



**Universidad
Abierta
Interamericana**

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Licenciatura en Producción de Bioimágenes

“Radioprotección y la alimentación”

Autor: Manuela Tonello

Tutor: Blanco, Carlos

Carrera: Licenciatura en Producción de Bioimágenes

Fecha: diciembre de 2019

INDICE

RESUMEN.....	1
JUSTIFICACIÓN	3
PROBLEMA	4
OBJETIVOS.....	5
MARCO TEORICO	6
Alimentación.....	6
Antioxidantes.....	6
Radicales libres.....	8
Radiación ionizante.....	10
Potenciales riesgos de la radiación ionizante	11
Exposición a la radiación ionizante	12
Efectos de las radiaciones ionizantes en la salud.....	13
Lesiones radioactivas en los órganos.....	14
Radioproteccion	15
Protección ocupacional.....	18
Sustancias radioprotectoras	18
Clasificación.....	19
Principales tipos de sustancias radioprotectoras	20
Compuestos sulfhidrilos	21
Aminoácidos, poliaminas y otros compuestos	21
Antioxidantes y secuestradores de radicales libres	22
Compuestos fitoquímicos.....	23
Antioxidantes.....	25
Estrés oxidativo	27
MARCO METODOLOGICO	28
CONCLUSIONES.....	36
BIBLIOGRAFIA.....	37
ANEXO	38

RESUMEN

El presente estudio analiza el nivel de conocimiento que poseen los profesionales de Bioimágenes de la ciudad de San Nicolás de los Arroyos acerca de la complementación de antioxidantes y extractos vegetales a la dieta cotidiana como medida preventiva frente a la acción de la radiación ionizante (radicales libres).

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

Se construyó una encuesta donde los profesionales voluntariamente brindan las respuestas necesarias acerca de su alimentación cotidiana y la incorporación de determinados antioxidantes y microminerales, los cuales protegen el cuerpo de los niveles de radiación que el mismo recibe en el campo profesional.

Entre los principales resultados obtenidos se destaca el interés de los trabajadores en aplicar esta medida de protección a su alimentación diaria.

Palabras claves

Radiación ionizante-Radicales libres-Antioxidantes

INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento de los rayos x en el año 1895 hasta la actualidad, la medicina ha pasado por una serie de procesos en el cual la radiología médica se convirtió en una importante especialidad para los fines diagnósticos y terapéuticos.

Esta fuente de energía radiante mantiene alerta a los profesionales que ejercen esta actividad en cuanto a la radioprotección que es el conjunto de medidas establecidas para la seguridad y la protección de los seres humanos frente a los posibles riesgos que se deriven de la exposición a las radiaciones ionizantes, y que ha llevado a la concientización de los profesionales a lo largo del mundo.

En el presente trabajo se propone una investigación donde se indica que una correcta alimentación, en la cual se incorpore cotidianamente determinados antioxidantes y macrominerales, puede resultar beneficiosa para los productores de Bioimágenes, protegiendo el cuerpo de los niveles de radiación que el mismo recibe en el campo profesional.

JUSTIFICACIÓN

Toda operación que se realice en los efectores de salud, implicando la utilización de radiaciones ionizantes, cuenta con su beneficio para lograr los diagnósticos que los pacientes requieren para preservar su salud.

Los profesionales expuestos en las prácticas de hemodinamia y radiación intervencionista, se encuentran expuestos a las radiaciones por la misma dinámica del estudio, ya que permanecen en la sala durante el procedimiento.

Se trata de resguardar la salud de una manera consciente. Si bien existen técnicas de protección, no siempre se encuentran disponibles, en perfectas condiciones o son suficientes.

En la consideración del daño que se puede ocasionar, hay que tener en cuenta que se trata del trabajo cotidiano y tomar las medidas de protección que sean posibles.

Por consiguiente, está comprobado científicamente (Andreassen y col., 2003; Raden y col., 2004; Sasse y col., 2006) que la complementación de antioxidantes y extractos vegetales a la dieta cotidiana son aliados para el profesional que está en constante relación a la radiación como medida de radioprotección. Pero esto, ¿Es conocido por los profesionales de la ciudad de San Nicolas que ponen en riesgo su salud frente a la constante exposición a la radiación ionizante? Si fuera así, ¿Toman las medidas preventivas necesarias con respecto a su alimentación?

PROBLEMA

Planteamiento del problema

Desde los primeros estudios sobre los rayos X y los minerales radiactivos se observó que la exposición a niveles elevados de radiación puede causar daños clínicamente identificables a los tejidos del cuerpo humano. Es esencial que las actividades que implican exposición a la radiación, se sometan a ciertas normas de seguridad para proteger a las personas expuestas a la radiación.

Si la carga de trabajo es importante y no se aplican los procedimientos de protección radiológica operacional, se pueden llegar a producir lesiones por radiación después de algunos años de trabajo.

La implementación de materiales radio protectores tales como lentes, guantes y delantales plomados, protectores tiroideos y blindaje, entre otros, son los más conocidos en el ámbito científico, aunque en general, los profesionales desconocen la posibilidad de que una correcta alimentación diaria sea un factor más que contribuya a la protección contra la radiación ionizante en los tejidos humanos.

Por esta razón se formula el siguiente problema:

Los profesionales de Bioimágenes de la ciudad de San Nicolas de los Arroyos, ¿Incorporan a su dieta cotidiana antioxidantes como medida de radioproteccion?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Relevar en qué medida los profesionales de Bioimágenes de San Nicolas de los Arroyos incorporan a su dieta cotidiana antioxidantes como medida de radioproteccion.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Indagar sobre el conocimiento que poseen los profesionales de San Nicolas de los Arroyos acerca de los beneficios que tienen los adaptógenos contra la radiación ionizante.
- Averiguar si hay aporte de antioxidantes como vitaminas A, C y E de los profesionales de San Nicolas de los Arroyos para la protección frente a la radiación gamma.
- Analizar cuanto emplean los profesionales de San Nicolas de los Arroyos antioxidantes vegetales como una medida más de radioproteccion

MARCO TEORICO

Alimentación

La alimentación es la ingesta de alimentos por parte de los organismos para conseguir los nutrientes necesarios y así con esto obtener las energías y lograr un desarrollo equilibrado.

La alimentación es la acción y efecto de alimentar o alimentarse, es decir, es un proceso mediante el cual los seres vivos consumen diferentes tipos de alimentos para obtener de estos los nutrientes necesarios para sobrevivir y realizar todas las actividades necesarias del día a día.

No obstante, existe diversidad de palabras parecidas o similares, es el caso de nutrición, alimento, nutrientes son palabras que tienen que ver con el término de alimentación, pero no son sinónimos, por lo tanto, no significan lo mismo.

La nutrición es el proceso mediante el cual, luego de la alimentación, el organismo busca los nutrientes en los alimentos consumidos para transformarlos en energía para sobrevivir y subsistir, en cambio, alimentación se refiere al proceso de consumir los alimentos que luego proveerán de nutrientes al organismo.

La alimentación balanceada, conocida como alimentación completa o saludable, es aquella que contiene un alimento de cada grupo alimenticio y es ingerido en porciones adecuadas de acuerdo al peso, talla, sexo.

Los grupos alimenticios están clasificados en 5 categorías: carbohidratos, proteínas, lácteos, frutas y vegetales y, por último, grasas y azúcares. Los grupos alimenticios suelen estar representados en la pirámide nutricional o pirámide alimenticia.

El ser humano no debe olvidar que una alimentación balanceada o completa trae como consecuencia una lista de beneficios como: mínimas probabilidades de desarrollar enfermedades, control del colesterol, aminora el riesgo de problemas cardiacos, reduce la presión sanguínea, mejora el sistema inmunológico, entre otros.

Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias naturales o fabricadas por el hombre que pueden prevenir o retrasar algunos tipos de daños a las células. Los antioxidantes se encuentran en muchos alimentos, incluyendo frutas y verduras. También se encuentran disponibles como suplementos dietéticos. Ejemplos de antioxidantes incluyen:

- Beta carotenos
- Luteína
- Licopeno

- Selenio
- Vitamina A
- Vitamina C
- Vitamina E

Las verduras y frutas son ricas fuentes de antioxidantes. Existe amplia evidencia que el consumo de una dieta con muchas verduras y frutas es saludable y reduce riesgos de sufrir ciertas enfermedades. Pero no está claro si esto es debido a los antioxidantes, a algo más presente en los alimentos u otros factores.

Su ingesta es fundamental para mantener la salud en estado de plenitud. Su papel como reductor del estrés oxidativo, un problema que se agrava con la edad, es lo que los hace tan esenciales. Comer verduras o frutas para asimilar estos compuestos es un factor clave para tener una vejez de calidad.

Todo el mundo habla de los antioxidantes y de sus efectos saludables, pero son pocos los que conocen su estructura química, su procedencia y sobre todo lo que deberíamos hacer para incorporar a nuestro organismo estos agentes naturales tan protectores de nuestras células y tejidos. Básicamente, los antioxidantes son compuestos sintetizados por las plantas en sus diferentes partes (frutos, hojas, ramas, raíces, etc.) caracterizados por poseer grupos hidroxilos (OH) unidos entre sí por anillos bencénicos. Su presencia en los alimentos es fundamental no solo porque activan las propiedades organolépticas naturales, preservándolos, sino porque al ser ingeridos protegen de manera amplia y eficaz la salud del consumidor, previniendo el desarrollo de enfermedades tan graves como el cáncer, el infarto de miocardio, el ictus, los procesos neurodegenerativos y el sistema inmunológico.

Difícilmente entenderemos los efectos de los antioxidantes sin unas nociones básicas sobre el *estrés oxidativo*. En el metabolismo celular —en el que la glucosa reacciona con el oxígeno para producir energía en forma de adenosintrifosfato (ATP)— se produce simultáneamente la liberación de una serie de compuestos reactivos de oxígeno, a los que solemos llamar radicales libres, cuyos efectos sobre todos los elementos celulares (núcleo, membrana, citoplasma, mitocondrias, etc.) resultan gravemente deletéreos.

Es un proceso equiparable a la producción inevitable de los gases tóxicos que se liberan en los motores de explosión alimentados con combustibles fósiles. En un sujeto joven y sano, los radicales libres de oxígeno son rápidamente eliminados del interior de la célula por antioxidantes naturales, pero en enfermos crónicos o en ancianos esta eliminación es deficitaria, lo que conlleva la aparición de enfermedades crónicas, acelerando al mismo tiempo el envejecimiento.

Radicales libres

Los radicales libres dañan a nuestro cuerpo causando, en el mejor de los casos, el envejecimiento, y en el peor, graves enfermedades. Sin embargo, existen diversas formas de protegerse de este proceso.

El cuerpo humano está compuesto por diferentes células, que a su vez están compuestas de diferentes moléculas. Esas moléculas constan de átomos que se unen por enlaces químicos. El átomo tiene protones -cargados positivamente- y electrones -cargados negativamente- que orbitan alrededor del átomo. Estos electrones pueden compartirse con otros átomos para conseguir la máxima estabilidad.

Superado este punto, debemos saber que si se forma un enlace débil -donde queda un electrón sin pareja-, se forma el radical libre. Estos radicales libres son muy inestables, por lo que reaccionan con facilidad para encontrar el electrón necesario para lograr su estabilidad. Si roban un electrón a otra molécula, esta quedará inestable y se convertirá en un radical libre también. De esta forma se realiza una cascada de radicales libres, hasta que irrumpen con una célula viva.

Los radicales libres se forman en muchos procesos del cuerpo, por ejemplo, por el metabolismo o por el sistema inmune para atacar virus y bacterias. Sin embargo, existen factores ambientales -contaminación, cigarrillo, mala alimentación- que aumenta la dosis de radicales libres que hay en nuestro cuerpo. El cuerpo maneja los radicales libres que se producen de forma natural, pero si la producción de los mismos es excesiva, se producen daños en el cuerpo.

Los radicales libres son los encargados del envejecimiento. Personas menos expuestas al exceso de radicales libres envejecerán más tardíamente. Pero, además, los radicales libres pueden causar enfermedades cardiovasculares aumentando considerablemente los niveles de colesterol malo, además de aumentar el riesgo de cáncer, en particular de boca, faringe y esófago. Los radicales libres también están involucrados en la enfermedad de Parkinson, el Alzheimer, la arterioesclerosis y la diabetes.

Son los antioxidantes aquellos que ayudan a frenar el proceso de los radicales libres. Una buena forma de consumir antioxidantes es mediante la alimentación. Manteniendo un consumo adecuado de alimentos con vitaminas como la C y la E y betacarotenos, ya que se encargan de neutralizar los radicales libres donando uno de sus electrones, y poniendo fin a la cadena de robos.

Rayos x

Rayo es un concepto que se usa para nombrar a la línea que nace en el espacio donde se genera una cierta clase de energía y que se prolonga en la misma dirección hacia donde la energía en cuestión se propaga.

La noción de rayos X, en este sentido, se refiere a las ondas de tipo electromagnético que son emitidas por los electrones internos de un átomo. Por sus características, los rayos X están en condiciones de atravesar diferentes cuerpos y de lograr una impresión fotográfica.

El término concreto de rayos X se atribuye como creación al físico alemán Wilhem Conrad Roentgen (1845 – 1923). Este se considera que descubrió cómo ciertos rayos eran capaces, dentro de los tubos de vacío, de atravesar ciertas barreras sólidas y, ante el desconocimiento que sobre los mismos tenía acerca de su naturaleza o la manera en la que se producían, tomó la determinación de llamarlos rayos X.

Cuando un haz de electrones de gran energía impacta contra un blanco metálico, la radiación electromagnética de la carga genera los rayos X. Existen, de todos modos, diversos métodos para obtener rayos X a partir de diferentes tipos de radiación.

Tradicionalmente se emplearon películas fotográficas para captar y registrar los rayos X. En la actualidad, sin embargo, la tecnología permite que la imagen generada por los rayos X pueda visualizarse de manera directa en una computadora, generando información digital. Además de todo lo expuesto, merece la pena conocer otros datos de interés acerca de los rayos X, tales como estos:

- Su descubridor, que realizó entre sus primeras radiografías la mano de su esposa con el anillo nupcial, recibió por su trabajo el Premio Nobel de Física en el año 1901.
- Los rayos X son absolutamente invisibles a los ojos del ser humano.
- Actualmente se emplean no sólo dentro del ámbito de la medicina sino también en otros campos como en el arte. Así, por ejemplo, cada vez más se usan para poder detectar fallos en determinados materiales e incluso para analizar a fondo ciertas pinturas o esculturas.
- Entre los científicos que los desarrollaron, mejoraron e internacionalizaron se encuentran Max von Laue (1879 – 1960), Paul P. Ewald (1888 – 1985) o William H. Bragg (1862 – 1942) y su hijo William L. Bragg (1890 – 1971).

A nivel médico, lo más habitual es que se empleen para poder descubrir posibles fracturas de huesos, para poder detectar enfermedades tales como la neumonía e incluso para diagnosticar cáncer de mama.

Se conoce como radiología a la disciplina que tiene como fin la producción de radiografías (imágenes del organismo obtenidas a partir del uso de rayos X). Mediante esta técnica, se

disparan rayos X sobre el cuerpo: como los rayos atraviesan los tejidos blandos, “dibujan” una imagen que permite apreciar los elementos óseos por las diferentes densidades.

Radiación ionizante

Un ion es un átomo o un grupo de átomos que tiene una carga neta positiva o negativa. El nombre ion proviene de la palabra griega *ion* que significa “que va”, debido a que las partículas cargadas van hacia un electrodo cargado o se alejan de éste.

La ionización es la formación de moléculas o átomos con carga eléctrica. Los átomos son eléctricamente neutros ya que los electrones con carga negativa son iguales en número a los protones de carga positiva en los núcleos. El número de protones de un átomo permanece igual durante los cambios químicos comunes (llamados reacciones químicas), pero se pueden perder o ganar electrones.

La pérdida de uno o más electrones a partir de un átomo neutro forma un *cación*, un ion con carga neta positiva. Por ejemplo, un átomo de sodio (Na) fácilmente puede perder un electrón para formar el catión sodio, que se representa como Na^+ .

Por otra parte, un *anión* es un ion cuya carga neta es negativa debido a un incremento en el número de electrones. Por ejemplo, un átomo de cloro (Cl) puede ganar un electrón para formar el ion cloruro Cl^- .

Al combinarse sodio con cloro, para formar cloruro de sodio (sal común de mesa), cada átomo de sodio cede un electrón a un átomo de cloro. En un cristal de cloruro de sodio la fuerte atracción electrostática entre iones de cargas opuestas mantiene firmemente los iones en su sitio, estableciéndose un enlace iónico. Se dice entonces que el cloruro de sodio, es un compuesto iónico porque está formado por cationes y aniones.

Un átomo puede perder o ganar más de un electrón, como el ion férrico con tres cargas positivas (Fe^{+3}) e ion sulfuro con dos cargas negativas (S^{2-}). Estos iones, lo mismo que los iones sodio y cloruro, reciben el nombre de iones monoatómicos porque contienen solamente un átomo. Salvo algunas excepciones los metales tienden a formar cationes y los no metales, aniones.

Además, es posible combinar dos o más átomos y formar un ion que tenga una carga neta positiva o negativa. Los iones que contienen más de un átomo, como en el caso de OH^- (ion hidróxido), CN^- (ion cianuro) y NH_4^+ (ion amonio) se llaman iones poliatómicos.

La energía mínima que se requiere para separar un electrón de un átomo aislado (o un ion) en su estado basal se conoce como *energía de ionización*, y se representa en kJ/mol. La magnitud

de esta energía es una medida de que tan “fuertemente” se encuentra unido el electrón al átomo. Cuanto mayor es la energía de ionización es más difícil quitar el electrón del átomo.

La radiación ionizante es un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma o rayos x) o partículas (alfa y beta o neutrones). La desintegración espontánea de los átomos se denomina radiactividad, y la energía excedente emitida es una forma de radiación ionizante. Los elementos inestables que se desintegran y emiten radiación ionizante se denominan radionúclidos.

Las personas están expuestas a diario tanto a la radiación de origen natural o humano. La radiación natural proviene de muchas fuentes, como los más de 60 materiales radiactivos naturales presentes en el suelo, agua y aire. Diariamente inhalamos e ingerimos radionúclidos presentes en el aire, los alimentos y el agua.

Asimismo, estamos expuestos a la radiación natural de los rayos cósmicos, especialmente a gran altura. Por término medio, el 80% de la dosis anual de radiación de fondo que recibe una persona procede de fuentes de radiación naturales, terrestres y cósmicas. Los niveles de la radiación de fondo varían geográficamente debido a diferencias geológicas.

La exposición humana a la radiación proviene también de fuentes artificiales que va desde la generación de energía nuclear hasta el uso médico de la radiación para fines diagnósticos o terapéuticos. Hoy día, las fuentes artificiales más comunes de la radiación ionizante son los dispositivos médicos, como los aparatos de rayos x.

Potenciales riesgos de la radiación ionizante

Es importante saber que la radiación ionizante controlada no representa ningún riesgo para nuestra salud. De hecho, las radiaciones conviven con nosotros, ya que se encuentran en la naturaleza y además son utilizadas para el beneficio del hombre en muchas áreas como la medicina o la industria. Sin embargo, un mal uso de las radiaciones ionizantes puede producir efectos perjudiciales en la salud.

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

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

Los primeros efectos deterministas, o los menos severos, aparecen solo a partir de dosis de 1 Gy (Gray). Una dosis de esta magnitud solamente se puede dar en el caso de un accidente radiológico. Generalmente estos primeros efectos consisten en náuseas, vómitos, o enrojecimiento superficial de la piel. Cuando la dosis recibida por la persona es mayor, se pueden manifestar diarreas, pérdida o caída del vello y esterilidad.

Pero no siempre la exposición a radiación produce la muerte de una célula. A dosis bajas, el daño producido es más leve y normalmente implica una alteración en la molécula de ADN, que se conoce como mutación genética. Determinadas mutaciones pueden favorecer el desarrollo de un cáncer o de enfermedades genéticas heredables. Estos efectos, denominados estocásticos, se producen tras exposición a dosis bajas de radiación y, lo que es muy importante, son de naturaleza probabilística. Esto implica que al aumentar la dosis de radiación recibida no aumenta la gravedad del efecto, sino la probabilidad de que dicho efecto ocurra. Por ejemplo, si pensamos en el desarrollo de un cáncer, una dosis mayor haría que exista mayor probabilidad de que se desarrolle, pero no implica que el cáncer vaya a ser más grave.

Es importante destacar que los efectos que puede producir la radiación en nuestra salud dependen de multitud de factores como la dosis y el tipo de radiación, la edad del individuo (cuanto más joven, mayor es la sensibilidad a las radiaciones ionizantes) y de factores genéticos.

Exposición a la radiación ionizante

La exposición a la radiación puede ser interna o externa y puede tener lugar por diferentes vías. La exposición interna a la radiación ionizante se produce cuando un radionúclido es inhalado, ingerido o entra de algún otro modo en el torrente sanguíneo (por ejemplo, inyecciones o heridas) la exposición interna cesa cuando el radionúclido se elimina del cuerpo, ya sea espontáneamente (en los excrementos) o gracias a un tratamiento.

La exposición externa se puede producir cuando el material radiactivo presente en el aire (polvo, líquidos o aerosoles) se deposita sobre la piel o la ropa. Generalmente, este tipo de material radiactivo puede eliminarse del organismo por simple lavado.

La exposición a la radiación ionizante también puede resultar de la irradiación de origen externo (por ejemplo, la exposición médica a los rayos x). La irradiación externa se detiene cuando la fuente de radiación está blindada o la persona sale del campo de irradiación.

Las personas pueden estar expuestas a la radiación ionizante en circunstancias diferentes, en casa o en lugares públicos (exposiciones públicas), en el trabajo (exposiciones profesionales) o en un entorno médico (como los pacientes, cuidadores y voluntarios).

Las situaciones de exposición a la radiación ionizante pueden clasificarse en tres categorías.

La primera, la exposición planificada, es el resultado de la introducción y funcionamiento deliberados de fuentes de radiación con fines concretos, como en el caso de la utilización médica de la radiación con fines diagnósticos o terapéuticos, o de su uso en la industria o la investigación.

La segunda, la exposición existente, se produce cuando ya hay una exposición a la radiación y hay que tomar una decisión sobre su control, como en el caso de la exposición al radón en el hogar o en el lugar de trabajo (que es un tipo de gas), o de la exposición a la radiación natural de fondo existente en el medio ambiente.

La tercera categoría, la exposición en situaciones de emergencia, tiene lugar cuando un acontecimiento inesperado requiere una respuesta rápida, como en el caso de los accidentes nucleares o los actos criminales.

El uso médico de la radiación representa el 98% de la dosis poblacional con origen en fuentes artificiales y el 20% de la exposición total de la población.

Efectos de las radiaciones ionizantes en la salud

El daño que causa la radiación en los órganos y tejidos depende de la dosis de radiación recibida, o dosis absorbida, que se expresa en la unidad gray (Gy). El daño que puede producir una dosis absorbida depende del tipo de radiación y de la sensibilidad de los diferentes órganos y tejidos.

Para medir la radiación ionizante en términos de su potencial para causar daños se utiliza la dosis efectiva. La unidad para medirla es el sievert (Sv), que toma en consideración el tipo de radiación y la sensibilidad de los órganos y tejidos. Es una unidad muy grande, por lo que resulta más práctico utilizar unidades menores, como milisievert (mSv). Hay 1000 mSv en 1 Sv. También es una unidad útil para expresar la velocidad a la que se entrega una dosis (tasa de dosis). Por ejemplo, en milisievert al año (mSv/año).

Más allá de ciertos umbrales, la radiación puede afectar el funcionamiento de órganos y tejidos, y producir efectos agudos tales como enrojecimiento de la piel, caída del cabello, quemaduras

por radiación o síndrome de irradiación aguda. Estos efectos son más intensos con dosis más altas y mayores tasas de dosis. Por ejemplo, la dosis liminar para el síndrome de irradiación aguda es de aproximadamente 1 Sv (1000 mSv).

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

Lesiones radioactivas en los órganos

ORGANO	LESIONES TEMPRANAS Y TARDIAS	LESIONES EVOLUCIONADAS
Corazón	Pericarditis fibrosa, edema miocárdico, miocardiopatía radioactiva	Fibrosis pericárdica, fibrosis intersticial miocárdica
Riñón	Lesión tubular aguda, esclerosis vascular	Atrofia cortical con esclerosis tubular e hialinización glomerular. Nefritis radioactiva crónica
Vejiga	Lesión aguda del epitelio del revestimiento (cistitis radioactiva) con ulceración	Atrofia mucosa persistente, fibrosis de la pared vesical
Cartílago y hueso	En el feto y el niño, la placa de crecimiento y los huesos son radiosensibles con posible deformación esquelética tardía; en el adulto son radioresistentes salvo por el posible desarrollo de áreas de	Osteosarcoma de aparición tardía

	necrosis asépticas donde se oblitera el flujo vascular	
Sistema nervioso central	En fetos, el cerebro embrionario es radiosensible; el tejido nervioso maduro es radioresistente	Áreas de desmielinización y degeneración de células ganglionares, secundarias a isquemia producidas por radiación
Mama		Cánceres de aparición tardía

Radioproteccion

El mal uso de las radiaciones ionizantes puede ser peligroso para los seres vivos, por lo que en toda actividad en la que pueda producirse una irradiación a partir de una fuente de radiación o de una contaminación radiactiva, es necesario asegurarse que las personas y otros seres vivos que se desea proteger no reciben una dosis que pueda originarles riesgos radiactivos o, menos aún, producirles un daño cierto.

De esto se ocupa la protección radiológica, que se define como el conjunto de normativa, métodos y acciones que se toman para evitar dichos riesgos y daños, así como las acciones, medidas y análisis que se llevan a cabo para comprobar que se han aplicado correctamente los criterios de protección adecuados. En una instalación nuclear o radiactiva existe la posibilidad, al menos teórica, de que se emitan productos radiactivos al medio ambiente, los cuales podrían perjudicar luego a los seres vivos; por ello, la protección radiológica se ocupa también de establecer los límites de emisiones radiactivas al ambiente y la medida de la radiactividad en éste.

Principios básicos y generales

Dosimetría: La Dosimetría de radiación es el cálculo de la dosis absorbida en tejidos y materia como resultado de la exposición a la radiación ionizante, tanto de manera directa como indirecta.

Dosimetría personal: detectar y medir la radiación absorbida del POE, al trabajar con fuentes o equipos generadores de radiación ionizante.

Dosis absorbida: Energía media absorbida por unidad de masa en un punto.

Dosis equivalente: usada para comparar los efectos biológicos de diferentes tipos de radiaciones.

Dosis máxima permisible: Dosis de radiación que no causará enfermedades o peligros para la salud que puedan detectarse por los métodos de investigación modernos y que no afectarán adversamente a las generaciones futuras.

Dosis efectiva: Suma ponderada de las dosis equivalentes medias recibidas en distintos órganos o tejidos.

Dosis umbral: dosis mínima requerida para que se produzca un efecto biológico no-estocástico.

Dosis acumulativa: Efecto acumulativo de pequeñas dosis de radiación repartidas en un periodo de tiempo.

Unidades de medida

R: mide la exposición a radiación electromagnética (gamma y X).

rad: medida de dosis absorbida en un material.

rem: evaluación del riesgo biológico de la radiación.

Gray: medida de la dosis absorbida.

Sievert: evaluación de riesgo biológico.

Premisas

Sus premisas principales para considerar todas sus recomendaciones, ya sea avalando o deslegitimando aplicaciones de radiaciones o límites de dosis, redactando planes de emergencia, planificando actuaciones en caso de emergencia (contramedidas), o cualquier otra, son las siguientes:

Justificación: riesgo/beneficio de las decisiones que se introduzcan en la práctica radiológica se justificarán en el sentido de que tales decisiones se tomarán con la intención de asegurar que el beneficio individual o social resultante de esta práctica compense el detrimento para la salud que pueda causar. Las decisiones que introduzcan o alteren una vía de exposición para situaciones de exposición existentes y de emergencia se justificarán en el sentido de que deberán ser más beneficiosas que perjudiciales.

Optimización: aplicación de cualquier radiación ionizante o planificación que se realice referente a la protección radiológica de personas sometidas a exposición poblacional u ocupacional se optimizará con el objetivo de mantener la magnitud de las dosis individuales, la probabilidad de la exposición y el número de personas expuestas lo más bajos que sea razonablemente posible teniendo en cuenta el estado actual de los conocimientos técnicos y factores económicos y sociales, sin alterar la calidad de imagen que permita un correcto diagnóstico. La optimización de la protección de personas sometidas a exposiciones médicas se aplicará a la magnitud de las dosis individuales y será coherente con la finalidad médica de la exposición.

Limitación de dosis: La exposición de los individuos debe estar sujeta a límites de dosis (criterio de “riesgos aceptables”). Los límites permiten evitar la ocurrencia de efectos determinísticos y disminuir la probabilidad de efectos estocásticos.

Clasificación del personal

Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos, miembros del público.

Condiciones del trabajo del personal (monitoreo individual).

Uso del dosímetro

Utilización de métodos de protección

Monitoreo ambiental: sistema de ventilación, intervención o contaminación.

Elementos de radio protección:

Máscaras

Guantes plomados

Cubre calzados

Cubre cabezas

Delantales (plomados)

Petos (plomados)

Buzos

Equipos autónomos

La exposición a la radiación se clasifica en tres tipos diferentes:

Exposición ocupacional: es la recibida como consecuencia del trabajo

Exposición medica: consiste en la exposición de las personas como parte de su diagnóstico y tratamiento

Exposición del público: incluye todas las demás exposiciones

Las embarazadas deben cumplir requisitos especiales para proteger el embrión, una vez declarado el estado de gravidez. La trabajadora tan pronto conoce que está embarazada debe informarlo inmediatamente al responsable de la instalación o práctica.

Los límites de dosis máximas permisibles son los establecidos por los organismos internacionales (ej. ICRP 60/90, NCRP) y se ven reflejadas en nuestra legislación a través de la Disp. 30/91 del Ministerio de Salud de la Nación y la Res. 295/03 MTEySS (modif. Dto. 351/79) ANEXO II “Especificaciones técnicas sobre radiaciones. Radiaciones Ionizantes”, Res. 18/2002 Normas ARN AR 10.1.1., 8.2.2. y 8.2.4. Res. ARN 230/16 (cristalino). Las radiaciones ionizantes utilizadas (RX) en los colectivos laborales aquí comprendidos (Radiodiagnóstico) son consideradas “bajas dosis”, produciendo principalmente efectos biológicos de tipo estocástico o probabilístico.

No existe un umbral seguro por debajo del cual no se produzcan efectos biológicos (modelo LNT para bajas dosis (Linear no-threshold)) por lo que los “límites máximos permisibles” de dosis solamente indican una frontera entre un riesgo inaceptable y lo tolerable (permisible), aunque éste último sólo será aceptable si las prácticas están ejecutadas bajo los principios de que “las dosis recibidas sean lo más bajas posibles que razonablemente se pueda” (sigla en inglés A.L.A.R.A).

- Media de 5 años: 20 mSv / año (máximo en un solo año: 50 mSv)
- Ningún trabajador pueda recibir una dosis efectiva anual superior a 6 mSv
- Dosis anual equivalente para: a. Cristalino: 20 mSv. Res. ARN 230/16 b. Piel: 500 mSv c. Manos y pies: 500 mSv
- Exposición embriofetal desde el conocimiento del embarazo: Dosis mensual equivalente: 0,5 mSv
- Dosis en superficie abdominal durante el resto del embarazo: 2mSv

Protección ocupacional

Siempre que se utilicen Radiaciones Ionizantes en exposiciones normales -tanto para el cuidado de los pacientes como para la protección del trabajador-, aplicar el concepto cuya sigla en inglés es A.L.A.R.A (la dosis utilizada sea TAN BAJA COMO RAZONABLEMENTE SEA POSIBLE). En cada práctica se debe:

- JUSTIFICAR el beneficio que se obtenga sea superior al daño biológico que se pueda ocasionar;
- OPTIMIZAR la protección radiológica, mediante el uso de los Elementos o Equipos de Protección Personal (EPP), colimación y adecuados blindajes;
- LIMITAR las dosis aplicadas, ajustando al máximo los parámetros de exposición, conforme al fin por el cual dicha práctica se requiera. Cabe recordar que en Radiodiagnóstico, la dosis de radiación (mGy) entregada por un tubo de rayos X es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre éste y la piel u órgano estudiado (kilovoltios, kV); a la corriente del tubo (en miliamperios, mA) y al tiempo de duración del disparo (en segundos, seg).

Sustancias radioprotectoras

Los radioprotectores son agentes que reducen la toxicidad, la mutagenicidad y otros efectos biológicos adversos de las radiaciones ionizantes en los organismos vivos¹. Los aminotioles fueron el primer grupo de compuestos identificados como potenciales radioprotectores. El

¹ Littlefield L.G, Joiner E.E, Coiler S.P, Sallam F, Frome E.L. Concentration dependent protection against X-ray-induced chromosome aberrations in human lymphocytes by aminothiol WR-1065. Radiat. Res 1993; 133:88-93.

papel de los compuestos radioprotectores es muy importante en la radioterapia clínica. Estas sustancias se clasifican en tres tipos: los radioprotectores como tal, los adaptogenos y los agentes absorbentes.

Con el advenimiento de la era nuclear y dominados por los temores emanados de la guerra fría, el gobierno de Estados Unidos nació en 1959 un programa con el objetivo de producir agentes químicos para proteger a los soldados ante un ataque nuclear. Los aminotioles fueron el primer grupo de compuestos identificados como potenciales radioprotectores. Del estudio de dichos compuestos, en especial de la cisteína, se derivó la conclusión de que el compuesto debía ser administrado antes de la irradiación para que estuviera presente en las células durante la misma. La magnitud de la protección era proporcional a la cantidad de compuesto suministrado.²

Su uso militar se vio limitado por diferentes factores entre los que se encuentran los severos efectos colaterales tales como náuseas, vómitos e hipotensión, entre otros. Además, la única ruta de administración efectiva era la inyección intravenosa, por lo que para alcanzar el máximo de eficiencia debía ser administrada 30 minutos antes de la potencial exposición a la radiación. Actualmente, la radioterapia es el tratamiento más común para el cáncer de humanos. Uno de los principales desafíos en la investigación radiológica lo constituye lograr una protección efectiva de las células no tumorales del daño inducido por las radiaciones. El 80% de los pacientes de cáncer necesitan la radioterapia tanto para propósitos curativos como paliativos.

Clasificación

Los agentes radioprotectores pueden ser clasificados en tres grupos: los radioprotectores como tal, los adaptogenos, y los agentes absorbentes. El primer grupo de protectores son generalmente los compuestos sulfhídricos y otros antioxidantes. Los adaptogenos por su parte actúan como estimuladores de radioresistencia, pues constituyen protectores naturales que ofrecen protección química a bajos niveles de radiación ionizante. Son generalmente extraídos de células de plantas y animales y tienen menos toxicidad. En el caso del tercer grupo, estos agentes protegen a los organismos de las radiaciones internas y los químicos. Se incluyen drogas que previenen la incorporación de yodo radiactivo por las glándulas tiroideas y la absorción de los radionúclidos. Los radioprotectores pueden ejercer su acción por uno o varios mecanismos. Estos son: supresión de la formación de especies radiactivas, detoxificación de las especies inducidas por la radiación, estabilización del blanco, y por reforzamiento de los sistemas de recuperación y reparación celular.

² Griffin W.J, Lin G.D. Chemotaxonomy and geographical distribution of tropane alkaloids. *Phytochemistry* 2000; 53 (6): 623-637.

En la supresión de la formación de especies radiactivas, algunos agentes farmacológicos resultan radioprotectores interfiriendo con la distribución de oxígeno en los tejidos irradiados mediante la inducción de hipoxia local en células y tejidos. Por ejemplo, el consumo químico o bioquímico del oxígeno puede ser uno de los mecanismos de los compuestos sulfhídricos (RSH), los cuales sufren una reacción de oxidación con oxígeno molecular y de esta forma manifiestan radioprotección.

La eliminación o detoxificación de los radicales libres acuosos inducidos por la radiación, puede mitigar significativamente el daño producido por esta. Varios secuestradores de radicales libres como los RSH son conocidos por interactuar con los mismos y prevenir la muerte celular inducida por las radiaciones. Otro mecanismo de eliminación de los radicales libres acuosos lo constituye el incremento de las enzimas antioxidantes como la glutatión reductasa, glutatión peroxidasa, superóxido dismutasa y catalasa.

Los radioprotectores pueden además reaccionar con los radicales acuosos o con radicales biomoleculares donando átomos de hidrógeno para reparar la especie radical.

Los radioprotectores también pueden interactuar con blancos celulares como el ADN formando disulfuros combinados y prevenir el daño de la radiación, estabilizándolo. Varios aminoácidos como la cisteína, guanidoetildisulfuro y el disulfuro del glutatión se unen al ADN y ofrecen radioprotección. De igual forma la espermidina, espermina y oligosina, son los estabilizadores más efectivos que se conocen.

Por último, la recuperación celular o proceso de reparación es reforzado por algunos radioprotectores. El blanco celular es más importante dañado por la radiación es el ADN. Las sustancias radioprotectoras endógenas han sido investigadas para conocer su papel en la recuperación celular producto de la radiación. Tal es el caso de los tioles como el glutatión el cual puede estar involucrado en la reparación de las roturas de simple cadena en el ADN.³

Principales tipos de sustancias radioprotectoras

Una variedad de compuestos con diferente estructura molecular, actividad terapéutica y funciones metabólicas son conocidos con actividad radioprotectora. Dentro de estos compuestos encontramos: los compuestos sulfhídricos, los aminoácidos, las poliaminas y compuestos relacionados, los agentes antioxidantes y secuestradores de radicales libres, y los compuestos fitoquímicos.

³ Nair C.K, Parida D.K, Nomura T. Radioprotectors in radiotherapy. J. Radiat. Res 2001; 42: 21-37

Compuestos sulfhidrilos

Los primeros trabajos en la búsqueda de sustancias radioprotectoras fueron enfocados sobre los compuestos sulfhidrilos. Los compuestos más efectivos fueron aquellos con grupos sulfhídricos que en un extremo tenían 2 o 3 cadenas carbonadas y en otro extremo un grupo amino básico fuerte. Los análogos de la cisteína y mercaptoetilamina fueron los primeros compuestos probados. La síntesis de aminoetilisotiourea (AET) fue un gran paso de avance para el entendimiento de las características estructurales de los compuestos sulfhídricos, lo cual es cardinal para la radioprotección mostrada por estos compuestos.⁴

El ácido s-2-(3-aminopropilamino)-etil-fosforotioico, conocido como amifostina, es el radioprotector más estudiado y el único compuesto aprobado por la administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos, para ser usado en el tratamiento del cáncer de cabeza y cuello. Se conoce que este compuesto protege la célula por diversos mecanismos tales como el secuestro de radicales libres producidos por la radiación ionizante, la transferencia de protones hidrogeno a radicales del ADN, la generación de un estado anóxico en las proximidades de la molécula de ADN, la inhibición de la apoptosis, acomplejando cofactores metálicos como boro, calcio, cobalto, manganeso y zinc, estabilizando la cromatina y actuando sobre radicales hidroperóxido producidos en las membranas, entre otros.

De forma general, los compuestos sulfhidrilos protegen al ADN por una combinación de mecanismos que incluyen el secuestro de radicales libres, donación de hidrogeno y modulación de los procesos de reparación.

Aminoácidos, poliaminas y otros compuestos

Desde hace más de 50 años, los aminoácidos fueron estudiados como potenciales radioprotectores frente a radiaciones ionizantes, la cisteína y las formas descarboxiladas de la cisteína mostraban un efector protector. La cisteína es un precursor de glutathione y juntos actúan determinantemente en la radiosensibilidad celular. La N-acetilcisteína y la cisteína proveen un efecto protector contra la inmunosupresión causada por las exposiciones subletales de ratones irradiados. Así mismo, la glutamina, el aminoácido más importante en el cuerpo, es el precursor del glutathione el cual es importante en el balance redox, modulación de la apoptosis y la proliferación de células tumorales. Poliaminas endógenas como la espermidina y la espermina son antioxidantes con importantes efectos sobre la radio sensibilidad celular.⁵

⁴ Sayant B, Mahesh S, Susri R, Bauri K, Kanat A. Radioprotective property of the etanolic extract of *Piper betel leaf*. J. Radiat. Res 2005; 46:165-171

⁵ Nair C.K, Parida D.K, Nomura T. Radioprotectors in radiotherapy. J. Radiat. Res 2001; 42: 21-37

Otros compuestos como el disulfiram (importante droga usada en el tratamiento contra el alcoholismo), la cafeína, las poliaminas y el dietilditiocarbamato, protegen frente al daño inducido por la radiación ionizante en el plásmido pBR322 probablemente gracias a su actividad antioxidante. Estos compuestos constituyen buenos candidatos como agentes radioprotectores. Otros compuestos interesantes y muy investigados con actividad radioprotectora lo constituyen los ligandos al ADN como el Hoechst 33 342. El mecanismo de éste, está basado en la transferencia electrónica y ésta puede ser mejorada por la adicción de sustituyentes donadores de electrones al ligando. Hoechst 33 342 se une al surco menor del ADN en un sitio discreto caracterizado por 3-4 pares de bases A-T consecutivos. De forma general, los estudios han mostrado que, aunque la máxima protección contra las roturas de cadena inducidas por la radiación es en los sitios de unión, existe alguna protección por los ligandos que se unen al ADN, debido a la reducción de las especies oxidadas inducidas por la radiación.⁶

Antioxidantes y secuestradores de radicales libres

Dentro de los compuestos antioxidantes y secuestradores de radicales libres se han estudiado algunos alcoholes alifáticos como el etanol, etilenglicol y glicerol, destacándose como buenos secuestradores de radicales libres. Sin embargo, estos son solo de interés académico y no están disponibles para las aplicaciones clínicas debido a su toxicidad a concentraciones radioprotectoras.

La melatonina, hormona involucrada en la regulación del eje neuroendocrino es un secuestrador de radicales libres y antioxidante altamente eficiente.⁷

Antioxidantes como la vitamina A, C, E ofrecen protección frente a la radiación gamma debido a que ésta mimifica el estrés oxidativo asociado con la toxicidad de las especies recreativas del oxígeno. La vitamina E, C y el mineral Selenio están considerados como importantes antioxidantes de la dieta según el Instituto de Medicina de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos. La vitamina C y E actúan como antioxidantes de acuerdo al medio ambiente en el que estas se encuentran. Por ejemplo, la vitamina C actúa en los medios hidrofílicos mientras que la vitamina E lo hace en la fase lipofílica.⁸ El papel protector de la vitamina E contra los daños oxidativos inducidos por las radiaciones han sido demostrado in vitro. Derivados solubles de la vitamina E como el TMG han reducido las aberraciones

⁶ Gandhi N. M, Nair CH. Radiation protection by Terminalia chebula: Some mechanistic aspects. *Molecular and Cellular Biochemistry* 2005; 277: 43-48.

⁷ Nair C.K, Parida D.K, Nomura T. Radioprotectors in radiotherapy. *J. Radiat. Res* 2001; 42: 21-37.

⁸ Valko M, Rhodes C.J, Izakovi J. M, Mazur M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions* 2006;160(1):1-40,

cromosómicas en metafase de medula ósea y disminuido la frecuencia de eritrocitos micro nucleados a las 24 horas de irradiación.⁹

El selenio y la vitamina E actúan tanto solos como de conjunto como agentes radioprotectores y quimiopreventivos. El selenio confiere protección por inducción o actuación de los sistemas celulares de secuestro de radicales libres mientras que la vitamina E ofrece protección por mecanismos complementarios. Un gran número de derivados del selenio han sido estudiados por sus efectos radioprotectores. Los compuestos derivados del selenio pueden ser encontrados en alimentos como el ajo, brócoli, la soya, granos y legumbres. El selenio y sus compuestos relacionados protegen contra las mutagénesis inducidas por las radiaciones in vitro e inhibe la transformación celular inducida por la radiación. La combinación de Selenio/Vitamina E junto con los beta-carotenos protege a las enzimas antioxidantes en animales irradiados y ha sido útil en estudios de terapia contra el cáncer humano.¹⁰

Además del selenio existen otros metales endógenos con influencia en la radiosensibilidad celular. El hierro, cobre, zinc y manganeso son importantes en el funcionamiento de enzimas y proteínas involucradas en la eliminación de radicales libres o sus productos. Se ha reportado la protección de la vitamina A y los beta-carotenos. Así mismo, la inflamación pulmonar provocada por irradiación de la región torácica fue reducida con alimentación de vitamina A. Los retinoides han sido capaces de inhibir in vitro la transformación maligna inducida por la irradiación con rayos x mientras los beta-carotenos han inhibido los daños cromosómicos inducidos por radiación. Por otra parte, la vitamina C protege contra los daños cromosómicos inducidos por la radiación. La combinación de vitamina E, C, beta-caroteno, Selenio y Zinc previno las mutaciones inducidas. De igual forma, las combinaciones de vitamina E, C y beta-carotenos disminuyó significativamente el nivel de micronúcleos en eritrocitos policromados de medula ósea inducidos por las radiaciones.

Compuestos fitoquímicos

Desde tiempos remotos, las plantas han sido utilizadas para el tratamiento de numerosas enfermedades. En la actualidad, cerca del 70% de la población mundial depende de las plantas para tratar sus problemas de salud. Es por ello, que resulte razonable pensar que las plantas contienen ciertos compuestos capaces de proteger contra el daño inducido por las radiaciones ionizantes. Este arsenal de compuestos puede actuar de forma sinérgica o alguno de ellos

⁹ Satyamitra M, Devi PU, Murase H, Kagiya V.T. *In vivo* postirradiation protection by a vitamin E analog, alpha-TMG. *Radiation research* 2003; 160(6):655-261.

¹⁰ Leppala J.M, Virtamo J, Fogelholm R. Vitamin E and beta carotene supplementation in high risk for stroke: a subgroup analysis of the Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study. *Arch Neurol* 2000; 57(10):1503-1509

pueden generar un efecto toxico que otro componente puede minimizar. Muchos de los estudios de radioproteccion de hoy en día se concentran en la evaluación del extracto completo, del constituyente aislado y en algunos casos del extracto fraccionado.

La actividad antiemética, antiinflamatoria, inmunomoduladora, estimuladora del sistema hematopoyico y antioxidante son algunos de los mecanismos por los cuales algunos extractos de plantas actúan frente a las radiaciones ionizantes.¹¹

Del bael hindú, una planta nativa de India, se obtiene el extracto de *Aegle marmelos*, que mostró su efecto radioprotector frene a las radiaciones ionizantes mediante el ensayo de micronúcleos en linfocitos periféricos de sangre humana. Otro mecanismo importante es el incremento del glutathion intracelular y de las enzimas antioxidantes.

La radioprotección de un extracto etanolico de las hojas de *Piper betel*, una especie de planta de flor natural de Malasia, fue demostrada al prevenir este la peroxidación lipídica *in vitro* y las roturas de las cadenas del ADN. Su actividad radioprotectora se debe a su habilidad de secuestrar los radicales hidroxilos y superóxidos, la cual es primariamente atribuida a sus componentes fenólicos.

Tanto el extracto de *podophyllum hexandrum* (planta de podofilo) como sus fracciones, han revelado su habilidad radioprotectora dada por su capacidad antioxidante, su protección al ADN, su actividad quelante de iones metálicos y su reducción de la peroxidación lipídica. Un estudio espectrofotométrico arrojó que dichas fracciones eran ricas en polifenoles y lignanos, a las cuales se les atribuye dicha capacidad radioprotectora. De igual forma el extracto *Glyzyrrhiza glabra* (regaliz), su principal componente, el ácido glicirrízico han protegido al ADN plasmático, al ADN de los leucocitos de sangre periférica humana y de ratón (cuando fue administrado 1 hora antes de la exposición a la radiación) de las roturas de cadena inducidas por la radiación ionizante. Sin embargo, el extracto acuoso del ginseng mostró su efecto radioprotector de forma más eficaz que su fracción triterpénica glicosídica. Dicho efecto está relacionado con su propiedad antioxidante, así como por su capacidad inmunomoduladora.¹²

Compuestos aislados de diferentes extractos como los polifenoles, carotenoides, flavonoides, terpenos, curcumina, quercetina, licopenos, xantinas, melatoninas, el ácido elágico, entre otros, han sido reportados como radioprotectores. Su habilidad para proteger contra radiaciones se atribuye principalmente a su habilidad de secuestrar radicales libres.

¹¹ Arora R, Gupta D, Chawla R, Sagar R, Sharma A, Kumar R, Prasad J, Singh S, Samanta N, Kumar Sharma R. Radioprotection by Plant Products: Present Status and Future Prospects. *Phytother. Res* 2005; 19:1-22

¹² Gandhi N.M, Nair, CH. Radiation Protection by Diethyldithiocarbamate: Protection of membrane and DNA *in vitro* and *in vivo* against γ -Radiation. *J. Radiat. Res* 2004; 45: 175-180.

La eficacia radioprotectora de un extracto acuoso de *Amaranthus paniculatus* fue evaluada *in vivo* en ratones Swiss albino. La administración oral de este extracto durante 15 días antes de la irradiación de estos ratones redujo su mortalidad y protegió su sistema hematopoyético.¹³ Similar comportamiento mostró el extracto de *Terminalia chebula*, el cual al ser administrado a ratones antes de ser estos irradiados disminuyó la peroxidación lipídica así como el daño al ADN inducido por las radiaciones en las células del hígado. *Hemidesmus indicus* por su parte, también redujo la peroxidación lipídica en microsomas de hígado de rata y protegió el DNA plasmídico de las roturas de cadena inducidas por la radiación.¹⁴

Antioxidantes

La evidencia científica acumulada durante las últimas décadas indica que, más allá de las promesas iniciales de retardar el envejecimiento, los antioxidantes al ser consumidos bajo la forma de alimentos tienen un importante potencial para reducir el desarrollo de aquellas enfermedades que actualmente más afectan a la población mundial.

Un antioxidante puede ser definido, en el sentido más amplio de la palabra, como cualquier molécula capaz de prevenir o retardar la oxidación (pérdida de uno o más electrones) de otras moléculas, generalmente sustratos biológicos como lípidos, proteínas o ácidos nucleicos. La oxidación de tales sustratos podrá ser iniciada por dos tipos de especies reactivas: los radicales libres, y aquellas especies que sin querer ser radicales libres, son suficientemente reactivas para inducir la oxidación de sustratos como los mencionados.

Un radical libre, desde el punto de vista químico, es cualquier especie (átomo, molécula o ion) que contenga al menos un electrón desapareado en su orbital más externo y que sea a su vez capaz de existir en forma independiente (de ahí el término libre).

Los átomos ordenan sus electrones en regiones denominadas “orbitales atómicos”, bajo la forma de pares de electrones. Eso último confiere al átomo estabilidad, o baja reactividad química hacia su entorno.

Sin embargo, bajo ciertas circunstancias, dicho orbital puede perder su paridad, ya sea, cediendo o captando un electrón. Cuando ello ocurre, el orbital resultante exhibe un electrón desapareado, convirtiendo al átomo en un radical libre.

¹³ Krishna A, Kumar A. Evaluation of radioprotective effects of Rajgira (*Amaranthus paniculatus*) extract in Swiss albino mice. J. Radiat. Res 2005; 46: 233-239.

¹⁴ Shetty T.K, Satav J.G, Nair C. K. Radiation Protection of DNA and Membrane *in vitro* by Extract of *Hemidesmus Indicus*. Phytother. Res 2005; 19, 387-390.

La presencia de un electron “desapareado” en el orbital más externo de un átomo confiere a este último una aumentada habilidad para reaccionar con otros átomos y/o moléculas presentes en su entorno, normalmente, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. La interacción entre radicales libres y dichos sustratos da lugar a alteraciones en las propiedades estructurales, y eventualmente funcionales, de estos últimos.

La generación endógena de ROS (radicales libres y otras especies reactivas pro-oxidantes) es parte normal del metabolismo de todo ser vivo aerobio. En efecto, bajo condiciones fisiológicas, la mayor parte de los tejidos del organismo humano generan cantidades significativas de ROS. Entre los ROS más generados, destaca el radical libre anión superóxido. La generación de dicho radical tiene lugar, a nivel celular, principalmente a treves de la cadena de transporte de electrones en la mitocondria.

Otra especie reactiva normalmente generada por el organismo es el óxido nítrico. Este radical libre, que resulta de la acción de la enzima citosólica óxido nítrico sintasa, es generado en forma continua, aunque no exclusiva, por células vasculo-endoteliales (aquellas que “tapizan la parte interna de un vaso sanguíneo”).

Desde una perspectiva de su origen y presencia en el organismo, es posible distinguir entre aquellos antioxidantes que son normalmente bio-sintetizados por el organismo, y aquellos que ingresan a éste a través de la dieta. Entre los primeros se encuentran:

- 1) Los antioxidantes enzimáticos
- 2) Los antioxidantes no enzimáticos
- 3) Los que ingresan al organismo a través de la dieta, se clasifican en:
 - 1) Vitaminas-antioxidantes, como ácido ascórbico, alfa-tocoferol y beta-caroteno (o pro vitamina A)
 - 2) Carotenoides, como luteína, zeaxantina y licopeno
 - 3) Polifenoles, en sus categorías de flavonoides y no flavonoides

Y compuestos que no caen en las tres categorías anteriores, como son algunos glucosinolatos y ciertos compuestos órgano-azufrados.

Los principales mecanismos de acción de los antioxidantes es prevenir o retardar la oxidación de un sustrato biológico, y en algunos casos revertir el daño oxidativo de las moléculas afectadas.

Si bien los alimentos no constituyen un aporte efectivo de enzimas antioxidantes, ya que tras su ingesta tales se degradan durante el proceso de digestión, algunos si pueden contribuir a su funcionamiento óptimo aportando aquellos macrominerales que son requeridos para la biosíntesis de tales enzimas.

Estrés oxidativo

Bajo ciertas condiciones, la velocidad con la que se generan especies reactivas (ROS y RNS) en el organismo supera la velocidad con que dichas especies son removidas por los mecanismos de defensa antioxidante. Al desbalance o desequilibrio redox que tiene lugar se llama estrés oxidativo. Puede surgir como resultado de

- 1) Una exacerbada producción de especies recreativas, aun en presencia de un equilibrado aporte dietario de antioxidantes
- 2) Una disminuida ingesta de alimentos ricos en antioxidantes, aun en ausencia de una aumentada producción de especies reactivas
- 3) Una reducida biosíntesis de alguno de los mecanismos antioxidantes endógenos, aun en presencia de un equilibrado aporte dietario de antioxidantes y en ausencia de una aumentada producción de especie reactivas.

Cuando el estrés oxidativo afecta los sustratos biológicos, el desequilibrio redox que caracteriza a dicho estrés se traduce en un daño oxidativo a diversas macromoléculas. Cuando el daño oxidativo es intenso, sostenido en el tiempo, y no logra ser revertido o reparado, éste será conducente a la aparición de aquellas patologías que actualmente se asocian al estrés oxidativo.

MARCO METODOLOGICO

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

Para llevar adelante el estudio se perfeccionó una encuesta a los productores de Bioimágenes de la ciudad de San Nicolás de los Arroyos.

El estudio se lleva a cabo en la ciudad de San Nicolás de los Arroyos, durante el mes de abril de 2019, en un productor de Bioimágenes más popular, abarcando a todos los profesionales que puedan estar relacionados con la producción de Bioimágenes, y que se desempeñan en distintas actividades.

El efector de salud donde se desarrolló la encuesta fue una clínica que se encuentra ubicada en el micro centro de la ciudad. Fue inaugurado el 6 de diciembre de 1978, encuadrado por el Ministerio de Salud de la provincia de Buenos Aires en categoría 4^{ta} de establecimiento polivalente con internación y prestación quirúrgica. Se construyó en 8 plantas y está equipado con la más alta tecnología; posee capacidad para 75 camas y un cuerpo de profesionales multidisciplinario de diversos perfiles. El Sanatorio cuenta con 18 consultorios externos, 3 quirófanos, unidad de terapia intensiva, unidad coronaria, laboratorio de análisis propio, oxigenoterapia central e individual, ecógrafos, tomógrafo, equipos de rayos X, centro de esterilización, servicio de medicina transfusional y servicio de guardia activa, entre otros. Especialidades: Alergia, Cardiología, Cirugía Gral., Cirugía Torácica, Cirugía Vascular Periférica, Clínica Médica, Dermatología e Inmunología, Endocrinología, Fonoaudiología, Gastroenterología, Ginecología, Medicina Laboral, Nefrología, Neumonología, Neurocirugía, Neurología, Obstetricia, Oftalmología, Oncología, Otorrinolaringología, Pediatría, Reumonología, Traumatología y Ortopedia, Tocoginecología (Ginecología y Obstetricia) y Urología. El servicio de internación cuenta con Cirugía Gral., Clínica Médica, Pediatría, Tocoginecología (Ginecología y Obstetricia), Traumatología y Ortopedia, Neonatología, Urología, Cirugía Vascular, Oftalmología, Unidad de Tratamiento del Quemado. Las prestaciones paramédicas cuentan con Audiometría, Logoaudiometría, Electrocardiograma, E.C.G. Holter, Electroencefalograma, Electromiografía, Ergometría, Espirometría, Fibroscopía, Kinesiología, Fisioterapia, Ecografía, Ecocardiograma, Diagnóstico por Imágenes. En cuanto a la unidad de terapia intensiva, el día 7 de Setiembre del año 2002 se dejó inaugurada la nueva sala de Terapia Intensiva (U.T.I.), diseñada y construida bajo los más avanzados conceptos de la arquitectura hospitalaria; reúne condiciones que la convierten por sus características edilicias y por su equipamiento en una de la más importantes de la provincia

de Buenos Aires. Consta de nueve puestos de internación, un sector de aislamiento, estaciones de enfermería limpia y sucia, sala de médicos y locutorio para informe a familiares de pacientes. Posee un elevado nivel de complejidad científico-técnico con monitores multiparamétricos, respiradores mecánicos microprocesados con todas las variables de modos de asistencia ventilatoria, sistemas centrales de oxigenoterapia, aspiración y aire comprimido, cardiodesfibriladores de respuesta sincronizada, equipos de rayos X portátiles, oxicapnografía en la cabecera de cada paciente. La unidad coronaria fue inaugurada en diciembre del año 2002, cuenta con seis camas y un sector de recuperación post quirúrgica, posee monitoreo de función cardíaca y respiratoria en cada puesto, bombas de infusión, cardiodesfibrilador.

Los datos obtenidos, se procesaron y ordenaron en una 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 Bioimágenes. Se eligió perfeccionar planilla de cálculo para cuantificar e interés que genera una mejora en la difusión del uso de antioxidantes y se vuelca la información en gráficos estadísticos.

La variable en cuestión en este estudio fue el uso de antioxidantes como sustancias naturales o fabricadas por el hombre que pueden prevenir o retrasar algunos tipos de daños a las células y así contar con el beneficio de su efecto radioprotector.

San Nicolás de los Arroyos (referido también simplemente como San Nicolás), es una ciudad argentina, cabecera del partido de San Nicolás. Está situada en el interior de la Provincia de Buenos Aires, con más exactitud en el extremo norte de esta provincia, sobre el río Paraná y a la vera de la Autopista Buenos Aires - Rosario. Se ubica a 230 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 73 km de Pergamino y 70 km de Rosario. Tiene una población de 163 459 habitantes. 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 mencionan anteriormente y que se incluyen en la población y muestra. Dichas instituciones médicas se eligen de forma premeditada por ser la que más trabajadores de la ciudad abarca. La población con la que se trabaja es un productor de Bioimágenes de la ciudad de San Nicolás de los Arroyos, que cuenta con 18 radiólogos que cumplen con su horario laboral 5 días de la semana y cuentan con 48 horas de franco.

Se construyó una encuesta a un productor de Bioimágenes de la ciudad de San Nicolás de los Arroyos, a partir de las dimensiones de la variable, teniendo en cuenta el marco teórico, con 10 preguntas cerradas, dicotómicas o de opción múltiple, en la que se investiga acerca de la

incorporación de determinados antioxidantes y macrominerales, puede resultar beneficiosa, protegiendo el cuerpo de los niveles de radiación que el mismo recibe en el campo profesional. Se distribuyó la encuesta en el productor de bioimágenes que más se accede en la ciudad de San Nicolás. En el establecimiento se encontraban dos trabajadoras de sexo femenino, quienes contestaron amablemente unas preguntas para el presente trabajo y se les entregó las encuestas para que los demás encuestados la reciban y puedan dejar la constancia de sus respuestas. A continuación se analizan las respuestas de las 18 personas que respondieron voluntariamente a la encuesta planteada para evaluar los objetivos de este estudio, la cual se desarrolló en la ciudad de San Nicolás de los Arroyos en un productor de Bioimágenes durante los meses de abril y mayo de 2019.

Radiación ionizante

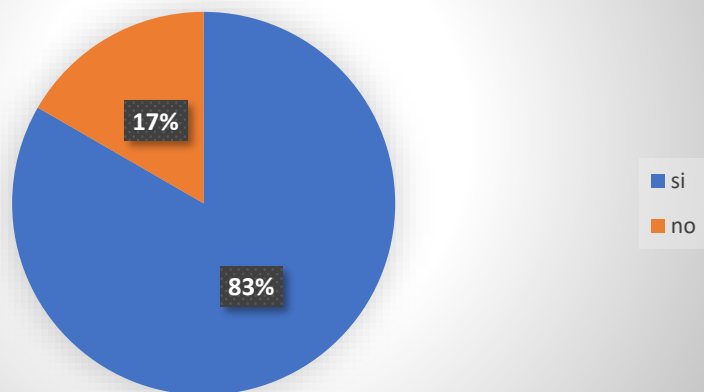


Para llevar a cabo esta investigación es fundamental que los voluntarios a participar de la encuesta estén en contacto con la radiación que el campo profesional determina.

Los datos obtenidos indican que el 100% de los encuestados trabaja todos los días con radiación ionizante.

Efectos de las radiaciones ionizantes

¿Tiene conciencia de los daños que pueden ser producidos en la salud por la constante exposición a la radiación?

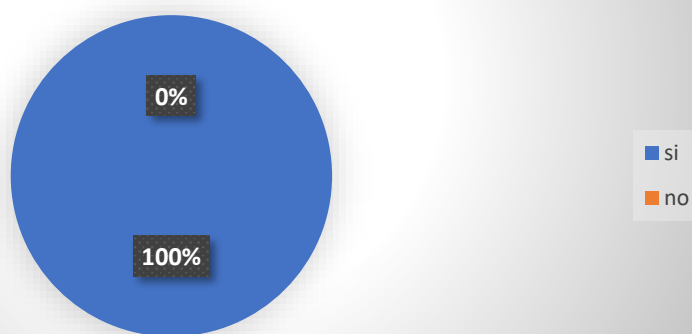


Una temática que está planteada dentro de los contenidos de la radiología y la radioprotección y se encuentra muy difundida dentro de la formación de los profesionales.

Los datos obtenidos indican que el 83% de los encuestados tiene conciencia de los daños que pueden ser producidos en la salud por la constante exposición a la radiación, mientras que el 17% trabajan sin pensar en ello.

Disponibilidad de materiales radio protectores

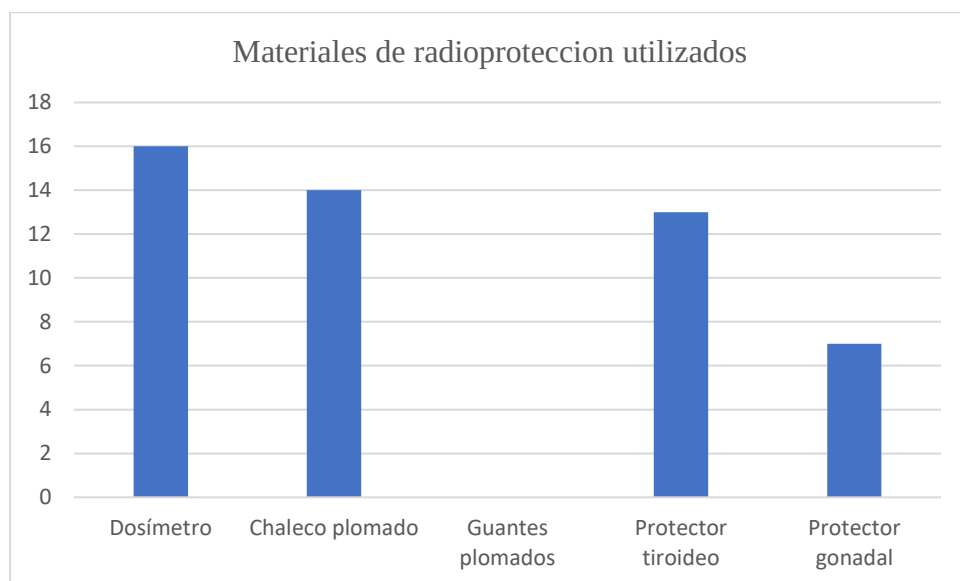
En su sector de trabajo, ¿Se encuentran disponibles y en condiciones los materiales de radio protección adecuados?



Los materiales de radioprotección adecuados son fundamentales en el campo profesional y es de gran importancia que cada uno tome conciencia y los utilice de manera constante.

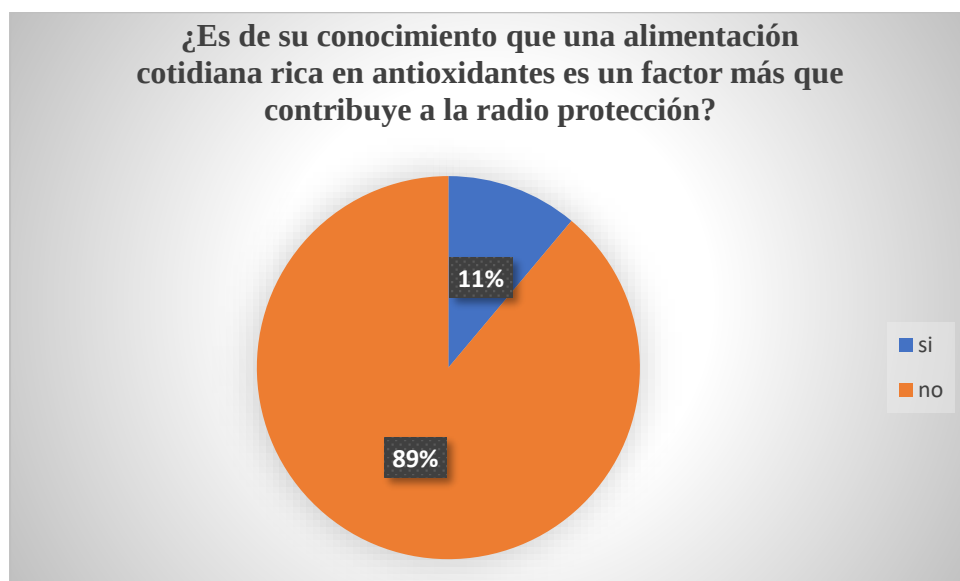
Los datos obtenidos indican que el 100% de los encuestados encuentran disponible y en condiciones los materiales radioprotectores.

Materiales de radioproteccion



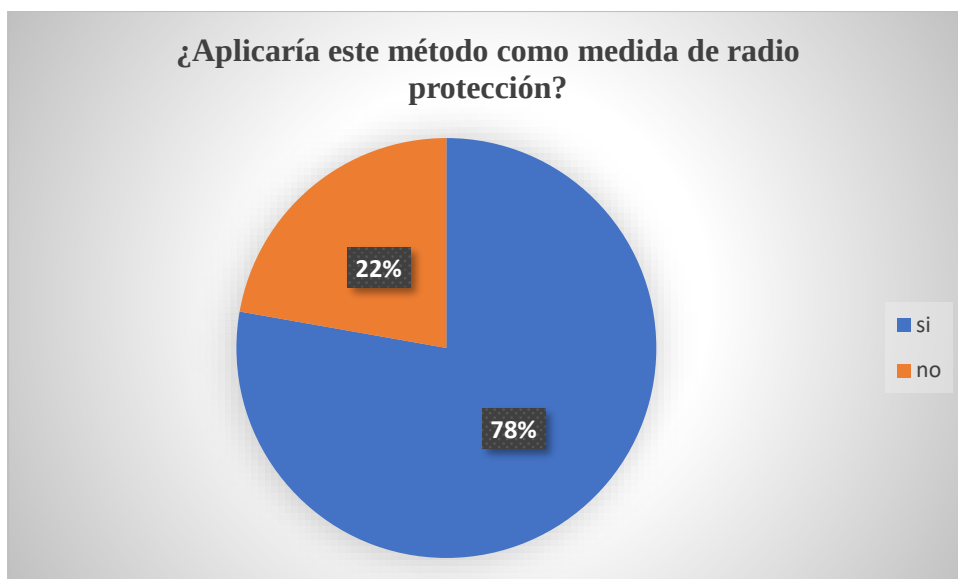
En esta sección se encuentra graficado en qué medida utilizan los materiales de radioproteccion los profesionales del establecimiento.

Conocimiento del uso de antioxidantes



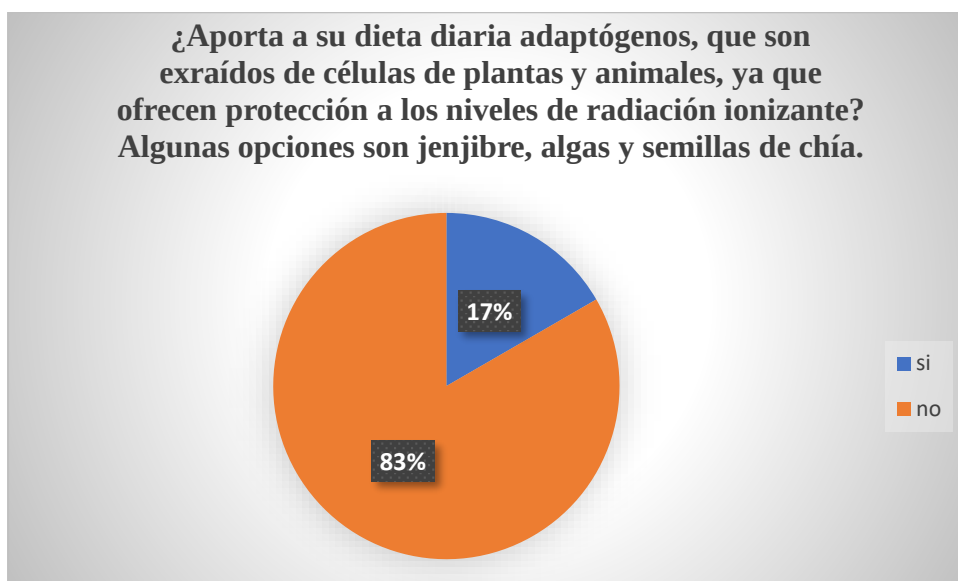
Los datos obtenidos indican que, del total de los encuestados, el 11% posee el conocimiento de que una alimentación cotidiana rica en antioxidantes es un factor más que contribuye a la radio protección, mientras que el 89% no lo sabe.

Método a aplicar



En esta sección se interrogó en relación a la pregunta anterior, si aplicarían el método de incorporar antioxidantes cotidianamente para contribuir a la radioprotección, la cual tuvo una respuesta positiva en el 78% mientras que el 22% no está interesado.

Adaptógenos

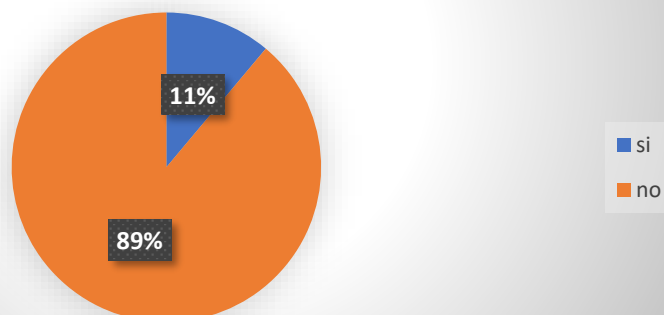


Son extraídos de células de plantas y animales y ofrecen protección a los niveles de radiación ionizante. Se interrogó a los profesionales si aportan esta medida de radio protección a su dieta, especificando con algunos alimentos como ejemplo.

Las respuestas indican que el 83% no hace el aporte a su dieta, pero el 17% no se encuentra interesado.

Antioxidantes

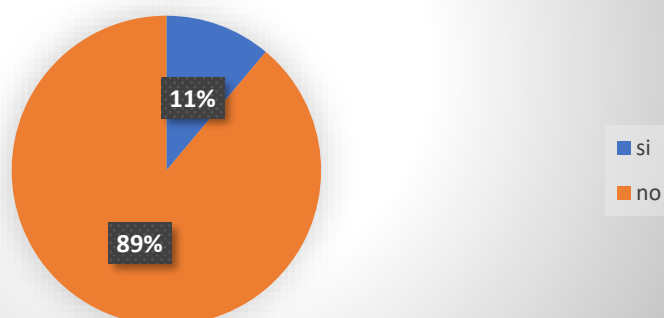
¿Incorpora a su alimentación cotidiana alimentos ricos en antioxidantes como vitaminas A, C y E para la protección frente a la radiación gamma? Algunas opciones son brócoli, té verde, tomate, ajo, canela, chocolate negro, frutos rojos, legumbres, aceite



Las vitaminas A, C y E son beneficiosas para la protección frente a la radiación gamma. Los datos obtenidos demuestran que el 89% no incorpora esto a su alimentación cotidiana, mientras que el 11% lo hace.

Minerales radioprotectores

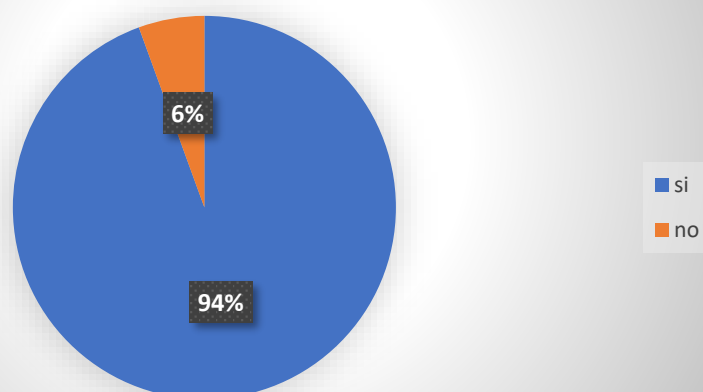
¿Incluye hierro, cobre, zinc y magnesio a su alimentación para la eliminación de radicales libres? Algunas opciones son lentejas, espinacas, pistachos, frutos secos, mariscos, carne de cerdo, arroz integral, huevos, quinoa, palta.



Hierro, cobre, zinc y magnesio en la alimentación son beneficiosos para la eliminación de radicales libres. Se interrogó a los profesionales si realizan esta incorporación a su alimentación cotidiana dando ejemplos específicos de alimentos y los resultados mostraron que el 89% no lo aplican mientras que el 11% si lo hace.

Cambio de hábito

¿Considera que es posible modificar los hábitos alimentarios cotidianos para complementar la radioprotección mecánica?



Para finalizar, se interrogó si consideran posible modificar los hábitos alimentarios cotidianos para complementar la radioproteccion y tuvo una respuesta negativa en el 6% de los encuestados y una respuesta positiva en el 94%.

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha investigado una parte de los profesionales de Bioimágenes de la ciudad de San Nicolás de los Arroyos, indagando sobre la incorporación a su dieta cotidiana antioxidantes como medida de radioprotección.

Dentro de los resultados obtenidos se demostró que no existe una investigación con características similares que aborden estos temas en la ciudad de San Nicolás, que no hay normativas ni programas de promoción sobre una mejora en la alimentación o la incorporación de antioxidantes a la dieta. Se muestra un notorio interés por parte de los profesionales en querer incorporar los alimentos nombrados una vez conocidos sus beneficios y así incorporar en la vida cotidiana una medida más de radioprotección.

Por todo lo expuesto se confirma que los profesionales de Bioimágenes de la ciudad de San Nicolás de los Arroyos no incorporan a su dieta cotidiana antioxidantes como medida de radioprotección ya que no poseen el conocimiento adecuado, pero están dispuestos a realizar dicha incorporación como medida de protección frente a las radiaciones ionizantes con las que se enfrentan en el campo profesional.

BIBLIOGRAFIA

- Ashok, P. Koti, BC. Vishwanathswamy, AH. (2010) *Últimos avances en radioprotectores de origen natural*. (8ª ed.). Alicante: Harcourt.
- Alberts B., Bray D., Hopkin K., Johnson A., Lewis J., Raff M., Roberts K., Walter P. (2004). *Introducción a la Biología celular*. España: Panamericana.
- Alfredo L. Fernández R. Arencibia Arrebola D.F. Lazara Curveco Sánchez D. (2014) *Sustancias radioprotectoras, clasificación y sus mecanismos de acción*. (3ª ed.) Mallorca: Reverté
- Bushong S. (1993) *Manual de Radiología para Tecnólogos, Física, Biología y Protección Radiológica*. (5ª ed.) Pilar: Mosby.
- Dillenseger J. P., Moerschel E. (2012). *Manual para Técnicos Radiólogos*. Francia: Journal.
- Gomez, D.L. (2013). *Alimentación como mecanismo de radioproteccion*. Tesis de Licenciatura, Universidad Abierta Interamericana. Rosario.
- Sánchez, J.C y Benavente-García O. Flavonoides contra las radiaciones. España 2010.
Sitio web: (http://cienciaysalud.laverdad.es/5_5_13.html). Conectado 10/03/2019 - 09:47:05 hs.

ANEXO

Encuesta a los productores de bioimágenes

Dirigido a médicos, licenciados, técnicos.

Nombre (opcional):

Lugar de trabajo:

Nivel de estudios alcanzado: Medico – Licenciado – Técnico

1- ¿Trabaja todos los días con radiación ionizante?

Si

No

2- ¿Tiene conciencia de los daños que pueden ser producidos en la salud por la constante exposición a la radiación?

Si

No

3- En su sector de trabajo, ¿Se encuentran disponibles y en condiciones los materiales de radio protección adecuados?

Si

No

4- En el caso de que utilice materiales de radio protección, especifique cuales de los siguientes usa cotidianamente:

Dosímetro

Chaleco plomado

Guantes plomados

Protector tiroideo

Protector gonadal

5- ¿Es de su conocimiento que una alimentación cotidiana rica en antioxidantes es un factor más que contribuye a la radio protección?

Si

No

6- ¿Aplicaría este método como medida de radio protección?

Si

No

- 7- ¿Aporta a su dieta diaria adaptógenos, que son extraídos de células de plantas y animales, ya que ofrecen protección a los niveles de radiación ionizante? Algunas opciones son jengibre, algas y semillas de chía.

Si

No

- 8- ¿Incorpora a su alimentación cotidiana alimentos ricos en antioxidantes como vitaminas A, C y E para la protección frente a la radiación gamma? Algunas opciones son brócoli, té verde, tomate, ajo, canela, chocolate negro, frutos rojos, legumbres, aceite de oliva, frutos secos, uvas,

Si

No

- 9- ¿Incluye hierro, cobre, zinc y magnesio a su alimentación para la eliminación de radicales libres? Algunas opciones son lentejas, espinacas, pistachos, frutos secos, mariscos, carne de cerdo, arroz integral, huevos, quinoa, almendras, palta.

Si

No

- 10- ¿Considera que es posible modificar los hábitos alimentarios cotidianos para complementar la radioprotección mecánica?

Si

No