNITARIO POR LA RADIACIÓN



Autor
Janeth Mabel Rojas Riera

EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Nuestro organismo tiene sistemas reguladores y el sistema endocrino ejerce un papel fundamental en esta labor, ya que permite establecer la comunicación entre el sistema nervioso central y el sistema inmune. Por eso a veces se hace referencia a este como un sistema neuroinmunitario responsable del homeostasis corporal. La comunicación entre un sistema y otro, es posible porque las células comparten receptores y mediadores. Esta relación permite mantener un equilibrio en todo nuestro cuerpo. A ella se explica, como episodios depresivos, de ansiedad emocional van acompañados de procesos infecciosos, cáncer u otras enfermedades. Y de igual manera, situaciones de alegría y optimismo, contribuyen con la superación de episodios de deterioro de la salud. Por tal razón, cualquier incidencia en uno de los sistemas reguladores afectará inmediatamente al otro.

Los campos electromagnéticos generan una alteración del sistema endocrino por dos vías principales. Por un lado, la afectación del reloj biológico central que altera las señales referentes el reloj hacia el hipotálamo y glándula pineal. A nivel hipotalámico se puede alterar la producción rítmica de los factores u hormonas hipotalámicas que regulan a su vez la producción y secreción de las hormonas de la hipófisis, dando lugar a una alteración endocrina global. Por otro lado, la alteración de la producción rítmica de la melatonina pineal da lugar al mecanismo conocido como “desincronización interna”, con lo que el ritmo circadiano de las hormonas se altera. Dependiendo de la afectación producida por los CEM, se producirá un trastorno endocrino más severo que puede incluir desde estados de estrés acompañados de aumento de cortisol, hasta estados de infertilidad por alteración de hormonas reproductoras, así como trastornos tiroideos, metabólicos, entre otros.

El sistema endocrino lo comprende un grupo de glándulas y órganos que elaboran hormonas y las liberan en el cuerpo, con el propósito de que puedan llegar a los tejidos y restos de los órganos. Estas hormonas liberadas controlan muchas funciones relacionadas con el crecimiento, el metabolismo y la reproducción.

El sistema endocrino lo constituyen:

- El Hipotálamo.
- La Glándula pineal.
- La Hipófisis.
- La Glándula Tiroides.
- Las Glándulas Paratiroides.
- El Timo.
- Las Glándulas Suprarrenales.
- El Páncreas.

Figura 42. Sistema endocrino



Adobe stock. Human Endocrine System Illustration [Internet]. 2018 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/human-endocrine-system-illustration/242866676>



Figura 43. Hipotálamo



Adobe stock. Profile of Man with Thalamus Highlighted in Brain [Internet]. 2018 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/profile-of-man-with-thalamus-highlighted-in-brain/242528361>

En los hombres incluye los testículos y en las mujeres los ovarios, la placenta durante el embarazo. También se le denomina sistema inmunológico (18).

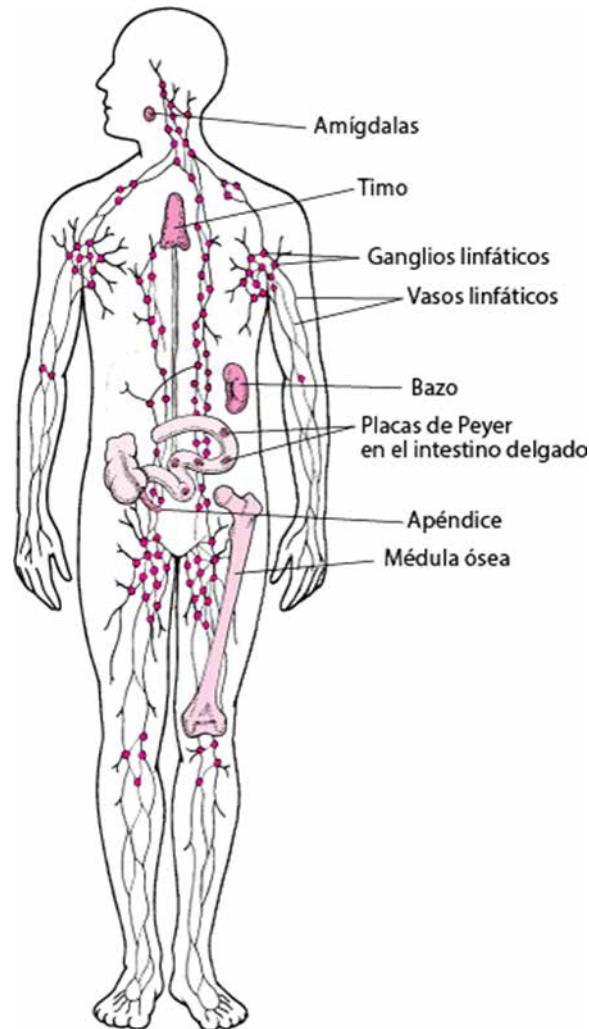
7.1 El sistema inmunológico

Desde que llegamos al mundo estamos expuestos de padecer infecciones o cáncer, riesgos antes los cuales sucumbiríamos si no fuera por nuestras defensas. Este sistema es que nos permite defendernos de las amenazas del exterior.

Está constituido por lo que comúnmente llamamos las defensas del cuerpo. Lo comprenden: las células, proteínas, tejidos y órganos. Su función es defender el cuerpo de bacterias, virus y microorganismos. A través del proceso de respuesta inmunitaria, este sistema protege al organismo de enfermedades y agentes invasores.



Figura 44. El Sistema inmunológico



Sanabria Angie. Sistema endocrino. [Internet]. 2016 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://co.pinterest.com/pin/307933693249317493/>

7.1.1 Las células

Las células que conforman el sistema inmune son los glóbulos blancos o leucocitos. Estos se producen y almacenan en distintas partes del cuerpo como: el timo, el bazo, la médula ósea. Los leucocitos circulan por todo el cuerpo a través de los vasos linfáticos, en busca de gérmenes o sustancias que podrían causar problemas (19).



7.1.2. Los anticuerpos inmunoglobulinas

Son proteínas producidas por los glóbulos blancos denominados células B, (un tipo de linfocitos) que se unen al antígeno, para atacarlo y neutralizarlo.

7.1.3. Basófilos

Son glóbulos blancos que liberan histamina y producen sustancias que atraen a los glóbulos blancos a la zona de conflicto.

Muchas son las proteínas, órganos y células que constituyen este sistema: citosinas, células dendríticas, eosinofilos, linfocitos T, antígenos leucocitarios humanos, entre otros, anticuerpos y respuestas inmunitarias, que utiliza el organismo para defenderse de una situación peligrosa, la médula ósea y el timo. En tal sentido, queremos significar las líneas de defensa y barreras físicas que el cuerpo humano realiza cuando se encuentra amenazado.

Barreas de defensa: Glóbulos blancos., moléculas y órganos linfáticos.
Barreras físicas: piel, cornea ocular, membranas de las vías respiratorias y digestivas, urinarias y reproductivas.

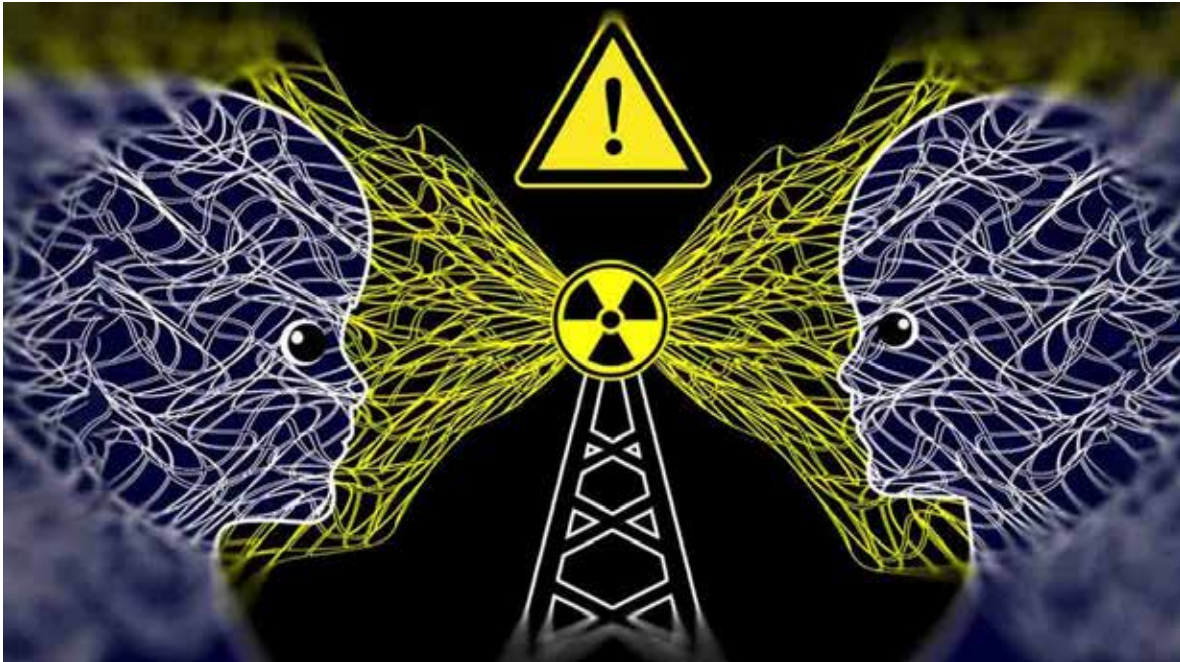
Cuando es necesario defender al organismo, los glóbulos blancos se movilizan desde la médula ósea y entran al torrente sanguíneo llegando al lugar que lo necesite (20).

Las células y moléculas son capaces de remover y eliminar los agentes externos, tales como organismos invasores y células del cuerpo que se ven afectadas por el ataque. Todos los procesos que se ponen en marcha para llevar a cabo esta función a es lo que se conoce como respuesta inmune.

Si tenemos en cuenta la conexión entre los distintos sistemas del organismo, lo que llamamos sistema psiconeuroinmunoendocrino, nos daremos cuenta que la alteración de uno de ellos afecta el resto de los

otros sistemas, de ahí la gran presencia de síntomas que pueden aparecer a consecuencia de la exposición a los CEM (17).

Figura 45. Efectos de la radiación en sistemas biológicos



Perito Ingeniero. Perito en Electromagnetismo. Medición electromagnética. [Internet]. 2018 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://perito-judicial.com/perito-electromagnetismo-medicion/>

La función celular de nuestro cuerpo está basada, regulada y coordinada por diferentes procesos bioquímicos y posteriormente electromagnéticas de baja frecuencia e intensidad. Esta actividad inicialmente bioquímica y posteriormente electromagnética podemos apreciarla en los estudios radiológicos como: los electroencefalogramas, electrocardiogramas, electromiogramas, y más, recientemente, electromagnetogramas. Las ondas electromagnéticas generadas por las corrientes eléctricas y por las microondas (telefonía, telefonía móvil, radiofrecuencias, telefrecuencias, radares civiles y militares etc.) interfieren y distorsionan el funcionamiento normal del organismo humano.



Figura 46. Radiación de teléfonos móviles



Adobe stock. Phone radiation [Internet]. 2019 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/phone-radiation/101515225>

7.2 Campos electromagnéticos y expresión de genes

Estudios experimentales indican que tras la exposición a campos electromagnéticos CEM, se produce una activación de las células del sistema inmune y un aumento de producción ROS y RNS. Se estudió la expresión de genes de monocitos (células del sistema inmune) derivados de la sangre del cordón umbilical humano tras la exposición a 1mt. Los resultados indican la alteración de la expresión en 986 genes. Esos efectos ocurren por la misma vía que la activación de las células del sistema inmune producido por los lipopolisacáridos bacterianos, los responsables de la inducción de la sepsis y shock séptico humano, es decir, de una reacción inflamatoria sistémica muy graves.

7.3 Efectos de los campos electromagnéticos sobre la melatonina

La melatonina es una hormona que regula el estrés y cumple un papel fundamental en el ritmo circadiano. Cada noche, la glándula pineal,

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

ubicada en el centro del cerebro convierte la serotonina en melatonina. El ritmo circadiano es importante para que se produzcan ciertos ritmos endocrinos como el sueño y la vigilia.

La melatonina hace posible los procesos antioxidantes. Ayuda a: depurar el ROS/NS, aumentar la expresión de los genes, es antiinflamatorio, etc. (17).

La disminución de los niveles circulantes de la melatonina es uno de los efectos demostrados por la exposición a la radiación, tanto en animales como en humanos. Estudios han demostrado, tras un mes de exposición, los niveles de melatonina se reducen en un 40%; aunque una vez eliminada la fuente de radiación, estos vuelven a estabilizarse. Los estudios demuestran que la alteración del ritmo circadiano produce depresión y fatiga.

En el laboratorio *Batelle Pacific Northwest* (USA), se demostró que campos eléctricos de

60 Hz y de cerca de 2 kv /m reducían la cantidad de melatonina producida durante la noche cuando estos niveles debían de ser máximos. Esta hormona estimula el sistema inmunológico y modula la función de ciertos órganos endocrinos: la glándula pituitaria, el timo, las gónadas y el hipotálamo y además tiene de ello tiene una función antioxidante y neutralizadora de radicales libres. Dada la importancia de la melatonina en la regulación de las funciones endocrinas, es probable que las radiaciones electromagnéticas perturben dichas funciones y esto podría ser una clave para comprender el aumento del riesgo de contraer cáncer, en las personas sometidas a este tipo de radiaciones.

Las personas expuestas a radiaciones electromagnéticas tienen un mayor riesgo de contraer cáncer de mama porque la inhibición de melatonina puede dar lugar aumento de prolactina y de estrógenos ováricos, o bien por una disminución del efecto directo inhibidor de la melatonina sobre la proliferación del celular en el cáncer de mama (17).



7.4 Radiación ionizante y cáncer de tiroides

Estudios realizados en localidades de Japón después de la explosión de la bomba atómica, el accidente de Chernobyl, Ucrania y la radioterapia para tratar la enfermedad de Hodgkin, han demostrado que la exposición a radiación puede inducir anticuerpos tiroideos y enfermedad “autoinmunitaria tiroidea”.

Los sobrevivientes de esta última, tienen (según estas investigaciones) mayor riesgo de padecer de hipotiroidismo. Asimismo, un seguimiento realizado a sobrevivientes de la explosión de la bomba atómica demostró que estos pacientes tienen mayor probabilidad de desarrollar nódulos tiroideos.

Por otro lado, investigaciones como las de Duffy y Fitzgerald, muestran que efectivamente, existe una relación entre la radioterapia de cabeza, cuello y tórax y la aparición de cáncer de tiroides. En este sentido, el estudio revela que los niños que presenta este carcinoma por lo general tienen antecedentes de radioterapia motivados por este tipo de cáncer. Estos carcinomas aparecen de 10 a 20 años después de la radioterapia.

Los tumores tiroideos tanto benignos como malignos, se encuentran dentro de las afecciones más frecuentes del sistema endocrino. Ellos se deben a múltiples factores:

Lesión a nivel de Acido desoxirribonucleico (ADN) presente en el núcleo de las células tiroideas. Factores de crecimiento, uno de ellos es la TSH y las citoquinas entre otras. Progresión de dicha formación nodular, debido a la oscilación molecular por la inestabilidad creada por la alteración genética (21).

Las radiaciones ionizantes son la única causa unida a la aparición del cáncer tiroideo (no medular), estar expuesto bien sea por accidentes

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

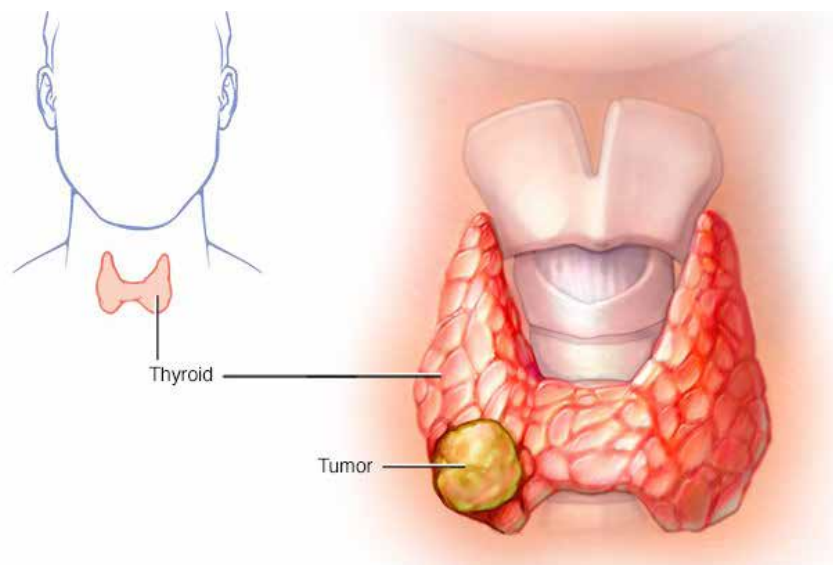
radiativos o por radioterapia, son los antecedentes más determinantes para el desarrollo de este carcinoma.

Los efectos que estas pueden producir en el sistema endocrino son:

- Daños en el ADN (ácido desoxirribonucleico), esta molécula es la que contiene toda la información genética lo que puede dar lugar a una mutación genética.
- Lesión en la glándula tiroides y su funcionalidad.

Es posible que la radioterapia actúe induciendo la expresión de oncogenes anormales en la célula tiroidea. No se ha demostrado mayor incidencia de carcinoma en enfermos hipertiroideos tratados con yodo 131, quizá este hecho se deba a que los enfermos son de más edad y a la acción destructiva del yodo radioactivo sobre la célula tiroidea.

Figura 47. Nódulos tiroideos



Nódulos tiroideos. [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/thyroid-nodules/symptoms-causes/syc-20355262>



7.5 Campos electromagnéticos y cáncer de mama

Los estrógenos son hormonas producidas en los ovarios, y tiene una función importante en el desarrollo y mantenimiento de los caracteres sexuales femeninos, principalmente el útero y la glándula mamaria, igualmente, ayudan aliviar los síntomas de la menopausia y son hormonas protectoras contra el infarto y los accidentes cardiovasculares, osteoporosis y enfermedades del SNC.

Los cambios que se producen en el sistema endocrino, tienen por lo tanto mucha importancia para la salud femenina, influye en su humor, memoria, sistema inmune.

No obstante, dada la importancia de la melatonina para regular el sistema endocrino, existe una alta probabilidad que la reducción de esta hormona, podría ser una causa de cáncer en mujeres expuesta campos electromagnéticos de baja frecuencia. La supresión de la melatonina y la exposición tanto ocupacional como doméstica, puede aumentar el riesgo de cáncer.

En consecuencia, las personas expuestas a radiación electromagnética tienen más probabilidad de cáncer de mama al inhibirse la melatonina y aumentar la prolactina. Estudios han demostrado que si la melatonina se inhibe se disparan los estrógenos (17).

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

CAPÍTULO VIII ALTERACIÓN CELULAR POR EFECTO DE LA RADIACIÓN



Autor
Geovanny Eloy Marcillo Merino

EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



La exposición de los seres vivos a radiaciones ionizantes (rayos x, neutrones, rayos gamma) producen efectos biológicos como consecuencia de la absorción de la energía por el organismo. Los cambios que se producen pueden ser en los tejidos directamente o mediante la formación de radicales libres, por acciones adversas luego de la exposición. En la célula se producen ionizaciones que dan lugar a reacciones químicas, las cuales causan alteraciones en el funcionamiento de la célula. Estas alteraciones pueden ser, errores, retrasos en la reproducción o la muerte.

El efecto nocivo de la radiación ionizante en este, caso depende de muchos factores: el tipo de célula, el momento del ciclo celular, la dosis expuesta, el tiempo entre otros, sin embargo, es indiscutible que una vez que ésta incide sobre un sistema biológico, provocará un impacto y producirá daños somáticos y genéticos. Los efectos en relación a la dosis se pueden clasificar en:

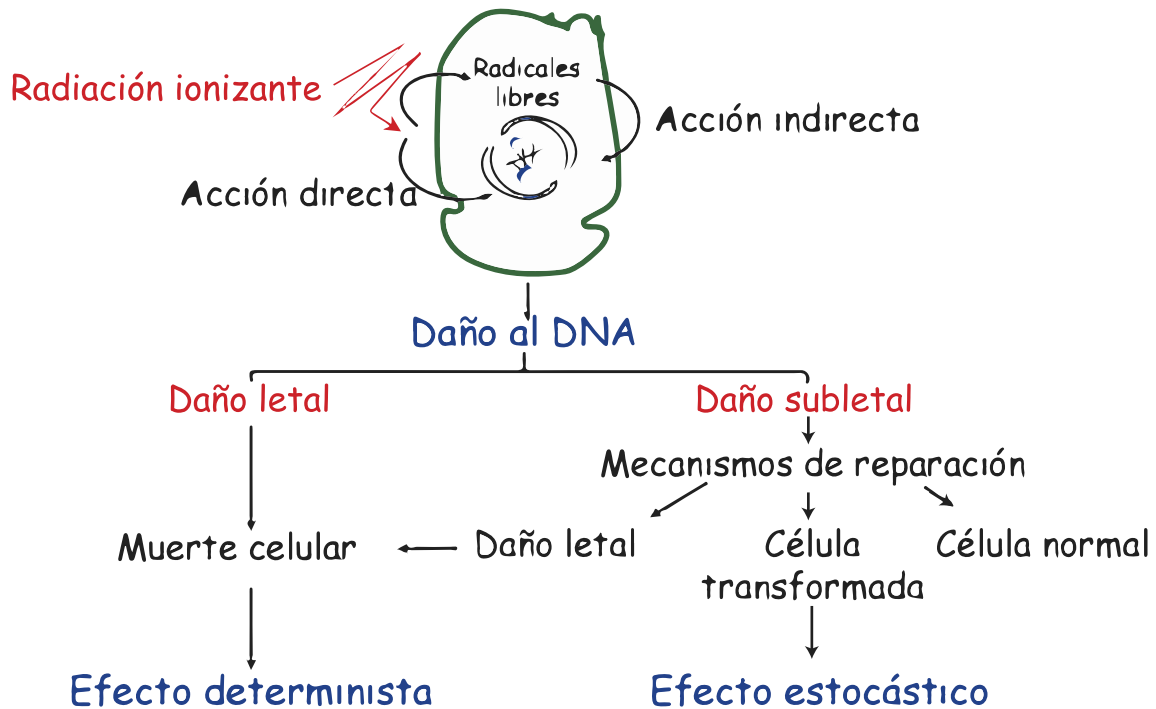
No estocásticos o deterministas: se produce cuando la dosis alcanza un umbral determinado y su aparición es inmediata.

Efectos estocásticos: la probabilidad de aparición depende de la dosis y de aparición tardía. Generalmente son graves.

Desde el punto de vista biológico, los efectos también se pueden clasifican a su vez como somáticos, si aparecen en el cuerpo de la persona que recibió la dosis y genéticos si impactan la descendencia de los progenitores expuestos (22).

Figura 48. Efectos biológicos de la radiación

EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN



Canal Antón Cristina, Fernández Antolín Maira y Martorán Rodríguez María Mar. El daño en el ADN debido a las radiaciones ionizantes [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://revistamedica.com/adn-radiaciones-ionizantes/>

Las fuentes más peligrosas son aquellas utilizadas en diagnósticos clínicos, materiales radiactivos naturales, reactores nucleares etc.

Considerando los factores que inciden en los efectos adversos sobre los tejidos es importante considerar que estos dependerán de la función que tengas los órganos para la salud. En este sentido, los más críticos son, la médula ósea (lugar donde se producen las células sanguíneas) el intestino delgado (donde se realizan los procesos de digestión) y las gónadas (donde se producen y maduran las células).



8.1 Radiosensibilidad

La mayor o menor sensibilidad de la radiación sobre las células de los tejidos, se conoce como radiosensibilidad; esta se dirige por las leyes de Begornie y Tribondeau las cuales establecen que las células son más radiosensibles: “Cuanto mayor sea su actividad reproductiva. Cuantas más divisiones deba realizar para adoptar una forma y funciones definitivas. Cuanto menos diferenciadas estén sus funciones” (22).

8.2. Reacción celular

A lo largo de la vida todos los organismos vivos generan procesos de regeneración celular, es un proceso natural que les permite reproducirse. Sin embargo, cuando este proceso se produce por causas ambientales (radiación ionizante) las células corren el riesgo de estropearse o sufrir mutaciones, al verse sometidas a muchos ciclos de replicación y división.

La radiación ionizante puede provocar la rotura de enlaces covalentes en las moléculas mediante un efecto directo o puede producir la descomposición de las moléculas de agua formándose radicales libres que dañan la célula por efecto indirecto. Directa, si es impactada por: electrones, protones, iones pesados, partículas alfa y beta. Indirecta: Fotones (rayos x, rayos gamma) y neutrones.

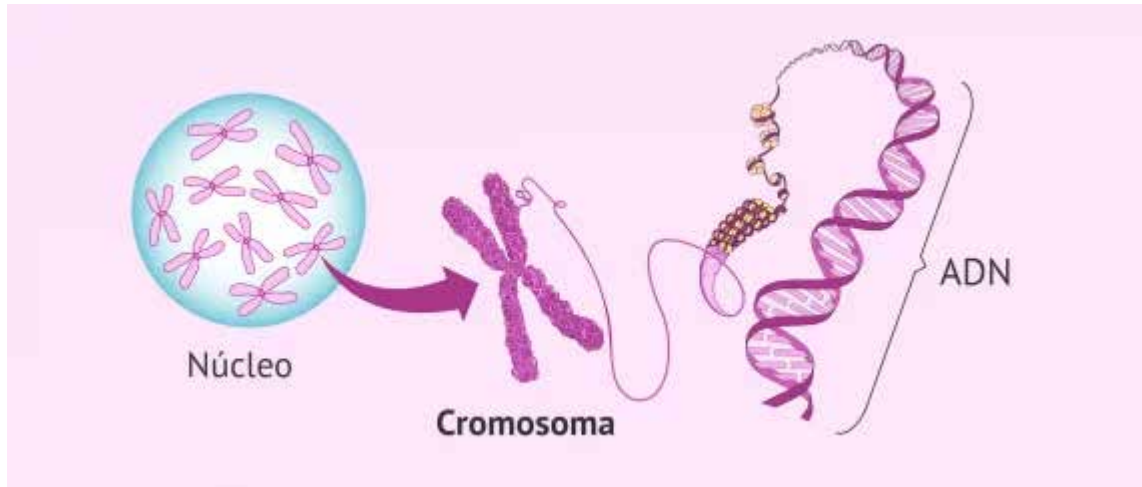
Si los radicales libres reaccionan con otras moléculas, pueden causar daños en áreas distintas a la interacción inicial. En el caso que los radicales libren actúen sobre el DNA los efectos pueden ser mayores: roturas en la cadena, destrucción de los azúcares, alteración de las bases entre otros.

8.3 Efectos sobre los cromosomas

Los cromosomas son estructuras que tienen forma de hilo ubicados en el núcleo de las células de los seres vivos. Están compuestos de proteínas combinadas con una molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN), se transfieren de padres a hijos y es lo que determina que cada ser vivo sea único.



Figura 49. Cromosoma



¿Qué son los cromosomas? [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.reproduccionasistida.org/cromosoma/>

El papel fundamental de los cromosomas en el proceso de división celular es garantizar que el ADN copie y distribuya fielmente toda la información genética.

Cuando se producen cambios en la estructura de los cromosomas, pueden producir graves problemas de salud, tales como leucemia u otro tipo de cáncer. Por otra parte, es fundamental que las células reproductoras del padre y la madre contengan la cantidad de cromosomas necesario o de lo contrario el descendiente pueden desarrollarse con anomalías (23).

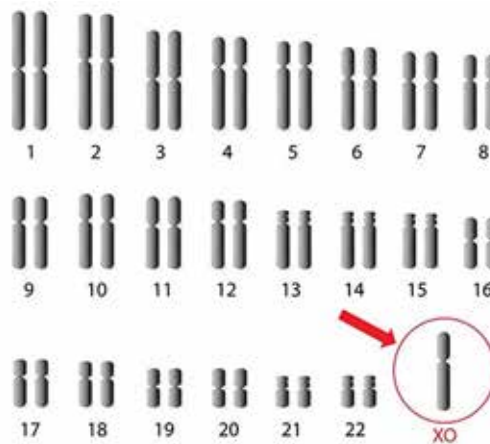
Si se producen cambios en la estructura de los cromosomas como consecuencia de la radiación, sea por acción directa o indirecta, se produce una rotura y se forman nuevos fragmentos al unirse con otros mutilados, dando lugar a la conformación de cromosomas distintos de los normales.



Las roturas pueden ser:

- Simples: con “restitución anómala y formación de translocaciones”, cromosomas dicéntricos y fragmentos acéntricos.
- Dobles: con “restitución anómala y formación de inversiones “, cromosomas en anillo y fragmentos acéntricos.

Figura 50. Esquema cariotipo con síndrome de Turner



genmolecular.com. Desde Mendel hasta las moléculas [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://genmolecular.com/alteraciones-cromosomicas/>

8.4 Mutación

Las alteraciones que se producen en el ADN, genes o cromosomas pueden ocasionar lo que conocemos como una mutación. Aunque a lo largo de la historia de la humanidad, todos los seres vivos mutan como parte de su proceso de evolución, en el caso de la mutación generada como consecuencia de una radiación, ésta aumenta la posibilidad de incidencia de una anomalía.

Los cambios producidos en la cadena del ADN, que son heredables se les conocen como mutaciones que ocurren en las células germinales (óvulos y espermatozoides) y pueden dar lugar a grandes cambios causando enfermedades.



Protección de los trabajadores de instalaciones radiactivas y del público. Delimitación de las zonas en instalaciones radiactivas. [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/proteccion-de-los-trabajadores-de-instalaciones-radiactivas-y-del-publico>

8.4.1 Tipos de mutaciones: las mutaciones pueden darse en tres niveles

Molecular: estas pueden ser genéticas o puntuales. Ocurren a nivel molecular y afectan la constitución química de los genes es decir las bases del ADN.

Cromosómico: la alteración ocurre en un segmento del cromosoma (de mayor tamaño que un gen), por lo tanto, a su estructura.



Genómico: afecta el conjunto del genoma aumentando el número de cromosomas (poliploidía) o reduciendo a una sola serie (haploidía) o afectando el número de cromosomas individuales (24).

8.5 Mutaciones puntuales

Afectan a un gen o grupo de genes y no producen una alteración significativa del cromosoma. El cambio se produce en un solo nucleótido o número reducido. Este hecho es comparable al hecho de cambiar una letra de una frase.

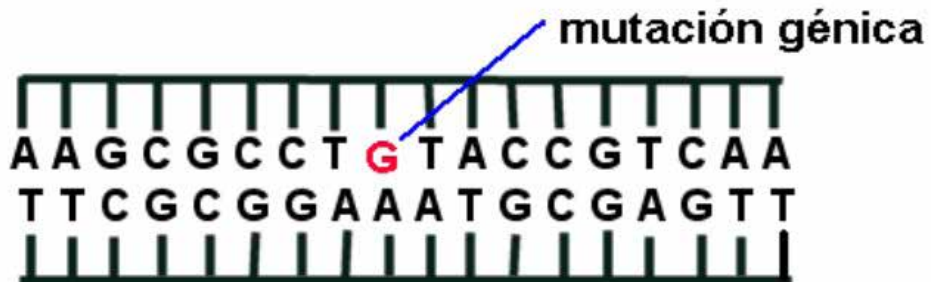
Cuando ocurre una anomalía cromosómica, este se rompe y una parte de él se une a otro diferente. Este proceso se le conoce como translocación, el cual es producto de una fusión de dos cromosomas distintos como consecuencia de una rotura. Estos casos se presentan cuando estamos en presencia por ejemplo de una leucemia, donde un cromosoma 8 se separa y se une al cromosoma 11 (23).



Figura 51. ADN mutado



Secuencia de ADN (= gen)



Secuencia de ADN mutada

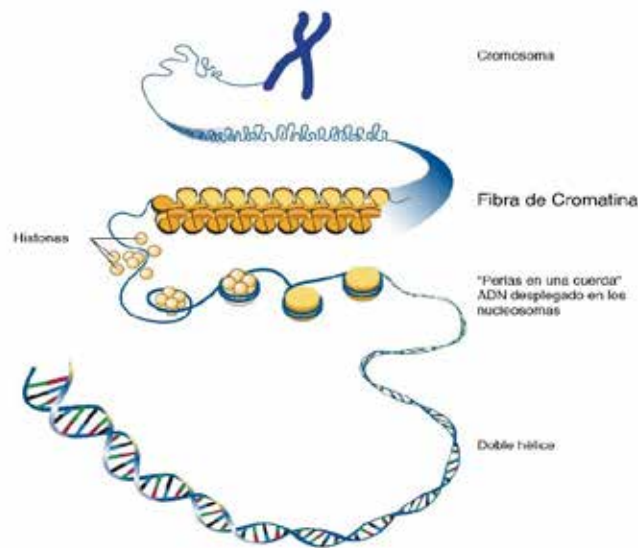
biogeo.esy.es. Genes, División Celular Y Biotecnología [Internet]. 2015 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <http://biogeo.esy.es/BG4ESO/mutaciones.htm>

8.6 Reacciones bioquímicas por la radiación ionizante

Existe suficiente evidencia de que las radiaciones ionizantes, pueden alterar la transcripción del código genético, así como la síntesis de la cadena del ADN. Las roturas tienen menos probabilidad de ser reparadas antes de la mitosis (la mitosis es el proceso de generación de dos núcleos idénticos antes de la división celular, esta va seguida del reparto equitativo del núcleo) y durante la transcripción y replicación. También puede ocurrir una “reparación incorrecta” cuando la base de un cromosoma es sustituida por otra diferente. Igualmente existe evi-

dencia de que la radiación puede producir daños a la estructura de la cromatina (sustancia fundamental del núcleo celular que tiene como función empaquetar el ADN) ella constituye un factor de muerte en las células reproductoras, así como de mutaciones y efectos genéticos.

Figura 52. Estructura de la cromatina



genome.gov. Cromatina [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Cromatina>

8.7 Efectos de las radiaciones en los sistemas biológicos

8.7.1 Sistema hematopoyético

Es el sistema encargado de la formación de la sangre. Hema significa sangre y poyesis producción. La sangre es un tejido compuesto por agua y sustancias minerales que conforman el plasma sanguíneo. El plasma está constituido por: glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas.

Estos minerales se producen en la médula de algunos huesos del esqueleto como el esternón, los huesos del cráneo, las costillas, el hueso iliaco, entre otros.

En la médula ósea roja se encuentran las células hematopoyéticas que circulan al resto de la sangre. La función principal de la sangre es transportar los nutrientes desde el intestino delgado al resto del cuerpo.

Las células del sistema hematopoyético y el sistema linfático, son altamente sensibles a la radiación, las más sensibles son las células de la médula ósea, las que a su vez permiten la formación de las células sanguíneas, las plaquetas y el tejido linfático que se encuentra en el bazo, hígado, timo y ganglios linfáticos. Entre los efectos podemos mencionar: fallo hepático, hepatitis inducida, alteración de los tejidos, inmunosupresión, infecciones, hemorragias, fibrosis, cáncer.

8.7.2 Sistema reproductor

Lo conforman los órganos encargados de la procreación. En la mujer está constituido por: los ovarios, las trompas de Falopio, el útero, la vagina y el cuello uterino. En el hombre lo constituye la próstata, los testículos y el pene.

Los efectos en este caso son evidentes: esterilidad. En el hombre, la esterilidad no es diagnosticada de forma inmediata sino meses después de la exposición; puede producir daños hereditarios en el recuento de espermatozoides. En la mujer la radiación destruye el óvulo y el folículo maduro. La dosis y la edad son influyentes.

8.7.3 Sistema gastrointestinal

Tiene como función procesar todos los nutrientes de los alimentos que entran por la cavidad bucal. Está conformado por el tracto digestivo (parte de la boca, el esófago, el estómago, intestinos y llega al ano) y ciertos órganos que intervienen en el proceso de la digestión: el hígado, la vesícula biliar y el páncreas.



La radiación puede disminuir o suprimir las secreciones, pérdidas elevadas de líquidos, electrolitos, posibilitar la entrada de bacterias al intestino, inflamación, resequead de la piel, dermatitis, pérdida del vello.

8.7.3 Sistema cardiovascular

Formado por los vasos sanguíneos y el corazón. Estos órganos son radiosensibles y pueden verse afectados por daños funcionales en el corazón. Dosis altas pueden producir pericarditis (inflamación de las membranas que recubren el corazón) y pancarditis (inflamación total del corazón).

8.7.4. Sistema nervioso central

Se requieren altas dosis. Los efectos pueden ser inmediatos o tardíos, estos últimos son graves y se producen luego de meses o años de exposición. Pueden ser: meduloblastoma, encefalopatía aguda, dolores de cabeza, mareos (25).

8.8. Efectos somáticos estocásticos

Se ha demostrado que organismos expuestos a radiaciones ionizantes presentan afección por leucemia y tumores malignos y benignos, en sobreviviente de las bombas atómicas y presencia de tumores luego de la exposición en poblaciones sometidas a altas dosis. Sin embargo, existen opiniones encontradas en la comunidad científica en relación a estos efectos.

El efecto somático se refiere a la dosis de radiación que ha recibido el organismo, ahora bien, cuando las dosis son muy elevadas se habla de efectos estocásticos porque las consecuencias son severas a largo plazo; en este caso la célula es modificada por un daño en el ADN. Dos efectos de alta preocupación son el cáncer luego de un periodo de latencia de varios años (leucemia, tumores malignos) y las enfermedades hereditarias, los cuales en muchos casos termina acortando el período de vida del paciente.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



El cáncer producido por exposición radiogénico, debe ser visto como un tipo de cáncer con altos cambios celulares y alto riesgo de morbilidad.

El cáncer genético por su parte, debe ser visto como un efecto de la descendencia del individuo que fue irradiado; en este caso la dosis debe afectar a las gónadas del progenitor (26).

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

CAPÍTULO IX OSTEORADIONECCROSIS COMO SECUELA DE LA RADIACIÓN



Autor
Gabriela Elizabeth Sarmiento Ávila

EDICIONES **MAWIL**

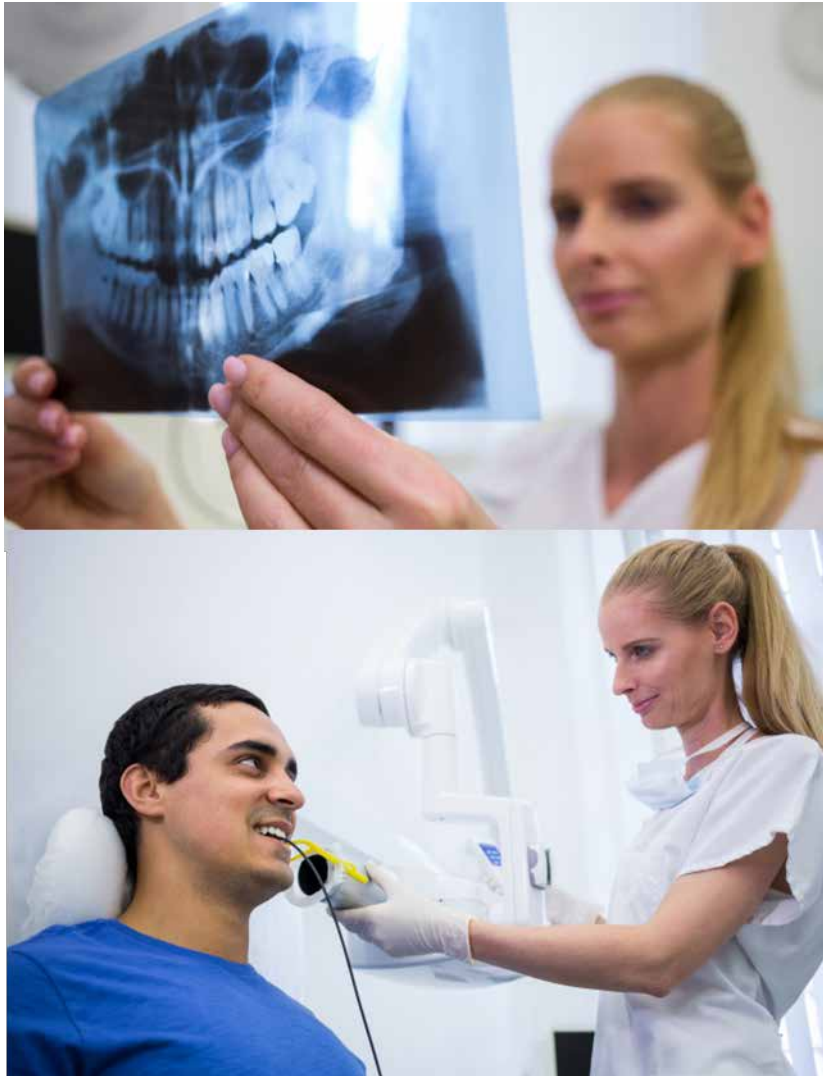


El carcinoma de células escamosas (CEC) representa el 90% de las neoplasias malignas de la cavidad oral, según investigaciones, se ha demostrado que este tipo de cáncer afecta fundamentalmente a hombres mayores de 50 años con hábitos de tabaquismo y alcohol y para algunos investigadores se cree que debido a la presencia de VPH como factor etiológico. Según el grado y progreso de la enfermedad se decide el tipo de tratamiento por radioterapia que recibirá el paciente: número de sesiones y dosis a los cuales será expuesto. En los casos donde el carcinoma ha avanzado se requiere una combinación de técnicas que se complementan con cirugía, radioterapia y quimioterapia. No obstante, una vez realizado el tratamiento es cuando aparecen los efectos sobre la salud (27).

Muchos pacientes con cáncer en cabeza y cuello, son sometidos a altas dosis de radioterapia en áreas que incluye la cavidad bucal, maxilar, mandíbula y glándulas salivales. La radioterapia provoca muchas reacciones adversas en la cavidad bucal y en otras partes del cuerpo, en este caso cuando afecta la cavidad oral puede producir osteoradionecrosis.



Figura 53. Radigrafía dental



Digital dental radiography [Internet]. 2020 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://www.centaurssoftware.com.au/>

El impacto dependerá del volumen y la superficie que irradian, el total de dosis, la edad, el estado de salud, el fraccionamiento del tratamiento. En tal sentido estos efectos se pueden dividir en tres fases:

1. Efectos agudos: agravamiento de los síntomas preexistentes al tratamiento. Generalmente ocurren durante el tratamiento y pueden ser reversibles.



2. Efectos diferidos: aparecen a las pocas semanas hasta 2 o 3 meses como consecuencia del aumento de los corticoides.
3. Efectos tardíos: de tres meses a 12 años posteriores a la radioterapia. Estas complicaciones casi siempre son irreversibles.

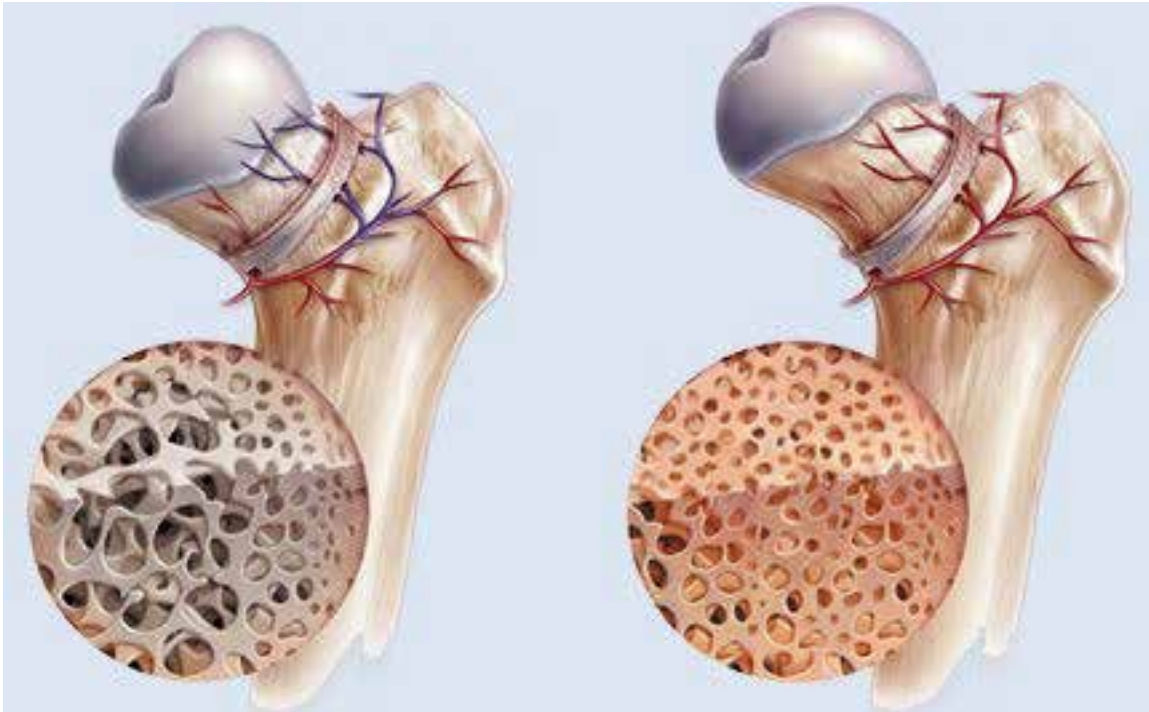
Varias son las lesiones que pueden producirse luego de un tratamiento por radioterapia: infecciones, mucositis, disfunción de las glándulas salivales; estas a su vez pueden producir otras como deshidratación, desnutrición etc. En los casos de radiación dirigida puede causar daños irreversibles como la osteoradionecrosis.

La osteoradionecrosis es una de las consecuencias más severas luego de estar expuesto a una radioterapia por carcinoma en cabeza o cuello. Habitualmente aparece en la mandíbula de forma tardía y produce un deterioro en la vida del paciente. El hueso irradiado queda expuesto, el cual no puede ser curado durante un tiempo de tres meses y esta exposición conlleva a que el área se contamine.

La osteoradionecrosis (ORN) es la muerte ósea producida en pacientes con cáncer de cabeza y cuello como consecuencia de la radiación en el área de la boca. La ORN se produce en los huesos de la mandíbula, los cuales son afectados por la exposición a dosis altas y al quedar expuestos, estos se infectan produciendo una lesión que difícilmente llega a curarse (28).



Figura 55. Osteoradionecrosis (ORN)



Torres Juan. Osteonecrosis maxilar y mandibular asociada a bifosfonatos [Internet]. 2019 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.dentisalut.com/osteonecrosis-maxilar-y-mandibular-asociada-a-bifosfonatos/>

La ORN puede causar:

- Dolor
- Cambios en el paladar
- Sensibilidad
- Dificultad para hablar y abrir la boca.

La posibilidad de padecer una ORN es proporcional a la dosis que reciba y el estado de sus dientes; lo más recomendable es recibir la dosis más baja posible para tratar su cáncer y evitar efectos secundarios severos.



9.1. Cómo se produce la ORN

Según Marx, citado en Rui, G (27), la ORN es una enfermedad que se produce como consecuencia de una radioterapia, donde ocurre una “hipervascularización e hipocelularidad” del tejido óseo, lo que obstaculiza la capacidad de regeneración del mismo. Por otro lado, los estudios también han demostrado que se produce una “atrofia del metabolismo óseo, formación de radicales libres e inflamación y trombosis microvascular” lo que conduce a una necrosis.

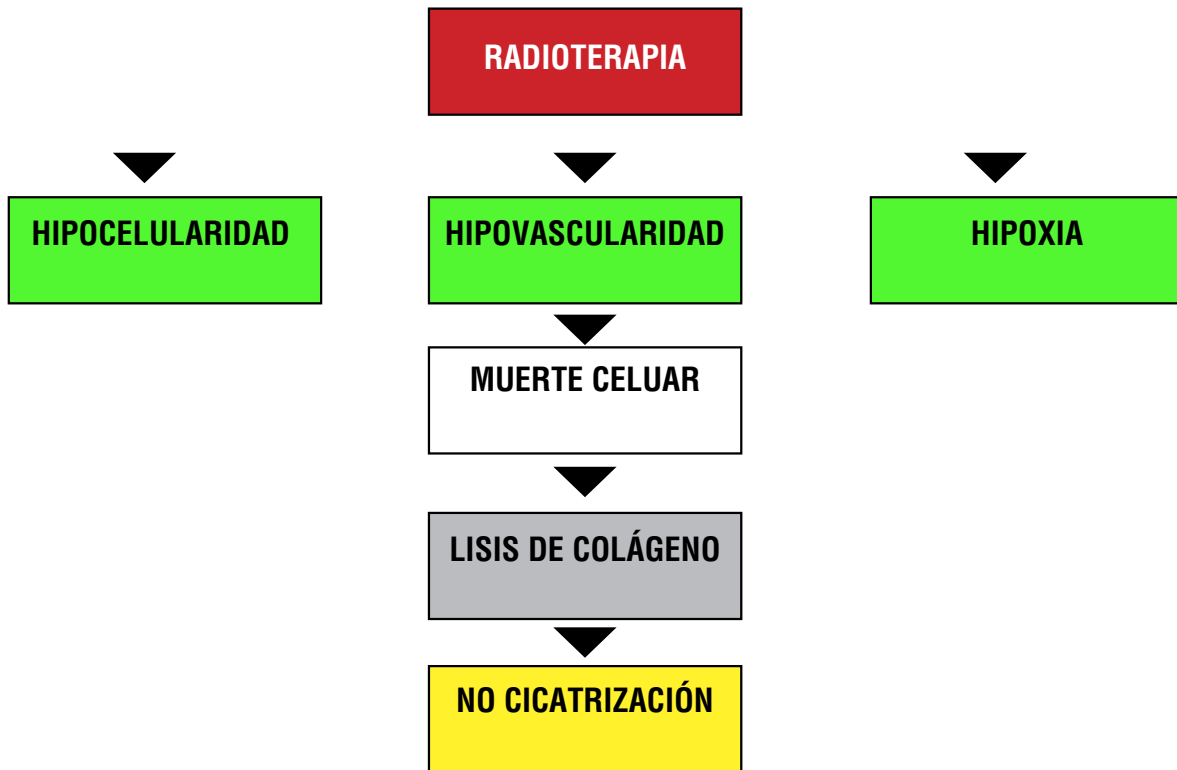
El riesgo de padecer una ORN es tres veces mayor en pacientes con una deficiente salud bucal, debido a la necesidad de extraer piezas.

Estudios han demostrado como luego de ser sometidos a una exposición mayor a 70Gy divididos en varias sesiones (39 aproximadamente) y se ha realizado alguna extracción, pacientes han presentado procesos infecciosos luego de un mes de ser sometidos a radiación; por otro lado, se ha demostrado que pacientes que han recibido dosis menores a 60Gy no han presentado este tipo de lesiones.

El tiempo de aparición luego de una radioterapia varía entre cuatro meses a dos años luego de la exposición. Pero es mucho más traumático e inmediato en los casos que se realizó una extracción (27).



Figura 56. Fisiopatología de la ORN



Fuente: (29)

El tratamiento de cáncer en cuello y cabeza obliga a los pacientes a someterse a dosis altas de radiación que llegan a generar efectos graves para la salud. En el caso de este tipo de lesiones, generalmente los pacientes son sometidos a unas treinta sesiones continuas durante dos meses seguidos, que producen un deterioro de su sistema inmune, afección de órganos y tejidos que ya previamente se encuentren afectados y que la exposición acelere su padecimiento.

El tratamiento con radiación puede causar hipervascularización, es decir dañar los tejidos y los vasos sanguíneos, impidiendo suministrar oxígeno y nutrientes al hueso de la mandíbula lo que le impide sanar y mantenerse vivo luego de sufrir una lesión.

En este caso la mala higiene bucal, así como el estado de salud de los dientes del paciente son factores influyentes para llegar a padecer una ORN. Antes de someterse a un tratamiento de esta magnitud, es importante que un odontólogo evalúe al paciente, con el propósito de evitar este tipo de lesiones. Asimismo, es fundamental evaluar el estado de las prótesis que también puedan ser impactadas por la exposición. El médico tratante del cáncer, generalmente sugerirá una evaluación previa con un odontólogo antes de someterse a una radiación, el cual deberá extraer cualquier diente que en el futuro pueda generar una complicación. Es imprescindible que previo a la exposición se realice una higiene y cuidado estricto de la salud bucal, utilizar tratamientos con flúor, ya que esto contribuirá a evitar la acumulación de bacterias y una posible afección por ORN.

Tabla 8. Grados de ORN

TIPO DE ORN	AFECCIÓN
GRADO I	Dolor, tumefacción, trismo, exposición ósea (más de seis meses)
GRADO II	Afectación mandibular parcial
GRADO III	Afectación mandibular total

Fuente: Elaboración propia.

9.2 Qué hacer frente a una lesión por ORN

Las cifras de carcinomas en cabeza y cuello no son estrictamente proporcionales a las de ORN, es decir no necesariamente por estar sometido a radiación alta por padecer un cáncer de este tipo se llega a padecer de esta infección. Estudios científicos han demostrado que la incidencia ha disminuido durante las últimas tres décadas gracias a los avances en los tratamientos y la cooperación entre el oncólogo y el odontólogo. La prevalencia varía de menos de 1% a 30%.

Por otro lado, es importante señalar que existen condiciones que alteran la vascularidad y posibilitan el desarrollo de una ORN, tales como: diabetes mellitus, deficiencias nutricionales, hipertensión arterial, consumo de tabaco y alcohol, deficiente higiene bucal, extracciones den-

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

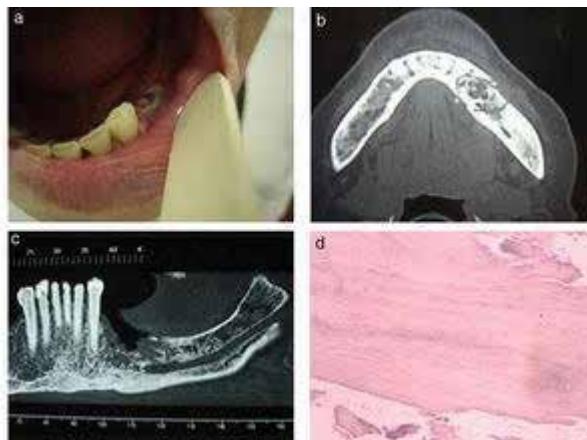


tales, biopsias, proximidad del tumor al hueso, intervención quirúrgica, alta dosis de radiación (mayor a 70Gy) etc., son factores que destruyen los vasos sanguíneos e impiden una recomposición normal del tejido (29).

Según la gravedad del caso la ORN puede ser tratada con:

- Antibióticos: este atacará y controlará el foco de la infección tras los primeros síntomas.
- Cirugía: según la gravedad de la lesión, se puede extirpar el hueso muerto y extraer tejido de otra parte del cuerpo para reconstruir que se extrajo.
- Terapia de oxígeno hiperbárico (HBO): consiste en el uso de oxígeno puro para ayudar a curar los vasos sanguíneos y tejidos afectados.

Figura 57. Tomografía computada del maxilar inferior, corte axial: se aprecia necrosis afectando el hueso medular y ambas corticales (asteriscos)



Sartoria, G. Rajcovichb, N. Tabordaa, M. Saleme Dazaa, C. Osteonecrosis del maxilar inferior por bifosfonatos. Presentación de caso [Internet]. 2015 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-argentina-radiologia-383-articulo-osteonecrosis-del-maxilar-inferior-por-S0048761914001148>

En muchos casos de pacientes que han sido sometidos algunos de estos tratamientos, han mostrado mejoría, pero el estado de descompensación de su salud luego de la exposición, no les ha permitido superar la gravedad llegando a producir la muerte (30).

Tabla 9. Tiempo comprendido entre el inicio y el final del tratamiento (tx) de radioterapia (RT) y la aparición de la ORN en pacientes del Hospital General de México

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO4
Dx de lesión	1995	2005	2007	2008
Inicio de RT	Diciembre 1996	Mayo2005	Marzo 2007	Marzo 2009
Fin tx RT	Marzo 1997	Agosto 2005	Junio 2007	Mayo 2009
Dx ORN	Noviembre 1997	Mazo 2008	Octubre 2009	Septiembre 2009
Meses inicio RT-ORN	11 meses	34 meses	31 meses	6 meses
Meses de fin RT-ORN	8 meses	31 meses	28 meses	4 meses

Fuente: (29)

9.3 Consideraciones del paciente antes de la radioterapia

Es importante que el paciente oncológico antes de someterse a un tratamiento de radioterapia, realice un diagnóstico y tratamiento adecuado del estado oral y estabilice su salud. El cuidado debe ser preventivo para reducir el riesgo de complicaciones orales y otras complicaciones relacionadas.

Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías para tratar los efectos adversos ha favorecido al paciente al reducir el riesgo de dolor, las infecciones y el tiempo de estadía en el hospital. Asimismo, el uso de fármacos quimioterapéuticos utilizados en dosis mayores aumenta la posibilidad de curación y remisión de la enfermedad.

Por otro lado, es fundamental un enfoque multidisciplinario de la enfermedad para el tratamiento del paciente. La cooperación adecuada de varios profesionales permitirá accionar debidamente y reducir los traumas que implica esta patología. Es importante la labor conjunta del

oncólogo, el psicólogo, el odontólogo y el cirujano maxilofacial.

Tabla 10. Complicaciones orales de la oncoterapia

Complicación	Factores de riesgo directo	Factores de riesgo indirecto
Mucositis oral	Citotoxicidad del quimioterápico en la mucosa	Inmunidad local/sistémica reducida: infecciones locales, reactivación del VHS
Infecciones Virales	Trauma físico o químico	Inmunidad sistémica reducida
Infecciones Micóticas		Inmunidad sistémica reducida Disfunción de las glándulas salivales Alteración de la flora bucal (reducción de la flora bacteriana)
Infecciones Bacterianas	Higiene oral inadecuada Colapso de la mucosa Patógenos adquiridos	Inmunidad sistémica reducida Disfunción de las glándulas salivales
Disgeusias	Toxicidad de los receptores del gusto	
Xerostomía	Toxicidad en las glándulas salivales	Fármacos anticolinérgicos
Neuropatías	Consumo de fármacos de vinca alcaloide; toxicidad de medicamentos específicos	Anemia, hipersensibilidad dental, disfunción temporomandibular/dolor miofacial
Crecimiento y desarrollo dental y esquelético (pacientes pediátricos)	Toxicidad específica de los medicamentos	Etapa de maduración dental y esquelética
Mucositis gastrointestinal	Citotoxicidad en la mucosa: radiación, quimioterapia	Náuseas y vómitos
Hemorragia	Mucositis oral Trauma físico Infecciones (por ejemplo, VHS)	Trombocitopenia Reducción de factores coagulantes (por ejemplo, CID)

CID = coagulación intravascular diseminada; VHS = virus herpes simple

Rocha-Buelvas Anderson, Jojoa Pumalpa Alexander. Manejo odontológico de las complicaciones orales secundarias al tratamiento oncológico con quimioterapia y radioterapia [Internet]. 2011 [citado 20/12/2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-971X2011000200008

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

CAPÍTULO X AFECTACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL POR LA RADIACIÓN



Autor
Arcadio Jacinto Giacoman Jiménez

EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



Es normal que los tratamientos contra el cáncer generen efectos adversos en el sistema nervioso. Luego de superar las etapas del tratamiento el paciente debe enfrentar las secuelas del mismo, así el alivio temprano de los síntomas adversos, pueden permitir una recuperación plena del enfermo y evitar dificultades para el desarrollo de sus actividades cotidianas.

Aunque algunos síntomas finalizan una vez culminado el tratamiento otros persisten. Si el daño se diagnostica a tiempo puede controlarse en las primeras etapas y evitar el agravamiento (31).

El sistema nervioso está conformado por:

- Sistema nervioso central (SNC): incluye el cerebro y la médula espinal.
- Sistema nervioso periférico (SNP): incluye los nervios que están fuera del SNC y que llevan información a este y viceversa. Incluye los receptores sensoriales que reciben información desde el exterior y medio interno, esta información es llevada a través de los nervios al SNC.



Figura 58. Sistema Nervioso Central

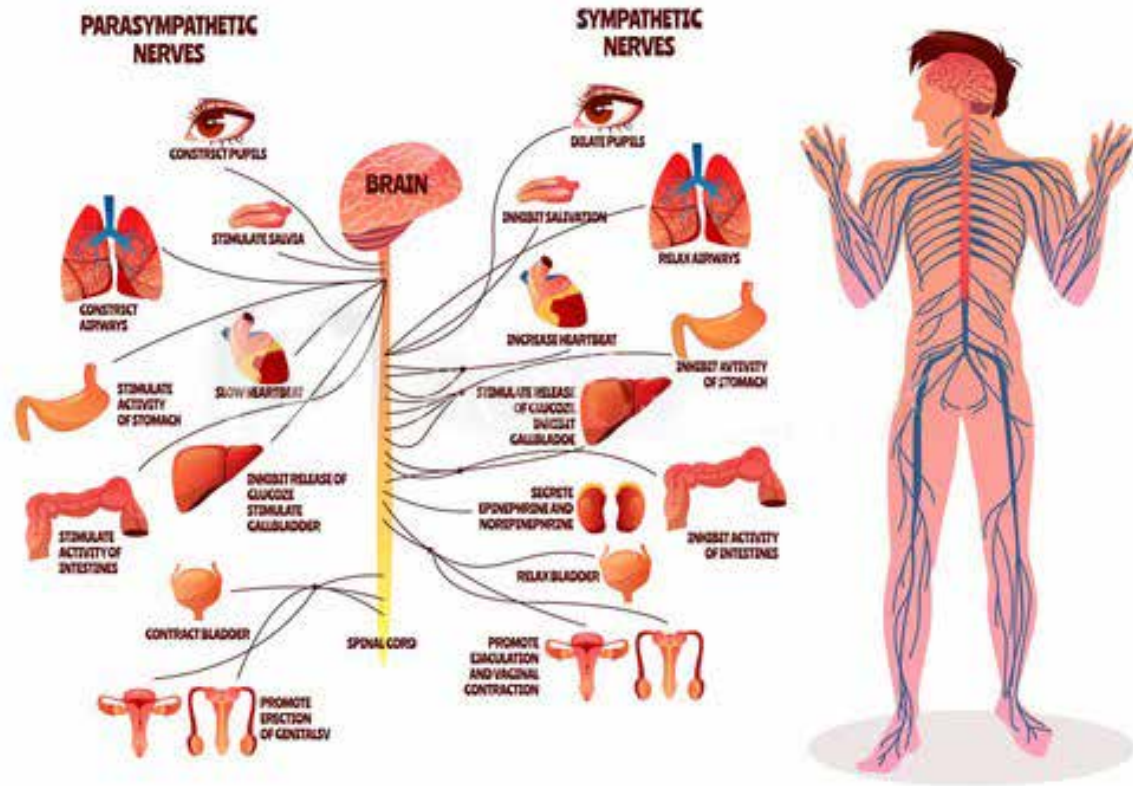


Adobe stock. 3d rendered medically accurate illustration of the human brain and a tumor. [Internet]. 2016 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/3d-rendered-medically-accurate-illustration-of-the-human-brain-and-a-tumor/250313661>



Figura 59. Human nervous system vector illustration

HUMAN NERVOUS SYSTEM



Adobe stock. Human nervous system vector illustration. Cartoon design of man body with brain parasympathetic and sympathetic nerves chain for neurology medical infographic. [Internet]. 2017 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/human-nervous-system-vector-illustration-cartoon-design-of-man-body-with-brain-parasympathetic-and-sympathetic-nerves-chain-for-neurology-medical-infographic/218890394>

Toda la información de nuestro sistema nervioso es manejada por tres tipos de neuronas: las neuronas sensoriales, cuya función es enviar información de los tejidos del cuerpo y órganos sensoriales a la medula espinal; estas a su vez involucran a otras neuronas las interneuronas,

las cuales forman un sistema de comunicación interna lo que le permite al SNC enviar instrucciones a los tejidos a través de un tercer grupo de neuronas llamadas motoneuronas. Este grupo de neuronas nos permiten obtener información del exterior e interior de nuestro cuerpo, en qué estado se encuentran el corazón, pulmones etc. Conocer las condiciones del medio externo, si hace frío o calor y finalmente generar una respuesta del cuerpo ante esa información.

El SNP controla los movimientos del cuerpo, los órganos internos, activa nuestra capacidad de respuesta ante una situación de amenaza, eleva el azúcar, acelera la digestión y lo regula al mismo tiempo.

Si alguno de estos sistemas es afectado por un tratamiento de radiación es indudable que impactará la movilidad y capacidad de respuesta y procesamiento de la información del cuerpo. En este sentido, cuando en el sistema nervioso central o en el sistema nervioso periférico se presentan ciertos síntomas es posible que estemos ante el diagnóstico de un cáncer. Si se trata de una afección del sistema nervioso central se pueden presentar señales como:

- Cambios en los procesos de pensamiento: memoria, raciocinio, resolución de problemas.
- Problemas de equilibrio: mareos, náuseas, vértigo.
- Convulsiones.

Si la afección es del sistema nervioso periférico el paciente puede manifestar síntomas de:

- Debilidad general, problemas para caminar o sostener objetos.
- Cosquilleo, entumecimiento, ardor en manos y pies.
- Estreñimiento.
- Incontinencia.
- Disfunción eréctil.



Conocer las causas es importante para controlar los síntomas a tiempo. En este caso pueden estar generadas por cáncer o como consecuencia de una radioterapia.

10.1 La radioterapia y el SNC

La radioterapia es uno de las técnicas que se utiliza en el tratamiento de tumores cancerígenos en el sistema nervioso. Cuando existen uno o varios tumores la radioterapia es dirigida a una zona general (como toda la cabeza) o particular cuando el tumor es nítido.

Estos tratamientos por lo general causan daños inevitables en el sistema nervioso, y depende de varios factores:

- La dosis de radiación que se administra a lo largo del tratamiento.
- La cantidad de dosis suministrada en cada sesión.
- El área expuesta
- La susceptibilidad de cada persona

Los síntomas adversos pueden desaparecer o prolongarse en el tiempo.

Figura 60. CT brain trauma comparison



Adobe stock. CT brain trauma comparison 3D [Internet]. 2018 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/ct-brain-trauma-comparison-3d-rendering-image-sagittal-axial-and-coronal-view-for-screening-skull-fracture/264885839>



10.2 Efectos adversos en el sistema nervioso central

La RT es uno de las técnicas líderes utilizadas en el tratamiento oncológico en pacientes con tumores cerebrales. La RTH “holocraneal” irradia todo el cerebro hasta la vértebra cervical y la RTF “focal” se administra en una sola fracción del cerebro, está dirigida cuando el tumor está claramente definido. No obstante, de acuerdo a la técnica empleada en el tratamiento varían los efectos adversos.

Así podemos mencionar:

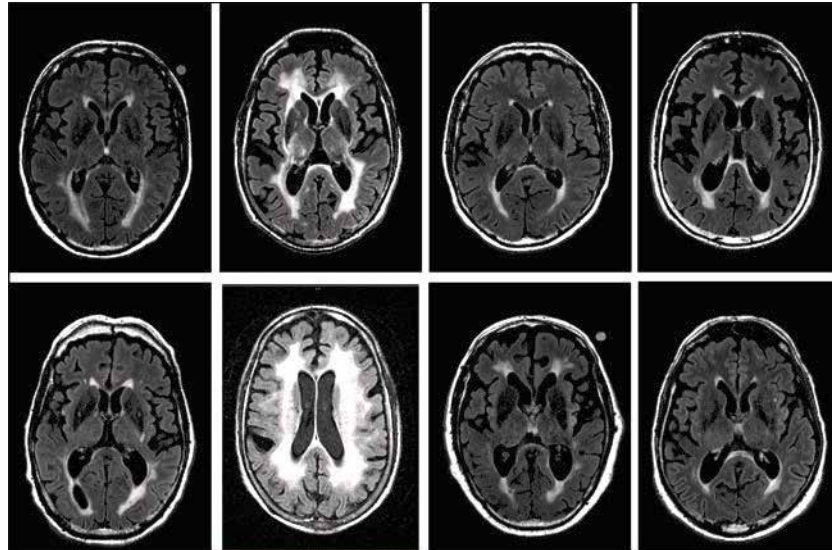
La toxicidad cognitiva o encefalopatía aguda: dados los avances de las investigaciones desde los años noventa a nuestros días, se ha descrito como encefalopatía aguda, tardía temprana y tardía aguda, dado que puede aparecer durante los 3-4 primeros meses post RTH.

Tras su aparición el paciente manifiesta síntomas como: cefalea, somnolencia, limitaciones en la focalidad neurológica. En el caso de la encefalopatía tardía temprana, los efectos son transitorios y reversibles en el rango de 1-6 meses después de la RT y presenta síntomas como: fatiga, somnolencia, dificultades cognitivas. En el caso de la encefalopatía tardía aguda, se presenta luego de los 6 meses de la RT y los síntomas son irreversibles con un deterioro cognitivo progresivo. La encefalopatía aguda: es un resultado de la radioterapia, producido por la acumulación de líquidos lo que genera una inflamación cerebral (edema cerebral).

Los factores de riesgo conocidos son de 7 a 60 años, generados por dosis de 2Gy por cada área radiada, la dosis acumulada, el volumen cerebral afectado, la quimioterapia utilizada y si existen factores de riesgo cardiovascular.



Figura 61. Encefalopatía aguda



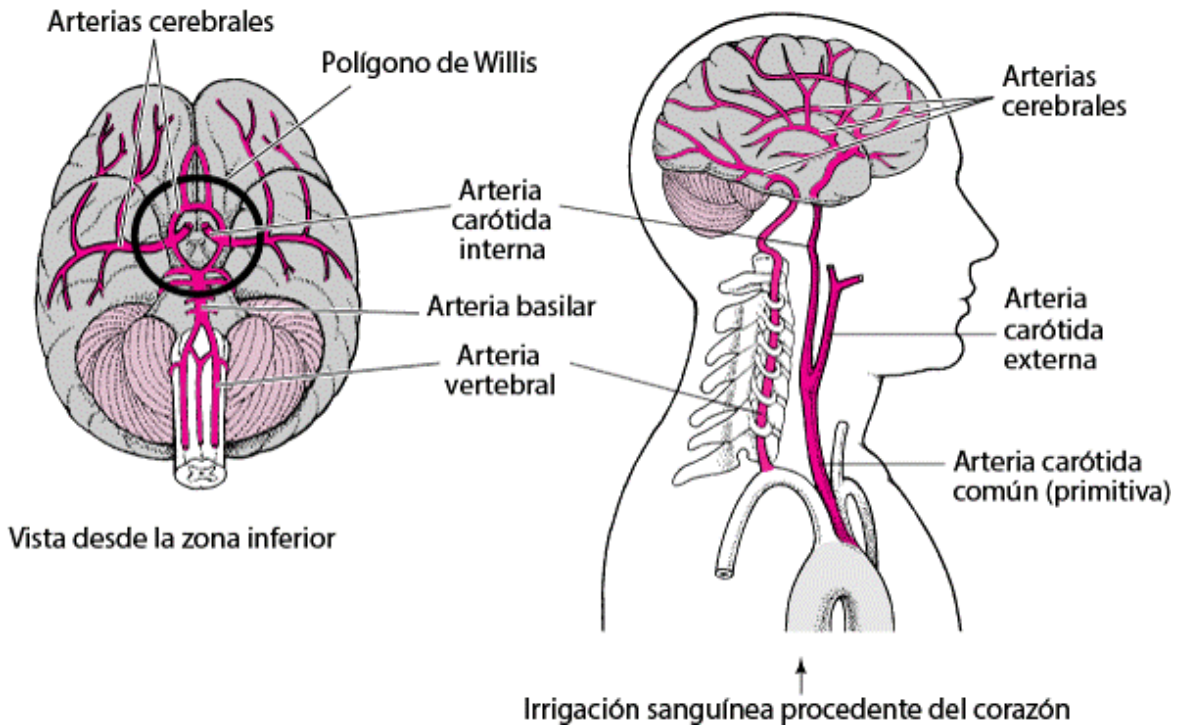
N. Falgàs, I. Alfaro, G. Crespo, J. Berenguer, J.C. García-Pagán, E. Muñoz. Afasia en paciente con encefalopatía hepática aguda asociada a lesiones corticales cerebrales multifocales [Internet]. 2018 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-neurologia-295-articulo-afasia-paciente-con-encefalopatia-hepatica-S0213485316300263>

10.2.1 Vascularización cerebral

La RT desestabiliza la vascularización cerebral, es decir desequilibra el flujo de sangre que da oxígeno al encéfalo a través de sus arterias y venas. Las arterias llevan sangre oxigenada, glucosa, y otros nutrientes al encéfalo y las venas traen de vuelta sangre desoxigenada. Este proceso tan necesario para el SNC se perturba por los efectos de la RT.



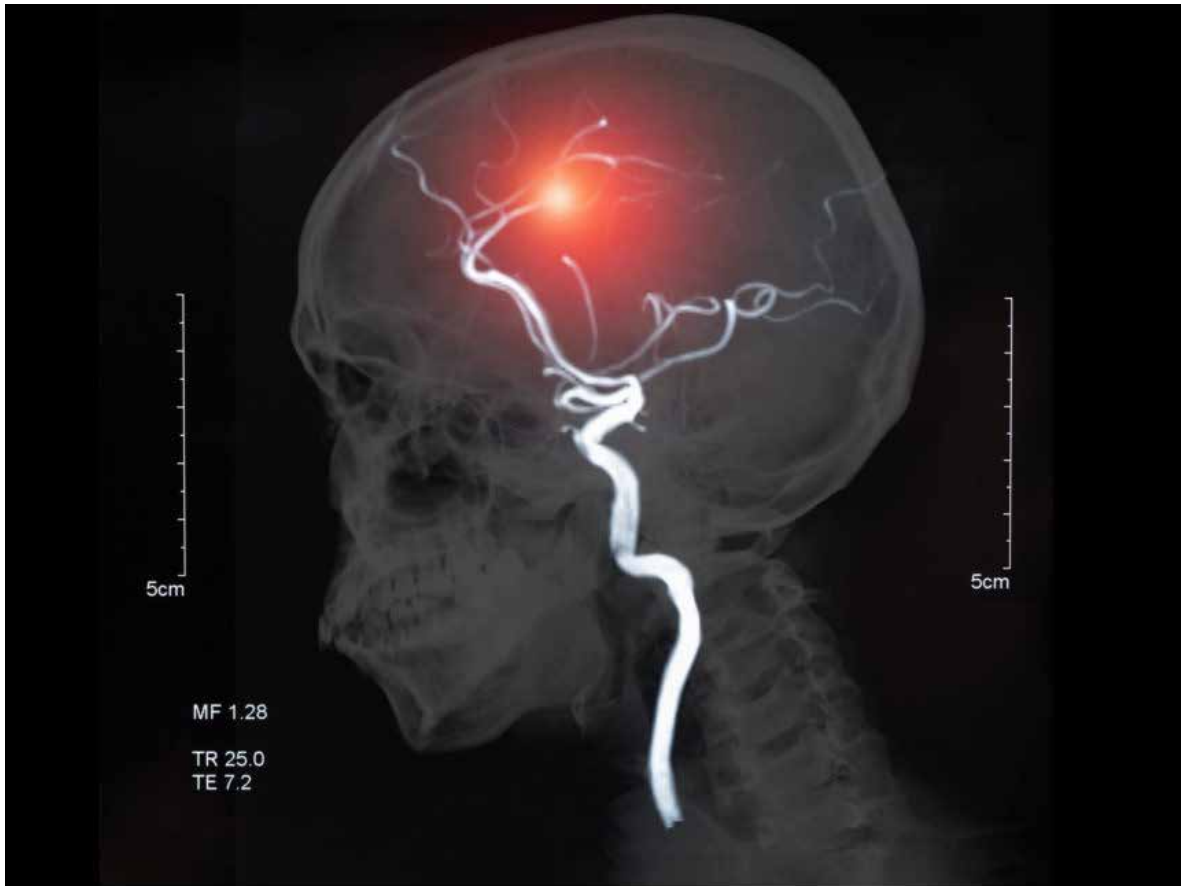
Figura 62. Vascularización



Irrigación cerebral [Internet]. 2020 [citado 20/12/2020]. Disponible en: https://www.merckmanuals.com/es-pr/hogar/multimedia/figure/neu_supplying_brain_blood_stroke_es



Figura 63. Accidente cerebrovascular



Adobe stock. Brain stroke. [Internet]. 2018 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/ct-brain-trauma-comparison-3d-rendering-image-sagittal-axial-and-coronal-view-for-screening-skull-fracture/264885839>

10.2.2 Mielopatí

Si la radiación se aplica en la columna vertebral puede ocasionar mielopatía. Esta enfermedad implica una disfunción de la médula espinal, causada por una compresión a nivel de la cervical.

El paciente siente una suerte de descarga eléctrica, inicia en el cuello o espalda y luego desciende hacia las piernas. No en todos los pacientes se presentan los mismos síntomas, sin embargo, en líneas genera-

les como picor, pérdida de sensibilidad, entumecimiento, parálisis o falta de fuerza en algunas extremidades.

Esta complicación neurológica es poco frecuente y ocurre tras la irradiación de tumores en la médula espinal, los síntomas pueden aparecer meses o años después de la exposición.

Este tipo de afección se presenta luego de la radiación en la región cervical y axilar a un rango de 5.000cGy o más, clínicamente se presenta como una debilidad en las extremidades. El pronóstico se realiza a través de resonancia magnética en la cual se observa inflamación en T2.

Figura 64. Radiólogo de laboratorio



Adobe stock. In Medical Laboratory Radiologist Controls MRI or CT or PET Scan with Female Patient Undergoing Procedure. Professional Doctor Conducts Emergency Checkup Procedure with Advanced Medical Technologies. [Internet]. 2019 [citado 25/12/2020]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/es/images/in-medical-laboratory-radiologist-controls-mri-or-ct-or-pet-scan-with-female-patient-undergoing-pro>



cedure-professional-doctor-conducts-emergency-checkup-procedure-with-advanced-medical-technologies/236237292

Figura 65. Mielopatía



Davies Benjamin, Mowforth Oliver, Smith Emma, Kotter Mark. Mielopatía Cervical Degenerativa [Internet]. 2015 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <http://nucleo-ortopedico.com.ar/inicio/?notas=mielopatia-cervical-degenerativa>

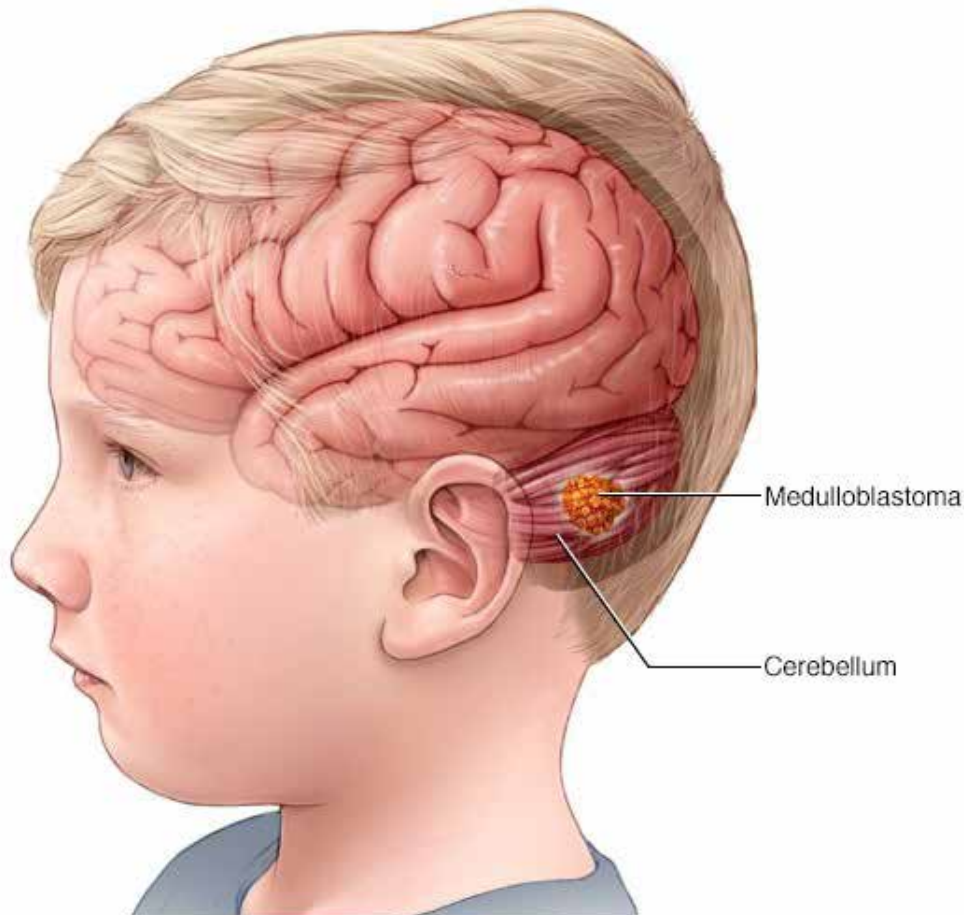
Cuando los síntomas se presentan de manera tardía, estos aparecen en meses o años luego de la exposición, una de las causas más comunes es el meduloblastoma, generada por el tratamiento de leucemia en niños. El meduloblastoma es un tumor cerebral canceroso que comienza en la parte baja del cerebro (comprometiendo la coordinación, el equilibrio, los movimientos musculares) y se propaga por el líquido cefalorraquídeo que rodea y protege al cerebro.

Los síntomas son: pérdida de la memoria, cambios de personalidad, dificultad para caminar entre otros. Su diagnóstico puede hacerse a través de: examen neurológico, donde se evalúan la visión, audición,



equilibrio, diagnóstico por imágenes, biopsias, extracción de líquido (32).

Figura 66. Meduloblastoma



© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH. ALL RIGHTS RESERVED.

Mayoclinic.org. Meduloblastoma [internet]. 2019 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/medulloblastoma/cdc-20363524>

10.2.3 Funcionamiento neuronal

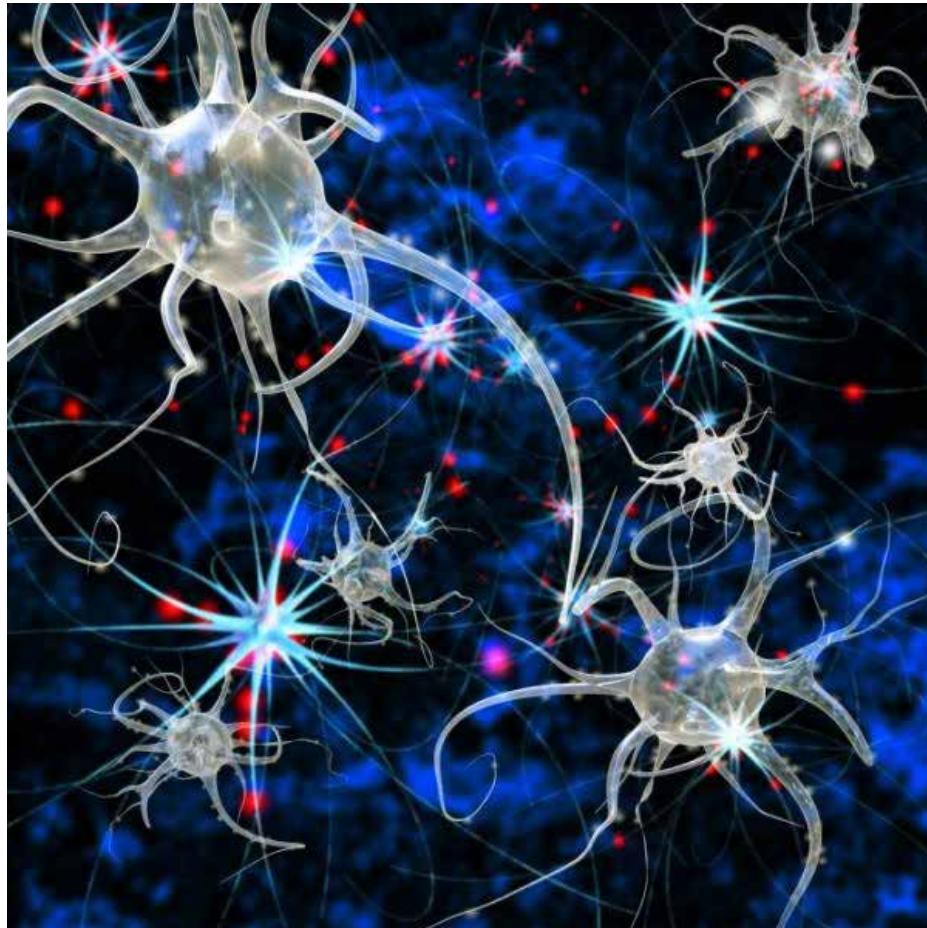
La RT induce alteraciones en la función neuronal a través de la reducción de proteínas, como la actividad reguladora asociada a las neuronas del hipocampo o la alteración de genes como *Homer1a* en el hipocampo y la corteza; en ambos casos afecta la fuerza sináptica

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA



considerado uno de los mecanismos fundamentales para la memoria. También se ha asociado a la RT cambios en la composición de receptores de glutamato (estos son neurotransmisores que tienen una función excitadora en el sistema nervioso e inciden en funciones específicas para definir respuestas fisiológicas o patológicas) y GABA (neurotransmisor que se encuentra en el sistema nervioso central y permite la transmisión de impulsos de una neurona a otra) lo que altera la potenciación a largo plazo.

Figura 67. Funcionamiento neuronal



Boeree George. Psicología General: La Neurona [internet]. 2018 [citado 20/12/2020]. Disponible en: <https://www.psicologia-online.com/psicologia-general-la-neurona-826.html>



10.3 Diagnóstico clínico

El deterioro cognitivo se caracteriza por la afección de la memoria verbal, visual y funciones ejecutivas (analizar, organizar, guiar, evaluar, planificar) habilidades visoespaciales (representar, analizar, manipular), este deterioro no siempre ocurre con cambios anatómicos sino con la disminución de la calidad de vida del paciente.

A juicio de algunos investigadores una de las limitaciones en el diagnóstico de estas patologías causadas por exposición RT, ha sido la diversidad en los métodos de evaluación neuropsicológicas utilizados por los especialistas, lo que dificulta la unificación de criterios en los hallazgos. En este sentido el *International Cognition and cáncer Task Force* en el año 2011, agrupó a un cuerpo de investigadores para estudiar la relación entre el cáncer y la cognición generando algunas recomendaciones para unificar los métodos de test que pueden permitir estudiar las habilidades visoespaciales y la memoria visual.

Dada la falta de consenso en la comunidad científica en relación a los efectos, métodos de diagnósticos y tratamientos sobre las alteraciones posteriores a una exposición a RT, donde los hallazgos de los estudios mostraron en un primer momento que los pacientes con carcinoma pulmonar, luego de estar expuestos presentaban deterioro cognitivo, sin embargo estudios posteriores mostraron que el deterioro era previo y que el deterioro cognitivo estaba asociado al avance de la enfermedad, lo más recomendable es estandarizar las evaluaciones neuropsicológicas e incorporar nuevas técnicas de neuroimagen para detectar a tiempo cambios en las estructuras del cerebro, sensibles a la toxicidad de la RT y personalizar los tratamientos (33).

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

REFERENCIAS



EDICIONES **MAWIL**

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1. Concepto de campo eléctrico. [Online].; 2020. Available from: <https://concepto.de/decampo-electrico/>.
2. Perozo K. <https://www.fayerwayer.com/>. [Online].; 2020. Available from: <https://www.fayerwayer.com/2020/07/ciencia-campo-magnetico-campo-electrico/>.
3. Organización Mundial de la Salud (OMS). Campos electromagnéticos (CEM). [Online].; 2020. Available from: <https://who.int/peh-emf/>.
4. Organización Mundial de la Salud (OMS). Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección. [Online].; 2016. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures#:~:text=A%20medida%20que%20aumenta%20el,o%20s%C3%ADndrome%20de%20irradiaci%C3%B3n%20aguda>.
5. Guerrero Abreu P. Las radiaciones no ionizantes y su efecto sobre la salud humana. *Medicina Militar*. 2006; 35(3).
6. Hernández X. Tormentas geomagnéticas y su relación con la morbilidad por ciertas enfermedades circulatorias en Nicaragua 2003-2017 Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua; 2017.
7. IEEE. Tormentas solares geomagnéticas: la amenaza silenciosa de una sociedad hipertecnológica. [Online].; 2018. Available from: Tormentas solares geomagnéticas: la amenaza silenciosa de una sociedad hipertecnológica.
8. ICRP. Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica: Sociedad Española de Protección; 2007.
9. Torres O. Efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en sistemas biológicos. *Rev. Med. Risaralda*. 2006;: p. 44-54.
10. Organización Mundial de la Salud (OMS). Campos electromagnéticos y salud pública. [Online].; 2007. Available from: <https://www.who.int.peh>.
11. Martínez G, Blanco M, Rodríguez Y, Enríquez L, Marrero I. De la embriogénesis a la prevención de las cardiopatías congénitas, defectos de tubo neural y de pared abdominal. *Rev. Med. Electrón*. 2016; 38(2).
12. Blanco L, Cedeño N, Jiménez L, León M. La protección radiológica en el desarrollo embrionario aplicado por el técnico radiólogo: Universidad de Carabobo; 2016.
13. Pérez M, Gisone P. La protección del embrión durante el embarazo. Mitos y verdades. Las nuevas recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP-84). In 13° Congreso Argentino de Biología y Medicina Nuclear; 2001 ; Buenos Aires, Argentina. p. 130-144.

- caso. *Odontostomat* 8/1. 2014; 8(1).
28. Herrera H, Díaz C, Herrera B, Mercado F. Osteorradionecrosis como secuela de radioterapia. *Avances en odontoestomatología*. 2012; 28(4).
 29. Márquez T, Díaz C, Echeverría E, Malpica E. Osteorradionecrosis: experiencia en el Hospital General de México. *Gamo*. 2011; 10(5).
 30. OncoLink Team. Osteoradionecrosis. [Online].; 2019. Available from: <https://es.oncolink.org/tipos-de-cancer/head-and-neck/ayuda/osteoradionecrosis>.
 31. Cancer.net. Efectos secundarios sobre el sistema nervioso. [Online].; 2018. Available from: <https://www.cancer.net/es/asimilaci%C3%B3n-con-c%C3%A1ncer/efectos-f%C3%ADsicos-emocionales-y-sociales-del-c%C3%A1ncer/manejo-de-los-efectos-secundarios-f%C3%ADsicos/efectos-secundarios-sobre-el-sistema-nervioso>.
 32. Goldman S. Daños en el sistema nervioso a causa de radioterapia. [Online].; 2018. Available from: <https://www.msdmanuals.com/es-ve/hogar/enfermedades-cerebrales,-medulares-y-nerviosas/tumores-del-sistema-nervioso/da%C3%B1os-en-el-sistema-nervioso-a-causa-de-la-radioterapia>.
 33. Cayuela N, Simó M. Neurotoxicidad cognitiva inducida por la radioterapia cerebral en adultos. *Revista de Neurología*. 2019; 68(4).
 34. ONSalus. Cateterismo cardíaco: qué es y cómo prepararse. [Online].; 2016. Available from: <https://www.onsalus.com/cateterismo-cardiaco-que-es-y-como-prepararse-17663.html>.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN



Publicado en Ecuador
marzo 2021

Edición realizada desde diciembre 2020 hasta
marzo del año 2021, en los talleres Editoriales de MAWIL
publicaciones impresas y digitales de la ciudad de Quito

Quito – Ecuador

Tiraje 50, Ejemplares, A5, 4 colores; Offset MBO
Tipografía: Helvetica LT Std; Bebas Neue; Times New Roman; en
tipo fuente.

LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA

1^{RA} EDICIÓN

Jessenia Paola Ochoa Bustamante
Silvio Eleuterio Ortiz Dueñas
Eloy José Mite Vernaza
Luis Enrique Rivadeneira Junco
Patricia Carolina Rodríguez Cornejo
Leonel Amador Zúñiga Arreaga
Janeth Mabel Rojas Riera
Geovanny Eloy Marcillo Merino
Gabriela Elizabeth Sarmiento Ávila
Arcadio Jacinto Giacoman Jiménez

AUTORES

ISBN: 978-9942-826-70-1



© Reservados todos los derechos. La reproducción parcial o total queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo sanciones establecidas en las leyes, por cualquier medio o procedimiento.

CREATIVE COMMONS RECONOCIMIENTO-NOCOMERCIAL-COMPARTIRIGUAL 4.0.