



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA SALUD HUMANA
NIVEL DE POSTGRADO

TÍTULO:

“ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A
RADIACIÓN IONIZANTE EN PACIENTES HOSPITALIZADOS DE
SEPTIEMBRE DEL 2013 HASTA MARZO DEL 2014 EN EL
SERVICIO DE NEONATOLOGÍA DEL HOSPITAL ISIDRO
AYORA”



TÉSIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
“RADIOLOGÍA E IMAGEN”

AUTORA:

DRA. MARJORIE TATIANA ANGULO ARELLANO

DIRECTORA:

DRA. MARCIA ELIZABETH MENDOZA MERCHAN

LOJA –ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

Dra.

MARCIA ELIZABETH MENDOZA MERCHAN

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

En mi carácter de tutor del trabajo de grado titulado: **“ANALISIS DE LA FRECUENCIA DE LA EXPOSICION A RADIACION IONIZANTE EN PACIENTES HOSPITALIZADOS DESDE SEPTIEMBRE DEL 2013 HASTA MARZO DEL 2014 EN EL SERVICIO DE NEONATOLOGIA DEL HOSPITAL ISIDRO AYORA”** presentado por la doctora MARJORIE TATIANA ANGULO ARELLANO con cédula de identidad número 0201478427 para optar al grado de Especialista en “Radiología e Imagen”, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

Loja, Julio de 2015



Dra, Marcia Elizabeth Mendoza Merchan
MEDICO ESPECIALISTA EN PEDIATRIA
DIRECTOR DE TESIS

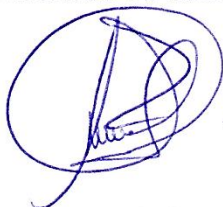
AUTORÍA

Yo, ANGULO ARELLANO MARJORIE TATIANA, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

AUTOR: ANGULO ARELLANO MARJORIE TATIANA

FIRMA:



NUMERO DE CEDULA DE IDENTIDAD: 0201478427

FECHA: 23 de Julio del 2015

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo Marjorie Tatiana Angulo Arellano declaro ser autora de la tesis titulada **“ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A RADIACIÓN IONIZANTE EN PACIENTES HOSPITALIZADOS DESDE SEPTIEMBRE DEL 2013 HASTA MARZO DEL 2014 EN EL SERVICIO DE NEONATOLOGÍA DEL HOSPITAL ISIDRO AYORA”**, como requisito para optar al grado de **“ESPECIALISTA EN RADIOLOGÍA E IMAGEN”**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 23 días del mes de Julio del 2015.

Firma.....

Autora; Dra. Marjorie Tatiana Angulo Arellano

Cedula :0201478427

Dirección; Las Casas- Quito. Correo electrónico m.t.angulo@hotmail.com

Teléfono...022904901 . Celular: 0983610878

Datos complementarios

Director de Tesis: Dra. Marcia Elizabeth Mendoza Merchán

Tribunal de Grado: Dra. María Esther Reyes Rodríguez Mg Sc

Dra. Natasha Ivanova Samaniego Luna

Dr. Hugo Arturo Cueva Chamba

DEDICATORIA

A la Santísima Virgen del Cisne, por la sabiduría, coordinación y paciencia que me dio para llegar al final de la carrera y obtener este logro.

A mis padres, esposo e hijos, que con su esfuerzo y carácter forjaron en mi, un nuevo futuro, gracias por su comprensión y apoyo.

A todos ellos mis más sinceros agradecimientos

Dra. Tatiana Angulo

AGRADECIMIENTO

A la Santísima Virgen del Cisne, mis padres, mi esposo e hijos:

A mi querida y respetada Virgen del Cisne, en primer lugar ya que me dio la fuerza de carácter necesario para emprender y culminar con éxito este proyecto apoyándome en cada paso que me he propuesto a dar.

A mis padres por ser el soporte en este proceso transitorio que hoy culmina con éxito, gracias por el apoyo, confianza.

A mi esposo e hijos, quienes me han dado la comprensión y la fuerza día a día para poder culminar esta fase de aprendizaje.

A mis amigos lojanos, que me han demostrado el apoyo y calor familiar en la lejanía del hogar fraterno.

Además al Hospital Isidro Ayora de Loja, a todo el cuerpo médico que gracias a su constancia me apoyaron intelectualmente con sus conocimientos durante todo este tiempo y han tenido la certeza de ver mi desarrollo profesional.

Dra. Tatiana Angulo

1.-TÍTULO:

“ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A RADIACIÓN IONIZANTE EN PACIENTES HOSPITALIZADOS DESDE SEPTIEMBRE DEL 2013 HASTA MARZO DEL 2014 EN EL SERVICIO DE NEONATOLOGÍA DEL HOSPITAL ISIDRO AYORA “

2.- RESUMEN

ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A RADIACIÓN IONIZANTE EN LOS PACIENTES HOSPITALIZADOS DESDE SEPTIEMBRE DEL 2013 A MARZO DEL 2014 EN EL SERVICIO DE NEONATOLOGÍA DEL HOSPITAL ISIDRO AYORA

Angulo Arellano, Marjorie Tatiana M.D. ¹

¹ Médico encargado del departamento de Imagenología del Servicio de Imagen de la UAA la Ecuatoriana IESS
m.t.angulo@hotmail.com

El presente estudio tuvo el objetivo de cuantificar la frecuencia de exposición a radiación ionizante que reciben los pacientes ingresados al Servicio de Neonatología del Hospital Isidro Ayora y comparar la dosis de radiación con la radiación natural de fondo y el riesgo adicional de cáncer fatal debido al examen, se realizó un estudio observacional analítico de cohorte transversal en todos los pacientes admitidos en el Servicio de Neonatología desde septiembre del 2013 a marzo de 2014. Para cuyo desarrollo se estudió un total de 235 pacientes los mismos que fueron sometidos a exámenes con radiación ionizante. Dentro de los hallazgos más significativos se encontró que el examen RX de tórax en una sola posición es el pedido que con mayor frecuencia es solicitado ya que la dificultad respiratoria es la patología de mayor incidencia en el servicio, además se pudo determinar que solo el 38 % de pedidos fue solicitado como ayuda diagnóstica para determinar patología nueva con resultados radiológicamente significativos. Se recomienda a los médicos pediatras que tomen en cuenta el riesgo/beneficio de realizar un estudio por radiación ionizante, y considerar métodos alternos de diagnóstico, además se debe fomentar en el área de hospitalización un control escrito para cuantificar la exposición a radiación y poder sentar bases para el control del uso de los mismos

PALABRAS CLAVES: exposición, radiación, neonatología, protección

SUMMARY

ANALYSIS OF THE FREQUENCY OF EXPOSURE TO IONIZING RADIATION IN HOSPITALIZED PATIENTS FROM SEPTEMBER 2013 TO MARCH 2014 IN THE NEONATOLOGY SERVICE IN THE ISIDRO AYORA HOSPITAL

ANGULO ARELLANO, Marjorie Tatiana M.D. 1

1 Attending Physician Imaging Service UAA IESS Ecuadorian mtangulo@hotmail.com

This study aimed to quantify the frequency of exposure to ionizing radiation received by patients admitted to the Neonatology Service of Hospital Isidro Ayora and compare the radiation dose to the natural background radiation and the additional risk of fatal cancer due to the examination it was performed an analytical observational cross-sectional cohort study of all patients admitted to the Neonatology Service from September 2013 to March 2014. For the development of this study it has been used a total of 235 patients, the same people who were subjected to test of ionizing radiation. In the most significant findings was found that the Chest X Ray examination in one position is the order that most often requested as breathlessness pathology is more prevalent in the service, in addition it was determined the only 38 % of orders was requested to assist in determining new pathology diagnosed with radiologically significant results. It is recommended for pediatricians to take awareness of the risks and benefits of a study by ionizing radiation, and to consider alternative methods of diagnosis; in addition it has to be taught in the hospitalization area a written control in order to quantify the radiation exposure and to be able to establish the bases of its control.

KEYWORDS: exposure, radiation, neonatology, protection

3.- INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895 y de la radiactividad por Becquerel, en 1896, los conocimientos sobre sus efectos han ido avanzando a la par que los estudios sobre las propias radiaciones y sobre la esencia de la materia misma, no siempre sin episodios desfavorables. ¹El propio Becquerel, pionero en investigación de radioterapia, sufrió daños en la piel causados por la radiación de un frasco de sales de uranio, guardado exclusivamente en su bolsillo, constituyo el primer caso documentado de quemadura por radiación ionizante, Marie Curie (1867-1934), merecedora en dos ocasiones del Premio Nobel por sus investigaciones sobre las propiedades de las sustancias radiactivas, falleció víctima de leucemia, sin duda a causa de su exposición a la radiación sin mencionar claro está, los más de trescientos de los primeros trabajadores en este campo que murieron a causa de las dosis recibidas, con casos significativos como el de los pintores que dibujaban con sales de radio los números en las esferas luminosas de los relojes y mirillas de cañones, afinando el pincel con la boca, y que en su mayoría desarrollaron cáncer de mandíbula. El empleo de la bomba atómica en Hiroshima y Nagasaki produjo la irradiación de las poblaciones supervivientes a la explosión, con secuelas que aún continúan siendo estudiadas y son fuente de valiosa información acerca de los efectos biológicos producidos por la radiación a largo plazo.²

La utilización de las radiaciones en medicina, con fines diagnósticos o terapéuticos, constituye sin duda uno de los aspectos más destacados del beneficio que éstas suponen para la Humanidad, sin embargo a medida que aumenta el uso de las radiaciones ionizantes también lo hacen los posibles peligros para la salud principalmente cuando las dosis de radiación superan determinados niveles pudiendo tener efectos agudos, tales como quemaduras cutáneas o síndrome de irradiación, pero los efectos más preocupantes son los que se pueden presentar a dosis bajas en forma

¹ Rickards Campbell J.

² Wikipedia la enciclopedia libre [Internet].

continúa pudiendo aumentar de esta manera el riesgo de efectos a largo plazo, tales como el cáncer.³

Los riesgos de la radiación ionizante es aplicable a todas las edades, sin embargo es de importancia fundamental en niños debido a que este grupo especial de la población es más sensible a la radiación que los adultos y su esperanza de vida es mayor, tiempo durante el cual pueden desarrollar alteraciones biológicas inherentes al uso de la radiación ionizante.⁴

El número de exámenes radiológicos que se realizan en bebés y en niños va en aumento. Millones de niños se someten a procedimientos cuyas dosis son relativamente altas, tales como la tomografía computada y las intervenciones guiadas por rayos X por tanto, se deberían considerar como alternativa las técnicas de formación de imagen en las que no se utiliza radiación ionizante, o en su defecto preocuparnos que la aplicación de los mismos sean la mínima necesaria racionalizando su uso en este grupo tan vulnerable.

Los efectos biológicos de la radiación se derivan principalmente del efecto sobre la materia viva, y directamente en la célula y el ADN, pudiendo ser dañado a través de roturas en una cadena simple o en la cadena doble. Los daños en las cadenas simples generalmente son bien toleradas con mínimos efectos biológicos, en cambio las roturas de las dos cadenas de ADN son más problemáticas y pueden producir muerte celular o alteraciones en la función produciendo reparaciones inapropiadas que resultan en aberraciones estables pudiendo iniciar uno de los múltiples pasos de la carcinogénesis inducida por radiación.

El daño que causa la radiación en los órganos y tejidos depende de la dosis recibida, o dosis absorbida, que se expresa en una unidad llamada gray (Gy). El impacto biológico en el tejido (o dosis equivalente, medida en Sieverts, Sv) puede variar dependiendo del tipo de radiación entregada. Para

³ Gil Cebrián J., Martínez García P., Díaz Torres I., López Alvaro J.

⁴ Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales. Radioactividad y ondas electromagnéticas, Rayos X.

imágenes diagnósticas utilizando Rayos X, y el factor de corrección es cercano a 1.0 de modo que la dosis equivalente (Sv) se considera igual a la dosis absorbida en Gy (en las imágenes diagnósticas la medida es mili Gy, o mGy puesto que esta es la escala de dosis utilizada). La unidad final de absorción de radiación es la dosis efectiva (en Sv, o mSv en el rango de imagenología diagnóstica) que es comúnmente utilizada como mediada en la discusiones sobre dosis en las imágenes diagnósticas, El daño que puede producir una dosis absorbida depende del tipo de radiación, de la sensibilidad de los diferentes órganos y de la frecuencia de exposición, en la tabla 1 se detalla la exposición de radiación ionizante por examen médico en pediatría y su equivalente a la absorción de radiación natural en años.⁵

TABLA 1: DOSIS EFECTIVA DE DIFERENTES ESTUDIOS RADIOLÓGICOS COMPARADOS CON NÚMEROS EQUIVALENTES DE RX DE TÓRAX Y PERIODO EQUIVALENTE DE TIEMPO DE EXPOSICIÓN A RADIACIÓN NATURAL

Procedimiento diagnóstico	Dosis efectiva (mSv)	Nº Rx de tórax	Radiación natural
Radiología			
Tórax	0,02	1,0	3 días
Extremidades	0,01	0,5	1,5 días
Cráneo	0,07	3,5	11 días
Columna Dorsal	0,70	35	4 meses
Columna Lumbar	1,30	65	7 meses
Abdomen	1,00	50	6 meses
Pelvis	0,70	35	4 meses
Urografía	2,50	125	14 meses
Rx ÉED	3,00	150	16 meses
Enema opaco	7,00	350	3,2 años
TC de cráneo	2,30	115	1 año
TC de tórax	8,00	400	3,6 años
TC de abdomen	10,00	500	4,5 años
Cintigrafía			
Renal	1,00	50	6 meses
Tiroidea	1,00	50	6 meses
Oseo	4,00	200	1,8 años

Nota: Se usa la radiología de tórax como referencia por ser más frecuente y por requerir baja dosis de radiación.

Fuente: Mondaca A, Roberto. (2006). Por Que Reducir Las Dosis De Radiación En Pediatría. Revista chilena de radiología, 12(1), 28-32. Recuperado en 13 de enero de 2015, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-93082006000100008&lng=es&tlng=es. 10.4067/S0717-93082006000100008.

⁵ Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales. Radioactividad y ondas electromagnéticas, Rayos X.

Los estudios epidemiológicos de poblaciones expuestas a grandes dosis radiación ionizante (sobrevivientes de la bomba atómica o pacientes sometidos a radioterapia) muestran un aumento significativo del riesgo de cáncer con dosis superiores a 100 mSv.⁶

La radiación ionizante puede producir daños cerebrales en el feto tras la exposición prenatal aguda a dosis superiores a 100 mSv entre las 8 y las 15 semanas de gestación y a 200 mSv entre las semanas 16 y 25. Los estudios en humanos no han demostrado riesgo para el desarrollo del cerebro fetal con la exposición a la radiación antes de la semana 8 o después de la semana 25. Los estudios epidemiológicos indican que el riesgo de cáncer tras la exposición fetal a la radiación es similar al riesgo tras la exposición en la primera infancia.⁷

Múltiples trabajos se han publicado en los últimos años orientados a disminuir las dosis de irradiación en niños. La experiencia en sobrevivientes japoneses de la bomba atómica, que recibieron bajas dosis, dentro del espectro de la radiología diagnóstica, demostró que ellas se asocian a un pequeño, pero significativo aumento en la incidencia de tumores. El mayor efecto de las radiaciones en niños nos obliga a tomar medidas necesarias para racionalizar su uso.⁸

⁶ Arias César F.

⁷ Oyarzún C Carlos, Ramírez Alfredo.

⁸ Bermudez Jiménez Luis.

4.- REVISION LITERARIA

4,1.- ANTECEDENTES HISTORICOS

El Descubrimiento De La Radiactividad

Wilhelm Conrad Röntgen al hacer público su trabajo sobre este nuevo tipo de rayos compartió su análisis con varios científicos uno de ellos fue el Matemático Juan Care en París quien lo presento ante la academia de ciencias, uno de los miembros de la academia Henri Becquerel (1852-1908),⁹ se propuso investigar si existía una relación fundamental entre los rayos x y la radiación visible, dicho de otra manera trato de reproducir la producción de estos rayos de manera natural, de tal modo que estudio todos los elementos de la naturaleza que producían fluorescencia de forma espontánea, así trato de obtener la impresión de la placa con un compuesto natural de uranio envuelta en papel negro, este científico pensaba que era necesario la presencia de luz solar para la emisión de estos rayos sin embargo el clima no ayudo en su experimento por lo que guardo el material preparado en un sitio oscuro por varios días, al cabo de los cuales observo la imagen de la piedra impresa sobre la placa fotográfica concluyendo, en marzo de 1896 que existía un tipo de rayos que no provenían de una reacción química sino de una propiedad natural de un elemento, a los que llamo rayos de uranio por el alto contenido de este elemento en la piedra que estudió.¹⁰

La publicación de este fenómeno no llamo de manera inmediata el interés del mundo científico de la época, sin embargo unos amigos de Becquerel y catedráticos de la universidad de Paris, los esposos Piere y Marie Curie fueron quienes lo tomaron como tema científico de investigación para el doctorado de esta joven científica polaca, que gracias a su tenacidad y esfuerzo logro destacar en una época donde el machismo y la xenofobia estaban presentes en todas partes, su gran pasión por la ciencia la llevo a

⁹ Rickards Campbell J.

¹⁰ Wikipedia la enciclopedia libre

descubrir dos elementos nuevos aislados de materiales naturales uno de ellos el polonio, un nuevo elemento con radiación, y posteriormente el radio, afirmando que la actividad radiactiva de los compuestos es proporcional a la cantidad de átomos independientemente de su composición química.¹¹

FIGURA 1: MARIE Y PIERRE CURIE EN SU LABORATORIO



Fuente: <http://www.biografiasyvidas.com/monografia/curie/>

Para realizar su investigación fue necesario investigar con un mineral radiactivo denominado pechblenda, material que en su composición contenía uranio, procesaron una tonelada de este elemento y al aislarlo descubrió que existían dos materiales con un número mayor de radiación de la que le correspondía por lo que los fraccionó, por los métodos clásicos de la química, al final del fraccionamiento Marie obtuvo un polvo negro de elevadísima radiación, al que llamo polonio en honor a su tierra natal y al continuar su fraccionamiento pudo aislar un compuesto aún más radiactivo, el radio, al comportamiento de este material de altísima radiación lo describió con el termino RADIATIVO, que básicamente constituye la propiedad de los materiales inestables de emitir radiación de manera espontánea. Además de descubrir estos nuevos elementos que le merecieron un premio nobel en física (1903) y otro en química (1911) se percató que este tipo de emisión de energía producía un efecto directo sobre

¹¹ Alcaz Milán, José Ramón.

la materia, fenómeno que lo observo sobre la piel de su esposo quien llevaba un frasco con radio en la chaqueta el mismo que ocasiono una quemadura profunda que rápidamente evoluciono a herida, estas observaciones dieron paso a la utilización del radio sobre tumores principalmente de la piel dando paso a lo que hoy constituye la radioterapia, sin embargo también se percató que existían efectos a largo plazo sobre el organismo y luego de 35 años de exposición directa a material radioactivo en forma indiscriminada, los experimento sobre si misma ya que a la edad de 74 años dejó de existir presa de la constante fatiga, mareos , fiebre y leucemia.¹²

Sin embargo durante sus últimos 4 años de vida y para recolectar fondos en pro de la de ciencia promociono e instauro 200 unidades estacionarias y 20 unidades móviles de RX, durante la primera guerra mundial, que ayudaron a un rápido diagnóstico de las pestes pulmonares de la época y a la detección de lesiones óseas principalmente.¹³

FIGURA 2: UNIDADES MOVILES DE RX UTILIZADAS DURANTE LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL



Fuente: <http://polgm.free.fr/petitescuriesdunet/index.php?post/2014/05/Les-Petites-Curies>

¹² Gil Cebrián J., Martínez García P., Díaz Torres I., López Alvaro J.

¹³ Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales.

Thomas Alba Edison (1847-1931) quien también investigaba con la producción de rayos X, y constato y describió como uno de sus colaboradores Clarence Dally, presento varias lesiones a nivel de la cara y los dedos los mismo que fueron tratados con injertos y al no resultar efectivos concluyeron en amputaciones cada vez a niveles más altos llegando incluso al codo y hombro, sin embargo el alcance de las lesiones no cesaron y falleció por metástasis, siendo la primera víctima de la radiación reportada en América, motivo suficiente para comprender lo peligroso de la utilización de estos rayos por lo cual este científico ya no realizo experimentos con Rx. ¹⁴

Además por estas épocas (1920) ya comenzaron a salir los múltiples efectos secundarios a la utilización indiscriminada de la radiación ionizante uno de los casos de mayor repercusión mundial fue el provocado por una de las mayores fábricas de relojes luminiscentes los cuales fueron usados durante la primera guerra mundial por los soldados,¹⁵ la fábrica utilizaba pintura en base al nuevo elemento altamente radiactivo descubierto por el matrimonio Curie, el radio, las pintoras afinaban los pinceles con la boca, pero no fue hasta 1922 en donde se asoció las trágicas muertes por cáncer que padecieron las trabajadoras de esta fábrica pero para esta época ya habían pasado miles de trabajadoras, que realizaban esta labor sin ningún tipo de protección y al intentar contactarlas la mayoría había muerto o se encontraban en una fase terminal de una enfermedad ¹⁶

¹⁴ Invest. clín. [online].

¹⁵ Historia de los rayos X.

¹⁶ Rickards Campbell J.

FIGURA 3: FABRICA DE RELOJES LUMINISCENTES



Fuente:<https://es.noticias.yahoo.com/blogs/cuaderno-historias/radium-girls-las-j%C3%B3venes-trabajadoras-radioactivas-162439754.html>

FIGURA 4: TRABAJADORA AFECTADA POR LA RADIACIÓN



Fuente:<https://es.noticias.yahoo.com/blogs/cuaderno-historias/radium-girls-las-j%C3%B3venes-trabajadoras-radioactivas-162439754.html>

4,2.- NATURALEZA DE LA RADIACION

Para hablar de radiación propiamente dicha en forma general podemos decir que en la naturaleza existe un incontable número de fuentes de radiación de manera que cada persona está expuesta a varios niveles provenientes no solo de fuentes naturales como el radón (suelo), el sol, rocas, sino también de fuentes artificiales o productos de consumo que produce este tipo de radiación como fábricas, plantas de energía nuclear y si además a este punto agregamos el hecho que dependiendo del tipo de trabajo vamos a estar expuestos a mayor cantidad de radiación por ejemplo piloto, asistente de vuelo, astronauta, personal médico o técnico de rayos X, o peor aún si trabaja en una planta industrial o de energía nuclear.¹⁷

Es por este motivo que es tan importante el conocimiento que podamos tener sobre su producción, efectos que produce y principalmente sobre su protección.¹⁸

Por lo tanto para establecer las bases de su conocimiento hablamos en esencia que la radiación no es otra cosa que la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas, las cuales se caracterizan por tres parámetros fundamentales: Longitud de onda, Frecuencia y Energía: ¹⁹

1. Longitud de onda (λ): Es la distancia entre las crestas de dos ondas consecutivas, y se mide en unidades de longitud (m). La amplitud de la onda depende de la potencia radiante de la fuente emisora.
2. Frecuencia (ν ó f): Es el número de veces que oscila una onda en un segundo y se mide en ciclos/segundo o hercios (Hz).

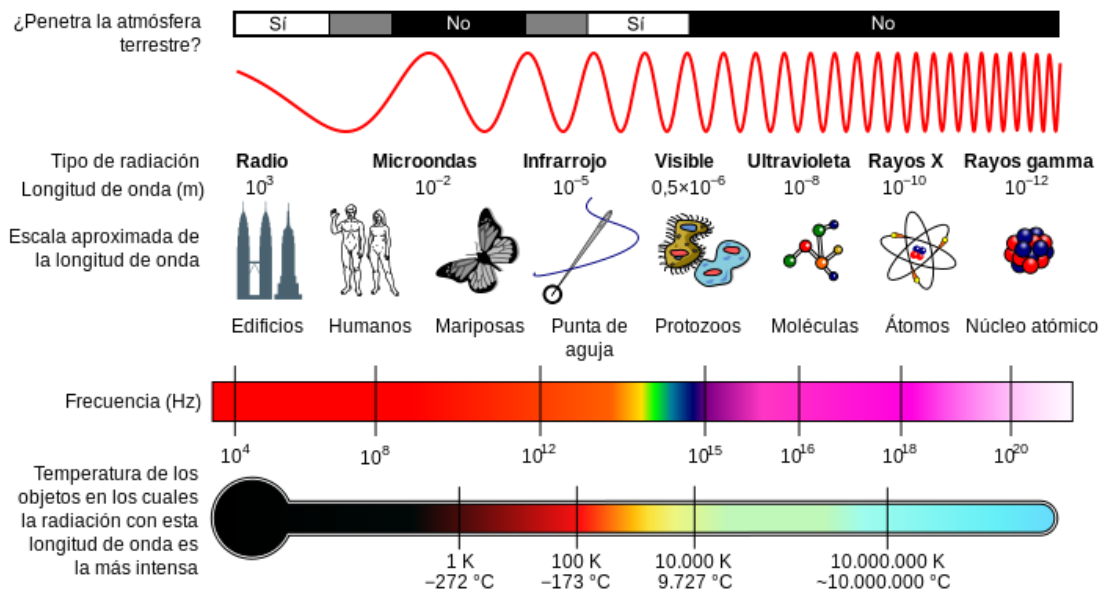
¹⁷ Gil Cebrían J., Martínez García P., Díaz Torres I., López Alvaro J.

¹⁸ Mondaca A, Roberto. (2006).

¹⁹ Comisión Europea. Dirección General de Medio Ambiente. (2001).

3. Energía (E): La energía transportada por una radiación electromagnética se puede medir en Julios (J), aunque más frecuentemente se mide en electronvoltios (eV). representa la energía cinética que adquiere un electrón cuando es acelerado por una diferencia de potencial de 1 voltio.

FIGURA 5: ESQUEMA QUE MUESTRAN LOS DISTINTOS TIPOS DE RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS ORDENADAS POR ENERGÍA. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



Fuente: http://www.espectrometria.com/espectro_electromagntico

Las radiaciones electromagnéticas tienen diferentes energías e interactúan con la materia de forma distinta. Básicamente se clasifican en dos grandes grupos en función de su energía,²⁰ o dicho de otra manera en función del tipo de interacción que provocan en los átomos:

- 1) Radiaciones ionizantes Corresponden a las radiaciones de mayor energía (menor longitud de onda) dentro del espectro electromagnético. Tienen energía suficiente como para arrancar electrones de los átomos con los que interactúan, es decir, para producir ionizaciones.
- 2) Radiaciones no ionizantes Estas radiaciones no tienen suficiente energía para producir ionizaciones en los átomos y de ahí su nombre.

De todas las radiaciones electromagnéticas que constituyen el espectro electromagnético sólo los rayos X y los rayos gamma tienen suficiente energía como para producir fenómenos de ionización en los átomos, es decir son radiaciones ionizantes. El resto de las radiaciones electromagnéticas (ondas de radio, microondas, rayos infrarrojos, luz visible, rayos ultravioleta) son radiaciones no ionizantes.²¹

4.3.- FUENTES DE RADIACION

La radiación ha existido desde la formación de la tierra ya que en la corteza terrestre existen materiales inestables y por ende radiactivos naturales, por lo que en todos los tiempos hemos estado expuestos a radiación directamente del suelo o de las rocas superficiales, radiación que hasta la actualidad emiten los materiales como el ladrillo y el hormigón que tiene en su composición este tipo de elemento extraído de la tierra

Los principales materiales radiactivos presentes en las rocas son el potasio 40 (K-40), el rubidio 87 (Rb-87) y dos series de elementos radiactivos procedentes de la desintegración del uranio, el uranio 238 (U-238) y torio 232 (Th-232).

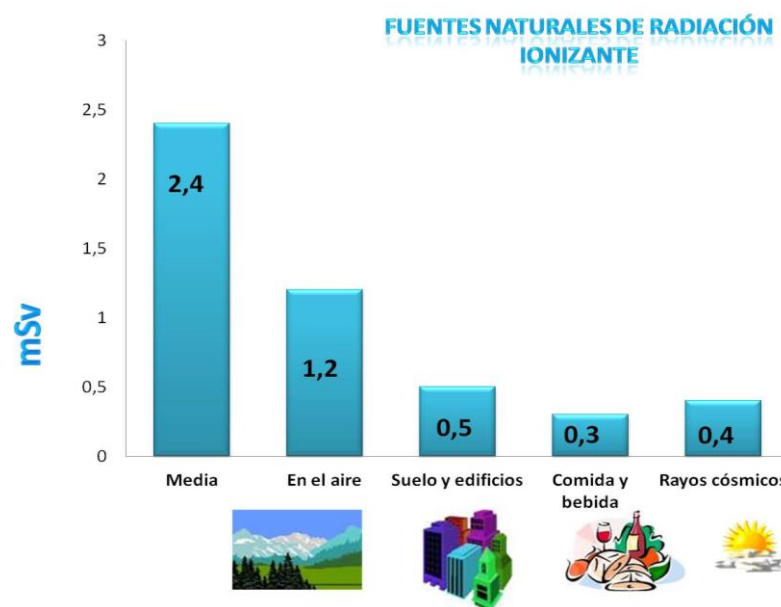
²⁰ Tubiana, M., Feinendegen, L.E., Yang, C., Kaminski, J.M. (2009).

²¹ Little, M. (2009).

Una característica distintiva de la radiación natural es que afecta a toda la población con una intensidad relativamente constante a lo largo del tiempo

En la siguiente gráfica se muestra la dosis total de radiación ionizante natural recibida al año (por término medio) y cómo contribuyen a esta dosis las distintas fuentes. La dosis medida per cápita es del orden de 2,4 mSv al año.

FIGURA 6: FUENTES NATURALES DE RADIACIÓN



Fuente: http://www.rinconeducativo.org/radiacio/3_radiacin_ionizante_natural_y_artificial.html

A la radiación ionizante de origen natural, anteriormente mencionada, se le ha sumado la radiación ionizante artificial que el ser humano aprendió a producir para satisfacer sus necesidades e intereses. Ambas radiaciones, natural y artificial, se comportan de la misma forma y por tanto tienen el mismo efecto sobre la materia viva .²²

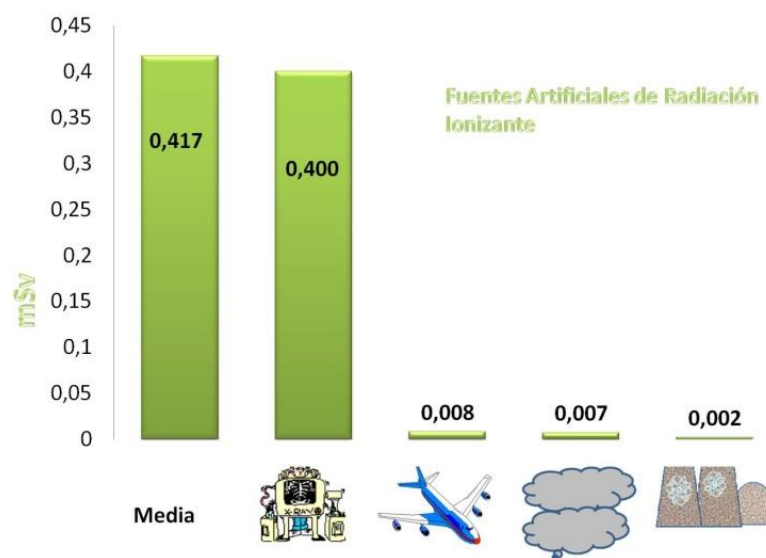
Las radiaciones ionizantes tienen muchas aplicaciones beneficiosas para el hombre en áreas tan distintas como la medicina, la conservación del medio

²² [Westra, S.](#) (2014).

ambiente, la industria, agroalimentación, la erradicación de plagas de insectos y la producción de energía.

Las fuentes artificiales de radiaciones ionizantes pueden ser controladas más eficazmente que las fuentes naturales y siendo este control la principal función de la que se encarga la protección radiológica.

FIGURA 7: FUENTES ARTIFICIALES DE IRRADIACIÓN



Fuente:http://www.rinconeducativo.org/radiacio/3_radiacin_ionizante_natural_y_artificial.html

La radiación ionizante adquirida de una manera controlada no representa mayor riesgo para nuestra salud, recordemos que está con nosotros desde hace tiempos inmemorables y existiendo incluso múltiples teorías sobre como ha contribuido de una manera directa al proceso de evolución y adaptación del ser humano por su efecto directo sobre la materia, sin

embargo también es cierto que su uso exagerado o mejor dicho sobre un umbral puede producir efectos perjudiciales en la salud.²³

Las radiaciones ionizantes, como su nombre indica, tienen la capacidad de producir ionizaciones, en los átomos con los que interaccionan debido a su alta energía, siendo esta su principal característica de esta manera las radiaciones pueden alterar las estructuras químicas de las moléculas que forman las células de nuestro organismo por diferentes mecanismos. Si la molécula alterada es importante para el funcionamiento de la célula, como es el caso del ADN (ácido desoxirribonucleico), habrá consecuencias nocivas para la célula. Dependiendo, entre otros factores, de la dosis de radiación el daño producido será de mayor o menor gravedad, lo que a su vez determinará el tipo de efecto que puede producirse en el organismo.

Si como consecuencia de la irradiación se produce un daño muy severo, la célula morirá. Si el número de células que muere es pequeño, no habrá consecuencias ya que nuestro cuerpo tiene capacidad para reponer estas células. Sin embargo, si el número de células que muere en un tejido u órgano como consecuencia de la irradiación es alto, se producirá un efecto perjudicial, que dependerá del tejido u órgano mayormente afectado por la radiación. Estos efectos se producen tras exposiciones a dosis altas de radiación y se conocen con el nombre de reacciones tisulares o efectos deterministas.²⁴

Los primeros efectos, aparecen sólo a partir de dosis de 1 Gy (Gray). Generalmente estos primeros efectos consisten en náuseas, vómitos o enrojecimiento superficial de la piel. Cuando las dosis recibidas por la persona son mayores se pueden manifestar diarreas, pérdida o caída del vello y esterilidad.

Pero no siempre la exposición a radiación produce la muerte de la célula. A dosis bajas, el daño producido es más leve y normalmente implica una

²³ Bermudez Jiménez Luis.

²⁴ Gil Cebrián J., Martínez García P., Díaz Torres I., López Alvaro J.

alteración en la molécula de ADN, es lo que se conoce como mutación genética. Determinadas mutaciones pueden favorecer el desarrollo de un cáncer o de enfermedades genéticas heredables (es decir que se pondrían de manifiesto en la descendencia de la persona irradiada). Estos efectos, denominados estocásticos, se producen tras exposición a dosis bajas de radiación y de manera reiterada, lo que es muy importante, son de naturaleza probabilística. Esto implica que al aumentar la dosis de radiación recibida no aumenta la gravedad del efecto, sino la probabilidad de que dicho efecto ocurra. Por ejemplo, si pensamos en el desarrollo de un cáncer, una dosis mayor haría que exista mayor probabilidad de que se desarrolle, pero no implica que el cáncer vaya a ser más grave.

Es importantes recordar que los efectos que puede producir la radiación en nuestra salud dependen de múltiples factores, como la dosis y el tipo de radiación, la edad del individuo en el momento de la irradiación (cuanto más jóvenes, mayor es la sensibilidad a las radiaciones ionizantes) y de factores genéticos. ²⁵

Generalmente, las personas están expuestas a alrededor de entre 1 y 10 milisieverts de radiación al año por exposición natural causada por sustancias radiactivas presentes en el aire y el suelo. Mil microsieverts equivalen a un milisievert.²⁶

- Una tomografía computarizada de todo el cuerpo, por ejemplo, da una dosis de radiación de entre 20 y 30 mSv, mientras que la de un sólo órgano involucra una dosis de menos de 10 mSv.
- La radiación se mide en sieverts, que cuantifican la cantidad absorbida por el tejido humano. Un sievert equivale a 1.000 milisieverts

A continuación, se presentan diferentes niveles de exposición a la radiación - todos medidos en milisieverts (mSv) y sus probables efectos en los seres

²⁵ Arias César F

²⁶ Oyarzún C Carlos, Ramírez Alfredo.

humanos, según lo publicado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos:

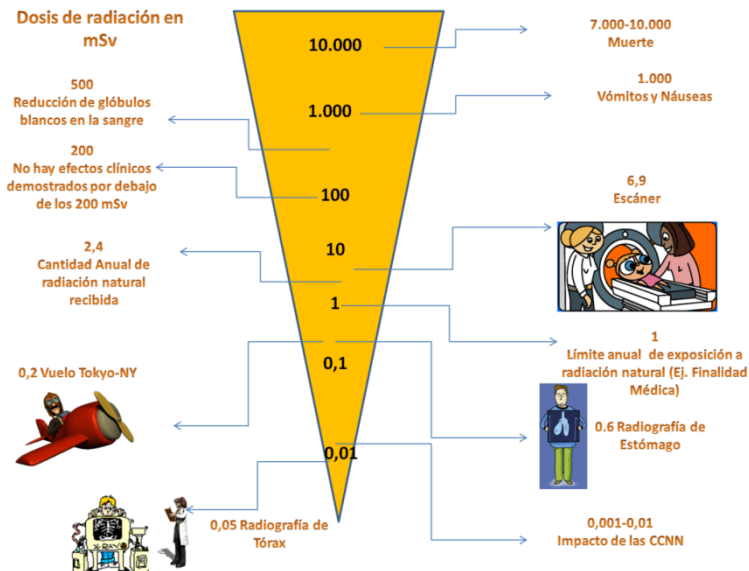
- 50 a 100 mSv: cambios en la química sanguínea
- 500 mSv: náusea, en cuestión de horas.
- 700 mSv: vómitos
- 750 mSv: pérdida de cabello, dentro de 2 a 3 semanas
- 900 mSv: diarrea
- 1.000 mSv: hemorragia
- 4.000 mSv: posible muerte dentro de dos meses si no hay tratamiento
- 10.000 mSv: la destrucción de la mucosa intestinal, hemorragia interna y muerte en una a dos semanas
- 20.000 mSv: daños al sistema nervioso central, pérdida de la conciencia en pocos minutos y muerte en cuestión de horas o días.

Fuentes: Consejo de Energía Atómica de Taiwán, Asociación Nuclear Mundial, Departamento de Transporte de Estados Unidos y Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

En el siguiente esquema es un resumen de dosis de radiación ionizante que se reciben en distintas actividades (radiografía de tórax, escáner, radiación natural) y también de las dosis que pueden producir efectos en nuestra salud.²⁷

²⁷ Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales.

FIGURA 8: EFECTO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN RECIBIDA



Fuente: http://www.rinconeducativo.org/radiacio/5efectos_biolgicos_de_la_radiacin_ionizante.html

4,4.- EL ATOMO Y LOS EFECTOS DE LA RADIACION

Para comprender el mecanismo de acción de las radiaciones ionizantes y cuáles son los efectos en la materia viva es necesario comprender la función de la unidad más pequeña de un elemento químico que mantiene su identidad o sus propiedades y que no es posible dividir mediante procesos químicos: EL ÁTOMO.²⁸

Aunque el tamaño varía ligeramente de unos a otros, dependiendo de su composición química, el tamaño aproximado en forma promedio es de 1 Angstrom (una diezmillonésima de metro). Hay tantos tipos de átomos como elementos químicos, todos los átomos de un mismo elemento son iguales

²⁸ Wikipedia la enciclopedia libre [Internet].

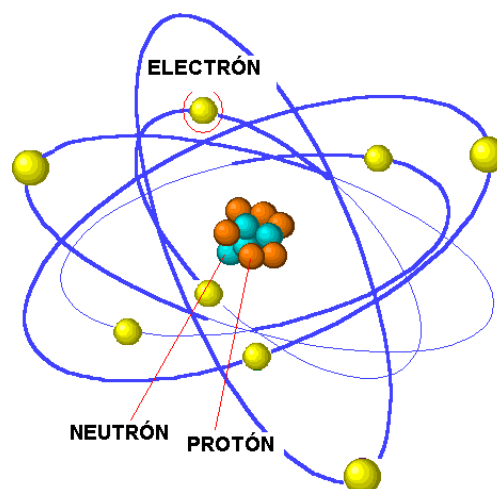
entre si y son distintos de los de otros elementos, la diferencia estriba esencialmente en el número de protones de su núcleo.²⁹

La manera más simple y completa de describir la estructura atómica constituye el modelo de Rutherford en donde el átomo tiene una estructura interna formada por un núcleo, el mismo que a su vez está constituido por protones (+) y neutrones (sin carga) y una corteza o nube de electrones (e) orbitando entorno al núcleo.

4.5.- ELEMENTOS DEL ÁTOMO

- Protón, es una partícula elemental que constituye parte del núcleo de cualquier átomo. El número de protones en el núcleo atómico, denominado número atómico, es el que determina las propiedades químicas del átomo en cuestión. Poseen carga eléctrica positiva y una masa 1.836 veces mayor de la de los electrones.

FIGURA 9: EL ATOMO



²⁹ Guías de Práctica Clínica.

- El neutrón, partícula elemental que constituye parte del núcleo de los átomos, La masa del neutrón es ligeramente superior a la del protón, pero el número de neutrones
- aunque sí su estabilidad frente a posibles procesos nucleares (fisión, fusión o emisión de radiactividad) como veremos más adelante. Los neutrones carecen de carga eléctrica y son inestables cuando se hallan fuera del núcleo, desintegrándose para dar un protón, un electrón y un antineutrino ³⁰
- El electrón La masa del electrón es 1836 veces menor que la del protón y tiene carga opuesta, es decir, negativa. Los electrones se mueven en órbitas difusas rodeando al núcleo a diferentes distancias de él, de acuerdo a la energía que poseen, para formar el diámetro atómico. Estas distancias son enormes comparadas con el tamaño del núcleo, de manera que para un elemento de diámetro atómico medio, si consideramos su núcleo de las dimensiones de una nuez, la nube electrónica puede tener las dimensiones de un estadio de fútbol.

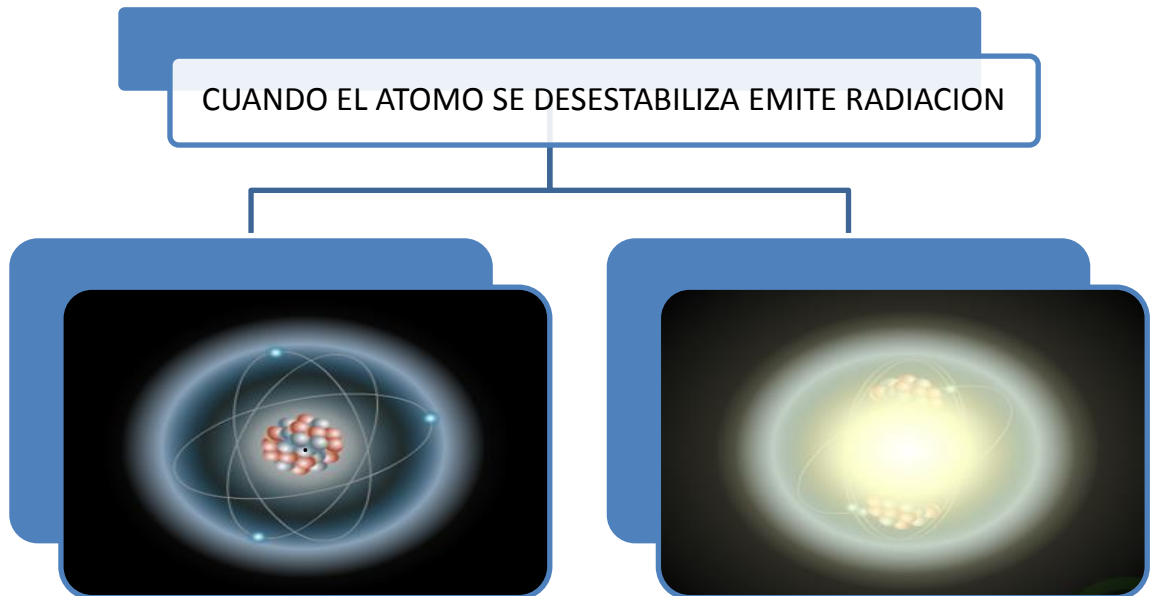
En condiciones normales un átomo estable tiene el mismo número de protones que de electrones, lo que convierte a los átomos en entidades eléctricamente neutras. Si un átomo capta o pierde electrones, se convierte en un ión.³¹

Los núcleos o elementos inestables es decir con exceso de energía, siempre tienden a estabilizarse y para esto liberan el exceso de energía, Así pues se libera una gran cantidad de energía en forma de radiaciones ionizantes, conociéndose a este fenómeno con el nombre de radiactividad.

³⁰ Bermudez Jiménez Luis.

³¹ Gil Cebrián J., Martínez García P., Díaz Torres I., López Alvaro J

FIGURA 10: CUANDO EL ATOMO SE DESESTABILIZA EMITE RADIACIÓN



FUENTE: <http://www.noticias24.com/tecnologia/noticia/17518/cientificos-aseguran-haber-teletransportado-informacion-mediante-millones-de-atomos/>

Lógicamente cada núcleo inestable emitirá su exceso de energía de forma diferente, es decir producirá distintos tipos de radiaciones ionizantes, basándonos en este concepto de transmisión de energía podemos describir los siguientes tipos.³²

Las radiaciones ionizantes son de tres tipos:

1. Partículas alfa α . Las partículas alfa son las radiaciones ionizantes con mayor masa, por lo que su capacidad de penetración en la materia es limitada, no pudiendo atravesar una hoja de papel o la piel de nuestro cuerpo.
2. Partículas beta β . Son electrones o positrones y poseen una masa mucho menor que las partículas alfa, por lo que tienen mayor

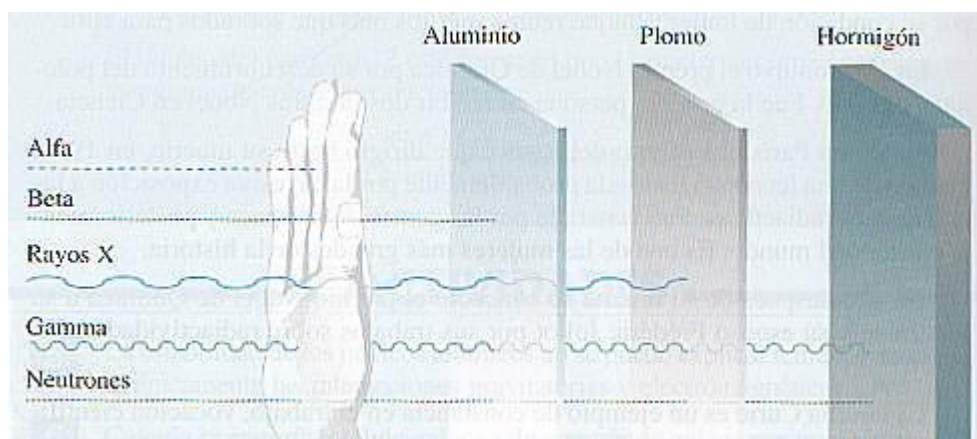
³² Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales.

capacidad para penetrar en la materia. Una partícula beta puede atravesar una hoja de papel, pero será detenida por una fina lámina de metal o metacrilato y por la ropa. Son menos energéticas que las partículas alfa.

3. Rayos gamma γ . Son radiaciones electromagnéticas, por lo que no tienen masa ni carga, lo que les hace tener un gran poder de penetración en la materia ya que tienen una frecuencia muy alta, su utilización principal es en radioterapia. Para detenerlas es necesaria una capa gruesa de plomo o una pared de hormigón. Los rayos gamma y los rayos X tienen las mismas propiedades, diferenciándose únicamente en su origen. Mientras que los rayos gamma se producen en el núcleo del átomo, los rayos X proceden de las capas externas del átomo, donde se encuentran los electrones.
4. Rayos X. Son radiaciones electromagnéticas de frecuencia muy alta y por tanto pequeña longitud de onda. Son lo suficientemente pequeñas como para poder atravesar huecos entre átomos y dentro de átomos, con lo que las usamos para ver el interior de los objetos que la luz no puede atravesar y hacer lo que llamamos radiografías. Los producimos con lámparas. Con estas lámparas ocurre como con las bombillas, cuando están apagadas no emiten nada. Las lámparas de rayos X sólo se encienden en el momento de realizar una radiografía y se tienen encendidas durante cortos espacios de tiempo.³³

³³ Rickards Campbell J.

FIGURA 11: PASO DE LAS PARTICULAS POR LOS MATERIALES



FUENTE: <http://platea.pntic.mec.es/jdelucas/radiactividad.htm>

4.6.- MEDIDA DE LA RADIACION

Desde la antigüedad la humanidad ha necesitado medir para lo que ha creado diversas unidades e instrumentos para hacerlo, y lógicamente cada quien lo ha hecho de manera más conveniente según su forma de pensamiento y necesidades, sin embargo es por esta razón que para una misma superficie pueden existir varias formas de medida, lógicamente de acuerdo a las necesidades y conveniencia de cada persona es por esto que se ha visto la necesidad de estandarización de unidades de medida para todo tipo de fenómeno que pueda ser medido y estas se han incluido en un sistema internacional para poder en otras palabras hablar todos el mismo idioma y entender cada concepto en la magnitud real.³⁴

Ya lo decía Galileo Galilei (1564-1642), astrónomo, filósofo, matemático y físico italiano que estuvo relacionado estrechamente con la revolución científica:

³⁴ Beldarraín Gómez Luis E.,

"Medir lo que es medible y tratar de hacer medible lo que todavía no lo es"

La descripción de un proceso no es precisa si no se cuenta con una información cuantitativa, y para obtener dicha información se requiere medir las propiedades físicas es por esto que la medición es la técnica por medio de la cual asignamos un número a una propiedad física, como resultado de una comparación de dicha propiedad con otra similar tomada como patrón, la cual se ha adoptado como unidad, y lógicamente es fundamental adoptar una única medida para estandarización de la información³⁵

Las radiaciones ionizantes no son visibles, son silenciosas, inodoras, insípidas y no pueden tocarse, en resumen no podemos detectarlas con nuestros sentidos sin embargo estas propiedades no las hacen excepción de esta necesidad de medir. Por tanto es imprescindible definir magnitudes y establecer unidades únicas para cada una de dichas magnitudes detectadas y ser medidas por distintos procedimientos

El hecho de no detectarlas con nuestros sentidos podría llevar a pensar, equivocadamente, que no existen o que no pueden provocar ningún efecto biológico. Sin embargo, sí es posible reconocer su existencia por los efectos que ocasionan, principalmente por su capacidad de ionizar la materia y de ser absorbidas por la misma, así como de producir cambios nocivos sobre los organismos vivos

Recordemos que ya desde hace mucho tiempo se sabe que las dosis altas de radiación ionizante pueden causar lesiones en los tejidos humanos, tanto así que a los seis meses del descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895, se describieron los primeros efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, la primera víctima fue su esposa Bertha ya que estuvo expuesto por múltiples ocasiones a los mismos por varios minutos, en distintas áreas y

³⁵ Carrasco Rodríguez José L.

por muchas ocasiones, hasta tratar de comprender su funcionamiento y para perfeccionar la técnica.³⁶

Justamente para evitar las largas exposiciones y sus nefastas consecuencias en la actualidad de una manera estandarizada se ha establecido los tiempos y dosis adecuada para cada tipo de examen y de esta manera también se establecieron las unidades más utilizadas para medir las radiaciones ionizantes y los compuestos radiactivos los mismos que pueden resumirse de manera general en la siguiente tabla:

TABLA 2: MAGNITUD, PROCESO FÍSICO Y UNIDADES S.I.

Magnitud	Proceso físico medido	Unidades S.I.
Actividad	Desintegración nuclear	Becquerel (Bq)
Dosis absorbida	Energía depositada	Gray (Gy)
Dosis equivalente	Efecto Biológico	Sievert (Sv)
Dosis efectiva	Riesgos	Sievert (Sv)

Fuente:<http://www.ucm.es/data/cont/docs/3-2013-02-15-0-PROCEDIMIENTO%20DE%20PROTECCION%20RADIOLOGICA%20PARA%20LA%20MANIPULACION%20...pdf>

Cada unidad tiene sus múltiplos y submúltiplos. En el sistema internacional (SI) los submúltiplos que más utilizaremos serán:

Mili (m) = 10^{-3}

Micro (μ) = 10^{-6}

Nano (n) = 10^{-9}

La actividad radiactiva se mide en Becquerelios (Bq), que es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades, equivale a una desintegración nuclear por segundo. Los Becquerelios indican la velocidad de desintegración de una sustancia radiactiva. A mayor cantidad de Becquerelios más rápidamente se desintegrará (mayor número de desintegraciones por segundo) y por tanto más “activa” sería la sustancia.

³⁶ Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.

Esencialmente la actividad (o los Bq) no es suficiente información para poder predecir los posibles efectos que una fuente de radiación podría tener en nuestra salud. Una fuente de 100.000 millones de Bq puede ser totalmente inocua (si se encuentra blindada o lejos de nosotros) o puede causar un serio daño a nuestra salud (si por accidente la ingiriéramos).

De esta manera para conocer los posibles efectos de una exposición a radiación ionizante, se necesita por tanto otro concepto importante que nos indique el porcentaje de energía absorbida y nos permita cuantificar la probabilidad del daño biológico causado. En definitiva, es necesario conocer la "DOSIS" de radiación recibida.³⁷

Pero además las radiaciones ionizantes interaccionan con la materia depositando en ella energía, produciendo ionizaciones y por tanto alteraciones en las moléculas de las células. El daño biológico producido por las radiaciones ionizantes está relacionado con la energía depositada por unidad de masa, que es la magnitud conocida como dosis absorbida.

Como es ya conocido, la energía en el Sistema Internacional, se mide en julios (J) y la masa en Kilogramos (Kg), por tanto la dosis absorbida se medirá en J/Kg, unidad conocida con el nombre de Gray (Gy).

Pero el daño biológico producido por las radiaciones no sólo está en función de la energía depositada en un tejido u órgano, sino que también depende del tipo de radiación. No todas las radiaciones producen la misma densidad de ionización cuando atraviesan la materia viva. Por ejemplo, las partículas alfa producen mucha mayor densidad de ionización en la materia que atraviesan que los rayos gamma, para la misma dosis absorbida. Se sabe que las radiaciones que producen mayor densidad de ionización son más dañinas a igualdad de dosis.³⁸

La Dosis Equivalente, es la magnitud utilizada para expresar la cantidad de energía depositada por unidad de masa (dosis absorbida) y el tipo de

³⁷ Oyarzún C Carlos, Ramírez Alfredo

³⁸ Alcaz Milán, José Ramón.

radiación que suministra dicha energía. Esta magnitud también se mide en J/Kg, y recibe el nombre de Sievert (Sv), en honor a Rolf Maximilian Sievert, un científico sueco dedicado a la investigación de los efectos biológicos de la radiación en la materia viva

Por último, se sabe que el daño producido por las radiaciones ionizantes en un ser vivo, además de depender de la dosis absorbida y del tipo de radiación, también está influenciado por el tejido u órgano que ha sufrido la irradiación. Esto se debe a que no todos los tejidos de nuestro organismo son igual de sensibles a la radiación y por tanto no todos ellos contribuirán de igual forma al perjuicio que la exposición tendrá en nuestra salud. Para tener en cuenta este factor, se ha definido la magnitud Dosis Efectiva, que al igual que la dosis equivalente, se mide en Sv (J/Kg).

Para graficar todas estas magnitudes, vamos a imaginarnos que estamos debajo de una tormenta de granizo. La cantidad de granizo que cae representa la actividad radiactiva, pero no todos los granizos que caen nos alcanzarán. Aquellos que impacten con nuestro cuerpo son los que nos van a producir daño, por tanto el número de granizos que nos alcancen representará la dosis absorbida.³⁹

³⁹ Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales.

FIGURA 12: ACTIVIDAD RADIATIVA, DOSIS ABSORBIDA, EQUIVALENTE Y EFECTIVA



Fuente: http://www.rinconeducativo.org/radiacio/4deteccion_y_medida_de_las_radiaciones_ionizantes.html

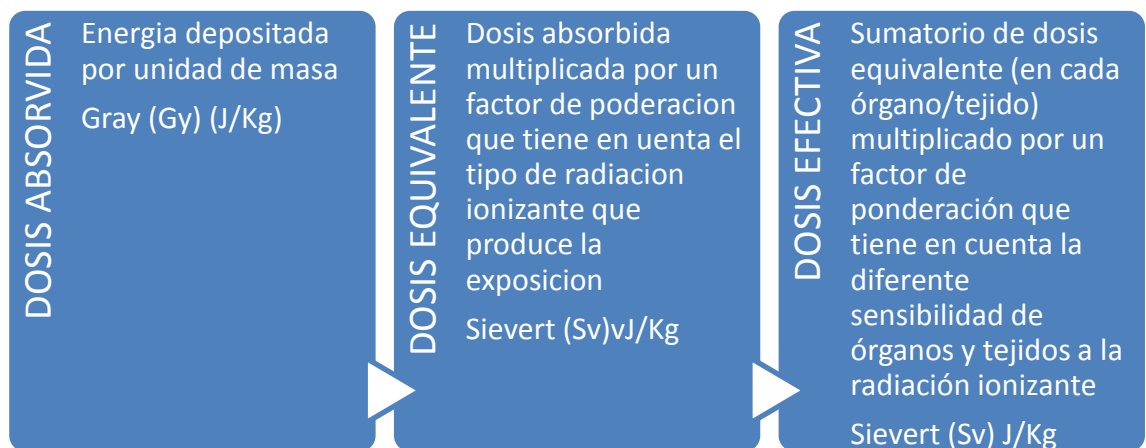
Pero, el daño que nos produzca el granizo no sólo dependerá del número de ellos que nos alcancen, sino que también va a depender del tamaño de éstos. Así a mayor número de granizos que nos impacten y mayor sea su tamaño más daño nos hará. El número de granizos que nos alcanzan y su tamaño es lo que, para las radiaciones ionizantes, nos indica la dosis equivalente.⁴⁰

Por último, si realmente queremos saber el daño que nos producirá el granizo, además del número y tamaño, tendremos que tener en cuenta en qué parte de nuestro cuerpo nos alcanzan, ya que no todas ellas son igual de sensibles. Lo mismo ocurre con las radiaciones ionizantes y los tejidos de nuestro cuerpo y por eso es necesario utilizar la dosis efectiva.

⁴⁰ Guías de Práctica Clínica. Gobierno Federal de México. (2003).

En resumen, las magnitudes relacionadas con la dosis de radiación ionizante son:⁴¹

FIGURA 13: MAGNITUD RELACIONADA CON LA DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE



Fuente_ http://www.rinconeducativo.org/radiacio/4deteccion_y_medida_de_las_radiaciones_ionizantes.html

Hay una magnitud que también va a influir en el efecto que produzca la radiación ionizante en nuestra salud: la Tasa de Dosis que indica la dosis de radiación recibida por unidad de tiempo. Se sabe que una misma dosis recibida durante un largo periodo de tiempo es menos nociva que si esa misma dosis se recibe en segundos o minutos.

⁴¹ Gregori, B. (2011).

4,7.- LA CÉLULA

Una definición de célula es que constituye la unidad más pequeña que puede vivir de manera independiente y todos los seres vivos están constituidos por células y dependiendo del número de agrupación del mismo pueden agruparse en organismos unicelulares o pluricelulares. Las células en los organismos pluricelulares se agrupan para constituir tejidos, diferentes tejidos se unen formando los órganos, y la unión de varios órganos constituye los aparatos o sistemas.⁴²

Citoplasma: Abarca todas las estructuras de la célula a excepción del núcleo y la membrana. Está constituido por una disolución acuosa en la cual se encuentran los orgánulos citoplasmáticos. Dichos orgánulos se encargan de regular y realizar las distintas funciones celulares. Entre otros orgánulos destacan el retículo endoplásmico (RER), los lisosomas, los ribosomas, el aparato de Golgi, las mitocondrias (M), etc.

Membrana celular: Estructura que rodea a la célula y la separa del medio que la rodea. Su función es doble: actuar de barrera semipermeable a las sustancias y de barrera física con el medio.⁴³

Núcleo (N): Consiste en una estructura separada del citoplasma por medio de una doble membrana nuclear. En él se encuentra contenido todo el material genético, cuya misión es la de regular todas las funciones celulares y transmitir esa información a la descendencia. Los cromosomas, constituidos por genes, contienen el material genético. Los genes son las unidades mínimas de información que gobiernan una actividad, y son los responsables de la transmisión de los caracteres hereditarios a la descendencia.⁴⁴

Las células cumplen las funciones de nutrición, relación y reproducción. Los organismos unicelulares cumplen todas estas funciones. En los organismos

⁴² Little, M. (2009).

⁴³ Tubiana, M., Feinendegen, L.E., Yang, C., Kaminski, J.M. (2009).

⁴⁴ Comisión Europea. Dirección General de Medio Ambiente. (2001).

pluricelulares, las células sufren un proceso de especialización en el cual una célula o grupo de células realiza una determinada función y pierde la capacidad de realizar otras (las neuronas, por ejemplo, se han especializado en transmitir los impulsos nerviosos, perdiendo la capacidad de dividirse).⁴⁵

Teniendo en cuenta los efectos biológicos de las radiaciones, la función celular más importante es la reproducción y desde este punto de vista existen dos grandes grupos celulares:

- Células somáticas, son las células constituyentes de los tejidos y los órganos.
- Células germinales, encargadas de transmitir la información genética a la descendencia (óvulos y espermatozoides).

El proceso por el cual las células somáticas se dividen se denomina mitosis y, gracias a ella, la célula madre origina dos células hijas completamente iguales. Para formar estas dos células hijas necesita, en algún momento de la división, duplicar su material genético (DNA).

Las células germinales forman los gametos por un mecanismo llamado meiosis, en el cual la célula precursora da lugar a células hijas con una dotación de material genético que es la mitad del de la célula madre. De esta forma se consigue que al unirse el gameto masculino con el gameto femenino la información genética no se vea duplicada. Respuesta orgánica total a la radiación

La respuesta orgánica total viene determinada por la respuesta combinada de todos los sistemas orgánicos a la radiación. La respuesta de un organismo adulto a una exposición aguda (en un tiempo corto, del orden de minutos), de radiación penetrante (rayos X, gamma o neutrones), que provenga de una fuente externa y que afecte a todo el organismo, se conoce como síndrome de irradiación.

⁴⁵ Tubiana, M., Feinendegen, L.E., Yang, C., Kaminski, J.M. (2009).

La respuesta que se presenta a una dosis de irradiación corporal y total se puede dividir en tres etapas: ⁴⁶

Prodrómica. Se caracteriza por náuseas, vómito y diarreas. Puede durar desde algunos minutos hasta varias horas.

Latente. Ausencia de síntomas. Varía desde minutos hasta semanas.

De enfermedad manifiesta. Aparecen los síntomas concretos de los sistemas lesionados. El individuo se recupera o muere como consecuencia de las radiolesiones. Varía desde minutos hasta semanas.

4,8.- EFECTOS DE RADIACION SOBRE LA CÉLULA

Establecer los parámetros específicos de los efectos de la radiación en la materia viva es extremadamente difícil ya que las lesiones dependen de varios factores pero el principal está en función de la radiación ionizante, es decir de la frecuencia y la dosis, además de las características individuales de los tejidos irradiados, es decir de su radiosensibilidad.

En los cambios que se producen en el material biológico después de una interacción con las radiaciones ionizantes, es importante tener presente las siguientes generalidades:

- La interacción de la radiación con las células es una función de probabilidad es decir puede o no interaccionar y si se produce la interacción puede o no producir daños o lesiones en éstas.
- La absorción inicial de energía ocurre muy rápidamente, aproximadamente en 10^{-17} “.
- La interacción de la radiación en la célula no es selectiva, pues la energía de la radiación puede depositarse en cualquier sitio.

⁴⁶ [Westra, S.](#) (2014).

- Los cambios producidos en las células como resultado de la interacción con radiaciones ionizantes no son específicos, ya que no se distinguen de los daños producidos por otros agentes físicos, químicos o biológicos.
- Los cambios biológicos que resultan de las radiaciones se observan clínicamente sólo cuando ha transcurrido un cierto tiempo (latencia), que depende de la dosis de radiación absorbida y que puede variar desde algunas horas hasta incluso decenas de años.
- Se acepta que la acción de las radiaciones sobre las células es siempre de tipo lesivo, ya que ocasiona una lesión o pérdida de información en el material genético, que se manifestará siempre como la pérdida de una función o de una actividad específica. En líneas generales se puede decir que la radiación lesionará dependiendo de cómo actúe (mecanismo de acción), dónde actúe (el lugar de la célula que quede lesionado), y qué cantidad de radiación sea absorbida por la célula.

Además cuando la radiación ionizante incide sobre un organismo vivo, lo hace a nivel celular y puede llevarse a cabo en las membranas, el citoplasma y el núcleo.⁴⁷

- Si la interacción sucede a nivel de las membranas se producen alteraciones de permeabilidad, lo que hace que puedan intercambiar fluidos en cantidades mayores que las normales
- En el caso en que la interacción sucede en el citoplasma, cuya principal sustancia es el agua, al ser ionizado se forman radicales químicamente inestables
- Cuando la radiación ionizante llega hasta el núcleo de la célula, puede producir alteraciones de los genes e inclusive rompimiento de los cromosomas, provocando que cuando la célula se divida lo haga con características diferentes a la célula original

⁴⁷ Mondaca A, Roberto. (2006).

4,9.- RADIOBIOLOGIA

La radiobiología es la ciencia que estudia y detalla los efectos de la radiación ionizante sobre la materia viva cuando un tejido ha absorbido la energía cedida por las radiaciones ionizantes y ha sido ya estudiada con detalle desde hace ya muchos años, como ya lo he descrito en líneas anteriores los efectos de la radiación sobre la materia se han observado y descritos desde 1896 en los primeros usuarios de los rayos X. quienes notaron caída de cabello en las áreas expuestas, enrojecimiento de la piel y si la exposición era mayor se ulceraba, además años más tarde se confirmaron principalmente casos de cáncer de piel sobre las áreas expuestas.⁴⁸

En forma general se considera que las radiaciones producen siempre un efecto lesivo sobre el organismo, es decir que provoca un daño o alteración de la función, en ocasiones es ese efecto lesivo celular el que se busca y es usado para el tratamiento de las lesiones tumorales en la radioterapia, por medio de la cual se busca la destrucción de las células tumorales que son de rápido crecimiento.⁴⁹

Tanto la lesión producida, como los mecanismos de reparación, aún no se conocen completamente ya que básicamente la interacción con la materia viva está en función de la probabilidad y la capacidad o no de producir modificaciones además hay que considerar el mecanismo y grado de reparación.

En la actualidad se admiten una serie de etapas que intentan explicar las modificaciones que ocurren desde que se absorbe la radiación hasta que se presenta la alteración en el organismo y que podrían resumirse de la siguiente forma:⁵⁰

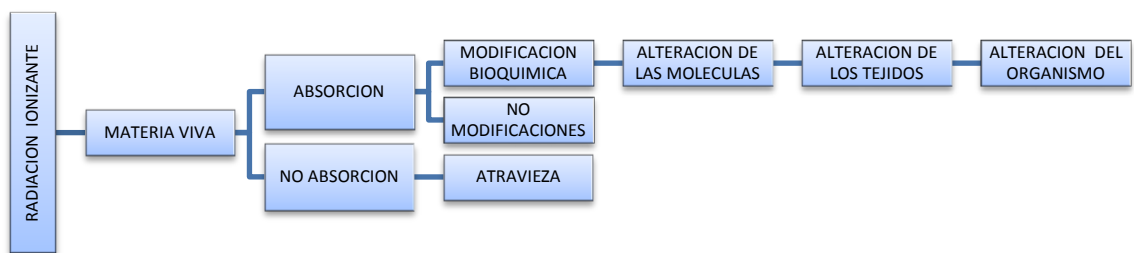
⁴⁸ Arieta, A. (2009).

⁴⁹ Comisión Europea Dirección General de Medio Ambiente (2000).

⁵⁰ Guías de Práctica Clínica. Gobierno Federal de México. (2003).

- Absorción de la radiación por el organismo.
- La absorción provoca una modificación bioquímica en ese lugar.
- Se alteran ciertas moléculas.
- Modificación de las células constituidas por las moléculas que se han afectado.
- Modificación del tejido al que pertenecen las células alteradas.
- Alteración del organismo pluricelular en su conjunto siempre y cuando la lesión no se repare, o si la alteración de la función correspondiente no se compensa.

En el mapa conceptual siguiente se resume este apartado, y será el eje que se seguirá en la interacción de la radiación con la materia viva.⁵¹



⁵¹ Bermudez Jiménez Luis.

4,10.- EFECTOS DE LA RADIACION EN LA MATERIA VIVA

La radiación y los efectos que puede producir sobre la materia viva ha sido un tema de constante investigación y descripción es por esto que las consecuencias se podrían clasificar desde varios puntos de vista una de ellas está basada en sus consecuencias directas de acuerdo a lo cual podemos distinguir entre dos amplias categorías:⁵²

1. Estocásticas.- (probabilísticos). Son efectos que pueden aparecer, pero no lo hacen necesariamente. Lo más que se puede decir es que existe una cierta probabilidad de que se produzcan, estos incrementan con la dosis recibida y el tiempo de exposición, el cual no tiene umbral de manifestación
2. No estocásticas.- (o no probabilísticos). Son los efectos deterministas que se relacionan con la dosis, es decir, si se ha depositado una dosis equivalente suficientemente alta, sobre el cual aparecerán cierto tipo de efectos.

FIGURA 14: EFECTOS BIOLÓGICOS DE LOS RAYOS X

	Determinista	Estocástico
Mecanismo	Letal	Subletal
Naturaleza	Somática	Somática o hereditaria
Gravedad	Depende de la dosis	No depende de la dosis
Dosis umbral	Sí	No
Dosis-efecto	Lineal	Probabilístico
Aparición	Inmediata o tardía	Tardía

Fuente: Revista Española Cardiología 2009, 62 (suppl 1): 117

⁵² Gil Cebrián J., Martínez García P., Díaz Torres I., López Alvaro J.

4,11.- MECANISMOS DE ACCION SOBRE LA CELULA

Los mecanismos de acción de la radiación para provocar sus efectos o lesiones sobre la célula se pueden clasificar en dos tipos diferentes:

1. Acción Directa La acción directa tiene lugar cuando un fotón interactúa con una molécula biológica a la que cede energía (ADN, ARN, enzimas, etc). En estas condiciones las moléculas resultan ionizadas o excitadas, conduciéndose a procesos de radiolisis, y a la correspondiente alteración de las moléculas "impactadas".⁵³

También se denomina "teoría del impacto" o "efecto bala".- esta teoría explica de forma bastante intuitiva la acción directa de las radiaciones a nivel microscópico y macroscópico. Se supone en esta teoría, que en la célula existen moléculas de menor importancia (pueden ser sustituidas), y moléculas clave (que son únicas e insustituibles). La acción sobre estas moléculas clave producen los "impactos", que pueden dar lugar a las lesiones radio-inducidas más graves produciendo daños por la ionización directa

2. Acción Indirecta.- que implica la absorción de la energía disipada en medios intracelulares, principalmente agua. La absorción de la energía de la radiación puede dar lugar a la formación de radicales libres, que son átomos o moléculas que contienen un electrón de un orbital externo desapareado.

Los radicales libres presentan una alta reactividad química por la tendencia del electrón libre a unirse a otro electrón de un átomo de una molécula próxima. Su origen puede ser diverso, a partir de variadas moléculas celulares, incluida la molécula del ADN. El ejemplo más sencillo de describir y que, por su abundancia en la célula se considera que contribuye más frecuentemente a este fenómeno, es la formación de radicales libres en la molécula de agua. En este caso, el resultado final del proceso de absorción

⁵³ Arias César F..

de la radiación por una molécula de agua, se concreta en la creación tanto de iones (H^+ y OH^-), como de los radicales libres ($H\cdot$ y $OH\cdot$).⁵⁴

Los efectos de los radicales libres en la célula se deben a su capacidad de inducir variadas reacciones químicas que, al propagarse, pueden causar cambios y lesiones en la célula en zonas relativamente distantes del lugar de la interacción primaria.⁵⁵

En general, la acción de los radicales libres varía con las moléculas afectadas en la célula.

En el caso de producirse el daño sobre moléculas no fundamentales (como carbohidratos, lípidos o proteínas), aunque sean alteradas sólo se producen efectos transitorios ya que inmediatamente se sintetizan los constituyentes dañados en el metabolismo normal, no produciéndose efectos apreciables.

La evidencia experimental demuestra que el impacto de los efectos indirectos sobre el tejido biológico es considerablemente mayor que el de los efectos directos. Puesto que los efectos indirectos consisten en recombinación química y no son únicos.

Consideremos ahora cómo los efectos de la radiación afectan a la célula. En primer lugar, puede suceder que la célula muera. Resulta que para matar directamente una célula se necesitan altas dosis de radiación. Por desgracia, esto no significa que las células sean resistentes a la radiación, ya que, aunque la célula sobreviva, pueden alterarse sus funciones biológicas. Este es el punto débil de las células ya que si la célula no es capaz de realizar sus funciones biológicas morirá al poco tiempo por falta de funciones vitales (producción de proteínas, capacidad de reproducirse, etc).⁵⁶

Es precisamente la capacidad de reproducirse de las células y organismos multi-celulares la función más sensible a las rupturas causadas por la radiación. Esto es debido a que la reproducción es un proceso muy complejo

⁵⁴ Alcaz Milán, José Ramón

⁵⁵ Invest. clín. [online].

⁵⁶ Oyarzún C Carlos, Ramírez Alfredo.

que requiere el almacenamiento de información que incorpora las "instrucciones" acerca de la estructura y metabolismo de la célula. Es esta información la que puede ser alterada más fácilmente. El organismo como un todo muere, no porque sus células individuales hayan muerto, sino porque no logran reproducirse y reemplazarse.

Esto explica por qué las fatalidades causadas por la radiación no son instantáneas (excepto para grandes dosis) sino que ocurren después de la exposición durante periodos de tiempo de hasta varias semanas, y por qué algunos efectos son estocásticos, mientras que otros no lo son.

También se explica así por qué algunos tipos de células son más sensibles al daño de la radiación que otras. Las células que se reproducen rápidamente muestran una especial sensibilidad a la radiación. En los humanos adultos los dos órganos más sensibles son:

Los órganos que producen los componentes de la sangre. Especialmente la médula ósea.⁵⁷

La cubierta interior del tracto gastro-intestinal. Este tejido está reproduciéndose continuamente.

La sensibilidad de los organismos multicelulares a la radiación cambia con el tiempo. El periodo de crecimiento es obviamente el de mayor sensibilidad, pues la multiplicación de las células es más rápida. Por esta razón las dosis máximas recomendadas son menores para los niños y mujeres embarazadas.

La alteración de la información genética en la célula no significa necesariamente que las células sean incapaces de reproducirse. La disrupción de la información podría ser sólo parcial, la célula lograría reproducirse, pero la copia podría resultar alterada. Si las células alteradas proliferan más rápido que las normales, pueden desarrollarse cánceres latentes.

⁵⁷ Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.

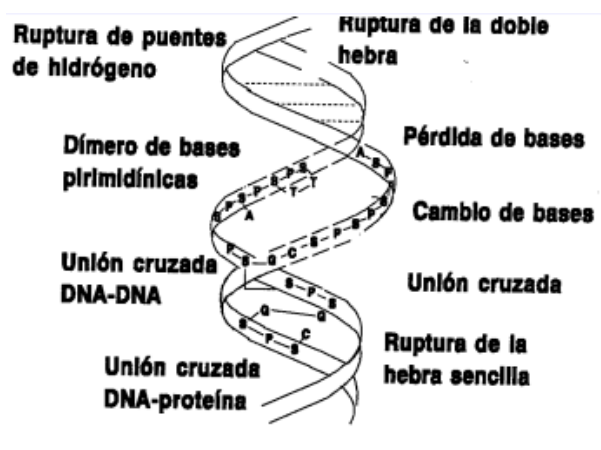
El efecto de una sustancia cancerígena puede explicarse con el mismo modelo que usamos para la radiación: son sustancias que alteran la composición química de las moléculas de la célula que incorporan la información para la reproducción. El efecto final de la radiación es químico, de ahí la dificultad de distinguir entre efectos latentes causados por la radiación y efectos causados por otras fuentes.

Los daños ocasionados en la molécula afectada pueden ser de diferente tipo:

- A. Substitución o pérdida de una base nitrogenada.
- B. Ruptura del enlace de hidrógeno entre las dos cadenas.
- C. Ruptura del esqueleto en una cadena.
- D. Ruptura del esqueleto en las dos cadenas.
- E. Ruptura de dos moléculas de ADN y unión de ambas.⁵⁸

Cada uno de estos efectos puede dar origen a la aparición de mutaciones en las células.

FIGURA 15: POSIBLES ALTERACIONES EN LA CADENA DE ADN



Fuente: <http://www.tagoror.com/enciclopedia/es/wikipedia/r/ra/radiobiologia.html>

⁵⁸ Oyarzún C Carlos, Ramírez Alfredo.

Estos efectos son similares a los descritos por la teoría del impacto o de acción directa ya que pueden llevar a la célula al mismo fin.⁵⁹

Los daños causados en las células se pueden agrupar en:

- Muerte en interfase: Como respuesta a la radiación, se produce la muerte celular antes de entrar en mitosis. Esta muerte se puede producir tanto en células diferenciadas que han perdido la capacidad de dividirse, como en células precursoras. La dosis requerida para producir este tipo de respuesta, varía según el tipo de célula. Por ejemplo, los linfocitos presentan la muerte en interfase a dosis absorbidas inferiores a 500 mGy, pero las levaduras soportan una dosis absorbida mayor de 300 Gy.
- Retraso mitótico: En las poblaciones celulares no sincronizadas, en todo momento hay una proporción de células en división. Se define el índice mitótico como el cociente entre las células que están en división sobre el total de células de la población. En las poblaciones normales de células al representar el índice mitótico frente al tiempo, se observa que permanece más o menos constante. Si se irradia la población se rompe este equilibrio, ya que las células que se encuentran en mitosis durante la irradiación completan su división, pero aquellas que se encuentran a punto de dividirse la retrasan. Si la dosis es baja, las células pueden recuperarse del retraso y comienzan la mitosis, lo que origina un aumento del índice mitótico por encima del valor de referencia, situación que recibe el nombre de sobrecarga mitótica. Durante ese tiempo, las células que entren en mitosis estarán formadas por dos grupos, uno que ha evolucionado normalmente sin sufrir retraso y por otro formado por las que sufrieron el retraso⁶⁰

El efecto de la radiación ionizante sobre la célula va a depender del lugar en donde se produzca la interacción:

⁵⁹ Invest. clín. [online].

⁶⁰ Ugarte Suárez José Carlos.

- En el núcleo celular, en donde se encuentra el material genético de la célula, alterando el material genético
- En el citoplasma celular, en el que se hallan la mayoría de los orgánulos celulares y se realizan las actividades metabólicas de la célula.

Cuando la radiación incide sobre la molécula de ADN y la lesión se repara completamente no tiene trascendencia. Por el contrario, si la lesión no se repara en su totalidad entonces las consecuencias pueden ser graves.

Una alteración causada sobre el ADN se denomina mutación es decir constituye una mutación radio-inducida, representando una variación en alguna actividad celular, la cual es susceptible de ser transmitida a la descendencia.⁶¹

Todos los organismos vivos presentan mutaciones espontáneas, por tanto el peligro de la radiación es el de aumentar esa frecuencia de mutaciones naturales, pudiendo llegar a saturar los mecanismos de reparación del organismo. Las mutaciones pueden afectar tanto a las células somáticas (cáncer radio-inducido) como a las germinales (transmisión a generaciones posteriores).⁶²

En resumen, actualmente sobre las características de las mutaciones radio-inducidas, se acepta que:

1. No son patognomónicas, ni específicas ni características. Sólo se observa un aumento en la frecuencia de aparición de aquellas mutaciones que aparecen espontáneamente en una población en general.
2. No tienen dosis umbral por debajo de la cual se puede conseguir la ausencia de mutaciones radio-inducidas. Sería posible que un solo impacto, en el lugar inadecuado provoque una lesión. Si esta lesión

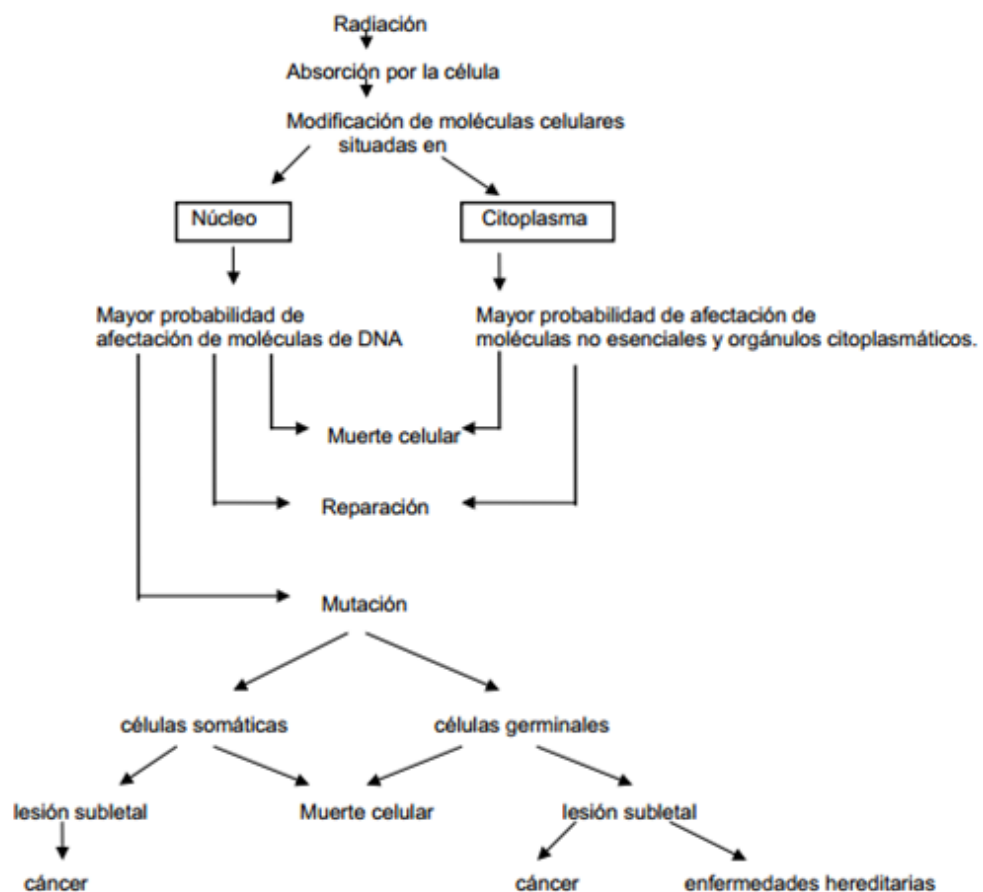
⁶¹ García C, Meneses L, Guiraldes E y col

⁶² Carrasco Rodríguez José L.

no se regenera adecuadamente, podría derivarse una mutación radio-inducida.

3. Su frecuencia de aparición aumenta con las dosis de radiación absorbida, comportándose como si el efecto de las dosis en las poblaciones irradiadas fuera acumulativa.
4. Se transmiten genéticamente con un carácter recesivo, por lo que podrían permanecer ocultas durante generaciones, provocando un deterioro genético en la descendencia, que sería inapreciable fenotípicamente durante generaciones.

FIGURA 16: TIPOS DE CÉLULAS SOBRE LAS QUE ACTÚA LA RADIACIÓN



Fuente: <http://www.tagoror.com/enciclopedia/es/wikipedia/r/ra/radiobiologia.html>

4,12.- RADIOSENSIBILIDAD CELULAR

Las consecuencias de la acción directa o indirecta de la radiación sobre el núcleo o citoplasma celular dependerá, de otro factor fundamental: el tipo de célula sobre la que ha incidido la radiación.⁶³

Cada tipo celular presenta un grado diferente de sensibilidad al daño inducido por la radiación ionizante (radiosensibilidad). Habitualmente se toma como referencia la muerte de la célula, así como las curvas de supervivencia que presentan frente a la irradiación.

En 1906 BERGONIE Y TRIBONDEAU describieron unos postulados que con el paso del tiempo se han aceptado como la ley básica de la radiosensibilidad celular a los rayos X y a los materiales radiactivos, los mismos que permite conocer el grado de radio-sensibilidad o radio-resistencia de los diferentes tipos celulares ya que vincula la rápida e intensa respuesta de los tejidos a la capacidad reproductora de las células que los componen. En ella se dice que los rayos X actúan más sobre las células cuanto:

- Mayor es su actividad reproductora.
- Mayor es su porvenir carioquinético o filogenético, es decir, cuantas más divisiones deba realizar para adoptar su forma y funciones definitivas.
- Menos diferenciadas tengan su morfología y sus funciones, o lo que es equivalente, no haya alcanzado su grado de diferenciación definitiva. Una célula diferenciada es aquella que está especializada funcional o morfológicamente. Una célula no diferenciada es una célula inmadura cuya función fundamental es dividirse para mantener su propia población y para reemplazar a las células maduras perdidas. Las células indiferenciadas se pueden considerar como células precursoras o células madre de una población.

⁶³ Cáncer ocupacional.

Sin embargo, una excepción significativa a esta ley lo constituye el linfocito. Ya que es la célula más radio-sensible del organismo, sin poseer ninguna de las tres características enunciadas en los postulados anteriores de Bergonié y Tribondeau.⁶⁴

4,13.- DESCRIPCION DE LAS ALTERACIONES SISTEMICAS

- Sistema hematopoyético.- Como consecuencia de la elevada radiosensibilidad de los precursores hematopoyéticos, dosis moderadas de radiaciones ionizantes pueden provocar una disminución proliferativa de las células, lo que se traduce al cabo de un corto período de tiempo en un descenso del número de células funcionales de la sangre. La pérdida de leucocitos conduce, tras la irradiación, a una disminución o falta de resistencia ante los procesos infecciosos. Por otra parte, la disminución del número de plaquetas indispensables para la coagulación sanguínea provoca una marcada tendencia a las hemorragias, que sumado a la falta de producción de nuevos elementos sanguíneos de la serie roja, puede provocar una grave anemia
- Sistema digestivo.- el intestino delgado es la parte más radiosensible del tubo digestivo. Está constituido por un revestimiento formado por células que no se dividen, sino que se descaman diariamente hacia la luz del tubo y son sustituidas por nuevas células. Al igual que ocurre en la médula ósea, en esta región existe un compartimento de células cepa, que se dividen activamente, y que tienen una elevada sensibilidad. La radiación puede llegar a inhibir la proliferación celular y, por tanto, el revestimiento puede quedar altamente lesionado, teniendo lugar una disminución o supresión de secreciones, pérdida de elevadas cantidades de líquidos y electrolitos.
- Piel.- Después de aplicar dosis de radiación moderadas o altas, se producen reacciones tales como inflamación, eritema y descamación seca o húmeda de la piel.

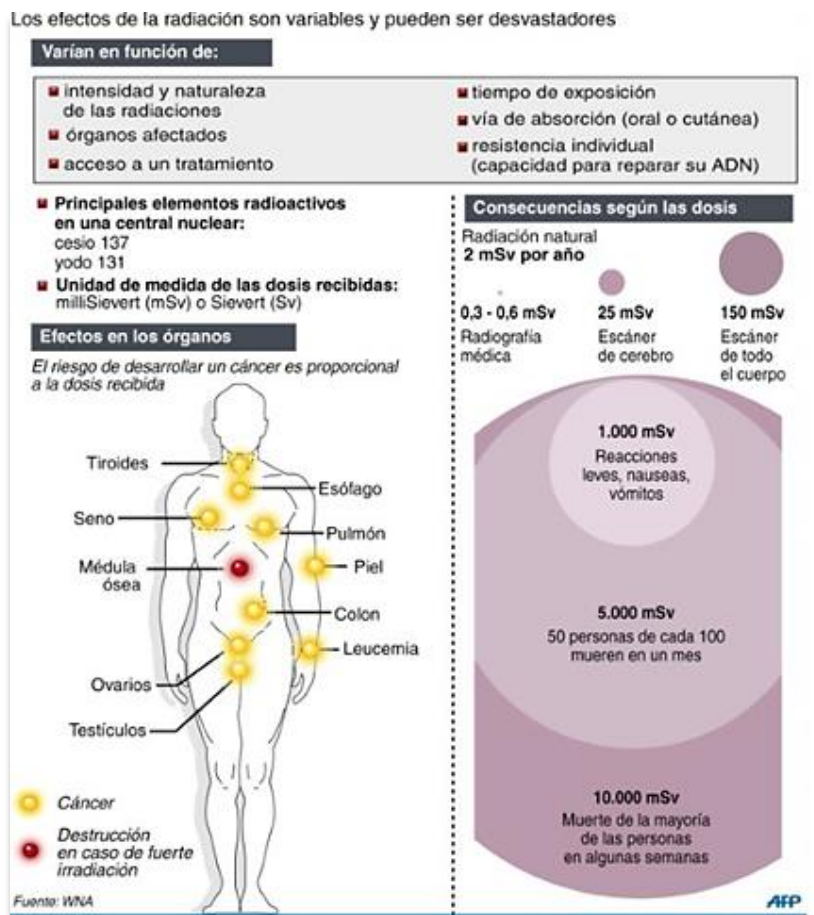
⁶⁴ Beldarraín Gómez Luis E., A

- Testículo.-Como consecuencia de la irradiación de los testículos se puede producir la despoblación de las espermatogonias, lo que se traduce en la disminución de nuevos espermatozoides, aunque la fertilidad puede mantenerse durante un período variable atribuible a los radio-resistentes espermatozoides maduros. A este período le sigue, finalmente, otro de esterilidad temporal o permanente según la dosis recibida.
- Ovario.-Después de irradiar los ovarios con dosis moderadas, existe un período de fertilidad debido a los relativamente radio-resistentes folículos maduros, que pueden liberar un óvulo. A este período fértil le puede seguir otro de esterilidad temporal o permanente, como consecuencia de las lesiones en los folículos intermedios al impedirse la maduración y expulsión del óvulo. Posteriormente, puede existir un nuevo período de fertilidad como consecuencia de la maduración de los óvulos, que se encuentran en los folículos pequeños y radio-resistentes.

Las dosis necesarias para producir esterilización varían, en este caso en particular, en función de la edad, dado que a medida que se aproxima la edad de la menopausia el número de ovocitos primarios disminuye y, por tanto, la dosis esterilizante es más baja.⁶⁵

⁶⁵ Ugarte Suárez José Carlos.

FIGURA 17: IMPACTO DE LAS RADIACIONES NUCLEARES EN LA SALUD



FUENTE: <http://www.unainfografiaaldia.com/2011/03/29/el-impacto-de-las-radiaciones-nucleares-en-la-salud/>

4,14.- POSIBLES LESIONES FETALES INTRAUTERINAS POR RADIACION IONIZANTE

En la actualidad los estudios se han enfocado en tratar de determinar los posibles efectos que puede tener la exposición a la radiación, en los bebés que están por nacer, debido a que constituyen un grupo especial de riesgo principalmente por su expectativa de vida, denominándose exposición prenatal a la radiación.⁶⁶

Este proceso ocurre cuando el abdomen de la madre está expuesto a la radiación originada en una fuente externa a su cuerpo. Asimismo, una mujer embarazada que accidentalmente ingiere o respira materiales radioactivos puede absorber la sustancia y estos afectar al bebé a través de la sangre placentaria o concentrarse en áreas del cuerpo de la madre que están cercanas a la matriz (como la vejiga) y exponer el bebé a la radiación.

La posibilidad de que se presenten efectos graves en la salud depende de la edad de gestación del bebé al momento de la exposición, de la cantidad y principalmente del tiempo de exposición de la radiación a la que estuvo expuesto.⁶⁷

Los bebés que están en el vientre de la madre son menos sensibles durante algunas fases del embarazo que durante otras. Sin embargo, son particularmente sensibles a la radiación durante su desarrollo temprano, entre las semanas 2 y 15 del embarazo de tal manera que en este periodo las consecuencias para la salud pueden ser muy graves, aún con dosis de radiación tan bajas que no llegan a enfermar a la madre. Estas consecuencias pueden ser, entre otras, retrasos en el crecimiento, deformidades, funciones cerebrales anormales o cáncer que puede presentarse más adelante en la vida. Sin embargo, debido a que el bebé está resguardado por el abdomen de la madre, la matriz puede protegerlo de fuentes radioactivas externas al cuerpo de la madre. En consecuencia, la

⁶⁶ García C, Meneses L, Guiraldes E y col.

⁶⁷ Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo

dosis de radiación que recibe el bebé en gestación es menor que la dosis que recibe la madre en la mayoría de los incidentes de exposición por radiación.

La exposición a la radiación antes del nacimiento puede aumentar el riesgo de que la persona desarrolle cáncer más adelante en la vida.

La mayoría de los investigadores coinciden en que los bebés que han recibido dosis pequeñas de radiación (equivalentes a 500 rayos X de pecho o menos) en cualquier momento del embarazo no tienen un riesgo mayor de sufrir defectos de nacimiento. El único riesgo que aumenta para esos bebés es una posibilidad levemente mayor de desarrollar cáncer más adelante en la vida (menos del 2% por encima del riesgo promedio de adquirir cáncer que es del 40 al 50%).⁶⁸

Por otro lado los efectos en la salud por la exposición a la radiación, diferentes al cáncer, no son factibles cuando la dosis que recibió el bebé en gestación es muy baja.

Durante las primeras 2 semanas del embarazo, la preocupación más grande por los efectos de la radiación es la alteración en el ADN que conlleva a la muerte del embrión, debido a que es este tiempo, el embrión está formado solamente por unas pocas células pluripotenciales, cuyas alteraciones están dentro de la teoría del “todo o nada”, pudiendo causar la muerte del embrión aún antes de que la madre sepa que está embarazada o simplemente no causar alteración estructural compatible con la vida, es por esto que, entre los bebés que sobreviven, pocos podrán tener defectos de nacimiento relacionados con la exposición, sin importar la cantidad de radiación a la que estuvieron expuestos.

Cuando la exposición a grandes dosis de radiación (por encima de la dosis de 500 rayos X de pecho) durante las fases más sensibles del embarazo (especialmente entre las semanas 8 a 15 del embarazo), las consecuencias

⁶⁸ García C, Meneses L, Guiraldes E y col.

a la salud puede ser grave y el cerebro puede verse especialmente afectado. Este particular hecho fue estudiado en los hijos de madres que fueron expuestas a las bombas atómicas arrojadas contra Hiroshima y Nagasaki durante las semanas 8 a la 15 del embarazo, en quienes se encontró una tasa más alta de daño cerebral, que resultó en un coeficiente intelectual más bajo, hidrocefalia y retraso mental severo. Además presentaron retrasos en el crecimiento (su estatura era hasta un 4% menor que la estatura de la persona promedio) y se les incrementó el riesgo de sufrir otros defectos de nacimiento.

Entre la semana 16 hasta el nacimiento, los efectos en la salud provocados por la radiación (además del cáncer) son poco factibles, a menos que el bebé reciba una dosis extremadamente grande.⁶⁹

Entre la semana 16 a la 25 del embarazo pueden presentarse consecuencias a la salud similares a las descritas para la semana 8 a la 15, pero solamente cuando las dosis son elevadas (más de unos 5,000 rayos X de pecho recibidos al mismo tiempo). Si recibe esta dosis, la madre puede mostrar los signos de síndrome agudo por radiaciones, conocido a veces como enfermedad por radiación.

Después de la semana 26 del embarazo, la sensibilidad del bebé en gestación a la radiación es parecida a la de un recién nacido ya que está completamente desarrollado estructural. Los bebés en gestación a esta edad gestacional, expuestos a la radiación en la matriz durante esta fase del embarazo no son más sensibles a los efectos de la radiación que los recién nacidos porque como ya lo hable anteriormente cuenta con la protección de la matriz, que hace un efecto de escudo. Esto quiere decir que la probabilidad de presentar defectos de nacimiento es menor y solamente hay un leve incremento en el riesgo de desarrollar cáncer más adelante en la vida, que constituye el mismo riesgo que un RN presentaría ante la misma exposición.

⁶⁹ Ugarte Suárez José Carlos

4,15.- PROTECCION RADIOLOGICA

El tema principal de la protección radiológica surge ante el gran problema de los efectos inmediatos y a largo plazo observados ya desde el comienzo mismo de su utilización es así que la historia de los RX y de la radiactividad misma se inicia en 1895 como ya lo he recalcado, en una época de expansión industrial de progreso pero principalmente de despreocupación médica ya que al profundizar sobre los beneficios de estas radiaciones de las que desconocen su naturaleza se menosprecia sus efectos adversos los que constataban de inmediato al estudiarlos sin protección presentando quemaduras y ulceraciones en la piel sin embargo no fue sino a partir de 1904 en donde Antuan eminente radiólogo llama ya la atención a sus colegas sobre estos efectos y pregoniza modos de protección pero el entusiasmo de los médicos y su fe en la ciencia los hace según ellos, inmunes a estas radiaciones y aplican poco las recomendaciones

Alrededor de 400 trabajadores de radiación mueren en el mundo víctimas de este nuevo descubrimiento ⁷⁰

La verdadera expansión de la protección radiológica comienza en 1920 con, los trabajos del sueco Rolf Sievers (1896 – 1966) quien a partir de 1928 emplea un método para la medición de las radiaciones

En el mismo año varios radiólogos europeos se ven en la necesidad de establecer el comité de protección contra los rayos X y el radio como un mecanismo de concienciación para el mundo científico y fijan el primer límite de dosis, principalmente enfocado a los radiólogos y técnicos, según el cual respetando este límite o umbral evitan los efectos que aparecen inmediatamente. La idea de que los efectos que aparecen son precoces y que solo se presentan bajo un determinado umbral pierden relevancia a la vista de los hechos ya que con las publicaciones científicas aisladas en todo el mundo en donde se relaciona la exposición continua con la aparición de cáncer se hace cada vez más importante y además estas ideas se ven

⁷⁰ Carrasco Rodríguez José L.

fortificadas por los trabajos del biólogo y genetista Hermann Muller autor de notables estudios acerca de la acción de los rayos X como productores de mutación sobre células y también estudio sobre los posibles efectos en la descendencia de las personas expuesta, después está el asunto de las obreras americanas de las fábricas de relojes a principio de 1930, los empresarios y científicos de la época terminaron por admitir que el incremento de cáncer de boca, frente a estos indicios y teniendo en cuenta la incertidumbre sobre la existencia de un umbral para la existencia de estos efectos tardíos se origina un vuelco en la protección radiológica en 1942 bajo el impulso del Dr., Stone ,quien pone una pauta importante sobre los efectos biológicos de la radiación ionizante, haciendo de estos uno de los proceso mayormente investigados que cualquier otro agente ambiental⁷¹

Paralelamente para superar los límites sobre la exposición a bajas dosis lidera un amplio programa experimental que marca el inicio de la radiobiología

La puesta en evidencia de la alta incidencia de leucemia en los sobrevivientes de las bombas de Hiroshima y Nagasaki lanzadas el 6 de agosto de 1945 hacen tomar conciencia sobre las consecuencias a la exposición a las radiaciones, ya que amas de recordar en sí el momento como uno de los peores actos de genocidio hasta la actualidad, refiriéndome no sólo a los más de 120.000 japoneses muertos que dejó en forma instantánea las bombas de plutonio y uranio (una de cada tipo), sino también a los heridos que días, semanas, meses y años más tarde murieron a causa de la radiación emanada por las bombas.

⁷¹ Beldarraín Gómez Luis E

FIGURA 18: VALORES DE LÍMITES DE DOSIS PARA PÚBLICO Y TRABAJADORES

	Límites de dosis	
	Trabajadores	Público
Dosis efectiva	20 mSv/año promediada a lo largo de periodos definidos de 5 años ¹	1 mSv en un año ²
Dosis equivalente ³ anual en:		
•Cristalino	150 mSv	15 mSv
•Piel	500 mSv	50 mSv
•Manos y pies	500 mSv	_____
<p>1. Con el requisito adicional de que la dosis efectiva no debería superar 50 mSv en un año cualquiera.</p> <p>2. Bajo condiciones excepcionales se podría permitir una dosis efectiva más alta en un único año, siempre que la media de 5 años no supere 1 mSv/año.</p> <p>3. La limitación de la dosis efectiva asegura una protección contra efectos estocásticos. Hay límite adicional para exposiciones locales (Dosis equivalente) para evitar los efectos deterministas.</p>		

Fuente: http://www.rinconeducativo.org/radiacio/6proteccion_radiologica.html

5.- METODOLOGIA

5,1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Con el soporte científico de una Revisión Bibliográfica Sistemática, bajo la modalidad denominada MEMORIA ORGANIZADA DE LA ACTIVIDAD ACADEMICA, se realizó un Estudio Observacional, Analítico de Corte Transversal.

5,2 LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN

Servicio de Imagen del Hospital Regional Isidro Ayora de Loja.

5,3 UNIVERSO

El universo del estudio estuvo constituido por todos los pacientes que se realizaron exámenes complementarios en el Servicio de Imagenología del Hospital Isidro Ayora de Loja, durante el periodo comprendido entre el 01 de Enero hasta el 30 de Junio de 2014.

5,4 MUESTRA

Para el desarrollo de la presente investigación se tomó en cuenta como muestra a todos los pacientes admitidos en el servicio de Neonatología, que se realizaron estudios de Rayos X antero posterior de tórax, Rayos X en posición decúbito y de pie de abdomen y Tomografía de cráneo en el Servicio de Imagenología del Hospital Isidro Ayora de Loja durante el 01 de Enero hasta el 30 de Junio de 2014.

La muestra objeto de estudio está conformada por 671 pacientes que cumplieron con los criterios anteriormente señalados.

5,5 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Paciente ingresado en el Servicio de Neonatología que presente una solicitud de estudios de Rayos X AP de tórax, Rayos X en posición decúbito y de pie de abdomen, Rayos X simple tóraco-abdominal y Tomografía de cráneo durante el periodo comprendido entre el 01 de Enero hasta el 30 de Junio de 2014.

5,6 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Historia Clínica incompleta o ilegible

Solicitud de otros exámenes que ameriten radiación ionizante

5,7 PROCEDIMIENTOS

Para recabar la información relacionada a la frecuencia de la exposición a irradiación ionizante en los pacientes hospitalizados en el Servicio de Neonatología del Hospital Isidro Ayora de Loja, durante el periodo comprendido entre el 01 de Enero hasta el 30 de Junio de 2014, se desarrolló un formulario (Anexo 1) que contiene 4 partes a saber: Una primera con datos generales en la cual se encuentra la fecha en la que el paciente se realiza el examen, el número de Historia Clínica, la edad, sexo, peso, talla y número de días de hospitalización. Una segunda parte en la cual se detalla el diagnóstico que tiene el paciente previo al examen de imagen solicitado, el nombre del examen de imagen solicitado (Anexo 2), el diagnóstico posterior al examen y si el examen se solicitó por control o no. Además, en esta sección también se anotará si con el diagnóstico que porta el paciente, se encuentra justificada la realización del examen, de acuerdo a lo establecido en las Guías de la Comisión Europea para la realización de exámenes de imagen en niños (Anexo 3). Una tercera parte que concierne a la exposición de acuerdo a la irradiación propiamente dicha, en la cual se coloca el número de exámenes realizados durante la hospitalización, la dosis efectiva (Anexo 4) recibida en cada examen por individual, la comparación de esta dosis con la radiación natural por cada radiografía o tomografía realizada, y el riesgo de cáncer fatal por cada radiografía o tomografía, así como la suma de las radiaciones y el cálculo del riesgo total por cada paciente. La cuarta parte confiere a la observación del cumplimiento de la norma de protección a otros órganos durante la realización del examen, señalada como obligatoria por la Agencia Internacional de Energía Atómica.

6.- DISCUSIÓN

Los recién nacidos (RN) al tratarse de un grupo poblacional de alto riesgo radiológico en comparación al que presentaría un adulto, por la mayor expectativa de vida y el menor volumen corporal, presentando una mayor exposición de órganos sensibles durante el examen.⁷² El efecto de la radiación ionizante depende de la dosis administrada, pudiendo producir daño celular por exposición reiterada a dosis bajas ⁷³

El 62% de los exámenes se solicitaron por control, sin haberse encontrado en la Historia Clínica una justificación para su solicitud. Con respecto a este hallazgo, la guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de diagnóstico por imagen de la Comisión Europea de la Dirección General de Medio Ambiente señalan que todos los Servicios de Diagnóstico por Imagen deberían disponer de protocolos para cada situación clínica habitual, con el objetivo de optimizar las pruebas para obtener la máxima información con la mínima radiación. ⁷⁴

En esta investigación, el diagnóstico más frecuentemente encontrado fue el de Dificultad Respiratoria (72,88%), por lo cual el examen solicitado tuvo la intención de explorar el tórax del recién nacido, a través de radiografía o tomografía, siendo la Neumonía Por Organismo No Especificado el diagnóstico encontrado. La patología respiratoria constituye la causa más frecuente de morbilidad en el período neonatal, pudiendo afectar del 2-3% de los recién nacidos y hasta el 20% de los que tienen un peso al nacer menor de 2,5 kg.⁷⁵ Dentro de este contexto, el síndrome de distrés respiratorio neonatal o enfermedad de membrana hialina es la patología respiratoria más frecuente, ⁷⁶ observándose en la radiografía antero-posterior de tórax desde una discreta opacidad hasta un aspecto retículo granular difuso bilateral con imagen de vidrio esmerilado y disminución de la

⁷² Arrieta, A. (2012).

⁷³ Mondaca, R. (2006).

⁷⁵ Pérez, J., Elorza, D. (2003).

⁷⁶ González, A., Omaña, A. (2006).

expansión pulmonar.⁷⁷ La repetición de la radiografía de tórax precozmente (horas o días) después de diagnosticar una neumonía está indicada en caso de: neumonía redonda, derrame pleural, absceso pulmonar, mala evolución a pesar del tratamiento, duda diagnóstica, neumonía nosocomial. En el resto de los pacientes, según la mayoría de los autores, debe comprobarse la normalización radiológica a las 4 semanas del diagnóstico.^{78,79}

En este estudio, al analizar el número de radiografías realizadas, se evidenció que varios recién nacidos tenían un promedio de 18 placas de tórax en tan solo 20 días de hospitalización. Los efectos debidos a la radiación pueden estimarse de acuerdo a la dosis que reciben los órganos, y a la sensibilidad de cada uno, sumada como un orden de frecuencia más que como un número absoluto, y compararse este número, con la incidencia de cáncer durante la vida de un niño por exposición reiterada, y si le adicionamos otros factores de riesgo como por ejemplo de tipo ocupacional.⁸⁰

En esta investigación también se analizó el número de tomografías, evidenciándose clásicamente exámenes de cráneo simple, observándose que no se consideró otro método alternativo de diagnóstico como es el caso de ultrasonido, que constituye un método óptimo de examinación en esta edad

Como se puede desprender del análisis previo, una alta exposición a radiación solo ha sido estudiada en las investigaciones realizadas a los sobrevivientes de los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki, los cuales han sido utilizados por muchos comités científicos (Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), la base de este trabajo constituye tratar de iniciar una base de datos para poder estudiar los probables efectos biológicos de las radiaciones ionizantes a largo plazo

⁷⁷ Gobierno Federal de México. (2003)

⁷⁸ Irastorza, I. (2003).

⁷⁹ Moreno, A. (2003).

⁸⁰ Westra, S. (2014).

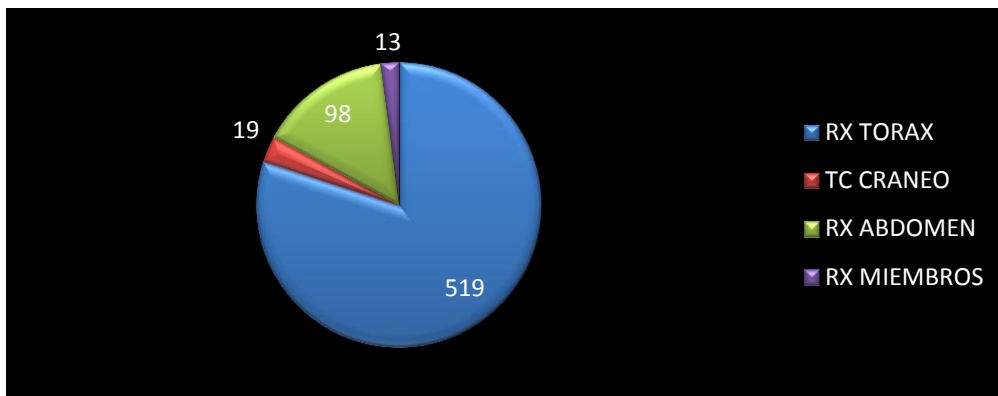
7.- RESULTADOS

TABLA 1: DISTRIBUCIÓN DE LOS ESTUDIOS DE ACUERDO AL EXAMEN SOLICITADO

EXAMEN	NÚMERO	PORCENTAJE
Rx Tórax	519	87,8
TC cráneo	19	3,2
Rx Abdomen	98	18
Rx miembro sup o inf	13	2,1
TOTAL	649	100

Fuente: Base de Datos
 Elaboración: Dra. Tatiana Angulo

Grafico 1



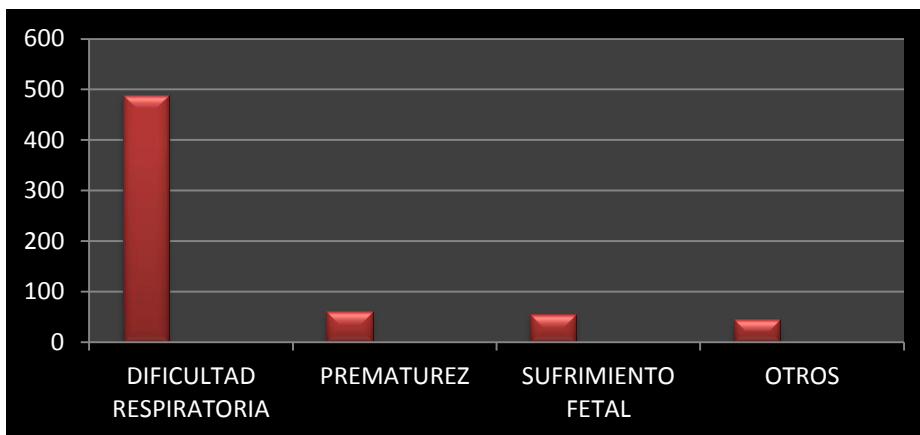
El examen solicitado tuvo la intención de explorar el tórax del recién nacido, a través de radiografía en 519 casos, lo que representa el 75,86 % de los casos, constituyendo la mayoría de los exámenes realizados.

TABLA 2: DIAGNÓSTICO AL EXAMEN IMAGENOLÓGICO

DIAGNÓSTICO	NÚMERO	PORCENTAJE
Dificultad Respiratoria	489	75
Prematurez	60	9
Sufrimiento Fetal	55	8
Otros	45	6,9
TOTAL	649	100

Fuente: Base de Datos
 Elaboración: Dra. Tatiana Angulo

Gráfico 2



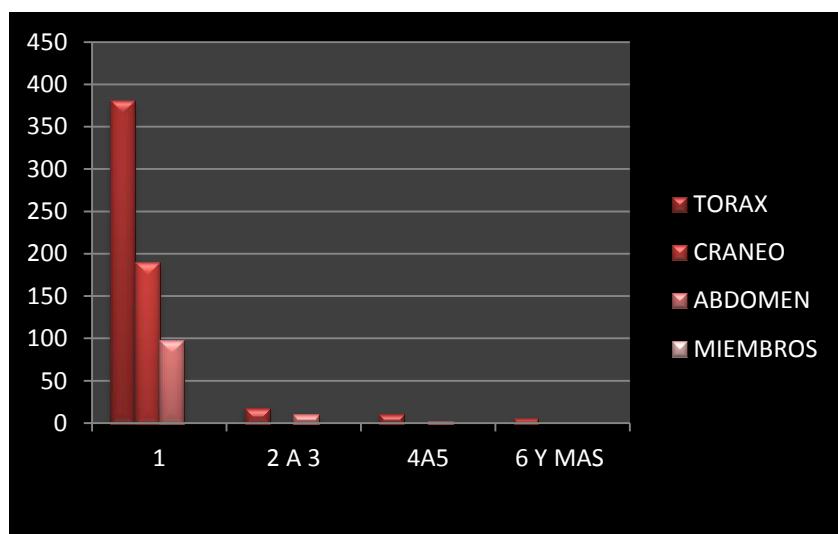
Se analizaron los diagnósticos de los pacientes al momento del ingreso solicitado por el médico tratante, observándose que el diagnóstico con mayor referencia es dificultad respiratoria con el 72 %

TABLA 3: DISTRIBUCIÓN DE LOS ESTUDIOS DE ACUERDO AL NÚMERO DE RADIOGRAFÍAS Y TC REALIZADAS POR PACIENTE

NÚMERO DE PLACAS	TIPO DE RX Y TC NÚMERO DE PACIENTES			
	TORAX RX (n)	CRÁNEO TC (n)	ABDOMEN RX (n)	MSIS RX (n)
1-5	375	19	98	8
6-10	80	0	10	0
11-15	40	0		0
16 y más	24	0	0	0
TOTAL	519	19	108	8

Fuente: Base de Datos
Elaboración: Dra. Tatiana Angulo

Gráfico 3



Se realizó un análisis del número de estudios realizados por paciente, obteniéndose: que el examen en mayor porcentaje realizado es el examen de RX una posición y una única toma que se realizó en 381 pacientes

TABLA 4: DOSIS DE RADIACIÓN POR CADA EXAMEN DE RX REALIZADO

RADIOGRAFÍA	Dosis Aproximada De Radiación Por Cada Examen (mSv)	Número De Exámenes Realizados	Total Dosis Aproximada De Radiación (mSv)
Rx Tórax	0.1	1	0.1
		2-3	0.2-0.3
		4-5	0.4-0.5
		6	0.6
Rx Abdomen	1	1	1
		2-3	18-24
		4-5	32-40
		6	48
Rx MsIs	0.001	1	0.001

Fuente: Base de Datos
 Elaboración: Dra. Tatiana Angulo

Nota: La dosis real puede variar substancialmente, dependiendo del tamaño de una persona como así también de las diferencias de prácticas durante la toma de imágenes.

TABLA 5: DOSIS DE RADIACIÓN COMPARADA CON LA RADIACIÓN NATURAL Y EL RIESGO ADICIONAL DE CÁNCER FATAL DEBIDO AL EXAMEN POR RX

RADIOGRAFÍA	TOTAL DOSIS APROXIMADA DE RADIACIÓN (mSv)	NUMERO DE EXAMENES REALIZADOS	COMPARABLE CON LA RADIACIÓN NATURAL DE FONDO DURANTE:	RIESGO ADICIONAL DE POR VIDA DE CANCER FATAL DEBIDO AL EXAMEN:
Rx Tórax	0.1	1	10 días	mínimo
	0.2-0.3	2-3	20-30 días	mínimo
	0.4-0.5	4-5	40 a 50 días	mínimo
	0.6	6 Y MAS	60 días	mínimo
Rx Abdomen	1	1	6 meses	bajo
	2-3	2-3	1 año	moderado
	4-5	4-5	2 años	moderado
	6	6 y mas	3 años	moderado
Rx MsIs	0.01		3 horas	insignificante

Fuente: Base de Datos
Elaboración: Dra. Tatiana Angulo

La dosis real puede variar substancialmente, dependiendo del tamaño de una persona como así también de las diferencias de prácticas durante la toma de imágenes.

TABLA 6: DOSIS DE RADIACIÓN COMPARADA CON LA RADIACIÓN NATURAL Y EL RIESGO ADICIONAL DE CÁNCER FATAL DEBIDO AL EXAMEN POR TC

TOMOGRAFÍA	Dosis Aproximada De Radiación Por Cada Examen (mSv)	Número De Exámenes Realizados	COMPARABLE CON LA RADIACIÓN NATURAL DE FONDO DURANTE:	RIESGO ADICIONAL DE POR VIDA DE CANCER FATAL DEBIDO AL EXAMEN:
TC Cráneo	2,3	1	1año	moderado

Fuente: Base de Datos
 Elaboración: Dra. Tatiana Angulo

Nota: La dosis real puede variar substancialmente, dependiendo del tamaño de una persona como así también de las diferencias de prácticas durante la toma de imágenes.

Tabla 7: CUMPLE CON LA NORMA DE PROTECCIÓN DE LA AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA?

El 90 % de los exámenes realizados cumplieron con la norma de protección de la Agencia Internacional de Energía Atómica, el 10 % no cumplió la norma por falta de apoyo durante el examen

	PORCENTAJE
Si cumple	90 %
No cumple	10 %
No control	5 %

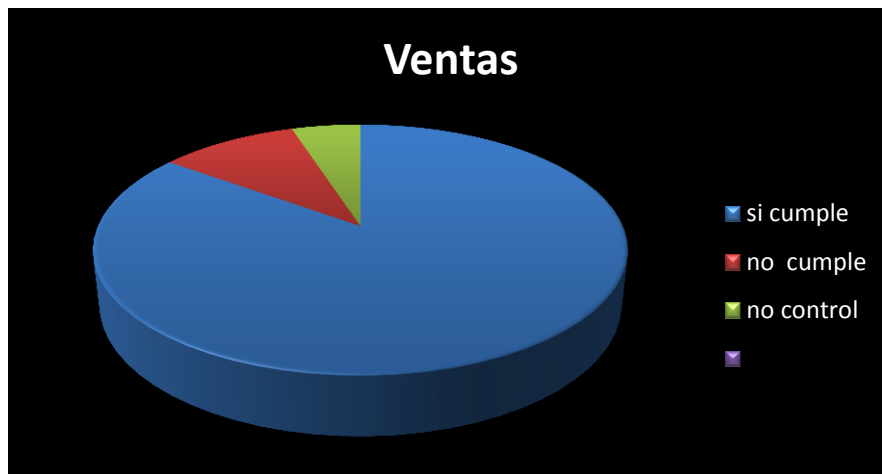
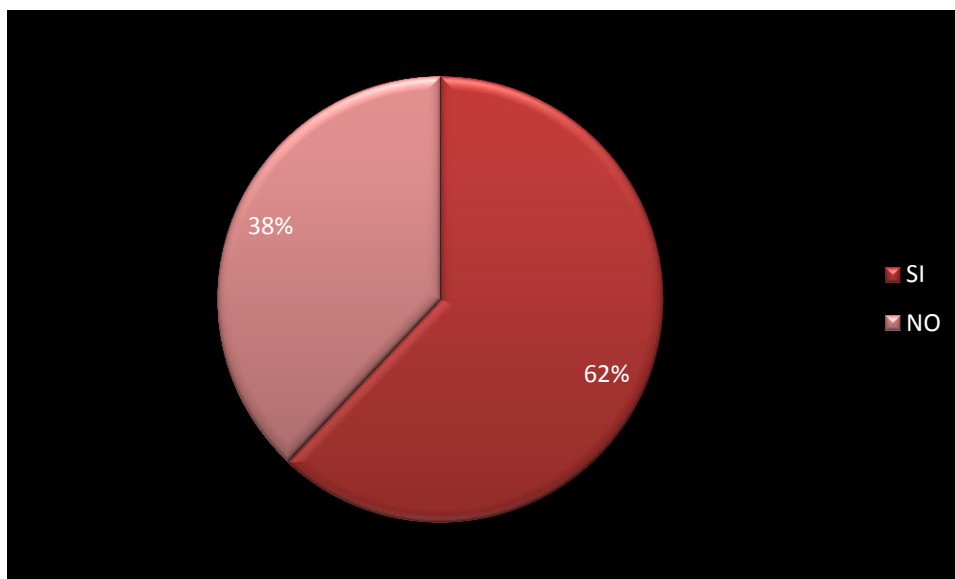


TABLA 8: DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS PACIENTES DE ACUERDO A SI EL EXAMEN DE IMAGEN FUE SOLICITADO POR CONTROL

	ESTUDIOS	PORCENTAJE
CONTROL	416	62
NUEVOS CASOS	255	38
	672	100 %



Fuente: Base de Datos
Elaboración: Dra. Tatiana Angulo

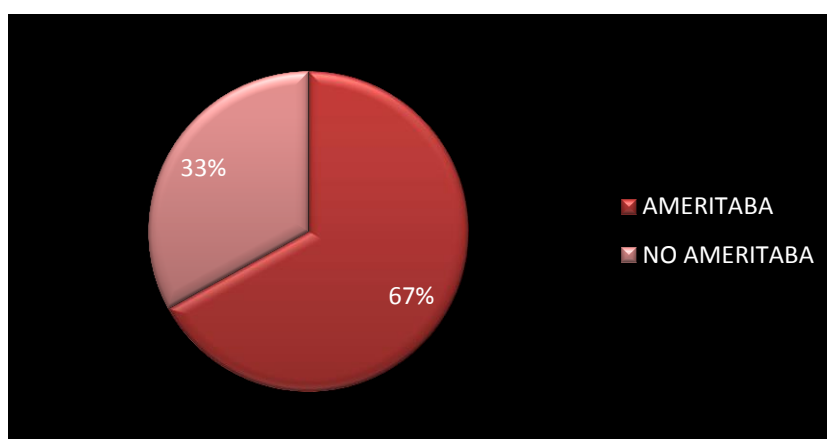
El examen de imagen fue solicitado por control en 416 recién nacidos, lo que representa el 62% de los casos y por morbilidad nueva en 255 pacientes, lo que representa el 38% de los casos.

GRÁFICO 9: DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS PACIENTES DE ACUERDO A SI SE JUSTIFICA LA REALIZACIÓN DEL EXAMEN

	EXAMENES	PORCENTAJE
SI AMERITA CONTROL	278	67
NO AMERITA CONTROL	137	33
	416	100 %

Fuente: Base de Datos
Elaboración: Dra. Tatiana Angulo

GRÁFICO



Fuente: Base de Datos
Elaboración: Dra. Tatiana Angulo

Al analizar si se justifica la realización del examen solicitado por control, en 137 casos, lo que representa el 33% de los casos, no ameritaba la realización de un examen de control ya que el diagnóstico radiológico no cambia significativamente y no refleja la evolución clínica real del paciente

8.- CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación es pionero en el campo de la radiología y la radiobiología debido a que la determinación de los riesgos probables luego de exposición a radiación ionizantes en forma frecuente a bajas dosis no ha sido estudiado a fondo justamente por el hecho probabilístico y la presentación a largo plazo, los datos actuales son en base a exposiciones mayores con dosis umbral como es el caso de la bomba de Hiroshima, sin embargo en la actualidad los estudio van enfocados a sentar una base de datos dentro del cual se pueda hacer una referencia en la presentación de probables alteraciones genéticas o incluso la aparición de cáncer, y este es el principal fin de este trabajo investigativo.

Para el desarrollo de esta investigación se estudiaron a 235 pacientes hospitalizados con un total de durante el periodo de septiembre del 2013 hasta marzo del 2014, quienes fueron sometidos a estudios con radiación ionizante

Los pacientes con un tiempo de hospitalización de 15 a 20 días presentaron un promedio de 18 exámenes durante el periodo de hospitalización, constatándose alrededor de un estudio diario por paciente, lo que constituye un riesgo bajo de presentación probable de alteraciones genéticas a largo plazo debido a la exposición frecuente en dosis mínimas a radiación ionizante, además si a esto le sumamos que a cuatro de estos pacientes se les realizo un estudio de tomografía de cráneo simple el riesgo se incrementa a moderado con una equivalencia de 3 años de exposición a radiación natural

En esta investigación, el diagnóstico más frecuentemente encontrado fue el de Dificultad Respiratoria (72,88%), y por ende la intención de explorar el tórax del recién nacido por rx fue el principal examen solicitado, adicionalmente se encontró que el motivo de envió en casi las dos terceras partes de pedidos fue control los mismos que no mostraron variaciones radiológicamente significativas, nos da la premisa y confirma que para enfermedades de etiología inflamatorias la evolución clínica y el criterio

médico prima, ante las evidencias radiológicas, sin embargo no se descarta la utilización frecuente de los mismos en patologías de cambio agudo como es el caso de colocación de tubo torácico o enfermedad hialina, entre otras.

La TC por si mismo constituye un examen con gran aporte de radiación ionizante por examen ya que corresponde a un equivalente de 1 año de radiación natural por toma seccional y un riesgo moderado de alteraciones genéticas a largo plazo, el mismo que se elevaría con estudios contrastados por el número de tomas por examen, razón por la cual se insiste de manera reiterada en la utilización de esta modalidad de examen como último recurso exploratorio.

En el 90 % de las tomas de exámenes por el equipo de radiología se determinó que cumplen con la norma de protección radiológica

Los métodos de imagen son los exámenes complementarios habituales en la práctica médica, y se justifican cuando las ventajas que representan al realizarlos, superan a los perjuicios. Al plantear la valoración de la exposición a radiación, en este estudio se encontró que existían pacientes con exámenes repetidos, los cuales, no presentaban una justificación clínica, y recordemos que hasta las pequeñas dosis de radiación no están totalmente exentas de producir daño. Una pequeña parte de las mutaciones genéticas y de las neoplasias malignas pueden atribuirse a la radiación natural de fondo. Las exploraciones radiológicas son la causa principal de la exposición a la radiación artificial, y constituyen aproximadamente un 50% de la dosis que las personas reciben por radiación de fondo (radiación natural).

9.- RECOMENDACIONES

Una Historia Clínica incompleta, una exploración física deficiente, la masificación de pacientes que cargan de trabajo al médico, teniendo que resolver más de un problema al mismo tiempo, sin el espacio suficiente para el razonamiento libre y tranquilo que amerita el ofrecer un diagnóstico, la generación de una medicina defensiva, que teme a las consecuencias médico legales al no contar con exámenes complementarios que prueben el estado en el que se encontraba el paciente en un momento determinado, son algunas de las causas que han provocado el aumento en la realización de exámenes de imagen, no solo en el Hospital Isidro Ayora de Loja, sino a nivel del país.

Se recomiendan las estrategias siguientes de la dosis-reducción de la radiación. Estas estrategias podrían formar la base para el diálogo creciente entre el médico solicitante con los Radiólogos y los técnicos en los centros de la proyección de imagen. La recomendación trata del cuidado a largo plazo para los niños que experimentaron estudios por radiación ionizante

1. Evite las exámenes innecesarios. Se ha estimado que aproximadamente una mitad de todos los estudios pediátricos pueden ser prevenidos.
2. Considere utilizar modalidades alternativas de la proyección de imagen, cuando la situación clínica lo permite como sería el caso del uso de ultrasonido para valoración de derrame pleural o para valoración del parénquima cerebral.
3. Realice los estudios enfocados y limitando el campo visual al área específica del cuerpo.

Bajo estos antecedentes, y sin dejar de lado los indudables aportes al diagnóstico de la radiología, debe primar el sentido común que limite su indicación, evitando sobre todo aquellos exámenes que no van a aportar datos decisivos para el manejo clínico del paciente.

Un estudio radiológico útil es aquel cuyo resultado, positivo o negativo, contribuye a modificar la conducta diagnóstica o terapéutica. Dicho de otra forma, hay que reducir la exposición innecesaria. Muchas indicaciones no cumplen estos cometidos y exponen innecesariamente a los niños.

Otras recomendaciones podrían basarse en la reducción de la dosis de radiación, siendo este punto responsabilidad exclusiva del Imagenólogo y equipo técnico.

El principio que gobierna la protección radiológica en caso de exposición se conoce con el nombre de; ALARA (as low as reasonably attainable) TAN POCA RADIACION COMO SEA POSIBLE.

Es por esto que las recomendaciones internacionales establecen que todos los responsables del uso de imágenes médicas deberán reducir la exposición innecesaria de los pacientes a la radiación. Sin embargo, no se puede alimentar el terror en el sistema médico, con respecto a la realización de exámenes de imagen. Los conceptos actuales de la protección contra la radiación se deben basar en hechos y en los conceptos constantes con resultados científicos actuales. Lo que puede realizarse es un programa de concientización del uso adecuado de las pruebas, y más aún en el caso de RN y niños debido a que constituyen un grupo poblacional importante por la expectativa de vida y por ende el tiempo de poder desarrollar alteraciones genéticas por acción del uso de la radiación ionizante.

Estimule el desarrollo de un sistema para cuantificar y documentar la exposición de radiación médica acumulada de ionización (especialmente de estudios de TC) en el expediente médico de un niño, siendo este la principal contribución de este trabajo para establecer una referencia y poder hacer un seguimiento en los probables procesos neoplásicos.

10.-BIBLIOGRAFIA

- Comisión Europea. Dirección General de Medio Ambiente. (2001). Guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de diagnóstico por imagen. Protección radiológica 118. Recuperado de <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/fismed/pr118.pdf>.
- Tubiana, M., Feinendegen, L.E., Yang, C., Kaminski, J.M. (2009). The Linear No Threshold Relationship is Inconsistent with Radiation Biologic and Experimental Data. *Radiology*, 251(1), 13-22. doi: [10.1148/radiol.2511080671](https://doi.org/10.1148/radiol.2511080671) Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2663584/>
- Benz, M.G., Benz, M.W. (2004). Reduction of Cancer Risk Associated With Pediatric Computed Tomography by the Development of New Technologies. *Pediatrics*, 114(1), 205-209.
- Little, M. (2009). Cancer and non-cancer effects in Japanese atomic bomb survivors. *J Radiol Prot.*;29(2A):A43-59. doi: 10.1088/0952-4746/29/2A/S04.
- [Westra, S.](#) (2014). The communication of the radiation risk from CT in relation to its clinical benefit in the era of personalized medicine: part 2: benefits versus risk of CT. *Pediatric Radiol.* 44 (Suppl 3), 525-33. doi: 10.1007/s00247-014-3087-9
- Mondaca A, Roberto. (2006). Por Que Reducir Las Dosis De Radiacion En Pediatria. *Revista chilena de radiología*, 12(1), 28-32. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071793082006000100008&lng=es&tlng=es. 10.4067/S0717-93082006000100008.

- Arieta, A. (2009). Dosimetría y riesgo radiológico para neonatos en unidades de cuidados intensivos (UCI). Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Magíster en Ciencias – Física. Medellín, Colombia Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/7621/1/9022702.2012.pdf>
- Comisión Europea Dirección General de Medio Ambiente (2000). Guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de diagnóstico por imagen. Recuperado de <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/fismed/pr118.pdf>
- Gregori, B. (2011). Protección radiológica en medicina. Recuperado de <http://www.icrp.org/docs/P%20105%20Spanish.pdf>
- Pérez, J. Elorza, D. (2003). Dificultad respiratoria en el recién nacido. *An Pediatr Contin* 2003;1(2),57-66.
- González, C., Omaña, A. (2006). Síndrome de distrés respiratorio neonatal o enfermedad de membrana hialina. *Bol Pediatr*; 46(SUPL. 1), 160-165.
- Valls, A., López, J., Román, L., López, M. (2003). Síndrome de dificultad respiratoria idiopático o enfermedad de membranas hialinas. Vento M, Moro M (eds). *De Guardia en Neonatología*. 1ª edición. Madrid: Sociedad Española de Neonatología; 277-283.
- Guías de Práctica Clínica. Gobierno Federal de México. (2003). Guías de Referencia Rápida. Diagnóstico y Tratamiento del Síndrome de Dificultad Respiratoria en el Recién Nacido. Recuperado de <http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/gpc/CatalogoMaestro/13>

7_GPC_SINDROME_DIF_RESP/Imss_137_08_grr_sindrome_dif_res
p.pdf

- Irastorza, I.(2003). Neumonías. Etiología y diagnóstico. An Pediar Contin 2003; 1(1):1-8.
- Moreno, A. (2003). Neumonías. Orientación terapéutica. An Pediar Contin; 1(1):9-14.
- Bermudez Jiménez Luis. Radiaciones Ionizantes. Programa de control de Radiaciones. Ministerio de Salud., Costa Rica [Internet]. Disponible en: <http://www.reeme.arizona.edu/materials/Radiacion%20Ionizante.pdf> [consulta: 2/06/2010]
- Wikipedia la enciclopedia libre [Internet]. Radiación ionizante. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_ionizante[consulta: 1/06/2010]
- Wikipedia la enciclopedia libre [Internet]. Rayos X. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Rayos_X[consulta: 1/06/2010]
- Gil Cebrián J., Martínez García P., Díaz Torres I., López Alvaro J. Lesiones por Radiaciones Ionizantes [Internet]. Disponible en: <http://tratado.uninet.edu/c090101.html> [consulta: 2/06/2010]
- Arias César F.. La regulación de la protección radiológica y la función de las autoridades de salud. Rev Panam Salud Publica [serial on the Internet]. 2006 Sep [cited 2010 Mar 12]; 20(2-3): 188-197. Available from: http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102049892006000800015&lng=en. doi: 10.1590/S1020-49892 006000800015.
- Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales. Radioactividad y ondas electromagnéticas, Rayos X. Disponible en:

<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0504-01/rayosx.html>
[consulta: 1/06/2010]

- Rickards Campbell J. Las radiaciones: reto y realidades. Biblioteca Digital. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/08/html/radiacio.htm> [consulta: 6/06/2010]
- Alcaz Milán, José Ramón. Radiobiología. Editorial Ciencias Médicas, 2005
- Chevalier M., Torres R. Mamografía digital. Artículo de Revisión. Rev Fis Med 2010;11(1):11-26 . Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/48.pdf> [consulta: 2/06/2010]
- Historia de los rayos X. Disponible en: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Octubre2004/pdf/spa/doc1814/doc1814.htm> [consulta: 9/06/2010]
- Invest. clín. [online]. Alteraciones cromosómicas en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes. set. 2004, vol.45, no.3 [citado 04 Junio 2010], p.197-211. Disponible en la World Wide Web: <http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0535-51332004000300002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0535-5133.
- Oyarzún C Carlos, Ramírez Alfredo. Acumulación de radiaciones ionizantes en el radiodiagnóstico médico. Rev. méd. Chile [revista en la Internet]. 2001 Abr [citado 2010 Jun 02] ; 129(4): 461-463. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872001000400017&lng=es. doi: 10.4067/S0034-98872001000400017.
- Beldarraín Gómez Luis E., Apuntes históricos sobre el origen y desarrollo de la protección radiológica en Cuba. Rev Cubana Oncol 2000; 16(3):192-7. [Seriada en línea] 2000. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/onc/vol16_3_00/onc11300.htm [consulta: 7/01/2010]

- Ugarte Suárez José Carlos. Manual de Imagenología. 2ª ed. Ecimed, 2008.
- Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Radiaciones ionizantes. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Enciclopedia OIT/tomo2/48.pdf> [consulta: 2/06/2010]
- García C, Meneses L, Guiraldes E y col. Uso y abuso del estudio radiológico de esófago, estómago y duodeno en pacientes pediátricos: Necesidad de una adecuada normativa y de una estandarización del examen. Rev Chil Radiol 2005; 11: 23-29.
- Cáncer ocupacional. Disponible en: <http://medicablogs.diariomedico.com/jmsanz/2010/04/08/cancer-ocupacional-por-radiaciones-ionizantes/> [consulta: 2/06/2010]
- Carrasco Rodríguez José L. Radiaciones ionizantes y no ionizantes. Aplicaciones y riesgos. Disponible en: http://www.google.com.cu/url?sa=t&source=web&ctres&cd2&ved=0CCcQFjABOAO&url=http%3A%2F%2Fwww.sovemorg.ve%2Fbiblioteca%2FRadiaciones%2520ionizantes%2520y%2520no%2520nizantes.pdf=j&q=radiaciones+ionizantes&ei=tF4GTKu9B8P6lwf0p9CLCw&usg=AFQjCNHnt7kMGIBt_PES8w7DmOPxP3Vc3A [Consulta: 2/06/2010]

11.- ANEXOS

FICHA DE CONTROL DE RADIACION IONIZANTE
HOSPITAL "ISIDRO AYORA" LOJA

Nombre del paciente: **Edad :**

Área de hospitalización;.....

Diagnóstico de ingreso:

FECHA	EXAMEN DE IMAGEN	CANTIDAD ESTUDIOS POR DIA	Días de hospitalización	Diagnostico post-examen

ELABORADO POR : DRA. TATIANA ANGULO (TESIS PREVIO A LA OBTENCION DE ESPECIALISTA EN RADIOLOGIA E IMAGEN) 2015

INSTRUMENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

TEMA: Análisis De La Frecuencia De La Exposición A Radiación Ionizante En Pacientes Hospitalizados Desde Julio del 2013 hasta marzo del 2014, En El Servicio De Neonatología Del Hospital Isidro Ayora, Loja.

DATOS GENERALES

Fecha del Examen:

N. Historia Clínica:

Edad (días):

Sexo: Femenino masculino

Peso (g):

Talla (cm):

DIAGNÓSTICO Y PRUEBAS REALIZADAS

Dg. Previo al examen

Examen solicitado

Dg. Posterior al examen

Examen solicitado por control: Si No

EXPOSICIÓN

Dosis de irradiación expuesta (mSv):

Tipo de irradiación:

ANEXOS FOTOGRAFICOS



EQUIPO DE RX DEL DEPARTAMENTO DE IMAGEN DEL HOSPITAL REGIONAL ISIDRO AYORA DE LOJA, MARCA SIEMENS



TABLERO DE CONTROL



TOMOGRFO MULTICORTE MARCA TOSHIBA, MODELO E7239



REVELADORA



REVELADORA DIGITAL PARA TC

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CARATULA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORIA.....	III
CARTA DE AUTORIZACION.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO... ..	VI
1) TITULO.....	1
2) RESUMEN.....	2
SUMMARY.....	3
3) INTRODUCCION	4
4) REVISION LITERARIA.....	8
4,1 El descubrimiento de la radiactividad.....	8
4,2 Naturaleza de la radiación.....	12
4,3 Fuentes de radiación.....	15
4,4 El átomo y los efectos de la radiación.....	21
4,5 Elementos del átomo.....	22
4.6 Medida de la radiación.....	26
4,7 La célula.....	33
4,8 Efectos de la radiación sobre la célula.....	35
4,9 Radiobiología.....	37

4.10 efectos de la radiación en la materia viva.....	39
4.11 Mecanismos de acción sobre la célula.....	40
4,12 Radio sensibilidad de la célula.....	47
4,13 Descripción de las alteraciones sistémicas.....	49
4,14 Posibles lesiones fetales intrauterina por radiaciones ionizantes.	51
4,15 Protección radiológica.....	54

5) MATERIALES Y METODOS

5,1.Diseño.....	57
5,2 Lugar de la Investigación.....	57
5,3 Universo de la Investigación.....	57
5,4 Muestra.....	58
5,5 Criterios de Inclusión.....	59
5,6 Criterios de Exclusión.....	59
5,7 Procedimientos	60

6.- DISCUSION	61
7.- RESULTADOS	64
8.- CONCLUSIONES	75
9.- RECOMENDACIONES	77
10.- BIBLIOGRAFIA	80
12.- ANEXOS	86
13.- INDICE.	

LISTA DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
Tabla 1	Distribución de los pacientes de acuerdo al examen solicitado	65
Tabla 2	Distribución de los pacientes de acuerdo al número de radiografías y TC realizadas por paciente	66
Tabla 3	Dosis de radiación por cada examen	67
Tabla 4	Dosis de radiación comparada con la radiación natural y el riesgo adicional de cáncer fatal debido al examen	68
Tabla 5	Dosis efectiva por TC	69
Tabla 6	Dosis de radiación por TC comparada con la radiación natural y el riesgo adicional de cáncer fatal debido al examen	70
Tabla 7	Cumple con la norma de protección de la agencia internacional de energía atómica	71
Tabla 8	Distribución de los pacientes de acuerdo a si el examen de imagen fue solicitado por control	72
Tabla 9	Distribución porcentual de los pacientes de acuerdo a si se justifica el examen	73

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
Figura 1	Marie Y Piere Curie En Su Laboratorio	9
Figura 2	Unidades Móviles De Rx Utilizadas Durante La Primera Guerra Mundial	10
Figura 3	Fábrica De Relojes Luminiscentes	11
Figura 4	Trabajadora Afectada Por La Radiación	11
Figura 5	Esquema Que Muestran Los Distintos Tipos De Radiaciones Electromagnéticas Ordenadas Por Energía. Espectro Electromagnético	14
Figura 6	Fuentes Naturales De Radiación	16
Figura 7	Fuentes Artificiales De Irradiación	17
Figura 8	Efecto De La Dosis De Radiación Recibida	21
Figura 9	El átomo	22
Figura 10	Cuando El Átomo Se Desestabiliza Emite Radiación	24
Figura 11	Paso De Las Partículas Por Los Materiales	26
Figura 12	Actividad Radiactiva, Dosis Absorbida, Equivalente Y Efectiva	31
Figura 13	Valores De Límites De Dosis Para Público Y Trabajadores	32
Figura 14	Efectos Biológicos de los rayos X	39
Figura 15	Posibles alteraciones en la cadena de ADN	43
Figura 16	Tipos de células sobre las que actúa la radiación	46
Figura 17	Impacto de las radiaciones nucleares en la salud	50
Figura 18	Valores de límites de dosis para público y trabajadores	56

|

|