

Universidad Abierta Interamericana
Sede Regional Rosario
Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud
Carrera: Licenciatura en Producción de Bioimágenes

“ALIMENTACION COMO MECANISMO DE RADIOPROTECCION”

Autor: Diego Luis Gómez
Tutor: Ariel Sdrigotti

Fecha: Octubre de 2013

INDICE

Resumen.....	Pag1
Introducción.....	Pag 2
2 Problema.....	Pag 3
3 Objetivos.....	Pag 4
4 Estado de Arte.....	Pag 5
5 Marco teórico.....	Pag 9
5.1 Célula.....	Pag 9
5.1.1 Estructura Celular.....	Pag10
5.2 Radiaciones: Historia y Bases físicas.....	Pag 15
5.2.1 Introducción.....	Pag 15
5.2.2 Historia.....	Pag15
5.2.3Bases físicas.....	Pag 24
5.3 Lesion Celular.....	Pag 29
5.3.1 Radiación Ionizante.....	Pag29
5.3.2 Tipos de Daño a la célula.....	Pag 31
5.3.3 Clasificación de lesión por radiación.....	Pag 33
5.4 Unidades y dosimetría.....	Pag 34
5.4.1 Introducción.....	Pag 34
5.4.2 Unidades y múltiples y submúltiplos.....	Pag 35
5.4.3 Control de dosis.....	Pag 36
5.5 Dosis Umbrales.....	Pag 42
5.6 Radioprotección.....	Pag46
5.6.1 Introducción.....	Pag 46
5.6.2 Criterios básicos de la protección radiológica.....	Pag 48

5.7 Teoría de los radicales libres.....	Pag 53
5.7.1 Introducción.....	Pag 53
5.7.2 Producción de las especies oxígeno activas en los tejidos.....	Pag 54
5.8 Radiosensibilidad.....	Pag55
5.9 Antioxidantes.....	Pag57
5.9.1 Introducción.....	Pag57
5.9.2 Efectos antitumorales de los antioxidantes.....	Pag57
5.10 Nutrición y Vida sana.....	Pag 60
6. Material y método.....	Pag 63
7 Tipo de estudio.....	Pag63
8 Variable.....	Pag64
9 Ámbito de estudio.....	Pag64
10 Población y muestra.....	Pag64
11 Técnica de recolección de datos.....	Pag65
12 Consideraciones éticas.....	Pag65
13 Análisis de datos.....	Pag66
14 Conclusiones y propuestas.....	Pag74
15 Bibliografía.....	Pag75
16 Anexos.....	Pag77

RESUMEN

El presente estudio investiga el rol que cumple la dirección de salud pública en la difusión del uso de antioxidantes naturales como mecanismo de radioprotección celular en la ciudad de Paraná Entre Ríos, como medida preventiva frente a la acción de la radiación ionizante (radicales libres) en los productores de Bioimágenes.

Para esto se diseñó un estudio no-experimental, descriptivo y transversal con un plan que permitió cubrir los tiempos estimados de investigación.

Se confeccionó una encuesta a los Productores de Bioimágenes de la ciudad de Paraná y se solicitó una entrevista con la Jefa del Departamento de Diagnóstico por Imágenes de Salud Pública de Entre Ríos, Lic. Migoni.

Entre los principales resultados obtenidos se destaca el interés de los trabajadores en que el tema sea más difundido.

PALABRAS CLAVES

Radiación ionizante-Radicales libres-Antioxidantes

INTRODUCCION

Desde que Roentgen descubre los rayos X hasta nuestros días, han sucedido muchos sucesos que han llevado a la radiología médica a convertirse en lo que hoy conocemos como una importante rama de la medicina que se encarga de la aplicación de fuentes de radiación ionizante con fines diagnósticos y terapéuticos.

Entre los profesionales que hacen uso de esta fuente de energía radiante siempre está latente el concepto de radioprotección que es la memoria viva de lo que la energía atómica de la radiación ionizante es capaz de hacer, y que han llevado a concientizar cada vez más a los profesionales a lo largo del mundo en pos de la utilización de dosis de radiación con fines médicos ajustadas a lo estrictamente necesario.

Aquí se propone un trabajo de investigación que se originó en el desconocimiento de la posibilidad de que una mejora en la alimentación pueda resultar beneficioso entre los productores de Bioimágenes.

PROBLEMA

Los efectos de las radiaciones ionizantes pueden ser considerados uno de los grandes problemas de trabajar con fuentes abiertas o cerradas de radiación.

En la actualidad los mecanismos de atenuación y blindaje en el uso de las radiaciones ionizantes con fines médicos es lo que más se conoce tanto vulgarmente como científicamente en los trabajadores, pero se deja de lado la posibilidad de una mejora en la alimentación diaria como una forma de contrarrestar la acción de los radicales libres producidos por de la radiación ionizante en los tejidos biológicos. Esto puede deberse a que los contenidos no están ampliamente encuadrados dentro de la etapa de formación de los profesionales o que en muchas ocasiones no se le da la suficiente importancia por parte de los organismos públicos encargados de la promoción y prevención de enfermedades.

Por tal motivo se formula el siguiente problema: ¿Es difundido por parte de salud pública el uso de antioxidantes naturales como mecanismo de radioproteccion celular en la ciudad Paraná Entre Ríos, como medida preventiva frente la acción de la radiación ionizante (radicales libres) en los productores de Bioimágenes?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Indagar si es difundido por parte de salud pública el uso de antioxidantes naturales como mecanismo de radioprotección celular en la ciudad de Paraná Entre Ríos, como medida preventiva frente a la acción de la radiación ionizante (radicales libres) en los productores de Bioimágenes.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

-Averiguar el nivel de interés en que se difunda el uso de antioxidantes y su efecto radioprotector celular entre los productores de Bioimágenes.

-Averiguar el nivel de interés en la difusión de el uso de antioxidantes y su efecto radioprotector en salud pública.

HIPOTESIS

El uso de antioxidantes naturales como mecanismo de radioprotección celular no es difundido por parte de salud pública en la ciudad de Paraná Entre Ríos, como medida preventiva frente a la acción de la radiación ionizante (radicales libres) en los productores de Bioimágenes.

ESTADO DE ARTE

Diferentes estudios han demostrado que las radiaciones ionizantes producen alteraciones a nivel cromosómico, lo que podría originar mutaciones radioinducidas. Los antecedentes de investigaciones a lo largo del mundo son varios y se exponen a continuación en forma resumida.

En el año 1993 en España se llevó adelante una investigación a cargo de Domínguez García, en el departamento de biología celular en la universidad de Sevilla.

Donde se estudiaron las alteraciones cromosómicas causadas por la radiación ionizante en células eucariotas y para este estudio utilizaron, entre otros parámetros, células vegetales, linfocitos humanos y células de hámster chino los cuales fueron irradiados con diferentes energías y equipos tratamientos con bleomicina. Entre los resultados arrojados se destaca la respuesta adaptativa a rayos x con bajas dosis de H₂O₂ en linfocitos humanos.

También en España los doctores Julián Castillo Sánchez y Obdulio Benavente-García, llevaron adelante una investigación que trató de separar, caracterizar y cuantificar las propiedades de los flavonoides (antioxidantes) más útiles, su papel antioxidante, su función protectora frente a las múltiples aberraciones cromosómicas y a la elevada toxicidad genética producidas por fuertes radiaciones ionizantes de rayos X (dosis simple de 48 cGy) o de rayos gamma (¹³⁷Cs, dosis simple de 200 cGy).

El estudio se llevó a cabo sobre eritrocitos policromáticos de médula ósea de ratón y sobre linfocitos de sangre humana.

En estos estudios se han comparado como agentes radioprotectores diversas vitaminas (C y E), compuestos con grupos SH o derivados (propiltiouracilo, entre otros) y, sobre todo, diversos flavonoides: flavanonas, flavonas, flavonoles, antocianinas, etc.

Se encontró que la familia de flavonoides denominada flavan-3-oles, presente en diversas plantas, pero sobre todo en la vid, mostró una mejor relación directa entre sus propiedades antioxidantes y su capacidad de captación de radicales libres y, lo que es de mayor interés, un mayor efecto radioprotector: disminución del 70 % de la genotoxicidad y de las aberraciones cromosómicas inducidas.

Esta cifra fue inferior para el resto de flavonoides (23-54 %), vitaminas (35-40 %) y compuestos con funciones tiol y aminotiol (35-45 %).

En otro estudio realizado en Colombia en el año 2004, los doctores Hernando Baquero Pulido, Gonzalo Guevara Pardo, Marcela Giraldo Suárez, Luz Marina Osorio Soto. Proponían que en la prevención del cáncer todas las acciones son importantes para disminuir los casos y tenían como objetivo describir si existen aberraciones cromosómicas en los trabajadores de la salud ocupacionalmente expuestos a bajas dosis de radiación ionizante y explorar la posibilidad de utilizar estas pruebas como seguimiento biológico dentro de un sistema de vigilancia.

Para llevar adelante el estudio usaron cultivos celulares de linfocitos de sangre periférica, teñidos con quinacrina y lectura en metafases de cada caso. Tomaron promedios de dosimetrías de uno a cuatro años y compararon los resultados con las dosis recibidas y el tiempo de exposición, así como también la relación con cancerígenos comunes, antecedentes familiares y personales.

Entre los resultados que arrojó la investigación, se encontraron un promedio de 1,93 aberraciones por individuo. En relación con el tiempo de exposición y la presencia de aberraciones, encontraron: 39% entre 1 y 10 años de exposición, 27% entre los 11 y 20 años de exposición y 46% entre los 21 y 30 años de exposición).

No encontraron relación entre dosis y presencia de aberraciones, porque éstas se presentaron indistintamente a la dosis recibida.

Los hallazgos entonces sugieren que la exposición a bajas dosis de radiación ionizante, internacionalmente permitidas, puede ocasionar daños cromosómicos y está en relación directa con el tiempo de exposición y la sensibilidad individual, pero no con la cantidad de radiación recibida.

Propusieron entonces que los trabajadores expuestos a radiaciones deben tener un seguimiento biológico adicional a la dosimetría.

Otro estudio muy importante realizado en Argentina en el año 1994 en la Universidad Nacional de La Plata por Alejandro Daniel Bolzán analizó la correlación entre enzimas antioxidantes, aberraciones cromosómicas y transformación celular.

Para desarrollar el estudio utilizó cuatro modelos experimentales diferentes:

1-Cultivo in vitro de células de mamíferos:

Determinó los niveles de enzimas antioxidantes en diferentes pasajes o subcultivos de 2 líneas celulares pertenecientes a 2 especies diferentes de mamíferos, conejo (*Oryctolagus cuniculus*) y ratón de campo (*Calomys musculinus*). La información

obtenida la correlacionó con la frecuencia de anomalías cromosómicas numéricas espontáneas (poliploidía, aneuploidía) que observo en cada uno de los 2 subcultivos estudiados.

2-Niveles sanguíneos de enzimas antioxidantes y cultivo de linfocitos humanos tratados in vitro con bleomicina: Bolzán los niveles de enzimas antioxidantes en la sangre y distintas fracciones hemáticas de un grupo de seres humanos normales. La información obtenida la correlacionó con la sensibilidad cromosómica de los linfocitos a la bleomicina.

3-Niveles de enzimas antioxidantes y radiosensibilidad cromosómica en seres humanos con cáncer: estudió los niveles de enzimas antioxidantes en la sangre y el tejido mamario normal y tumoral de mujeres con cáncer de mama. La información que obtuvo la correlacionó con la sensibilidad de los linfocitos a la radioterapia (radiación ionizante).

4-Niveles de enzimas antioxidantes y radiosensibilidad cromosómica en mamíferos de laboratorio: el investigador estudio los niveles de enzimas antioxidantes en sangre y diversos órganos de ratas de laboratorio (cepa Sprague-Dawley) normales e irradiadas. La información que logro recaudar la correlacionó con la sensibilidad cromosómica de los linfocitos y células de la médula ósea a las radiaciones ionizantes.

Los resultados a los que llego el investigador Bolzán esta investigación fueron:

-Correlación entre los niveles de enzimas antioxidantes y la incidencia de cambios cromosómicos numéricos espontáneos en células cultivadas in vitro.

-Correlación inversa entre los niveles fisiológicos de enzimas antioxidantes (principalmente la superóxidodismutasa) en sangre y la sensibilidad cromosómica de los linfocitos humanos a la bleomicina y a las radiaciones ionizantes. Esta correlación no la pudo comprobar en ratas de laboratorio, donde, si bien observó una correlación negativa entre los niveles enzimáticos y la radiosensibilidad cromosómica, la misma no fue significativa.

-En las mujeres con cáncer, el tejido mamario tumoral mostró una actividad mayor de superóxidodismutasa que su contraparte normal y los niveles sanguíneos de enzimas antioxidantes resultaron mayores que en los individuos masculinos y femeninos normales estudiados como controles.

-El estudio realizado en seres humanos normales manifestó que la actividad de las enzimas antioxidantes en sangre total se correlacionó positivamente con los niveles de dichas enzimas en los eritrocitos.

-No encontró correlación entre los niveles sanguíneos de enzimas antioxidantes y los existentes en los distintos órganos de rata estudiados.

Las conclusiones a las que llegó el estudio del autor Bolzán fueron:

- 1) La actividad fisiológica de las enzimas antioxidantes (fundamentalmente la superóxidodismutasa) en sangre se correlaciona inversamente con la sensibilidad cromosómica de los linfocitos humanos a las radiaciones ionizantes y al compuesto radiomimético bleomicina.
- 2) La aparición espontánea de cambios cromosómicos numéricos en los cultivos celulares está correlacionada con variaciones en los niveles de enzimas antioxidantes.
- 3) El proceso de transformación celular maligna in vivo está acompañado por alteraciones en los niveles de superóxidodismutasa. En el caso del tejido mamario humano, esto se traduce en un aumento de la actividad de la superóxidodismutasa en el tejido tumoral con respecto a su contraparte normal.

5-MARCO TEORICO

5.1- CELULA

Las células constituyen la unidad morfológico-funcional de los seres vivos, es decir que la célula es la unidad de la vida. El establecimiento de la teoría celular como hoy la conocemos y que fue contribución de muchos investigadores a lo largo de la historia, postula que todos los organismos vivos están compuestos por células y productos celulares.

Estas investigaciones se iniciaron en el siglo XVII con el desarrollo de las lentes ópticas y su combinación para construir el microscopio.

El nombre de célula deriva del latín cella que quiere decir “espacio vacío” y fue empleado por primera vez por Robert Hooke (científico inglés, 1635-1703) en 1665 para describir sus investigaciones sobre la textura del corcho.

Posteriormente, otros investigadores como Anton Van Leeuwenhoek (científico holandés, 1632-1723), Marcello Malpighi (biólogo, 1628-1694), Nehemiah Grew (botánico, 1641-1712), Jakob Schleiden (botánico alemán, 1804-1881), Theodor Schwann (naturalista y fisiólogo, 1810-1882), Rudolf Virchow (médico, 1821-1902), Camillo Golgi (médico, 1843-1926), Santiago Ramón y Cajal (médico-1852-1934), entre otros (5), contribuyeron a elaborar la versión moderna de lo que se conoce como teoría celular, que afirma que:

- Las células constituyen la unidad morfológica y fisiológica de todos los seres vivos.
- Las propiedades de un organismo dado dependen de las células individuales.
- Las células se originan únicamente a partir de otras células y su continuidad se mantiene a través del material genético.
- La unidad de vida más pequeña es la célula.

De acuerdo a su número de células los organismos pueden clasificarse en unicelulares o pluricelulares. Sin embargo, una de las clasificaciones más recientes propone la división en reinos: moneras, protistas, hongos, vegetal y animal (Robert Whittaker, botánico estadounidense, 1920-1980)

Finalmente la teoría propuesta por Lynn Margulis (bióloga, 1938-2011) acerca de que las células pueden ser clasificadas en dos tipos: procariotas (células primitivas que incluyen las monéras) y eucariotas (células evolucionadas que incluye protistas, hongos, vegetales y animales), brindaron nuevos conceptos y avances en la comprensión de la biología en nuestros días.

5.1.1 ESTRUCTURA CELULAR

Las células, como se mencionó, son la unidad fundamental para la vida y estas a su vez tienen una estructura que las caracteriza y están compuestas de organelas que cumplen funciones vitales, es decir, que se encargan de todos los procesos propios del metabolismo celular y permiten que cada célula cumpla su función dentro del tejido al que forma parte y este a su vez a un órgano específico del cuerpo humano.

Pared celular

Puesto que toda célula es considerada como una unidad en si misma en el medio que la rodea, es lógico pensar que esté delimitada por una membrana o paredes provistas de una estructura típica.

La pared celular ha sido estudiada con distintos métodos: con el microscopio óptico normal, con el de polarización con el electrónico, así como también a través de método histoquímicos. Desde el punto de vista morfológico, esta pared está formada de tres capas, de las cuales la intermedia es menos densa y a ella se adosa el plasmalema (la membrana elemental). Desde el punto de vista histoquímico la membrana está formada por dos capas proteicas entre las cuales se interpone una capa lipídica biomolecular. Esta estructura, que es constante para la células no se encuentra solo en la pared celular, sino que también reside en todas la membranas internas (citomembranas)

A través de esa pared, cuyo comportamiento es análogo al de una membrana semi permeable, tiene lugar todos los intercambios osmóticos, así como los intercambios activos de la célula, que son regulados de acuerdo con las necesidades vitales del tejido del que la propia célula forma parte. Se admite también la presencia de enzimas especiales que facilitan la entrada de sustancias nutritivas concretas, como la glucosa. Sin embargo, la situación es diferente en las células vegetales, en las que la pared esta básicamente constituida por celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina, que son producto

de secreción del propio citoplasma; esta pared está perforada por minúsculos poros a través de los cuales los propios protoplasmas de las células adyacentes se comunican entre sí. Estos puentes protoplasmáticos se denominan plasmodesmos.

La parte de célula incluida dentro de la pared celular se llama protoplasma que se divide en citoplasma y núcleo.

Citoplasma

En el citoplasma se observan varios orgánulos bien diferenciados: las mitocondrias, los lisosomas, los plastidios (plastos), el aparato reticular de Golgi y el centrosoma.

El citoplasma de la célula puede dividirse en dos partes diferenciadas: el citoplasma fundamental y todo un sistema de membranas llamadas citomembranas alfa, que limitan, siguiendo un recorrido muy variable, cisternas, vesículas y túbulos.

El citoplasma fundamental constituye el ambiente en el cual tienen lugar las síntesis bioquímicas. Se presenta homogéneo, está formado en gran parte por proteínas globulares y contiene enzimas solubles que intervienen en la degradación de los glúcidos (glucólisis) con liberación de energía y en la síntesis de las sustancias proteicas que tienen lugar mediante la intervención de los ribosomas.

Los ribosomas

Son partículas sub microscópicas que por dirigir la síntesis de las sustancias proteicas están presentes en las sustancias de todas las células. Están constituidos esencialmente por ARN y proteínas, siendo muy uniformes en tamaño, composición y estructura. Pueden encontrarse libres en el citoplasma o unidos en la membrana del retículo endoplasmático que debido a ello adopta la denominación de retículo rugoso en contraposición al retículo liso, carente de ribosomas, que está presente en algunas células. La identificación en el seno de las células de este complejo de membranas y de los ribosomas ha sido posible gracias al microscopio electrónico y por las técnicas de desintegración de la célula realizadas por medios mecánicos y ultrasónicos y por la sucesiva ultra centrifugación de las fracciones.

Mitocondrias

Son organelas especiales dispuesta irregularmente en el citoplasma. Tienen forma redondeada o alargada y su longitud es de 0.5-2 micras. Se evidencian por medios de técnicas histológicas especiales e incluso se los puede aislar mediante ultra centrifugación. Están presentes y repartidas de modo uniforme en todas las células, tanto vegetales como animales. En las células se hallan en continuo movimiento. Están constituidas de dos membranas (citomembranas beta), de las cuales la interna forma crestas que se extienden hacia el interior de la propia mitocondria. Su composición química es de lípidos y proteínas y contiene un variado grupo de enzimas, entre los que se destaca los de tipo oxidativo (reguladores de los procesos respiratorios).

Lisosomas

Son unos saquitos delimitados por una membrana que contiene enzimas digestivas. Cuando una célula absorbe una sustancia orgánica del medio externo, se forma una partícula, la vacuola o fagosoma que se acerca al lisosoma, el cual cede las enzimas necesarias para la destrucción del material, cuyo residuos pueden permanecer en la célula en forma de pigmentos o bien ser eliminados (excretados de la célula).

Aparato de Golgi

El aparato de Golgi es una organela presente en todas las células eucariotas excepto los glóbulos rojos y las células epidérmicas. Está formado por unos 80 dictiosomas (dependiendo del tipo de célula), los cuales están compuestos por 40 o 60 cisternas aplanadas rodeados de membrana que se encuentran apilados unos encima de otros, y cuya función es completar la fabricación de algunas proteínas. Funciona como una planta empaquetadora, modificando vesículas del retículo endoplasmático rugoso. El material nuevo de las membranas se forma en varias cisternas del Golgi. Dentro de las funciones que posee el aparato de Golgi se encuentran la glicosilación de proteínas, selección, destinación, glicosilación de lípidos, almacenamiento y distribución de lisosomas y la síntesis de polisacáridos de la matriz extracelular.

El centrosoma

Es una organela celular que no está rodeado por una membrana; consiste en dos centriolos apareados, embebidos en un conjunto de agregados proteicos que los rodean y que se denomina material pericentriolar. Su función primaria consiste en la nucleación y el abordo de los microtúbulos. Alrededor de los centrosomas se dispone radialmente un conjunto de microtúbulos formando un áster. Los centrosomas tienen un papel fundamental en el establecimiento de la red de microtúbulos en interfase. Durante la interfase del ciclo celular, los microtúbulos determinan la forma celular, la polaridad y la motilidad, mientras que durante la mitosis, forman el huso mitótico, necesario para la segregación de los cromosomas entre las dos células hijas.

El núcleo

Es una organela membranosa que se encuentra en las células eucariotas. Contiene la mayor parte del material genético celular, organizado en múltiples moléculas lineales de ADN de gran longitud formando complejos con una gran variedad de proteínas como las histonas para formar los cromosomas. El conjunto de genes de esos cromosomas se denomina genoma nuclear. La función del núcleo es mantener la integridad de esos genes y controlar las actividades celulares regulando la expresión génica. Por ello se dice que el núcleo es el centro de control de la célula.

La principal estructura que constituye el núcleo es la envoltura nuclear, una doble membrana que lo rodea completamente y separa ese contenido del citoplasma, además de contar con poros nucleares que permiten el paso a través de la membrana para la expresión genética y el mantenimiento cromosómico.

Aunque el interior del núcleo no contiene ningún subcompartimento membranoso, su contenido no es uniforme, existiendo una cierta cantidad de cuerpos subnucleares compuestos por tipos exclusivos de proteínas, moléculas de ARN y segmentos particulares de los cromosomas. El mejor conocido de todos ellos es el nucléolo, que principalmente está implicado en la síntesis de los ribosomas. Tras ser producidos en el nucléolo, éstos se exportan al citoplasma, donde traducen el ARN mensajero.

ADN

El ácido desoxirribonucleico, abreviado como ADN, es un ácido nucleico que contiene instrucciones genéticas usadas en el desarrollo y funcionamiento de todos los organismos vivos conocidos y es responsable de su transmisión hereditaria. El papel principal de la molécula de ADN es el almacenamiento a largo plazo de información. El ADN es comparado con un plano o un código, ya que contiene las instrucciones necesarias para construir otros componentes de las células, como las proteínas y las moléculas de ARN. Los segmentos de ADN que llevan esta información genética son llamados genes, pero las otras secuencias de ADN tienen propósitos estructurales o toman parte en la regulación del uso de esta información genética.

ARN

El ácido ribonucleico está formado por una cadena de ribonucleótidos. Se encuentra en procariontes y eucariontes, y está compuesto de una sola hebra lineal. El ARN mensajero lleva la información del ADN a los ribosomas donde se da la síntesis de proteínas. El ARN de transferencia interviene en la traducción de la codificación. El ARN ribosomal forma enlaces peptídicos y cataliza reacciones químicas.

Genes

Un gen es una secuencia ordenada de nucleótidos en la molécula de ADN que contiene la información necesaria para la síntesis de una macromolécula con función celular específica, habitualmente proteínas pero también ARN mensajero, ARN ribosomal y ARN de transferencia.

Nucleótidos

Los nucleótidos son moléculas orgánicas formadas por la unión covalente de un monosacárido de cinco carbonos pentosa, una base nitrogenada y un grupo fosfato. Son monómeros que componen el ADN y ARN, intervienen en diferentes funciones como la transferencia de energía en el metabolismo.

5.2 RADIACIONES: HISTORIA Y BASES FISICAS

5.2.1 Introducción

Se entiende por radiación a toda propagación de energía en un medio, sea este aire, agua, vacío, etc. La radiación como la conocemos en lo común de nuestra profesión hace referencia a la energía necesaria para producir imágenes biomédicas (rayos x, rayos gamma), y al uso de los mecanismos de interacción entre radiación y los tejidos biológicos con fines terapéuticos por ejemplo en radioterapia oncológica.

Para explicar estos fenómenos físicos no se puede dejar de mencionar que la evolución de las teorías y el constante interés de los físicos y científicos a lo largo de la historia como por ejemplo, John Dalton (Químico Inglés, 1766-1844) y Joseph John Thomson (Científico británico, 1856-1940), quienes propusieron modelos atómicos que luego se fueron replanteando hasta nuestros días. El átomo como hoy lo conocemos es una proposición de Niels Bohr (1885-1962), quien en 1913 mejoró la descripción del átomo de Ernest Rutherford (Físico Neozelandés, 1871-1937). El modelo que propuso Bohr era una copia en miniatura del sistema solar, en el que los electrones rotaban alrededor del núcleo en orbitas definidas o niveles de energía. Este átomo tiene un núcleo pequeño, denso, y cargado positivamente, rodeado de electrones de carga negativa que se mueven en orbitas fijas alrededor del núcleo, donde generalmente el número de electrones es el mismo número de cargas positivas en el núcleo.

5.2.2 Historia

En la Antigua Grecia, el átomo fue definido como la parte más pequeña constituyente de la materia. De hecho, su nombre viene de “a-thomos” que en griego significa “no divisible”.

Esta primera teoría atómica fue propuesta en el siglo V a.de C. por el filósofo griego Demócrito de Abdera, que postulaba que estas diminutas partículas que componían la materia, eran diferentes según se tratase de una sustancia u otra, de manera que, los

átomos de agua eran suaves y redondeados, los de fuego estaban cubiertos de espinas y los de tierra tenían una superficie rugosa.

La Teoría de Dalton

El químico británico John Dalton propuso en 1803 una teoría sobre la constitución de la materia basada en la idea de los átomos. Dicha teoría resultaría de gran importancia para todas las investigaciones posteriores tanto en el campo de la Química como en el campo de la Física.

Dalton estudió la forma en la que los diversos elementos se combinaban entre sí para formar los compuestos químicos. La hipótesis de los átomos proporcionaba una explicación simple en la que los elementos se combinaban para formar los compuestos de acuerdo con unas relaciones numéricas sencillas. En su libro *A New System of Chemical Philosophy*, publicado en 1808, Dalton propuso su teoría atómica según la cual toda la materia se compone de átomos. Además, concluía que todos los átomos de un mismo elemento eran idénticos en tanto que los átomos de elementos distintos diferían en sus propiedades químicas. Desde el momento en que Dalton estableció su clasificación de la materia en la que toda ella se dividía en elementos y compuestos, la labor fundamental de los químicos de la época se orientó en la búsqueda de estos elementos simples y en ordenarlos de alguna manera lógica.

La Tabla Periódica de los Elementos

A principios del siglo XIX se conocía el peso atómico de una veintena de elementos. Así, Johan Dobereiner estableció sus tríadas al observar la relación existente entre los pesos atómicos de elementos conocidos como los alcalinotérreos y los halógenos, y en las que el peso atómico del elemento intermedio coincidía con la media aritmética de los otros dos.

En 1864, cuando se conocía un mayor número de elementos químicos, el químico inglés Newlands ordenó los elementos en orden creciente de acuerdo con su peso atómico y dicha ordenación se denominó la ley de las octavas porque el octavo elemento tenía propiedades parecidas al primero, repitiéndose la secuencia y resultando un sistema en el que cada fila tenía siete columnas. Así se obtuvo la primera ordenación de los elementos en períodos (filas) y grupos (columnas) pero fue menospreciada por

irregularidades que resultaban en elementos con propiedades muy diferentes en el mismo grupo. Los gases nobles se desconocían por entonces.

En 1869, Lothar Meyer y Dimitri Mendeleiev, ordenaron los elementos de forma muy parecida a la Tabla Periódica actual, el primero según su volumen atómico y los puntos de fusión y de ebullición, observando que variaban periódicamente al aumentar el peso atómico, y Mendeleiev según sus propiedades químicas, ya que estaba convencido de que estaban relacionadas con su peso atómico.

Mendeleiev ordenó los 62 elementos conocidos hasta entonces en orden creciente de peso atómico y los distribuyó en siete filas o períodos, cada una con siete elementos, de modo que en cada columna o grupo quedaban agrupados los elementos de la misma familia y con las mismas propiedades químicas que variaban de forma periódica. Como en esta época no se conocían todos los elementos, dejó espacios en blanco para que la tabla pudiera ser completada en el futuro con nuevos elementos.

Sin embargo, el sistema periódico de Mendeleiev presentaba algunas anomalías, ya que al ordenar los elementos de acuerdo con su peso atómico, algunos elementos, para que coincidieran en el grupo al que correspondían sus propiedades químicas, se vieron desplazados en cuanto a su peso atómico.

Este inconveniente fue solucionado en los primeros años del siglo XX al desarrollarse el concepto de número atómico. Moseley estableció la base del sistema periódico actual en el que los elementos se ordenan por su número atómico creciente, y demostró en 1914 que cada elemento químico presentaba un número atómico diferente, ya que al bombardear diferentes blancos metálicos con electrones de alta energía, el espectro de rayos X generado presentaba líneas de distintas longitudes de onda que se desplazaban regularmente dependiendo del peso atómico. Después de varias modificaciones se llegó a la Tabla Periódica actual con 118 elementos distribuidos en siete filas o períodos y dieciocho columnas o grupos.

El descubrimiento del electrón

En 1897, J. J. Thompson anunció el descubrimiento de una partícula cargada negativamente a la que llamó electrón.

Desde 1894 había estudiado el fenómeno de los rayos catódicos que se producían entre dos placas metálicas cuando éstas se sometían a una tensión eléctrica. Para su experimento utilizó un electrodo positivo perforado, de modo que dejase pasar los rayos catódicos, demostrando así que estos producían un resplandor sobre una placa de sulfuro de zinc colocada en el interior del tubo, y que eran desviados por campos magnéticos.

Mediante la combinación de campos eléctricos y magnéticos fue capaz de deducir la relación entre la carga de la partícula (e) y su masa (m), y comprobó que la razón e/m era independiente del material que colocaba como electrodo negativo (cátodo).

Por su descubrimiento, Thompson recibió el Premio Nobel de Física en 1906.

El descubrimiento de la radiactividad

En 1896, el físico francés Antoine Henri Becquerel comprobó que determinadas sustancias, como las sales de uranio, producían radiaciones penetrantes de origen desconocido. Este fenómeno fue conocido como radiactividad.

El científico francés estaba trabajando en su laboratorio y dejó descuidadamente unas sales de uranio junto a unas placas fotográficas que aparecieron posteriormente veladas, a pesar de estar protegidas de la luz solar.

Después de varios ensayos, comprobó que el causante del velado de las placas era el uranio. Sin saberlo, Becquerel se convirtió gracias a su descubrimiento en el “padre de la energía nuclear”.

En la misma época, el matrimonio francés formado por Pierre y Marie Curie comenzó entonces a realizar estudios con uranio y torio, y posteriormente con pechblenda, cuya radiación era más intensa que la del uranio. Esta situación les llevó a deducir la existencia de otro elemento de actividad más elevada que el uranio, que en honor a su patria fue llamado polonio.

Además, continuando con sus investigaciones, descubrieron un segundo elemento al que denominaron radio. Por estos descubrimientos, se les concedió el Premio Nobel de Física en 1903, compartido con Becquerel.

Posteriormente, como resultado de las investigaciones de Rutherford y Soddy, se demostraría que el uranio y otros elementos pesados, emitían tres tipos de radiaciones alfa, beta y gamma. Las dos primeras estaban constituidas por partículas cargadas, comprobándose que las partículas alfa eran núcleos de átomos de helio y las partículas beta eran electrones. Además, se comprobó que las radiaciones gamma eran de naturaleza electromagnética.

El modelo atómico de Rutherford

El descubrimiento de la naturaleza de las radiaciones permitió a Rutherford estudiar la estructura de la materia.

Bombardeando láminas de oro con partículas alfa, pudo deducir que el átomo estaba constituido por una zona central positiva donde se concentraba toda la masa, y postular que los electrones giraban en órbitas alrededor del núcleo, como si fuera un pequeño sistema solar. Esto significaba que el átomo no era macizo como se creía hasta entonces.

La suma de las cargas de los electrones es igual en magnitud a la carga del núcleo, por lo que el átomo resultaba ser eléctricamente neutro.

Sin embargo, este modelo no era consistente desde el punto de vista de la electrodinámica clásica, ya que, según esta teoría, cuando una partícula cargada, como es el electrón, gira alrededor del núcleo con cierta aceleración centrífuga, emite una cantidad de radiación y en consecuencia, experimenta una disminución de su velocidad, debido a lo cual, sería atraída por el núcleo y se precipitaría contra él. Esta situación es contraria a la naturaleza estable de la materia.

El descubrimiento de la constante de Planck y la teoría cuántica

En 1900, el físico alemán Max Planck formuló que la energía es emitida en pequeñas unidades individuales conocidas como cuantos. Por sus estudios, Planck es considerado el creador de la teoría cuántica.

En el transcurso de sus investigaciones, descubrió una constante de carácter universal conocida como la constante de Planck, representada como h . Esta constante resultó ser

imprescindible tanto para la investigación de las partículas de materia como para los cuantos de luz, conocidos también como fotones.

La ley de Planck establece que la energía de cada cuanto es igual a la frecuencia de la radiación electromagnética multiplicada por dicha constante universal. Desde entonces, esta ley ha sido verificada experimentalmente en muchas ocasiones, y el desarrollo de la teoría cuántica ha producido un cambio radical en el concepto que se tiene en física de la luz y de la materia. En la actualidad, se considera que ambas combinan las propiedades de una onda y de una partícula.

Los descubrimientos de Planck representaron el nacimiento de un nuevo campo para la física, conocido como mecánica cuántica y proporcionaron las bases para la investigación en campos como el de la energía atómica.

Por este trabajo Max Planck recibió el Premio Nobel de Física en 1918.

La teoría de la relatividad de Einstein

El físico alemán Albert Einstein ha llegado a ser el físico más famoso a nivel mundial, sólo equiparable a Isaac Newton.

La conocida ecuación $E=mc^2$ resultó ser revolucionaria para

los posteriores estudios de física nuclear, aunque en aquellos tiempos no se disponía de medios para demostrarla experimentalmente. Así, E representa la energía y m la masa, ambas interrelacionadas a través de la velocidad de la luz c.

Esta ecuación relacionaba las conversiones másicas de energía, de forma que se podía afirmar, que ambas entidades son distintas manifestaciones de una misma cosa.

En 1905, Einstein publicó cinco comunicaciones entre las que destacaban una sobre la Teoría de la Relatividad Restringida y otra acerca del Fenómeno Fotoeléctrico, en la que se explicaba el citado fenómeno empleando la teoría de los cuantos de energía propuesta por Max Planck en 1900.

Este fenómeno se comprobó de manera experimental y contribuyó a atraer la atención sobre su Teoría de la Relatividad, hasta el punto de que en 1921, le fue concedido el

Premio Nobel de Física por sus aportaciones a la física, matemática y especialmente por el descubrimiento del efecto fotoeléctrico.

En un principio, la mayoría de los físicos de la época se opusieron a la Teoría de la Relatividad Restringida ya que era difícil de asimilar. Fue años más tarde, cuando se trasladó a la Universidad de Praga, donde elaboró la Teoría de la Relatividad General, en la que se unificaban los conceptos de inercia y de gravitación, lo que le daría fama a nivel mundial entre toda la comunidad científica.

El modelo atómico de Bohr

El físico danés Niels Bohr desarrolló en 1913 una hipótesis, según la cual los electrones estaban distribuidos en capas definidas, o niveles cuánticos, a cierta distancia del núcleo, constituyendo la configuración electrónica de los distintos elementos. El modelo atómico de Bohr, en el que se aplicó la mecánica cuántica al modelo de Rutherford, vino a resolver el problema que este último planteaba desde el punto de vista de la electrodinámica clásica.

Para el físico danés, los electrones giraban en órbitas estacionarias desde las que no se emitía ninguna radiación, enterrándose así el viejo concepto del átomo como algo indivisible, inerte y simple, y apareciendo la hipótesis de una estructura compleja que daría posteriormente complicadas manifestaciones energéticas. Por sus investigaciones, recibió el Premio Nobel de Física en 1922.

El descubrimiento del neutrón

El descubrimiento del neutrón fue realizado por James Chadwick en 1932. Chadwick “midió” la masa de la nueva partícula deduciendo que era similar a la del protón pero con carga eléctricamente neutra. Así, se observó que el núcleo atómico estaba compuesto por neutrones y protones, siendo el número de protones igual al de electrones.

Con su descubrimiento, Chadwick consiguió un “proyectil” de características ideales para provocar reacciones nucleares. Recibió el Premio Nobel de Física en 1935.

El descubrimiento de la radiactividad artificial

El matrimonio formado por Frédéric Joliot e Irene Curie desarrolló entre 1930 y 1934, una serie de experimentos basados en los descubrimientos anteriores, lo cual les condujo al descubrimiento de la radiactividad artificial.

Tras el descubrimiento del neutrón como consecuencia del bombardeo de láminas de berilio con partículas alfa, decidieron estudiar qué elementos sometidos al mismo bombardeo de partículas alfa procedentes de una fuente de polonio, eran capaces de producir neutrones.

De este modo, descubrieron que el aluminio sometido a este bombardeo, producía neutrones y otro elemento, el fósforo, no existente en la naturaleza, que se desintegraba transcurridos unos minutos, emitiendo positrones³.

Las conclusiones a las que llegó el matrimonio Joliot-Curie, se basaban en la idea de que la radiactividad, hasta entonces de carácter natural, podía ser producida por el hombre, construyendo elementos radiactivos mediante el bombardeo con partículas alfa de algunos elementos químicos. Esto les valió el Premio Nobel de Química en 1935. En su discurso del Premio Nobel, Joliot casi vaticinó las futuras reacciones nucleares de fisión en cadena, que podrían dar lugar a enormes cantidades de energía.

El descubrimiento de la fisión nuclear

A finales de 1938, en los umbrales de la Segunda Guerra Mundial, un equipo de investigadores alemanes en el Kaiser Wilhelm Institut de Berlín, integrado por Otto Hahn, Fritz Strassmann, Lisa Meitner y Otto Frisch, interpretó el fenómeno de la fisión nuclear, a través de la identificación del elemento bario como consecuencia de la escisión del núcleo de uranio.

Los primeros estudios sobre la fisión fueron llevados a cabo por Otto Hahn y Lise Meitner, basándose en los resultados obtenidos por el matrimonio Joliot-Curie, que mediante análisis muy cuidadosos, encontraron un elemento de número atómico intermedio en una muestra de uranio bombardeado con neutrones.

Cuando Lise Meitner, de origen judío, tuvo que huir de Alemania, se unió al estudio un nuevo investigador, Fritz Strassmann. En las navidades de 1938, después de repetir los

análisis radioquímicos del matrimonio Joliot-Curie, Hahn y Strassmann corroboraron los resultados, y enviaron un informe a Meitner, que se encontraba en Dinamarca con su sobrino Otto Frisch.

Lise Meitner y Otto Frisch interpretaron el informe, deduciendo que el uranio, al capturar uno de los neutrones

con los que se le bombardeaba, se escindía en dos fragmentos, acompañados de una gran cantidad de energía, muy superior a la que se podía producir con cualquier otra reacción nuclear conocida hasta entonces. Se había descubierto la fisión nuclear. Este descubrimiento le valió a Otto Hahn el Premio Nobel de Física en 1944, aunque no le fue concedido a su colega Lise Meitner

El Proyecto Manhattan

La intención de aplicar la energía nuclear con fines pacíficos despuntó de forma temprana el 2 de diciembre de

1942, comenzaba la era de la energía atómica. A las 15.45 hora local, un grupo de físicos nucleares europeos, emigrados a los Estados Unidos y dirigidos por el físico italiano Enrico Fermi, ponían en marcha la primera reacción nuclear en cadena producida por el hombre. El reactor nuclear empleado, conocido como Chicago Pile (CP-1) era de estructura sencilla, y se instaló bajo la tribuna del estadio de fútbol americano de la Universidad de Chicago. Se empleó combustible de uranio, como el que Fermi empleaba en sus experimentos en Roma, y moderador de grafito.

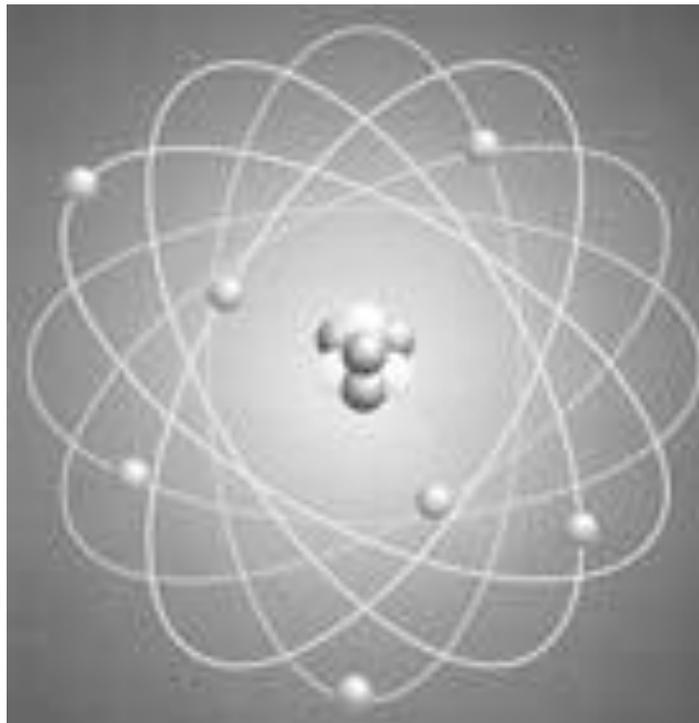
Los preparativos para este experimento fueron llevados a cabo con gran secreto. El objetivo de la investigación era la obtención de una reacción en cadena –en principio controlada– que permitiera el estudio de sus propiedades en vistas al posible desarrollo de una bomba atómica. Una vez extraídas con sumo cuidado las barras de control, se inició la reacción en cadena, entrando de este modo en funcionamiento el primer reactor nuclear del mundo. Por sus investigaciones sobre la fisión nuclear, Enrico Fermi recibió el Premio Nobel de Física en 1938.

5.2.3 BASES FÍSICAS

Se define átomo como la partícula más pequeña en que puede dividirse un elemento sin perder las propiedades químicas que le caracterizan.

Está compuesto por una parte central con carga positiva y donde se encuentra concentrada casi toda la masa, constituyendo el núcleo atómico, y por un cierto número de partículas cargadas negativamente, los electrones, que forman la corteza.

El núcleo atómico está constituido por protones y neutrones, denominados por ello nucleones, con carga eléctrica positiva igual a la carga negativa de los electrones, de modo que la carga eléctrica total del átomo sea neutra.



Núcleo atómico rodeado de electrones

Tabla de partículas elementales constituyentes del átomo.

	<i>ELECTRON</i>	<i>PROTON</i>	<i>NEUTRON</i>
MASA (kg)	9,11 x 10-31	1,673 x 10-27	1,696 x 10-27
CARGA (C)	1,602 x 10-19 (-)	1,602 x 10-19(+)	0

Nº ATÓMICO (Z): es el número de protones presentes en el núcleo atómico, que caracteriza a un elemento químico, proporcionando el orden que ocupa en la tabla periódica, y que coincide también con el número de electrones.

Nº MÁSIICO (A): es el número total de nucleones (protones más neutrones) existentes en el núcleo atómico

($A = Z + N$, donde N = número de neutrones).

Ionización

Formación de iones positivos y negativos por desplazamiento de un electrón de un átomo eléctricamente neutro.

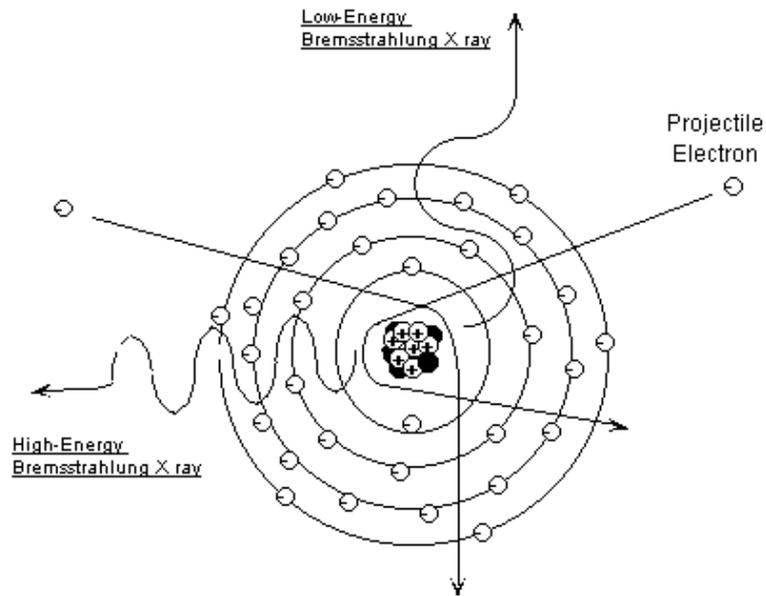
La ionización comienza con un átomo neutro (la carga eléctrica es 0 porque hay igual cantidad de cargas (+) y (-)- Nº de protones en el núcleo (+) que de electrones (-).

Cuando un átomo gana o pierde electrones se ioniza, lo cual depende de la energía de ligadura del electrón a su órbita.

Esta energía de ligadura es la energía requerida para desplazar al electrón de su órbita o capa. Es mayor en las capas más internas del átomo y en los átomos con alto Nº atómico (Nº de protones en el núcleo). La energía de ligadura es negativa. Para desplazar un

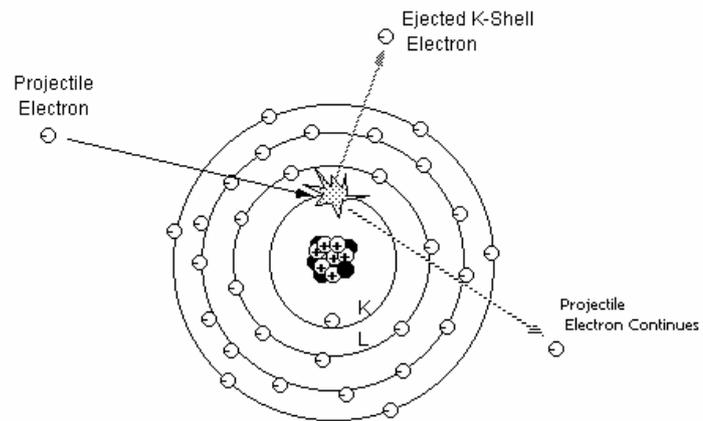
electrón del átomo es necesaria una energía igual a 0 o de valores positivos. La energía cinética siempre tiene valores positivos.

RADIACIÓN DE FRENADO



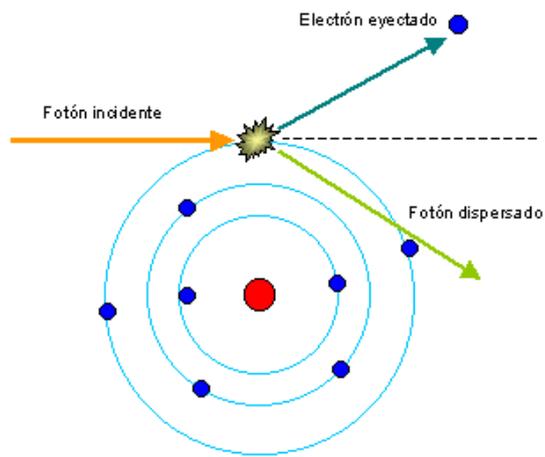
Este tipo de radiación se origina por la interacción de los electrones con el núcleo del átomo. Cuando el electrón-proyectil pasa cerca del núcleo reduce su velocidad (es frenado) y desviado de su trayectoria original. Esto deja al electrón con una reducida energía cinética y esta pérdida de energía reaparece como radiación X.

RADIACION CARACTERISTICA



Si el electrón interacciona con la capa electrónica más interna (K), sin hacerlo con el núcleo atómico se produce una radiación característica. El electrón proyectado eyecta el electrón de la capa K y el átomo queda ionizado lo que deja en la capa (K) temporariamente un “agujero electrónico”, que es ocupado por un electrón de la capa adyacente. Esta transición electrónica de una órbita más externa a una interna es acompañada por la emisión de fotón de rayos X (característico).

EFECTO COMPTON



Acontece en la absorción de Rayos X de alta energía y N° atómicos bajos. Se produce cuando fotones de alta energía colisionan con un electrón orbital. Ambas partículas se eyectan con un ángulo que diverge al fotón incidente. Éste transfiere parte de su energía al electrón que emerge con una longitud de onda mayor. Esta divergencia se conoce como dispersión Compton.

5.3 LESION CELULAR

Las formas de respuesta celular a la lesión son diferentes y dependen de algunas variantes, en esta investigación se desarrollan los que tienen importancia físico-química en relación con la acción de la radiación en los tejidos biológicos. El tipo de lesión varía, por ejemplo, con la duración de la exposición a una fuente determinada, la energía de ésta y los antecedentes de daño celular previo.

Los cambios morfológicos de la célula a causa de una lesión se observan solo después que se hayan alterado algunos de los sistemas bioquímicos críticos del interior celular. Generalmente, las manifestaciones morfológicas de la lesión letal tardan más tiempo en desarrollarse que las de la lesión reversible, por ejemplo, la inflamación aparece a los pocos minutos. De la misma manera, pequeñas dosis de radiación pueden inducir una lesión reversible o irreversible, dependiendo de lo anteriormente explicado, mientras que dosis altas podrían llevar a la muerte celular instantánea o a una lesión irreversible que con el paso del tiempo conduzca a la muerte celular.

Otro factor importante en la célula lesionada es su estado y adaptabilidad a los estímulos de la lesión, lo cual está relacionado con la nutrición y el estado hormonal de la célula.

Ahora bien, la molécula de oxígeno toma un papel importante en la lesión celular, ya que la radiación induce lesiones a causa de los radicales libres altamente reactivos que pueden alterar la función y dañar la permeabilidad de la membrana celular y otros constituyentes de la célula.

5.3.1 RADIACIÓN IONIZANTE

Tanto las radiaciones electromagnéticas (rayos X, rayos gamma) como las partículas (partículas alfa, beta, protones y neutrones) son carcinógenas.

Las pruebas son tan voluminosas que bastarían solo unos pocos ejemplos. Muchos de los pioneros del desarrollo de los rayos roentgen desarrollaron cánceres de piel. Los mineros de elementos radiactivos en Europa Central y en las Montañas Rocosas han sufrido un aumento de diez veces en la incidencia de cánceres de pulmón. El seguimiento de los supervivientes de las bombas atómicas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki es argumento eficaz. Inicialmente se produjo un aumento llamativo de la

incidencia de leucemias – principalmente leucemia mieloide aguda y crónica- tras un periodo medio de latencia de unos 7 años. Posteriormente, ha aumentado la incidencia de muchos tumores sólidos de periodos de latencia mayores (p. ej., mama, colon, tiroides y pulmón).

Se ha demostrado incluso que la irradiación terapéutica es carcinogénica. Han aparecido cánceres de tiroides en aproximadamente el 9 % de las personas expuestas a irradiación de la cabeza y del cuello en la lactancia y la infancia. La práctica, ya abandonada, de tratar la artritis de la columna vertebral conocida como espondilitis anquilosante con radioterapia, ha tenido como consecuencia un aumento de 10 a 12 veces de la incidencia de leucemia años más tarde.

También los residentes de Islas Marshall que fueron expuestos en una ocasión, tras una explosión de prueba de una bomba de hidrógeno, a una lluvia de desechos radioactivos con contenido en yodos radioactivos con afinidad por tiroides. Hasta el 90 % de los niños de menos de diez años de la Isla Rongelap desarrollaron nódulos tiroides en los 15 años siguientes, y el 5 % de estos nódulos resultaron ser carcinomas de tiroides. Es evidente que la energía radiante, tanto si es absorbida por en la placentera forma de luz solar, o administrada con la mejor intención por un médico, o por la trágica exposición a una explosión atómica, tiene un imponente potencial carcinógeno.

En los seres humanos, existe una escala de vulnerabilidad a los cánceres inducidos por radiación. Lo más frecuente son las leucemias, excepto la leucemia linfática crónica, que, por razones desconocidas, casi nunca sigue a la radiación. El cáncer de tiroides les sigue cerca, pero solo en jóvenes. En el grupo intermedio están los cánceres de mama, pulmón, y glándulas salivares. Por el contrario la piel, el hueso y el tubo digestivo son relativamente resistentes a la neoplasia inducida por la radiación, incluso a pesar de que las células de la mucosa gastrointestinal son vulnerables a los efectos de muerte celular de la radiación y la piel está en el trayecto de la radiación externa. Sin embargo, no hay que olvidar que cualquier célula puede convertirse en una célula cancerosa si recibe una exposición suficiente a la energía radiante.

5.3.2 TIPOS DE DAÑO A LA CELULA

Los fenómenos de interacción entre los tejidos biológicos y las radiaciones ionizantes se clasifican en físicos y químicos. Los fenómenos físicos están clasificados en directas e indirectas dependiendo de la partícula que interactúa con el medio. Las formas en que interactúan está relacionado directamente a la naturaleza y energía de la radiación y se clasifican a su vez en penetrantes y altamente penetrantes, las cuales varían desde los pocos milímetros en el tejido biológico, hasta varios centímetros, incluyendo el traspaso total del tejido si la energía fue lo suficientemente penetrante, por ejemplo los fotones de radiación gamma.

Las partículas alfa, beta, electrones y protones comprenden los fenómenos físicos directos, ya que debido a su bajo nivel de penetración producen ionización directa. Esto no sucede con los neutrones y los fotones de radiación X y gamma, ya que sus fenómenos son de tipo aleatorio y generan transferencia de energía cinética al núcleo (protón) o los ya nombrados efecto Compton, efecto fotoeléctrico y efecto de formación de pares.

Ahora bien, el consejo de seguridad nuclear de España establece que según la relación causa-efecto entre la radiación recibida y los efectos producidos por ella en la célula, los efectos de la interacción se dividen en deterministas y estocásticos. Los efectos deterministas se caracterizan por requerir una dosis umbral para su aparición, es decir, sólo se producen por encima de un valor determinado de dosis y a partir de éste, su severidad aumenta con la dosis recibida. Los efectos estocásticos son aquéllos que aparecen aleatoriamente o debido al azar. Para estos efectos, la comunidad científica ha adoptado una actitud conservadora asumiéndose la hipótesis de que no hay dosis umbral establecida y su probabilidad de aparición aumenta con la dosis recibida.

Según el tiempo transcurrido entre la exposición a la radiación y la manifestación de sus efectos, se clasifican en inmediatos o tempranos, donde se manifiestan al cabo de horas o semanas, partiendo desde enrojecimiento de la piel hasta causar la muerte, cuando los niveles de radiación recibida por todo el cuerpo son elevados. Los efectos retardados o tardíos, se manifiestan cuando el cuerpo humano es sometido a bajas dosis de radiación, pero recibida a lo largo de un gran periodo de tiempo, lo cual puede provocar la aparición de cáncer o enfermedades congénitas.

Y según aparezcan los efectos en los individuos expuestos a la radiación o en sus descendientes, se clasifican en somáticos o genéticos. Los somáticos pueden ser inmediatos cuando aparecen en el individuo irradiado en un intervalo de tiempo que puede ir desde unos días hasta semanas después de la exposición. Se estima que existe en cierta medida, un proceso de recuperación celular como por ejemplo, ocurre en el caso de una fibrosis pulmonar causada por una dosis excesiva de radiación, o los eritemas de la piel. Los somáticos retardados ocurren al azar dentro de una población de individuos irradiados. La relación entre la inducción de una enfermedad (ej. leucemia, tumor sólido, etc.) y la dosis, sólo puede establecerse sobre grandes grupos de población irradiada.

Defectos en la reparación del ADN

El estudio de las raras enfermedades hereditarias que se caracterizan por defectos de la reparación del ADN ha aportado ideas importantes acerca de los procesos moleculares que afectan a la respuesta en las células a la radiación. En estos trastornos autosómicos recesivos se incluyen el xeroderma pigmentosum, síndrome de Bloom, ataxia-telangiectasia y anemia de Fanconi.(1) En conjunto se caracterizan por hipersensibilidad a la uno o varios agentes que lesionan el ADN, y por la predisposición al cáncer. Los pacientes con xeroderma pigmentosum tienen una fotosensibilidad extrema, una tasa muy elevada de cánceres en la piel el expuesta al sol, y, en algunos casos, anomalías neurológicas. La base molecular de las alteraciones degenerativas de la piel expuesta al sol y de la aparición de tumores cutáneos radica en una incapacidad hereditaria de reparar las lesiones del ADN, inducidas por la luz ultravioleta. La luz ultravioleta la causa y la formación de dímeros de pirimidina; las células de pacientes con xeroderma pigmentosum tienen un déficit marcado de y la reparación escisión de los dímeros de pirimidina. El xeroderma pigmentosum es genéticamente heterogéneo, y existen al menos siete variantes diferentes. Cada una de estas formas es causada por una mutación en uno de los varios genes implicados en la reparación por incisión de nucleótidos. La ataxia –telangiectasia, a diferencia del xeroderma pigmentosum, se asocia a un trastorno de la respuesta a los daños causados en por la radiación ionizante y por un aumento muy importante del riesgo de desarrollar tumores malignos linfoides. Además, como su nombre indica, las personas que lo padecen tienen ataxia cerebelosa progresiva y telangiectasia oculocutánea. Sufren también inmunodeficiencia y son

propensos a infecciones recurrentes de senos para nasales y pulmonares. Como el xeroderma pigmentosum, la ataxia telangiectasia es genéticamente heterogénea, existiendo al menos seis variantes moleculares. Las personas con anemia de Facioni tienen predisposición a sufrir leucemias, anemia aplásica progresiva y malformaciones congénitas. Sus células son extremadamente sensibles a agentes que inducen enlaces de entrecruzamiento del ADN, presumiblemente por un déficit enzimático que elimina los enlaces entre filamentos inducidos por los agentes genotóxicos. El Síndrome de Bloom difiere de los restantes trastornos del grupo en que las personas que lo sufren parecen ser hipersensibles a diversos agentes lesivos para el ADN (p. ej. La luz ultravioleta, la irradiación). Por lo tanto, parecen tener un trastorno más generalizado de la reparación del ADN. Citológicamente, las células de estas personas se caracterizan por un notable aumento en la frecuencia de intercambio de cromátidas hermanas aparentemente espontáneo, presumiblemente debido a algún trastorno en la ligadura del ADN. Clínicamente, quienes padecen síndrome de Bloom tienen inmunodeficiencia grave, retraso del crecimiento, y predisposición a varios tipos de cáncer. A este respecto, los genes implicados en la reparación del ADN pueden considerarse genes supresores de tumores.

5.3.3 CLASIFICACION DE LA LESION POR RADIACION

La lesión celular por la radiación se divide en lesión letal, lesión subletal y lesión potencialmente letal.

Lesión letal: por daño irreparable en puntos vitales de la célula. La muerte se producirá en el intento de división celular.

Lesión subletal: bajo condiciones normales de crecimiento, la lesión celular puede quedar reparada en un periodo de tres horas tras la irradiación. Si en este periodo se añade un daño adicional, por ejemplo, una segunda dosis de irradiación, el daño puede entonces ser letal.

Lesión potencialmente letal: se da cuando el sustrato de la lesión a causa de una irradiación puede ser modificado por circunstancias ambientales post-irradiación.

5.4 UNIDADES Y DOSIMETRIA

5.4.1 INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de las aplicaciones médicas e industriales de las fuentes de radiaciones ionizantes se hizo necesario definir magnitudes y unidades que permitieran caracterizar, de manera cuantitativa, la radiación y sus elementos.

Hacia 1895, Roentgen descubrió los rayos X, cuando estudiaba el efecto del paso de la corriente eléctrica por tubos de vacío. Estas experiencias fueron el origen de los tubos de rayos catódicos, comenzando la etapa de trabajo con radiaciones ionizantes y con elementos radiactivos sin conocer cuáles eran sus efectos biológicos.

Hacia 1925, algunos trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes comenzaron a manifestar algún tipo de cáncer, por lo que se vió la necesidad de establecer ciertas normas de protección radiológica por los efectos biológicos que producían las radiaciones. Es en este momento cuando nacen las magnitudes radiológicas y sus correspondientes unidades.

En 1925 surge la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación (ICRU) que, a lo largo de los años, han ido publicando informes en los que se establecen recomendaciones sobre: Magnitudes y unidades de radiación. ·

Procedimientos para la medida de la radiación y aplicación de estas magnitudes en radiobiología. La ICRU colabora estrechamente con la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) con objeto de establecer las recomendaciones a seguir en el campo de la radioprotección.

Dosis: cuando no se diga lo contrario, el término dosis se usa para expresar más simplemente el término dosis efectiva (antes dosis equivalente efectiva). Poco correctamente, en la práctica de la medicina nuclear, y por analogía con la terminología de uso corriente, se habla de dosis para expresar: - la cantidad de sustancia emisora (expresada en peso o en actividad) si se trata de una fuente no encapsulada administrada a un paciente (en forma comparable a la de dosis de un fármaco). – La energía radiada por una fuente o transportada por un haz; si se trata de la energía individual de los fotones o partículas se expresa en MeV.

Dosis absorbida: Energía depositada por la radiación ionizante en la unidad de masa del medio atravesado. Es un valor físico cuya unidad es el Gray (GY).

Dosis colectiva: dosis colectiva es la dosis efectiva a que ha resultado sometido un cierto grupo de personas. Se mide en sievert por persona (Sv.p.).

Dosis comprometida: es la dosis efectiva que recibirá una persona durante los próximos 50 años (70 años en el caso de los niños). A consecuencia de la cantidad de material radiactivo que ha incorporado a su organismo. Se mide en sievert (Sv.).

Dosis efectiva (dosis equivalente efectiva): es la dosis equivalente ponderada (corregida proporcionalmente a) por la diferente sensibilidad de los distintos órganos y tejidos del cuerpo humano. Los factores de corrección se llaman factores de ponderación de los tejidos. Se mide en sievert (Sv.): $1 \text{ Sv.} = 1 \text{ J/Kg}$. La unidad antigua era el rem: $1 \text{ Sv.} = 100 \text{ rem}$. Hasta hace poco ese término se denominaba (dosis equivalente efectiva, pero las últimas recomendaciones de la ICPR han simplificado la denominación.

Dosis equivalente: Es la dosis absorbida ponderada (corregida en proporción a) por la diferente eficacia biológica de las distintas clases de radiación sobre el medio vivo considerado. Los factores de corrección se denominan “factores de ponderación de la radiación”. Se mide en sievert (Sv.): $1 \text{ Sv.} = 1 \text{ J/Kg}$. La unidad antigua era el rem: $1 \text{ Sv.} = 100 \text{ rem}$.

5.4.2 UNIDADES Y SUS MÚLTIPLES Y SUBMÚLTIPLOS.

En el sistema internacional (SI) los submúltiplos que más utilizados son:

mili (m) = 10^{-3}

micro(μ)= 10^{-6}

nano(n)= 10^{-9}

Algunas conversiones útiles son:

$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 3.7 \times 10^4 \text{ MBq}$

$1 \text{ mCi} = 3.7 \times 10^7 \text{ Bq} = 3.7 \times 10^1 \text{ MBq} = 37 \text{ MBq}$

$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$

$1 \text{ cGy} = 1 \text{ rad}$

$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

$1 \text{ mSv} = 0.1 \text{ rem}$

$1 \text{ } \mu\text{Sv} = 0.1 \text{ mrem}$

La unidad propuesta por el S.I que pondera la actividad es el Becquerel: Bq, que equivale a una desintegración por segundo.

El número de Bq de una muestra radiactiva es igual al número de núcleos que se desintegran por segundo, en consecuencia, una fuente radiactiva con 600 Bq de actividad, implica a que 600 núcleos de esa fuente se están desintegrando por cada segundo.

En la práctica profesional, frecuentemente se usa otra unidad de actividad: el Curie: Ci, que es la actividad de una fuente radiactiva en la que se desintegran $3,7 \cdot 10^{10}$ núcleos por segundo o en un minuto se producen $2,22 \cdot 10^{12}$ desintegraciones.

1 Bq = 1 desintegración / segundo

1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ desintegraciones / segundo o $2,22 \cdot 10^{12}$ desintegraciones / minuto.

El Bq es una unidad muy pequeña, en la práctica se usan múltiplos:

1 Megabecquerel: MBq = $1 \cdot 10^6$ desintegraciones / segundo.

1 Gigabecquerel: GBq = $1 \cdot 10^9$ desintegraciones / segundo.

1 Terabecquerel: TBq = $1 \cdot 10^{12}$ desintegraciones / segundo.

El Ci es una unidad muy grande, en la práctica se usan submúltiplos:

1 millicurie: mCi = $3,7 \cdot 10^{-3}$ Ci = $3,7 \cdot 10^7$ desintegraciones / segundo.

1 microcurie: μ Ci = $3,7 \cdot 10^{-6}$ Ci = $3,7 \cdot 10^4$ desintegraciones / segundo.

1 nanocurie: nCi = $3,7 \cdot 10^{-9}$ Ci = $3,7 \cdot 10^1$ desintegraciones / segundo

5.4.3 CONTROL DE DOSIS

Exposición

El concepto de exposición se introdujo para comparar las cantidades de radiación; que generaban los tubos de rayos X cuando incidían sobre un material. La exposición (X) mide la ionización que produce la radiación X o γ , cuando incide sobre un volumen determinado de aire. Es decir, representa la cantidad de electricidad que transportan los iones creados por los electrones secundarios puestos en movimiento por la acción de los fotones X o γ en una masa de aire.

Está representada por la expresión: $X = dQ/dx$

La unidad antigua era el Roentgen, representado por el símbolo R, que se definió como aquella exposición a la radiación X o γ que al atravesar un volumen de aire seco, en condiciones normales de presión y temperatura, provoca la liberación, por cada centímetro cúbico, de iones y electrones que totalizan una unidad electrostática de carga (u.e.q.) de cada signo (unidad de carga eléctrica en el antiguo sistema cegesimal C.G.S.).

La unidad en el sistema internacional es el culombio o coulomb por kilogramo de aire; no se le ha dado nombre especial y se representa por el símbolo C/kg.

La equivalencia entre ambas unidades viene dada por $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$$

La exposición está definida solo para rayos X y γ en aire.

Para las aplicaciones médicas de las radiaciones es fundamental la Ley del inverso del cuadrado de la distancia, que indica que la intensidad de la radiación electromagnética que incide sobre una superficie esta en relación inversa con el cuadrado de la distancia entre el foco emisor y dicha superficie $I(r) = I/r^2$ siendo r la distancia desde el foco emisor al punto considerado.

La Tasa de exposición (X) es la exposición que se produce en un punto de-terminado por unidad de tiempo.

Sus unidades antiguas eran el R/s (o cualquier otra unidad de tiempo), y en el sistema internacional es C/(Kg.s).

Dosis absorbida (GRAY Y RAD)

Se define la magnitud dosis absorbida como la energía media (E) cedida por cualquier radiación ionizante a la materia en un elemento de volumen, cuya masa sea dm. Los efectos que esta radiación incidente produce en el material dependen de la energía que absorba dicha sustancia.

Se puede cuantificar según la expresión: $D = dE/dm$

La unidad antigua de dosis absorbida era el rad (siglas en inglés de radiation absorbed dose, dosis absorbida de radiación).

La unidad en el sistema internacional es el julio de energía absorbida por kilogramo de material radiado; se denomina Gray y se representa por el símbolo Gy.

La equivalencia entre estas unidades es la siguiente:

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

1 rad = 0,01

Gy = 10 mGy

La energía absorbida por los tejidos blandos del cuerpo que han sufrido una exposición a radiación X o gamma de 1 R, es aproximadamente la equivalente a 1 rad (10 mGy) de dosis absorbida. La dosis absorbida está definida para cualquier tipo de radiación y para cualquier medio material.

La tasa de dosis absorbida (D) representa el incremento de dosis absorbida dD en el intervalo de tiempo dt.

$D = dD/dt$ sus unidades antiguas eran el rad/s.

En el sistema internacional sus unidades son Gy/s.

Relación entre la exposición y la dosis absorbida

Como la exposición es una magnitud definida solo para aire, cuando se quiere conocer la exposición a la que sometemos un material (especialmente en tejidos biológicos) se hace la conversión a través de los factores f, según la expresión:

$D = f \cdot X$ donde f es un factor de paso que se está tabulando para los fotones de diferentes energías que inciden sobre distintos materiales.

Dosis equivalente (SIEVERT Y REM)

Aunque todas las radiaciones ionizantes son capaces de producir efectos biológicos similares, una cierta dosis absorbida puede producir efectos de magnitudes distintas, según el tipo de radiación de que se trate. Esta diferencia de comportamiento ha llevado a definir una cantidad llamada factor de calidad (Q) para cada tipo de radiación.

Se seleccionó arbitrariamente $Q = 1$ para rayos X y gamma. El factor de calidad es una medida de los efectos biológicos producidos por las distintas radiaciones, comparados con los producidos por los rayos X y gamma, para una dosis absorbida dada. Así, por ejemplo, un Gray de partículas alfa produce efectos biológicos 20 veces más severos que un Gray de rayos X. El factor de calidad Q depende de la densidad de ionización de las diferentes radiaciones. La dosis equivalente es un nuevo concepto que se definió tomando en cuenta el factor de calidad. Es igual a la dosis absorbida multiplicada por el factor de calidad.

La unidad de dosis equivalente en el S.I. es el Sievert (Sv), definido como:

$$1 \text{ SV} = 1 \text{ G} \times \text{Q}$$

La unidad antigua es el rem, con $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times \text{Q}$. Nótese que $1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv} =$

$$1 \text{ cSv}$$

Factores de calidad

Tipo de radiación	Q
Rayos X, γ	1
Electrones	1
Neutrones térmicos	2.3
Neutrones rápidos	10
Protones	10
Partículas α	20

Dosis efectiva

Ya que cada tejido u órgano presenta un comportamiento diferente frente a la radiación, ICRP recomendó en 1977, definir otra magnitud derivada de la dosis equivalente, para expresar la combinación de diferentes dosis equivalentes en diferentes tejidos y se iguala el riesgo total para una irradiación no uniforme del cuerpo con el riesgo producido por una irradiación uniforme.

Se define la dosis efectiva, E, como la suma ponderada de las dosis equivalentes medidas recibidas en distintos órganos o tejidos.

Magnitudes dosimétricas para la vigilancia individual

Dosis equivalente individual profunda. Es adecuada utilizarla para órganos y tejidos situados a una cierta profundidad en el cuerpo que serán irradiados con una radiación fuertemente penetrante. Representa el equivalente de dosis en tejido blando por debajo de un punto específico en el cuerpo a una profundidad.

Dosis equivalente individual superficial. Es la apropiada para órganos y tejidos superficiales que serán irradiados tanto por radiación fuerte como por radiación débilmente penetrante. Representa el equivalente de dosis en un tejido blando por debajo de un punto específico en el cuerpo a una profundidad d apropiada para radiación débilmente penetrante.

Magnitudes para dosimetría de paciente

Dosis en órganos es indicativa del riesgo radiológico al que se someten los pacientes. Se puede medir con ayuda de dosímetros en órganos superficiales como mama o tiroides.

Dosis absorbida en músculo (DME), es la dosis absorbida en el punto de intersección de la parte central del haz de radiación con la superficie del paciente.

Dosis efectivo colectiva sirve para cuantificar la exposición a la radiación para una población, sin especificar el tiempo en el que se ha recibido esa dosis.

Resumen de unidades

<i>Concepto</i>	<i>Proceso físico</i>	<i>S.I.</i>	<i>Unidades antiguas</i>
Actividad	Desintegración nuclear	Bq	Ci
Exposición	Ionización del aire	R	R
Dosis absorbida	Energía depositada	Gy	Rad
Dosis equivalente	Efecto Biológico	Sv	Rem

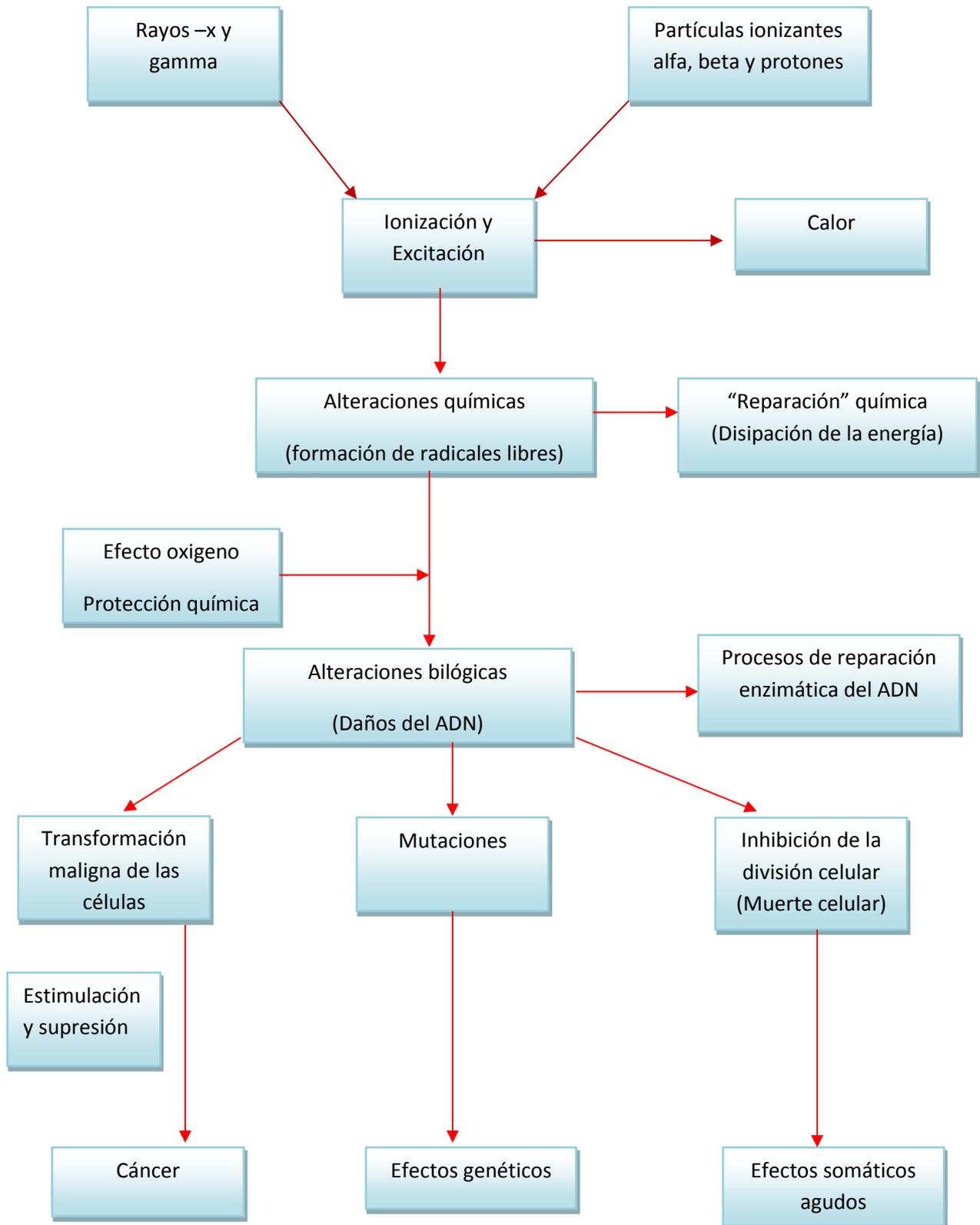
Tasa de dosis

Las unidades de dosis absorbida y dosis equivalente expresan la cantidad total de radiación recibida, por ejemplo, en una operación dada. Sin embargo, para controlar los riesgos por radiación también es necesario conocer la rapidez (razón o tasa) a la cual se recibe la dosis. Para conocer la razón de dosis (D/t), se divide la dosis recibida (D) entre el intervalo de tiempo (t) correspondiente. La dosis total recibida es igual a la razón de dosis multiplicada por el tiempo de exposición.

$$D = (D/T) t.$$

Por ejemplo, si una fuente radiactiva produce a una cierta distancia una razón de dosis de 1 mrem/ hr y una persona permanece en esa posición durante 8 horas, entonces recibirá una dosis total de 8 mrem.

5.5 DOSIS UMBRALES



RADIOSENSIBILIDAD DE TEJIDOS NORMALES Y TUMORES

RADIOSENSIBILIDAD	LESION	MECANISMO
Alta	Linfoides, hematopoyéticas, espermatogénias, folículos ováricos	Leucemia, linfomas, seminoma, disgerminoma
Bastante Alta	Reacciones agudas en los epitelios mucosos y gastrointestinales, folículos pilosos y endotelio. Reacciones tardías en el pulmón y el riñón.	Carcinomas epidermoides de piel, cabeza y cuello, cervix. Adenocarcinoma de mama. Neuroblastoma.
Media	Reacciones tardías en tubo digestivo, endotelio, epitelio glandular de páncreas, epitelio de vejiga, cartílago de crecimiento, hueso y cerebro normal.	Carcinoma de Pulmón, esófago, páncreas, vejiga, meduloblastoma, cáncer de ovario.
Baja	Hueso, cartílago maduro, músculo, nervios periféricos.	Gliomas, grandes sarcomas, melanomas, carcinomas de células renales, osteosarcomas.

SIGNOS Y SINTOMAS

LESIONES RADIOACTIVAS EN DIFERENTES ORGANOS		
ORGANO	LESIONES TEMPRANAS Y TARDIAS	LESIONES EVOLUCIONADAS
Corazón	pericarditis fibrinosa, edema miocárdico, "miocardiopatía radiactiva"	Fibrosis pericárdica, fibrosis intersticial miocárdica.
Riñon	Lesion tubular aguda, esclerosis vascular	Atrofia cortical con esclerosis tubular e hialinizacion glomerular. " nefritis radioactiva crónica"
Vejiga	Lesion aguda del epitelio de revestimiento ("cistitis radiactiva") con ulceración.	Atrofia mucosa persistente, fibrosis de la pared vesical.
Cartílago y hueso	En el feto y el niño, la placa de crecimiento y el hueso son radiosensibles con posible deformación esquelética tardía; en el adulto son radiorresistentes salvo por el posible desarrollo de áreas de necrosis asépticas donde se oblitera el flujo vascular	Osteosarcoma de aparición tardía
Sistema nerviosos central	En fetos en desarrollo, el cerebro embrionario es radiosensibles; el tejido nervioso maduro es radiorresistente	Áreas de desmielinizacion y degeneración de células ganglionares, secundarias a isquemia producida por la radiación
Mama		Cancers de aparición tardía

CATEGORIA	DOSIS RADIOACTIVA TOTAL	PRECOCES	DEFINITIVOS	PRONOSTICO
Subclínica	≤ 200	Náuseas ligeras y vómitos tardíos durante 24 horas o menos; linfocitos < 1500/mm ³	Síntomas prodrómicos desde asintomáticos a mínimos; disminución de neutrófilos y plaquetas en la semana 4 a 5 con dosis mayores	Supervivencia del 100% en adultos sanos: algunas lesiones con dosis mayores.
Hematopeyética (forma leve)	200-400	Náuseas y vómitos intermitentes en casi todos los pacientes durante 2 a 4 o más días; linfocitos < 1000/mm ³	Depleción hematopoyética máxima en tercera semana	Recuperación en 5 a 6 semanas; recuperación completa a los 4 o 6 meses
Hematopeyética (forma grave)	400-600	Complicaciones hematopoyéticas graves; lesión gastrointestinal leve a dosis altas	disminución importante de neutrófilos y plaquetas en 3 a 5 semanas; pueden aparecer signos de infecciones y hemorragias	Mortalidad de 0 a 100 % en casos no tratados; se requiere trasplante de médula ósea y otras medidas de soporte; rara vez mortal con terapia de sustitución adecuada
Gastrointestinal	600-1000	Síntomas prodrómicos graves de náuseas, vómitos y diarreas; dificultad en el tratamiento del paciente; linfocitos < 500mm ³	Ligera recuperación y reaparición de diarrea intensa con pérdida de electrolitos y sangre; neutrófila grave y depleción de plaquetas el día 10 o antes; hemorragia o infección dentro de la primera o tercera semanas	Mortalidad elevada incluso entre los individuos con terapia de sustitución funcional; progresión a shock y muerte en 10 a 14 días; la eficacia del tratamiento de médula ósea no está aún evaluada
Sistema nervioso central	≥ 1000	Náuseas y vómitos intratables e intensos; síntomas del sistema nervioso central; sensación de quemazón a la exposición y confusión; ausencia de linfocitos	Recuperación parcial; después confusión progresiva y shock; lesión del sistema nervioso central	100% de mortalidad independientemente de la terapia administrada; muerte en 14 a 36 horas; protocolo de tratamiento medular indicado

5.6 RADIOPROTECCION

5.6.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo científico y tecnológico ha sido fuente de inestimables beneficios para la salud y el bienestar de la sociedad. Pero, a la vez, ha dado lugar a nuevos factores de riesgo para la salud de las personas. La necesidad de no dejar de aprovechar los beneficios y, al mismo tiempo, evitar o reducir los posibles perjuicios asociados ha conducido al desarrollo de la protección del medio ambiente y del medio laboral. La protección radiológica se inscribe en ese conjunto como una disciplina orientada a promover la protección de las personas contra los riesgos derivados del empleo de fuentes de radiaciones ionizantes.

El marco básico de la protección radiológica tiene necesariamente que incluir valoraciones tanto de tipo social como científico, porque la finalidad principal de la protección radiológica es proporcionar un nivel adecuado de protección para el hombre, sin limitar indebidamente las prácticas beneficiosas provenientes de la exposición a la radiación.

Dado que existen umbrales para los efectos deterministas, es posible evitar dichos efectos restringiendo las dosis recibidas por las personas.

No es posible, sin embargo, evitar del todo los efectos estocásticos debido a que no es posible fijar un umbral para ellos. La finalidad del marco básico de la protección radiológica es evitar la aparición de efectos deterministas manteniendo las dosis por debajo de los umbrales aplicables, y asegurar que se toman las acciones razonables para reducir la inducción de efectos estocásticos.

Las exposiciones a las radiaciones ionizantes se clasifican, según la relación entre la fuente y las personas, en tres tipos diferentes, conocidos como ocupacional, médica y de público.

-Exposición ocupacional: es la recibida en el lugar de trabajo y principalmente como consecuencia del trabajo.

-Exposición médica: consiste principalmente en la exposición de las personas como parte de su diagnóstico o tratamiento.

-Exposición del público: incluye todas las demás exposiciones.

Prácticas e Intervenciones

Se han desarrollado criterios aplicables a dos tipos de circunstancias totalmente diferentes desde el punto de vista de la posibilidad de controlar las causas que originan las exposiciones de las personas. Éstas son:

-Prácticas

Se entiende por práctica a toda tarea con fuentes de radiación que produzca un incremento real o potencial de la exposición de personas a radiaciones ionizantes, o de la cantidad de personas expuestas.

-Intervenciones

Esta expresión se aplica al conjunto de acciones que corresponde adoptar cuando las personas reciben, o pueden recibir, dosis de radiación que se originan en causas no controlables, preexistentes al momento de decidir la acción. Es el caso de accidentes ya desencadenados y ciertas situaciones de exposición natural. Estas acciones pueden contribuir a disminuir las dosis de radiación que habrán de recibir las personas a partir del momento en que se decide la intervención.

Esta distinción entre prácticas e intervenciones es muy importante debido a que los criterios a aplicar en cada caso son distintos.

La radiología diagnóstica y la producción de radioisótopos son ejemplos de prácticas.

Modificaciones en las viviendas existentes con el objeto de reducir la concentración de radón es un ejemplo de intervención.

5.6.2 CRITERIOS BÁSICOS DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Los criterios básicos en que se apoya la seguridad radiológica establecen que las prácticas que utilicen radiaciones ionizantes deben estar justificadas, que la protección radiológica debe ser optimizada, que deben respetarse los límites y restricciones de dosis establecidos y que la probabilidad de accidentes -exposiciones potenciales- debe ser mínima. A continuación se exponen los 3 criterios.

➤ JUSTIFICACIÓN DE LA PRÁCTICA

Ninguna práctica con radiaciones ionizantes debe ser autorizada si no existen evidencias de que la misma producirá, para los individuos o la sociedad, beneficios que compensen el posible detrimento que puedan generar.

Se trata de un principio que evalúa el beneficio y el detrimento colectivos asociados con la práctica y su aplicación conduce a impedir la utilización de fuentes de radiación con fines superfluos.

En la consideración del detrimento posible debe tenerse en cuenta no solamente el detrimento asociado con la operación normal de las instalaciones sino también el que pueda derivarse de posibles accidentes.

➤ OPTIMIZACIÓN DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Una vez que una práctica ha sido justificada y adoptada, es necesario considerar cómo utilizar mejor los recursos disponibles para reducir el riesgo de las radiaciones para los individuos y la población. El objetivo principal debería ser asegurar que tanto la magnitud de las dosis individuales tales como el número de personas expuestas y la probabilidad de recibir exposiciones, cuando no haya una certeza de ser recibida, se mantengan tan bajas como razonablemente sea alcanzable, teniendo en cuenta factores económicos y sociales.

Habría que considerar las interacciones que pudiera haber entre estas diferentes magnitudes.

Si la reducción del detrimento en un paso dado se puede conseguir sólo mediante un despliegue de recursos desproporcionados respecto a la reducción de dosis a conseguir, dicho paso no será de interés para la sociedad, siempre y cuando se haya asegurado la protección adecuada de los individuos. En este caso, la protección se podrá considerar como optimizada.

Este procedimiento también se debería aplicar a la hora de revisar prácticas ya existentes.

➤ **LÍMITES Y RESTRICCIONES DE DOSIS**

La exposición de los individuos que resulte de la combinación de todas las prácticas debe estar sujeta a límites de dosis o a algún mecanismo de control del riesgo a la salud, en el caso de las exposiciones potenciales. La finalidad de tales controles es asegurar que ningún individuo esté expuesto a riesgos de irradiación considerados inaceptables, en circunstancias normales. Esto asegura que los efectos deterministas serán evitados y que la probabilidad de sufrir efectos estocásticos será suficientemente baja.

Trabajadores ocupacionalmente expuestos

Los límites de dosis para la exposición ocupacional son los siguientes:

-El límite de dosis efectiva es 20 milisievert en un año. Este valor debe ser considerado como el promedio en 5 años consecutivos (100 milisievert en 5 años), no pudiendo excederse 50 milisievert en un único año.

-El límite de dosis equivalente es 150 milisievert en un año para el cristalino del ojo y 500 milisievert en un año para la piel.

Para verificar el cumplimiento de los límites de dosis citados se suma la dosis equivalente efectiva anual debida a la exposición externa y la dosis equivalente efectiva comprometida debida a la incorporación de material radiactivo en el cuerpo, durante ese año.

La Autoridad Regulatoria puede establecer en la autorización o licencia de operación, restricciones de dosis para la exposición ocupacional, las cuales actúan restringiendo el proceso de optimización.

Menores de edad

No se admite la exposición ocupacional de menores de 18 años, excepto para estudiantes de 16 a 18 años, que en sus estudios requieran el uso de fuentes radiactivas. En este caso la norma AR 10.1.1. establece un límite anual de dosis efectiva de 6 mSv y un límite anual de dosis equivalente de 50 mSv para el cristalino y 150 mSv para la piel.

Embarazadas

No se recomienda ningún límite de exposición ocupacional especial para la mujer, excepto en el caso de mujeres embarazadas. Se deben cumplir requisitos especiales para proteger al embrión, una vez declarado el estado de gravidez. La trabajadora tan pronto conoce que está embarazada debe notificarlo inmediatamente al responsable de la instalación o práctica.

El objetivo es que el feto no exceda el límite correspondiente para miembros del público.

Desde el momento que se declara la gravidez, las condiciones de trabajo deben ser tales que resulte altamente improbable que la dosis equivalente individual, en la superficie del abdomen exceda 2 mSv, y que la incorporación de cada radionúclido involucrado exceda 1/20 del límite anual de incorporación respectivo, durante todo el período que resta del embarazo.

Se debe cumplir que:

La utilización de esta restricción de dosis, relacionada con la fuente, conjuntamente con el criterio de optimización serían suficientes para garantizar el empleo de mujeres embarazadas sin necesidad de restricciones específicas adicionales. Sin embargo, es recomendable que las mujeres en estado de embarazo sean excluidas de tareas que impliquen una probabilidad significativa de recibir dosis e incorporaciones accidentales altas.

Restricciones de dosis

Para una instalación en particular, es necesario restringir las dosis en los individuos más expuestos con la finalidad de dejar un adecuado margen para la contribución de otras fuentes de radiación. Por lo tanto, los límites no deben interpretarse como objetivos a alcanzar.

Las restricciones de dosis son valores de dosis individual relacionados con la fuente los cuales se utilizan para limitar las opciones consideradas en el proceso de optimización. En muchas actividades se pueden establecer con certeza los valores de dosis individuales que recibirán los trabajadores en operaciones bien definidas; en estos casos es posible establecer restricciones de dosis que se aplicarán a la actividad laboral en cuestión.

La actividad para la cual se establece una restricción de dosis debe ser definida en términos amplios. Por ejemplo: trabajos realizados con generadores de rayos x, operación rutinaria de una dada instalación, etc.

Límites de dosis para miembros del público

El control de la exposición del público debido a situaciones normales se realiza mediante la aplicación de controles sobre la fuente, más que sobre el ambiente. Estos controles se logran eficientes, restringiendo adecuadamente las dosis resultantes, y utilizando límites autorizados de descarga para cada instalación en particular.

Actualmente, la norma AR 10.1.1. recomienda un límite de exposición del público, expresado en términos de dosis efectiva, de 1 mSv en un año. No obstante, en circunstancias especiales se podrá permitir un valor más alto de dosis efectiva en un año, siempre que el valor promedio en 5 años no supere 1 mSv.

El cumplimiento del límite de dosis efectiva de 1 mSv en un año garantiza la no ocurrencia de efectos deterministas. No obstante, la norma AR 10.1.1. establece límites anuales de dosis equivalente de 15 mSv para el cristalino y 50 mSv para la piel, promediado sobre cualquier área mayor de 1 cm², independientemente de la zona expuesta.

Los límites de dosis para miembros del público se aplican a la dosis promedio en el grupo crítico, esto es, al grupo de la población representativo de las personas más expuestas a una dada fuente de radiación.

El alcance de los límites de dosis en la exposición del público se limita a las dosis recibidas como consecuencia de prácticas. El radón en las viviendas y al aire libre, los materiales radiactivos naturales o artificiales ya presentes en el ambiente, y otras fuentes naturales están fuera del alcance de los límites de dosis para protección del público; estas situaciones deben ser analizadas con los criterios de intervención.

Consideraciones particulares para las exposiciones médicas

Los conceptos anteriores explicados son aplicables tanto a la exposición ocupacional como a la del público.

No es posible establecer límites de dosis para la exposición de los pacientes, pues en cada circunstancia el balance entre el riesgo y el beneficio es diferente. Dado que el beneficio y el riesgo están referidos a la misma persona no deberían presentarse situaciones de inequidad. Es una responsabilidad médica determinar si los procedimientos radiológicos están justificados en cada caso individual y de los respectivos especialistas decidir las condiciones en que deberá efectuarse.

Los procedimientos de diagnóstico con fuentes de radiaciones ionizantes deben ser realizados empleando todos los medios posibles para reducir la exposición innecesaria al paciente sin afectar la calidad de la imagen; en esto consiste la optimización.

La Comisión Internacional en Protección Radiológica, en su publicación N° 60 expresa que: “Dado que en la mayoría de los procedimientos que producen exposiciones médicas son claramente justificados, y que estos suelen beneficiar directamente al individuo expuesto, se ha prestado menos atención a la optimización de la protección contra exposiciones médicas que a la de la mayoría de las demás aplicaciones de las fuentes de radiación. Por consiguiente, existen amplias oportunidades de reducir las dosis en la radiología diagnóstica. Existen métodos sencillos y de bajo costo que permiten reducir las dosis sin perder información diagnóstica, aunque la medida en que estos métodos se utilizan varía mucho. Las dosis resultantes de investigaciones similares cubren intervalos de hasta dos órdenes de magnitud. Se debería considerar el

uso de restricciones de dosis, o niveles de investigación, seleccionados por la autoridad profesional o reguladora apropiada, para su aplicación a los procedimientos diagnósticos comunes. Estas restricciones se deberían aplicar con cierta flexibilidad, con el fin de permitir dosis cuando así lo indique una fundada valoración clínica”.

5.7 TEORIA DE LOS RADICALES LIBRES

Un radical libre es una estructura química capaz de existir independientemente, de vida media corta y que posee uno o más electrones desapareados en su orbital mas externo. Los radicales libres pueden formarse por la ruptura de un enlace molecular. Una vez formados, pueden iniciar un variado número de reacciones que se producen en cadena.

5.7.1 INTRODUCCION

Estrés oxidativo se da por desequilibrio entre la producción de especies reactivas del oxígeno y la capacidad de un sistema biológico de detoxificar rápidamente los reactivos intermedios o reparar el daño resultante. Todas las formas de vida mantienen un entorno reductor dentro de sus células. Este entorno reductor es preservado por las enzimas que mantienen el estado reducido a través de un constante aporte de energía metabólica. Desbalances en este estado normal redox pueden causar efectos tóxicos a través de la producción de peróxidos y radicales libres que dañan a todos los componentes de la célula, incluyendo las proteínas, los lípidos y el ADN.

En el ser humano, el estrés oxidativo está involucrado en muchas enfermedades, como la aterosclerosis, la enfermedad de Parkinson, encefalopatía mialgia, sensibilidad química múltiple, periodontitis, y la enfermedad de Alzheimer y también puede ser importante en el envejecimiento y mutaciones. Las especies reactivas de oxígeno también pueden resultar beneficiosas ya que son utilizadas por el sistema inmunitario como un medio para atacar y matar a los patógenos.

La molécula de oxígeno O₂ puede reducirse secuencialmente según las siguientes reacciones:



2. $O_2^- + e^- + 2 H^+ \rightarrow H_2 O_2$. Peróxido de hidrogeno.

3. $H_2 O_2 + e^- + H^+ \rightarrow H_2 O + OH\cdot$. Radical hidroxilo.

4. $OH\cdot + e^- + H^+ \rightarrow H_2 O$

5.7.2 PRODUCCIÓN DE ESPECIES OXÍGENO ACTIVAS EN LOS TEJIDOS

La producción de radicales libres de oxígeno se puede llevar a cabo en los sistemas biológicos mediante:

1. La acción de radicales sobre moléculas como el retinol, la riboflavina, la clorofila o la bilirrubina.
2. Las reacciones REDOX con metales de transición como el Fe.
3. Las reacciones REDOX catalizadas por enzimas.

Fuentes exógenas y endógenas de radicales libres de oxígeno

Las fuentes que proceden del medio exterior al organismo son múltiples y variadas. Podemos destacar inflamaciones, el humo del tabaco, el exceso de ejercicio físico, los contaminantes atmosféricos (SO_2 , NO_2), las radiaciones ionizantes y ultravioleta, ciertos medicamentos como anestésicos, antimicrobianos y citostáticos.

Daño radicalario a los ácidos nucleídos

El daño radicalario a los ácidos ADN y ARN implica la posible aparición de cáncer. Se sabe que el radical más activo sobre estas moléculas es el $OH\cdot$. Mutaciones y muerte celular se asocian a las reacciones de radicales libres con el ADN. Se conoce que los lugares más sensibles del ADN son: pirimidinas (timina y citosina), purinas (adenina y guanina), y el monosacárido desoxirribosa.

La exposición del ADN a los radicales libres de oxígeno puede provocar la ruptura de las cadenas de este ácido nucleico, o bien generan sitios apurínicos o apirimidínicos. Asimismo, e indirectamente la rotura de las hebras de ADN puede deberse a la

activación de endonucleasas (proteasas y fosfolipasas) mediante el calcio, debido a una alteración de la homeostasis de este ion divalente por daño a los canales de calcio de la membrana celular.

También el ADN mitocondrial es un blanco muy sensible a los radicales de oxígeno reactivos, ya que la mitocondria es la principal fuente de aniones superóxido y de agua oxigenada.

5.8 RADIOSENSIBILIDAD

Se entiende por radiosensibilidad, a la sensibilidad que tienen los diferentes tejidos y células a las radiaciones ionizantes.

- Células muy radiosensibles: Son las células que se reproducen mucho: linfocitos, linfoblastos, espermatogonias, y mieloblastos.
- Células relativamente radiosensibles: mielocitos, células basales de la epidermis, células de las criptas intestinales.
- Células de radiosensibilidad intermedia: células endoteliales, osteoblastos, espermatoцитos.
- Células relativamente radiorresistentes: granulocitos, espermatozoides.
- Células muy radiorresistentes: fibrocitos, condrocitos, células musculares y nerviosas.

Los factores que influyen sobre la radiosensibilidad de las células son 4 y se explican a continuación:

- 1- Actividad mitótica: en los organismos multicelulares las células que se dividen de manera activa son más radiosensibles que las que no se dividen
- 2- El estado de mitosis: el aumento de la sensibilidad comienza en la profase, aumenta durante la sedimentación y migración del núcleo segmentado y alcanza un primer máximo antes de la división. La radiosensibilidad vuelve entonces a descender, y aumenta luego hasta un segundo máximo durante el estadio de gástrula. El aumento de la radiosensibilidad durante la mitosis podría explicarse por el hecho de que la cromatina expone una superficie mayor a la acción de la radiación durante la mitosis.

3- El grado de diferenciación: en líneas generales las células embriológicas e inmaduras son más radiosensibles que las adultas a las que dan lugar.

4- Metabolismo: el aumento del metabolismo celular va acompañado por un aumento de la radiosensibilidad.

Los factores que influyen sobre la radiosensibilidad de las células y sus tejidos fueron reconocidos en 1906 por dos científicos franceses, en honor de los cuales el resumen de estos hechos se denomina ley de Bergonié y Tribondeau, donde se explica que la radiosensibilidad de un tejido es proporcional a su capacidad reproductora e inversamente proporcional a su grado de diferenciación.

Carcinogénesis por radiación

La energía radiante, sea en forma de luz ultravioleta del sol o como radiación ionizante electromagnética o de partículas, puede transformar prácticamente todos los tipos celulares in vitro e inducir neoplasias in vivo tanto en seres humanos como en animales de experimentación. La luz ultravioleta está causalmente implicada de forma clara en los cánceres de piel, y las radiaciones ionizantes de origen médico, ocupacional, lamentablemente, liberadas por bombas atómicas, han producido diversas formas de neoplasia maligna.

Aunque la contribución de la radiación a la carga total de cáncer en seres humanos es probablemente pequeña, con el tiempo de latencia de la energía radiante y su efecto acumulativo se hacen necesarios períodos de observación extremadamente prolongadas, y dificultan la determinación de su significado total. Sólo con el paso de los años se ha hecho evidente, el aumento de la incidencia de cáncer de mama en las mujeres expuestas durante la infancia a la bomba atómica.

5.9 ANTIOXIDANTES

5.9.1 INTRODUCCIÓN

Un antioxidante es aquella sustancia que presenta bajas concentraciones respecto a la de un sustrato oxidable (biomolécula) que retarda o previene su oxidación. Los antioxidantes que se encuentran naturalmente en el organismo y en ciertos alimentos pueden bloquear parte de este daño debido a que estabilizan los radicales libres.

Son sustancias que tienen la capacidad de inhibir la oxidación causada por los radicales libres, actuando algunos a nivel intracelular y otros en la membrana de las células, siempre en conjunto para proteger a los diferentes órganos y sistemas.

5.9.2 EFECTOS ANTITUMORALES DE LOS ANTIOXIDANTES

El cáncer es el resultado de la progresiva acumulación de alteraciones genéticas que llevan a una proliferación acelerada, desordenada y descontrolada de células de un tejido que invaden y desplazan, localmente y a distancia, otros tejidos sanos del organismo. Para que un tumor adquiera malignidad debe adquirir una serie de características entre las que se destacan, entre otras, la capacidad de crecimiento independiente de los factores de crecimiento, la capacidad invasiva y la capacidad de evadir la apoptosis (muerte celular programada).

La aparición de un cáncer no se debe a un único factor sino a la combinación de varios factores que se dividen en la herencia genética y el ambiente.

La primera conexión entre el cáncer y la genética se propuso a principios del siglo XX, y esta idea ha servido como una de las bases de su investigación.

La incidencia del cáncer está determinada por factores etiológicos, como la inestabilidad genómica, los factores dietéticos, y por la susceptibilidad individual.

Debido a su crecimiento descontrolado, muchos tumores sólidos deben progresar bajo condiciones de hipoxia.

El metabolismo mitocondrial guarda una estrecha relación con la progresión del tumor, no solo a nivel energético, sino debido a la generación de especies reactivas de oxígeno (radicales).

Durante el metabolismo aerobio se generan pequeñas cantidades de radicales como radical hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), anión superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2), indispensables en muchos procesos.

La producción de radicales por parte de la mitocondria puede ser entendida como una espada de doble filo ya que por una parte ha sido descrito un aumento en el estrés oxidativo en las células tumorales debido seguramente a un malfuncionamiento de la mitocondria, que podría provocar un aumento en la tasa de mutación y así inducir malignidad.

Por otra parte, dado que la generación de radicales puede desencadenar el proceso apoptótico, este mecanismo ha sido propuesto para el tratamiento del cáncer.

El incremento de la formación de compuestos de oxígeno altamente reactivos nombrados anteriormente se ha descrito, además de el cáncer, en un gran número de enfermedades que van desde los procesos inflamatorios y alteraciones del sistema inmunológico hasta infartos de miocardio.

Los radicales libres se generan *in vivo* como subproductos del metabolismo normal.

También se producen cuando un organismo está expuesto a la radiación ionizante o a drogas con propiedades oxidantes.

Los radicales libres afectan prácticamente todos los aspectos de la biología celular ya que pueden reaccionar y modificar un gran número de moléculas que constituyen el material estructural, metabólico y genético de la célula. Además a los radicales formados a partir del oxígeno se les atribuye la capacidad promover la carcinogénesis.

Para todo esto, la célula tiene mecanismos de protección para defenderse de los radicales libres pero el incremento de estos, puede sobresaturar los sistemas de defensa celulares y pueden producirse daños irreparables en la célula que conduzcan a su muerte o a la pérdida del control de proliferación y su conversión en célula tumoral.

Los sistemas de desintoxicación que tiene la propia célula para desintoxicarse se denomina sistemas antioxidantes de defensa.

Estas poseen un impresionante aparato antioxidante enzimático y de moléculas antioxidantes, la mayoría derivados de vegetales y frutas que neutralizan los radicales libres.

Las defensas antioxidantes enzimáticas incluyen a:

- Superóxidodismutasa (SOD): enzima que neutraliza al radical Superóxido $O_2^{\cdot-}$ en H_2O_2 .

Existen 3 formas de SOD en el humano: La citosólica Cu, Zn-SOD; la mitocondrial Mn-SOD y la SOD extracelular, todas codificadas y reguladas independientemente.

- La Catalasa y la Glutación peroxidasa (GPX) convierten al H_2O_2 en agua.
- Antioxidantes hidrofílicos: Ascorbato, Uratos y Glutación (GSH)
- Antioxidantes lipofílicos: Tocopheroles, flavonoides, carotenoides y ubiquinol.
- Enzimas reconstituyentes de electrones de las formas oxidadas de los antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos entre ellas: GSH reductasa, dehidroascorbato reductasa.
- Enzima responsable del mantenimiento del grupo tiol de las proteínas (Thioredoxina reductasa)

Estas enzimas antioxidantes y moléculas antioxidantes neutralizan la mayor parte de los radicales libres generados. Sin embargo cuando la neutralización no llega a ser total queda una fracción de estos libres y activos. Los Hidroxilos libres alcanzan a dañar la membrana mitocondrial lipídica muy rápido y al ADN causando mutaciones en sus cadenas. El Superóxido libre daña la membrana de la mitocondria y retarda el proceso oxidativo de respiración mitocondrial, ambos fenómenos ocasionan el envejecimiento mitocondrial.

5.10 NUTRICION Y VIDA SANA

La nutrición es la ciencia que estudia los procesos fisiológicos y metabólicos que ocurren en el organismo con la ingesta de alimentos.

Muchas enfermedades comunes y sus síntomas frecuentemente pueden ser prevenidas o aliviadas con una determinada alimentación; por esto, la ciencia de la nutrición intenta entender cuáles son los aspectos dietéticos específicos que influyen en la salud.

El propósito de la ciencia de la nutrición es explicar la respuesta metabólica y fisiológica del cuerpo ante la dieta. Con los avances en biología molecular, bioquímica y genética, la ciencia de la nutrición está profundizando en el estudio del metabolismo, investigando la relación entre la dieta y la salud desde el punto de vista de los procesos bioquímicos. El cuerpo humano está hecho de compuestos químicos tales como agua, aminoácidos (proteínas), ácidos grasos (lípidos), ácidos nucleídos (ADN/ARN) y carbohidratos (por ejemplo azúcares y fibra).

Una alimentación adecuada es la que cubre:

- Los requisitos de energía a través de la metabolización de nutrientes como los carbohidratos, proteínas y grasas. Estos requisitos energéticos están relacionados con el gasto metabólico basal, el gasto por la actividad física y el gasto inducido por la dieta.
- Las necesidades de micronutrientes no energéticos como las vitaminas y minerales.
- La correcta hidratación basada en el consumo de bebidas, en especial el agua.
- La ingesta suficiente de fibra dietética.

Existen seis clases de nutrientes que el cuerpo necesita: carbohidratos, proteínas, grasas, vitaminas, minerales y agua. Es importante consumir diariamente esos seis nutrientes para construir y mantener una función corporal saludable.

Una salud pobre puede ser causada por un desbalance de nutrientes ya sea por exceso o deficiencia. Además la mayoría de los nutrientes están involucrados en la señalización de células (como parte de bloques constituyentes, de hormonas o de la cascada de señalización hormonal), deficiencia o exceso de varios nutrientes afectan indirectamente la función hormonal. Así, como ellos regulan en gran parte, la expresión de genes, las hormonas representan un nexo entre la nutrición y nuestros genes, que son expresados

en nuestro fenotipo. La fuerza y naturaleza de este nexo están continuamente bajo investigación pero observaciones recientes han demostrado el rol crucial de la nutrición en la actividad y función hormonal y por lo tanto en la salud.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) propone a la nutrición como uno de los pilares de la salud y el desarrollo. En personas de todas las edades una nutrición acorde a las necesidades fisiológicas permite reforzar el sistema inmunitario contraer menos enfermedades.

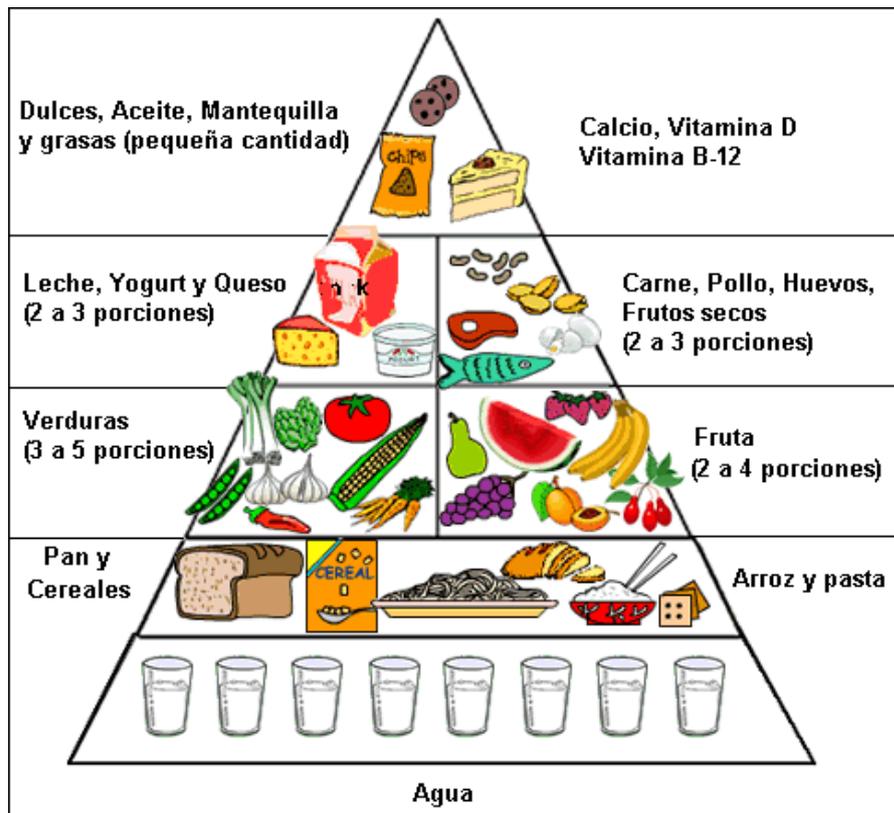
Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) los niños sanos aprenden mejor. La gente sana es más fuerte, más productiva y está en mejores condiciones de romper el ciclo de pobreza y desarrollar al máximo su potencial.

A consecuencia del alza de los precios de los alimentos y el descenso de la productividad agrícola, la seguridad alimentaria en el mundo está cada vez más amenazada, lo que podría llevar a un aumento de la desnutrición. Por el contrario, algunas poblaciones se enfrentan a un notable aumento de la obesidad.

El verdadero reto para la OMS y OPS hoy en día es la deficiencia de micronutrientes (vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales) que no permiten al organismo asegurar el crecimiento y mantener sus funciones vitales.

Una mala alimentación también provoca daños bucales, debido a que en el momento en que el cuerpo deja de recibir los nutrientes necesarios para la renovación de los tejidos, la boca se vuelve más susceptible a las infecciones.

A continuación se presenta un grafico de la pirámide alimenticia básica.



A continuación se presenta la elipse alimenticia que de a poco va reemplazando la pirámide nutricional. Esta elipse es aceptada por el Ministerio de salud de la Nación".



MATERIAL Y METODOS

Se diseñó un estudio no-experimental, descriptivo y transversal con un plan que permitiera cubrir los tiempos estimados de la investigación.

Para llevar adelante el estudio se confeccionó una encuesta a los Productores de Bioimagenes de la ciudad de Paraná y se solicitó una entrevista con la Jefa del Departamento de Diagnostico por Imágenes de Salud Publica de Entre Ríos, Lic. Migoni.

Los efectores de salud, tanto públicos como privados, donde se desarrolló la encuesta fueron:

Hospital San Martin, Sanatorio La Entrerriana S.A, Clínica Modelo S.A, Hospital San Roque, Instituto de Traumatología y Enfermedades Oseas S.R.L, Instituto Uranga, Instituto de Cardiología de Entre Ríos, Centro de Diagnostico Mamario Ecografía y Radiología General Dra., Rina Amuchástegui. Centro de Radioterapia UNITER.

Los datos obtenidos, se procesaron y ordenaron en planilla de cálculo para su posterior análisis. Con la información obtenida, se establecieron datos porcentuales sobre la difusión del uso de antioxidantes y su efecto radioprotector, por parte de salud pública entre los productores de Bioimagenes.

TIPO DE ESTUDIO

El estudio se lleva a cabo en la ciudad de Paraná Entre Ríos durante los meses de julio, agosto y septiembre de 2013, entre los Productores de Bioimagenes de distintas instituciones, abarcando a todos los profesionales que puedan estar relacionadas con la producción de Bioimagenes, y que a la vez se desempeñan en distintas actividades.

Se eligió confeccionar planilla de cálculo para cuantificar el interes que genera una mejora en la difusión del uso de antioxidantes y se vuelca la información en graficos estadísticos.

VARIABLES

La variable en cuestión en este estudio fué la difusión del uso de los antioxidantes y su efecto radioprotector.

AMBITO DE ESTUDIO

La ciudad de Paraná es la capital de la provincia de Entre Ríos en la República Argentina, se encuentra situada en el centro-este del país sobre el margen izquierdo del río Paraná. Tiene una superficie de 173 mil Km² y una población de 247.863 habitantes según el censo del año 2010. Cuenta con atención de la salud en todos sus niveles.

En la ciudad se desempeñan profesionales de la salud de todas las especialidades, dentro de los cuales se toma para este estudio a los Productores de Bioimágenes que trabajan en los lugares que se mencionaron anteriormente y que se incluyen en la población y muestra. Dichas instituciones médicas se eligen de forma premeditada por ser las que más trabajadores de la ciudad abarca, considerando que algunos trabajan en dos o más lugares.

POBLACION Y MUESTRA

La población con la que se trabaja son los productores de Bioimágenes de la ciudad de Paraná Entre Ríos y la muestra está comprendida entre los 64 voluntarios de las instituciones médicas nombradas a continuación:

Hospital San Martín, Sanatorio La Entrerriana S.A, Clínica Modelo S.A, Hospital San Roque, Instituto de Traumatología y Enfermedades Oseas S.R.L, Instituto Uranga, Instituto de Cardiología de Entre Ríos, Centro de Diagnóstico Mamario Ecografía y Radiología General Dra., Rina Amuchástegui. Centro de Radioterapia UNITER.

Así mismo la persona informante clave en este estudio es la Lic. Migoni jefa del departamento de Diagnóstico por Imágenes de Salud Pública de la Provincia de Entre Ríos.

TECNICA DE RECOLECCION DE DATOS

Se realizó entrevista a la Lic. Migoni Jefa del Departamento de Diagnóstico por Imágenes de Salud Pública de Entre Ríos.

Se confeccionó una encuesta a los Productores de Bioimágenes de la ciudad de Paraná de las instituciones médicas elegidas.

PROCEDIMIENTO

Para la encuesta voluntaria a los Productores de Bioimágenes se accedió a los Jefes de Área de cada lugar, en algunos casos y por tratarse de un ambiente profesional del cual formo parte, se logra de manera informal y en otros se les solicito autorización previa para hacer la encuesta correspondiente.

Para los Productores de Bioimágenes la entrevista apunto a 8 preguntas claves para conocer si estaba difundido el uso de antioxidantes. Las respuestas marcaron un interés claro en que se debería promocionar más el uso de antioxidantes por parte de salud pública.

En el caso de la Lic. Migoni, la entrevista contó con 5 preguntas claves para identificar si se difunde o no el uso de antioxidantes y en la cual todas las respuestas fueron negativas, es decir, que dejaron por sentado que no realizan acciones de este tipo, que no hay programas en los que se incluya una promoción en el consumo de antioxidantes naturales, que no hay tampoco normativas al respecto y que personalmente no se encuentra bien informada sobre este tema, pero que considera que una vez que se conozca sobre los posibles beneficios, muchos Productores de Bioimágenes optarían por comenzar a incorporarlo en su dieta.

ANALISIS DE LOS DATOS

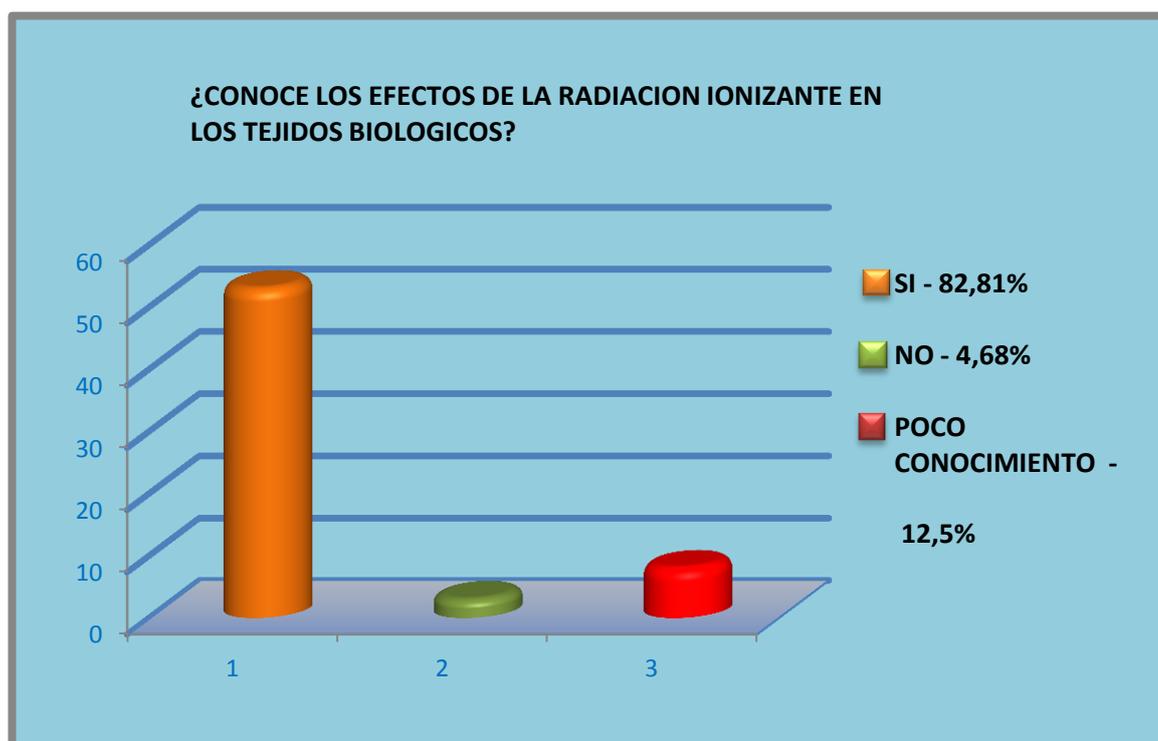
CUANTIFICACIÓN PORCENTUAL DE LAS RESPUESTAS DE LOS PRODUCTORES DE BIOIMAGENES

A continuación se analizan las respuestas de las 64 personas que respondieron voluntariamente a la encuesta planteada para lograr los objetivos de este estudio, la cual se desarrolló en la ciudad de Paraná Entre Ríos entre los Productores de Bioimágenes durante los meses de agosto y septiembre de 2013.

EFFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Una temática que está abordada dentro de los contenidos de la radiobiología y radioprotección, la cual generalmente está muy difundida ya sea, durante la etapa de formación de los profesionales, como en congresos y jornadas de actualización.

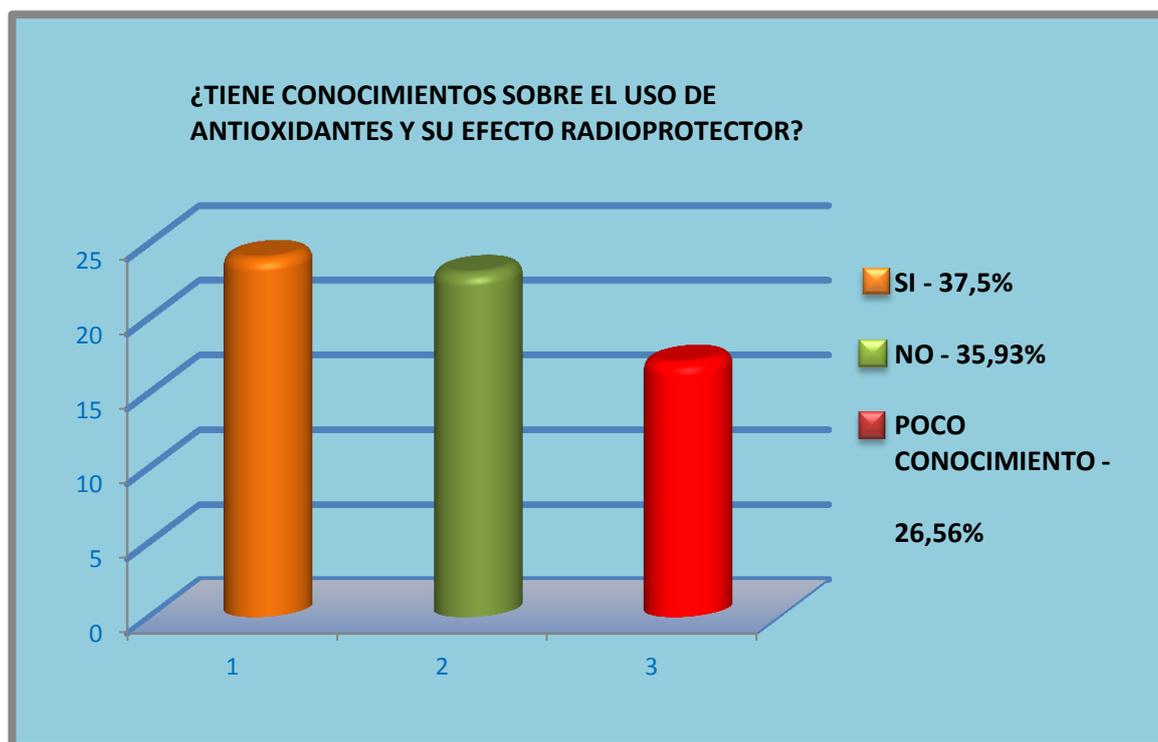
Los datos obtenidos indican que 53 de los encuestados (82,81%) tiene conocimiento sobre los efectos de las radiaciones ionizantes en los tejidos biológicos. El resto de los encuestados, respondió que no tiene conocimiento en 3 ocasiones (4,68%) y poco conocimiento en 8 ocasiones (12,5%)



CUADRO 1

CONOCIMIENTO SOBRE EL USO DE ANTIOXIDANTES Y SU EFECTO RADIOPROTECTOR

Los datos obtenidos indican que del total de los encuestados, 24 respondieron que sí tienen conocimiento sobre el uso de antioxidantes y su efecto radioprotector (37,5%). En los casos que respondieron por no, el número de encuestados fue 23 (35,93%) y quienes manifestaron tener poco conocimiento fueron 17 del total de los encuestados (25,56%)

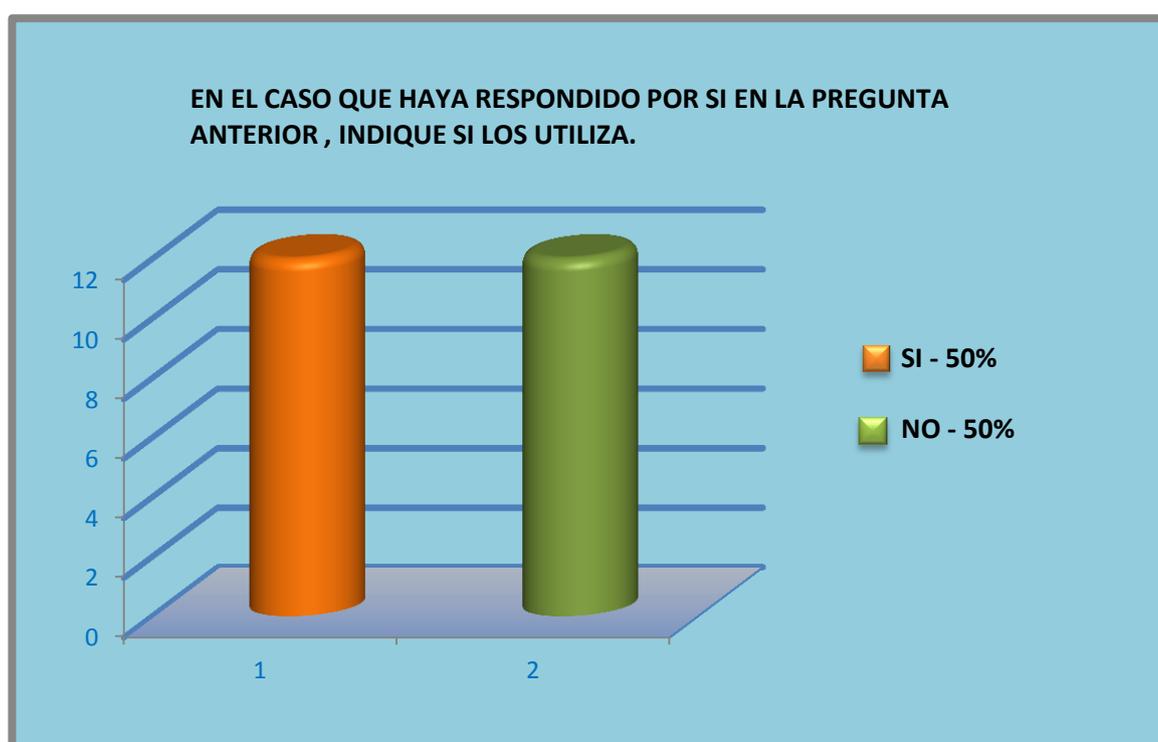


CUADRO 2

PORCENTAJE DE ENCUESTADOS QUE UTILIZA ANTIOXIDANTES

Esta sección de la encuesta esta en relación con el cuadro anterior ya que establece el porcentaje de encuestados que utilizan o no utilizan los antioxidantes, pero en relación al conocimiento que tienen de su efecto radioprotector.

Es decir que, de los 24 encuestados que manifestaron conocer el uso de antioxidantes y su efecto radioprotector, 12 indicaron que los utilizan (50%) y 12 indicaron que no los utilizan (50%).

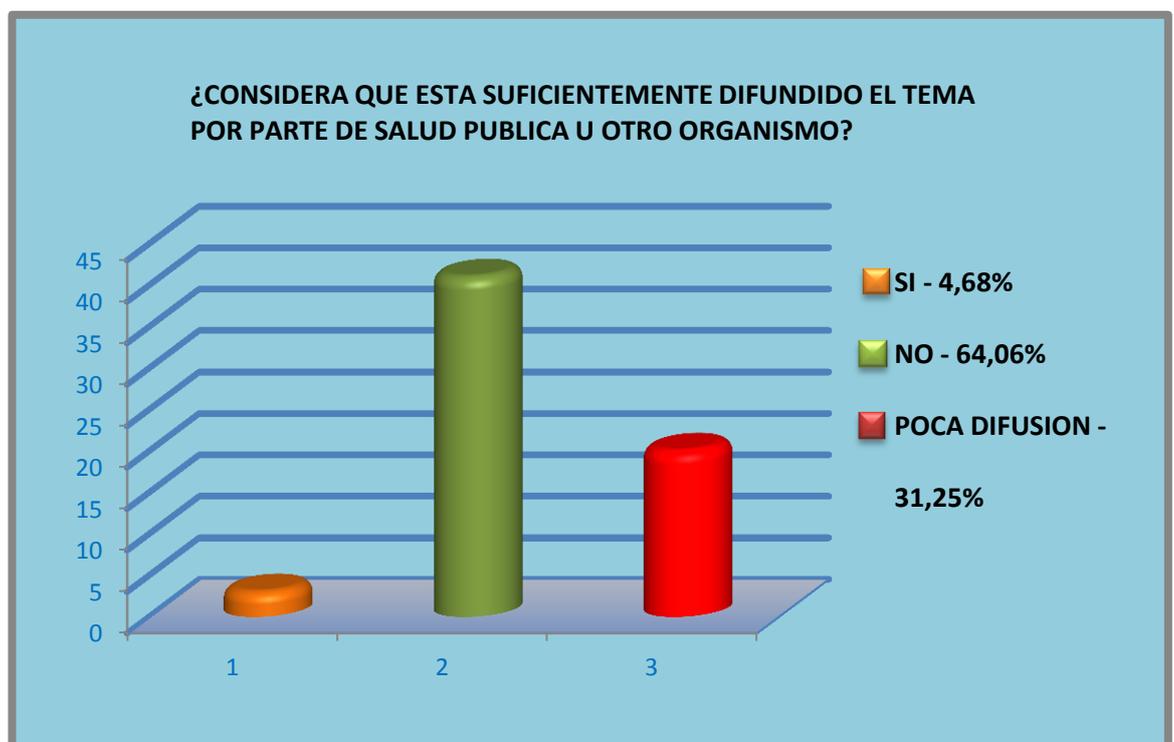


CUADRO 3

DIFUSION

Esta es una pregunta clave en la encuesta ya que está directamente relacionada con el problema planteado para este estudio. También tiene relación con la hipótesis planteada en el proyecto de investigación la cual enunciaba, que el uso de antioxidantes no está lo suficientemente difundido por parte de salud pública.

La interpretación de los datos es la siguiente: el mayor porcentaje de encuestados (64,06%) manifestó que no está lo suficientemente difundido, en total fueron 41 personas. Quienes entienden que la difusión es poca, corresponde a 20 encuestados (31,25%). Y se encontró que 3 de los encuestados manifiesta que sí está lo suficientemente difundido el tema (4,68%)

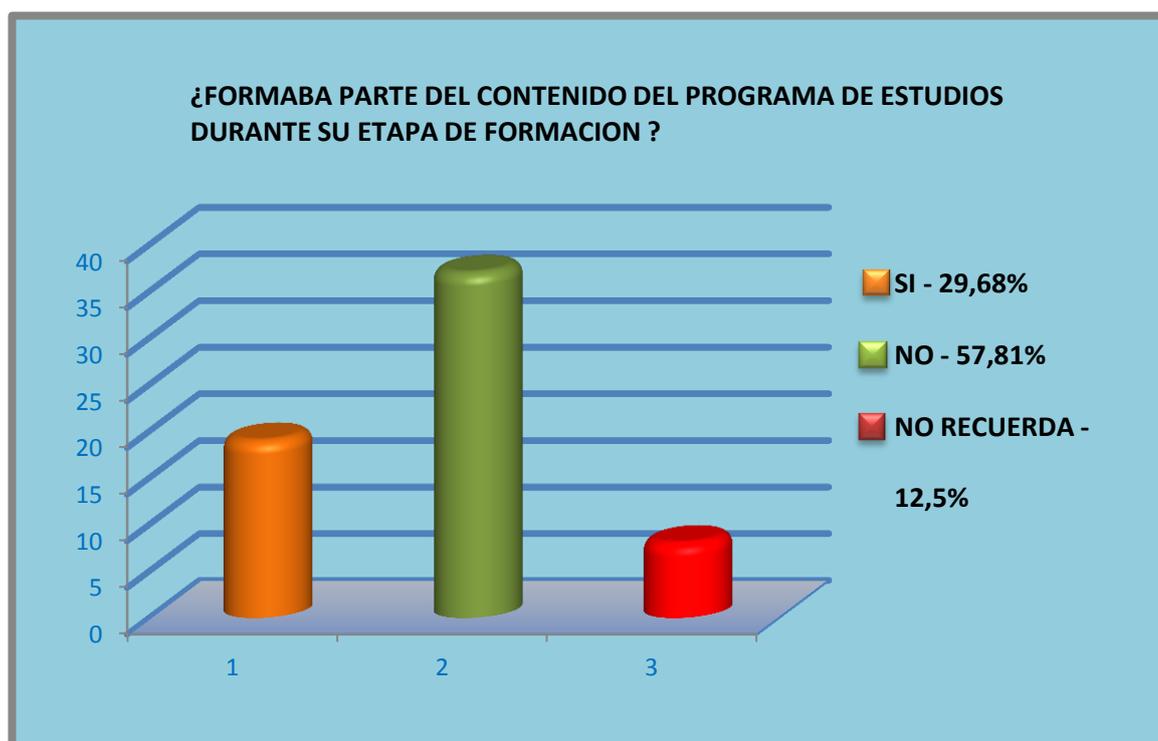


CUADRO 4

ANTIOXIDANTES Y SU EFECTO RADIOPROTECTOR EN LA ETAPA DE FORMACION

En esta sección se interrogó a los encuestados sobre la inclusión de los antioxidantes en su etapa de formación por parte de la institución donde cursaron sus estudios (facultades, institutos de formación, etc.)

En esta tabla, el grafico muestra que el mayor porcentaje que respondió que este tema no formaba parte del contenido del programa de estudios durante su etapa de formación, asciende al 57,81% tratándose de 37 encuestados. Quienes respondieron que sí estaba incluido fueron 19 (29,68%) y los que no recuerdan son 8 encuestados (12,5%).



CUADRO 5

INTERES EN ESTA TEMATICA

Se le realiza una pregunta concreta a los encuestados para valorar el interés que generan estos contenidos.

Se encontró que a 62 de ellos le genera interés tratándose del 96,87% del total. Y el porcentaje a los que no le genera interés fue 3,12 %, tratándose de 2 encuestados.



CUADRO 6

DIFUSION EN CONGRESOS O JORNADAS

Se consulta a los voluntarios que respondieron la encuesta si han participado de congresos o jornadas donde se aborden estos temas, los datos encontrados fueron:

El 32,81% respondió que sí participo (21 encuestados).

El 56,25% respondió que no participo (36 encuestados).

El 10,93% respondió que no recuerda (7 encuestados).

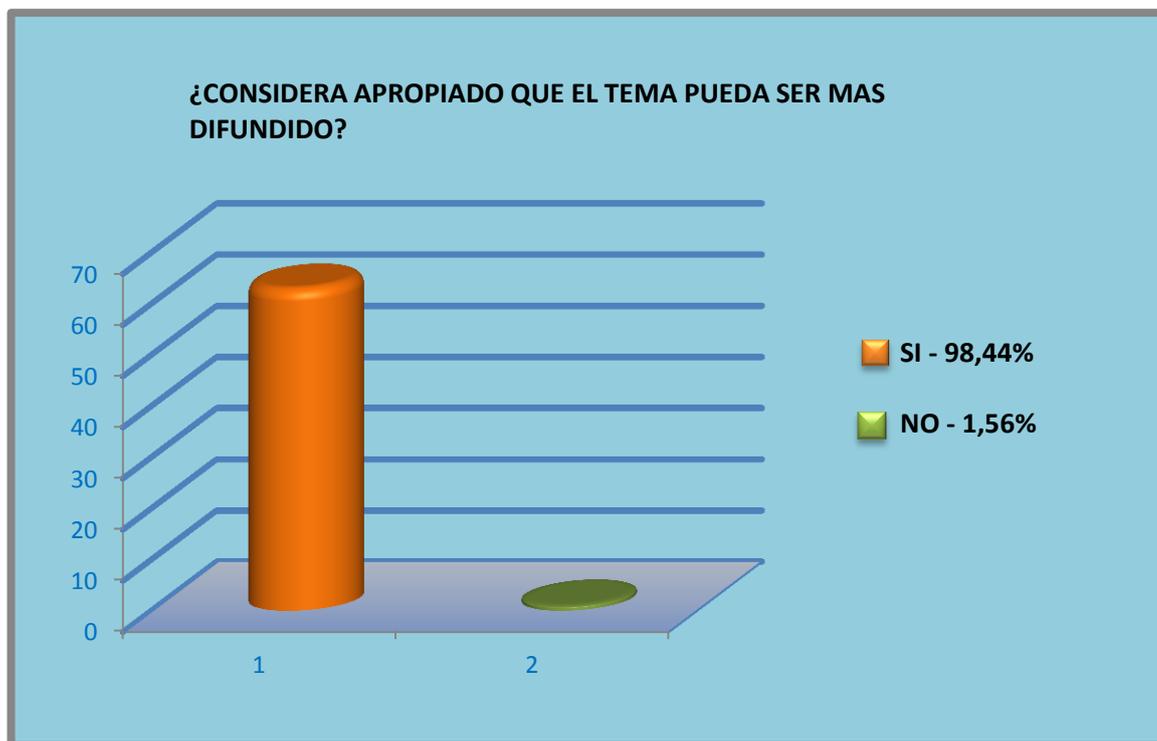


CUADRO 7

INTERES POR UNA MEJOR DIFUSION

En el análisis de los datos referidos al interés de una mejor difusión de esta temática se encontró que a 63 de los encuestados sí le interesa que difunda más el uso de antioxidantes y su efecto radioprotector (98,44%).

Y solo 1 encuestado considera que no es apropiada una mejor difusión (1,56%).



CUADRO 8

CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

El presente estudio ha investigado el rol que cumple de la dirección de salud pública en la difusión del uso de antioxidantes naturales como mecanismo de radioprotección celular en la ciudad de Paraná Entre Ríos, como medida preventiva frente a la acción de la radiación ionizante (radicales libres) en los productores de Bioimágenes.

Dentro de los resultados obtenidos se observó que no existe una investigación con características similares que aborden estos temas en la ciudad de Paraná, que no hay normativas ni programas de promoción sobre una mejora en la alimentación o la incorporación de antioxidantes en la dieta de los Productores de Bioimágenes.

Se demuestra un marcado interés por parte de los trabajadores en que se difunda más el tema, iniciándose en el transcurso de la investigación una planificación por parte de terceros, interesados en el desarrollo y concreción de una jornada de actualización en Diagnóstico por Imágenes donde se presenten estos resultados.

Es digno destacar que la contribución de todas las especialidades en materia de educación a los Productores de Bioimágenes harán nuestra profesión cada día mejor.

Por todo lo expuesto se confirma la hipótesis planteada en el proyecto de investigación aprobado anteriormente a la presentación de este estudio, la cual planteaba que el uso de antioxidantes no está difundido por parte de salud pública.

BIBLIOGRAFIA

- Dominguez-Garcia I. Respuesta adaptativa y papel de enzimas antioxidantes en la protección frente al daño causado por radiación ionizante en células eucarióticas. España 1993. Sitio Web:(<http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/1107>)
- Sánchez, J. C y Benavente-García O. Flavonoides contra las radiaciones. España 2010. Sitio Web: (http://cienciaysalud.laverdad.es/5_5_13.html)
- Baquero H., Guevara G., Giraldo M., Osorio L M. Aberraciones cromosómicas en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes. Colombia 2004. Sitio Web: (http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692727320040001000)
- Bolzán, Alejandro Daniel. Correlación entre enzimas antioxidantes, aberraciones cromosómicas y transformación celular. Argentina 1994. Sitio Web: (http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/_documentos/tesis/0635_Tesis.pdf)
- Alberts B., Bray D., Hopkin K., Johnson A., Lewis J., Raff M., Roberts K., Walter P. 2004. Introducción a la Biología Celular. España. Editorial Panamericana.
- Robbins S. 1996. Patología estructural y Funcional. Madrid. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana.
- Dillenseger J. P., Moerschel E. 2012. Manual para técnicos radiólogos. Francia. Editorial Journal.
- Buchong S. 1993. Manual de Radiología para Tecnólogos. Física, Biología y Protección Radiológica. Quinta edición; Editorial Mosby.
- Bontranger K., Lampignano J. 2010. Posiciones Radiológica y Correlación Anatómica. Séptima Edición. Editorial Elsevier Mosby.
- Diaz Garcia C., de Haro del Moral F. J. 2011. Técnicas de Exploración en Medicina Nuclear. España. Editorial Elsevier Mosby.
- Sanchiz F., Millá A., Valls A., 1994. Tratado de Radioterapia Oncologica. España. Editorial Espaxs S.A.

-Lehninger A., 1984. Bioquímica. España. Editorial Omega S.A.

(13) Ruiz D. F., Varela A. M. 2010. Antioxidante Naturales. Aspectos Saludables, Toxicológicos y aplicaciones industriales.

-De la Fuente Arias M. E. 2004. Manual de Tecnología Nuclear para Periodistas. Edición Foro Nuclear de España. Universidad de Salamanca.

BIBLIOGRAFIA ANEXA DE REVISION

- El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) Sitio web: (www.iaea.org)
- FORO NUCLEAR (Foro de la Industria Nuclear Española). Sitio Web: (www.foronuclear.org)
- CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) Sitio Web (www.csn.es/)
- SOCIEDAD NUCLEAR EUROPEA Sitio Web(www.euronuclear.org)
- Ministerio de Salud de La República Argentina. Sitio Web: (www.msal.gov.ar)
- UNSCEAR, publicaciones. Sitio Web: (www.unscear.org)

ANEXO 1

ENTREVISTA A LA JEFA DEL DEPARTAMENTO DE DIAGNOSTICO POR IMÁGENES LIC. MIGONI

- 1- ¿Cuáles son las acciones que realiza Salud Publica sobre el uso de antioxidantes en los productores de Bioimágenes?

- 2- ¿Existe en la actualidad un programa de promoción sobre el consumo de antioxidantes como mecanismo de radioprotección?

- 3- ¿Considera que los productores de Bioimágenes lo implementarían al conocer sus beneficios?

- 4- ¿Hay normativas sobre este tema?

- 5- ¿Cuál es su opinión personal sobre este tema?

ANEXO 2

ENCUESTA A LOS PRODUCTORES DE BIOIMAGENES

Dirigido a médicos, licenciados, técnicos, enfermeros, auxiliares.

Nota: La presente encuesta tiene como fin reunir información para el trabajo final de investigación del alumno Diego Luis Gómez de la carrera de Licenciatura en Producción de Bioimágenes año 2013-Universidad Abierta Interamericana. La misma es de carácter cualitativo y solo se busca establecer datos porcentuales.

Nombre y apellido (opcional):

Lugar de trabajo:

Nivel de estudios alcanzado: Medico-Licenciado-Técnico-Enfermero-Auxiliar

Tipo de actividad que desempeña y equipos que utiliza:

A continuación indicar con una X o un círculo en la respuesta que corresponda.

1-¿Conoce los efectos de las radiaciones ionizantes en los tejidos biológicos?

- A- Si
- B- No
- C- Poco conocimiento

2-¿Tiene conocimiento sobre el uso de los antioxidantes y su efecto radioprotector?

- A- Si
- B- No
- C- Poco conocimiento

3- En el caso de que haya respondido por si la pregunta anterior indique si los utiliza.

- A- Si
- B- No

4- ¿Considera que está suficientemente difundido el tema por parte de salud pública u otro organismo?

- A- Si
- B- No
- C- Poca difusión

5- ¿Formaba parte del contenido del programa de estudios durante su etapa de formación?

- A- Si
- B- No
- C- No recuerda

6- ¿Le generan interés estos contenidos?

- A- Si
- B- No

7- ¿Ha participado de congresos/jornadas donde se abordaron estos temas?

- A- Si
- B- No
- C- No recuerda

8- ¿Considera apropiado que el tema pueda ser mas difundido?

- A- Si
- B- No

Muchas gracias por su colaboración.

ANEXO 3

Los anexos que se presentan son extraídos de los sitios web de los organismos públicos que se encargan de la promoción y prevención de la salud en materia de enfermedades relacionadas con la alimentación y nutrición.

LEYES, ORDENANZAS Y PROGRAMAS NACIONALES Y PROVINCIALES.

Ordenanza municipal N° 8785 Ciudad de Paraná Entre Ríos.

Programa de prevención de enfermedades cardiovasculares, obesidad y diabetes.

Difundir en forma masiva la información básica relacionada con la prevención, control y tratamiento de las enfermedades cardiovasculares, la obesidad y la diabetes. Facilitar el acceso de la población a los alimentos recomendados para la prevención, control y tratamiento de las enfermedades cardiovasculares, la obesidad y la diabetes, a través de la regulación de su comercialización y de la información básica obligatoria que los comercios deberán suministrar a tales fines.

Generar en toda la población hábitos de consumo alimentario que favorezcan la prevención, control y tratamiento de las enfermedades relacionadas Con el presente programa y promover conductas solidarias hacia las personas que padecen enfermedades relacionadas con la ingesta de alimentos.

Ley N° 9958 Provincia de Entre Ríos

Esta ley modifica en la provincia la conformación de los ministerios separándose el hasta entonces Ministerio de Salud y Acción Social.

Compete al Ministerio de Salud de la provincia asistir al Poder Ejecutivo en todo lo inherente a la salud de la población, a la promoción de conductas saludables de la comunidad y en particular:

- Ejecutar los planes, programas y proyectos del área de su competencia elaborados conforme las directivas impartidas por el Gobierno provincial y aquellos delimitados desde el orden nacional.
- Entender en la fiscalización del funcionamiento de los servicios, establecimientos e instituciones relacionadas con la salud.
- Entender en la elaboración de las normas destinadas a regular los alcances e incumbencias para el ejercicio de la medicina, la odontología y profesiones afines, garantizando la accesibilidad y la calidad de la atención médica.
- Intervenir en la elaboración de las normas reglamentarias sobre cuestiones inherentes a la medicina.
- Entender en el ejercicio del poder de policía sanitaria en lo referente a productos, equipos e instrumental vinculados con la salud e intervenir en la radicación de las industrias productoras de los mismos.
- Intervenir en la coordinación, articulación, diseño y complementación de sistemas de servicios de salud estatales a partir del trabajo conjunto con municipios.
- Contribuir en la difusión e información sobre los servicios sustantivos de salud a los destinatarios de los mismos para disminuir las asimetrías de información.
- Intervenir con criterio preventivo en acciones concretas tendientes a disminuir los índices de mortalidad materno-infantil y por falta de adopción de hábitos de vida saludable.
- Desarrollar acciones/estrategias de prevención y promoción de hábitos de vida saludable.

PROGRAMA DE PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES CRÓNICAS NO TRANSMISIBLES EN ENTRE RÍOS

Establece políticas de prevención y promoción de la salud para: pasar de la medicina curativa a la preventiva, complementar los servicios públicos y privados, fortalecer los servicios públicos de atención de la salud para las enfermedades no transmisibles, ampliar la calidad y el acceso a los servicios primarios de salud relacionados con las principales enfermedades no transmisibles, su detección temprana y su atención médica y reducir, o evitar, la exposición a los factores de riesgo de dichas enfermedades, como también sus efectos sobre la salud.

Trabaja en la promoción de la alimentación saludable a través de la creación de talleres en los centros de salud, educación alimentaria nutricional en las escuelas y trabajo con restaurantes y hoteles para que ofrezcan menús saludables y propicien el menor consumo de sal, azúcares y grasas trans. Se promueve la incorporación de frutas, verduras, cereales e hidratación como hábitos de vida sana.

LEY 25.724 DEL MINISTERIO DE SALUD DE LA NACIÓN

Procura mejorar la calidad de vida de la población promoviendo estilos de vida saludables, ampliando la cobertura de la atención de la salud a las necesidades epidemiológicas de la población según criterios éticos y de riesgo, e impulsando acciones para lograr un ambiente adecuado.

Este Programa tiene como objetivo “propender a asegurar el acceso a una alimentación adecuada y suficiente, coordinando desde el Estado las acciones integrales e intersectoriales que faciliten el mejoramiento de la situación alimentaria y nutricional de la población”.

La ejecución del Programa depende de la Comisión Nacional de Nutrición y Alimentación, integrada por representantes de los Ministerios de Salud y Ambiente y Desarrollo Social de la Nación.