

Efectos estocásticos en el Trabajador Ocupacionalmente Expuesto (TOE).

Harlinson López Urieta

Jeison Arnoldo Moreno Orozco

Luisa Fernanda Zabala Uribe

María Alejandra Posada Loaiza

María José Gil Hoyos

Asesor

Luis Fernando Gómez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias de la Salud ECISA

Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnosticas

2023

Resumen

La radiología, así como muchas especialidades médicas; es fundamental en la medicina actual, ya que brinda un diagnóstico certero al paciente y esto a su vez permite al médico elegir el tratamiento adecuado según la patología. Sin embargo, el uso inadecuado de la radiación ionizante implica riesgos adicionales que conllevan a efectos biológicos tanto para el Trabajador Ocupacionalmente Expuesto (TOE), el paciente y el público en general; por ejemplo, quemaduras (efectos determinísticos), o cánceres (efectos estocásticos). Estos efectos tienen lugar tras exposiciones a dosis o tasas de dosis moderadas o bajas; la probabilidad de aparición de estos efectos aumenta con la dosis, pero a diferencia de los efectos determinísticos, no es su gravedad la que aumenta con la dosis. La gravedad de estos efectos depende de factores como el tipo de célula afectado y el mecanismo de acción del agente agresor que interviene (Consejo de Seguridad Nuclear). Aunque se tienen avances tecnológicos en busca de mejorar la protección radiológica, aún existe la incertidumbre con relación a la exposición que se tiene a la radiación y las probabilidades de desarrollar alguna patología como el cáncer u otra clase de efectos que afecten la salud del TOE a lo largo del tiempo.

Palabras Clave: Radiación ionizante, efectos estocásticos, Trabajador Ocupacionalmente Expuesto (TOE), dosimetría, exposición, enfermedad.

Abstract

Radiology, as well as many medical specialties, is fundamental in today's medicine, since it provides an accurate diagnosis to the patient and this in turn allows the physician to choose the appropriate treatment according to the pathology. However, the inappropriate use of ionizing radiation implies additional risks that lead to biological effects for both the Occupationally Exposed Worker (OEW), the patient and the general public; for example, burns (deterministic effects), or cancers (stochastic effects). These effects occur after exposures to moderate or low doses or dose rates; the probability of occurrence of these effects increases with dose, but unlike deterministic effects, it is not their severity that increases with dose. The severity of these effects depends on factors such as the type of cell affected and the mechanism of action of the offending agent involved (Nuclear Safety Council). Although technological advances have been made to improve radiological protection, there is still uncertainty regarding the exposure to radiation and the probabilities of developing pathologies such as cancer or other types of effects that affect the health of the TOE over time.

Keywords: Ionizing radiation, stochastic effects, Occupationally Exposed Worker (OEW), dosimetry, exposure, disease.

Tabla de Contenido

Introducción.....	8
Planteamiento del Problema.....	9
Justificación.....	12
Objetivos.....	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos.....	14
Marco Teórico.....	15
Historia de la Radiología.....	15
Efectos Estocásticos.....	16
Enfermedad por Radiación.....	18
Dosimetría.....	21
Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección Contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación.....	22
Organismos de control.....	23
Protección radiológica de los trabajadores.....	24
Metodología.....	28
Muestra.....	28
Enfoque.....	28
Tipo de Estudio.....	28
Instrumentos para Utilizar.....	28

Desarrollo del proyecto.	29
Capítulo 1.....	29
Capítulo 2.....	34
Capítulo 3.....	35
Conclusiones.....	39
Referencia Bibliográficas	40

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Factores de riesgo por área</i>	33
---	----

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Dosis de radiación y valores comparativos</i>	22
Figura 2 <i>Factores de riesgos físicos</i>	33
Figura 3 <i>Vista previa de la matriz AMEF</i>	35
Figura 4 <i>Factores básicos de protección radiológica</i>	37
Figura 5 <i>Pilares del sistema de protección radiológica</i>	38

Introducción

La exposición a diferentes agentes o condiciones puede causar efectos diversos en la salud de los trabajadores. Cuando se habla de los efectos estocásticos en el trabajador ocupacionalmente expuesto (TOE), se hace énfasis en aquellos impactos que son aleatorios y pueden surgir como consecuencia de la exposición a ciertos factores.

Los efectos estocásticos son los que no tienen una relación directa de causa y efecto, si no que van ligados a probabilidades estadísticas, ocupacionalmente dichos efectos están asociados a la exposición a radiaciones ionizantes, sustancias químicas carcinogénicas, o algunos factores ambientales que pueden causar daños biológicos en las personas expuestas.

El estudio sobre los efectos estocásticos en los TOE, generalmente va enfocado en la importancia de la seguridad y salud ocupacional. Se hace énfasis en la necesidad de entender y abordar los riesgos asociados con la exposición laboral, en especial con aquellos trabajadores que se ven expuestos a efectos estocásticos. Además, es importante tener presente lo importante que es hacer evaluación de riesgo y tener en continuo monitoreo a los trabajadores expuestos para así minimizar los efectos negativos ya que la variabilidad de respuesta ante la exposición es diferente en cada trabajador así las condiciones sean parecidas o iguales y es cuando se debe hacer énfasis en las políticas de seguridad laboral, para así hacer prevención y garantizar un ambiente laboral saludable.

Planteamiento del Problema

Se define como Trabajador Ocupacionalmente Expuesto a toda persona que laboralmente tenga o pueda tener alguna exposición a radiaciones ionizantes, ya sea que opere o no algún equipo generador de radiaciones ionizantes, y/o manipule o no algún material radiactivo, ya sea en jornada completa, tiempo parcial, o transitoriamente. Durante el desarrollo del siguiente trabajo usaremos las siglas "TOE" para referirnos al Trabajador Ocupacionalmente Expuesto.

Los TOE son quienes se ven más afectados por el aumento de exposición a radiaciones ionizantes, que por su misma praxis supone en menor o mayor medida, según la especialidad que desempeñe, y, que, a pesar de tener límites de dosis establecidos en términos ocupacionales, en pro de minimizar los efectos biológicos, siguen siendo una constante preocupación en el gremio (Shengli Niu, 2011).

Según un informe de 2008 del Comité Científico de las Naciones Unidas para el estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, alrededor de 23 millones de trabajadores de todo el mundo están expuestos ocupacionalmente a la radiación ionizante, de los cuales aproximadamente 13 millones llevan a cabo trabajos en los que intervienen fuentes naturales de radiación y unos 10 millones que implican exposición a fuentes artificiales. Si bien la exposición a la que los trabajadores están expuestos se debe principalmente al funcionamiento normal de las instalaciones en las que trabajan, pueden verse sometidos ocasionalmente a una sobreexposición como consecuencia de un accidente (Shengli Niu, 2011).

Si como consecuencia de la irradiación la célula no muere, sino que sufre una modificación en el ADN, podrán producirse los denominados efectos estocásticos. Cuando

se habla de daños estocásticos, hacemos referencia a la acción indirecta de la radiación ionizante la cual produce un estallido de las moléculas de agua, creando radicales libres altamente reactivos y con capacidad para oxidar y reducir otras moléculas, creando nuevas sustancias que pueden ser tóxicas para la célula. Del número de células que expresen un daño celular dependerá que en el tejido se ponga de manifiesto la lesión radioinducida. (Shengli Niu, 2011).

A partir de esta situación, surge un sinnúmero de interrogantes en relación a la protección que se le brinda al personal, como: ¿Entre enfermeros, tecnólogos y Radiólogos, quien tiene más probabilidades de sufrir efectos estocásticos? ¿Qué medidas de protección establecen los centros de atención para reducir la probabilidad de que aparezcan efectos estocásticos en el personal de radiología? y, a pesar de contar con estándares dosimétricos y establecer límites en las dosis permitidas, siempre existirán probabilidades de que el personal pueda desarrollar alguna patología durante el transcurso de su carrera laboral. (Puerta Ortiz & Morales Aramburo, 2020).

El desconocimiento de las medidas de radioprotección y las estrategias que se deben utilizar para reducir al máximo la exposición indirecta a la radiación ionizante hace que sufran de manera potencial los efectos estocásticos y que posteriormente ante una posible enfermedad por dicha exposición se desconozca el verdadero origen de su patología.

Es así cuando siguiendo con la línea de prevención y autocuidado, es imprescindible conocer, tan en detalle como sea posible, los efectos producidos por ésta la radiación ionizante al TOE, así mismo establecer métodos, procesos y ayudas tecnológicas disponibles para evitar que se aumente la probabilidad de aparición de estos efectos o que

minimice los mismos con el fin de preservar y mantener la salud e integridad del personal asistencial.

Por tal motivo planteamos el siguiente problema:

¿Como aplicar las medidas de radioprotección para la exposición indirecta a la radicación ionizante y evitar daños estocásticos?

Justificación

Según la OMS (2016) las situaciones de exposición a la radiación ionizante se pueden clasificar en diferentes categorías, tres específicamente: La exposición planificada, la existente y en situaciones de emergencia.

La exposición planeada hace relación al funcionamiento de fuentes de radiación con fines específicos: diagnósticos, terapéuticos o en la industria. Como se ha mencionado, la radiación ionizante puede afectar la salud e integridad de las personas, en este sentido, es necesario realizar una diferencia entre los efectos relacionados con el aumento de la dosis de radiación los cuales son de clasificación grave de aparición tardía, como el cáncer radioinducido y las alteraciones genéticas, y los efectos relacionados con el exceso del umbral de dosis (a más de 2 (Gy) (D. Andisco, S. Blanco y A.E Buzzi, 2014, p. 114-117). En concordancia con lo anterior, el conocer y hacer uso de los elementos de radioprotección en la práctica médica radiológica, evade riesgos, daños y reduce la exposición a la radiación excesiva.

Durante la evolución histórica de la radiación ionizante, se ha creído que dicha radiactividad es nefasta para el ser humano, sin embargo, el desconocimiento no ha permitido profundizar en los múltiples beneficios que su implementación ha beneficiado a diferentes ramas de la ciencia; en la rama de la radiología convencional, su uso reiterado y como apoyo a otras modalidades han permitido reconocer diferentes condiciones de salud para darles tratamiento. Sin embargo, existe el deber ético de evitar el daño causado por la sobreexposición, lo cual, aparte de la dosimetría personal, también propicia el uso adecuado en el manejo de aspectos como: el factor geométrico (distancia frente al objeto) y el factor material (tipo de energía a nivel de radiación empleada) lo que determina de tal manera la

distancia, el blindaje y el tiempo que constituyen puntos claves en el manejo seguro de fuentes de radiación (Díaz, 2002, p.6).

Es importante dentro de los lineamientos en la obtención de estudios diagnósticos poder obtener una imagen confiable y de calidad que permita un adecuado diagnóstico y donde se emita la menor dosis posible tanto para el paciente como para el personal médico expuesto. En los estudios radiológicos se deben de realizar de forma optimizada, conservando la calidad como está indicado por el concepto ALARA, así, para cada estudio se indica la dosis en función del órgano irradiado para administrar la dosis mínima. De lo anterior se deriva que, en toda práctica con exposición a radiaciones ionizantes se debe tener siempre presente el cumplimiento de los Principios Fundamentales de la Protección Radiológica: Justificación, optimización y limitación de dosis abordando las siguientes características:

Justificación: Sugiere a que la práctica que requiera el uso de radiación ionizante debe ser valorada por personal médico, basando su empleo en el beneficio para el paciente comparándolo con el riesgo.

Optimización: Hace referencia a que el uso de la radiación debe tener las dosis de menor impacto posible pero que al mismo tiempo obtenga la calidad radiológica diagnóstica requerida; este principio a su vez abordaría otros factores como el social y el económico.

Limitación de la dosis: Se relaciona con la protección radiológica hacia el personal expuesto: paciente, y personal médico expuesto, permitiendo delimitar la radiación impartida y los efectos adversos que pueden ser a corto, mediano y largo plazo.

Objetivos

Objetivo General

Proponer prácticas seguras para controlar el riesgo por radiación ionizante durante la exposición ocupacional.

Objetivos Específicos

Analizar los principales factores de riesgo en un área de ayudas diagnósticas con el fin de determinar el impacto de la exposición a radiaciones ionizantes del personal trabajador.

Elaborar una matriz AMEF (análisis, modo, efecto y fallas) con el fin de determinar e identificar errores potenciales en el proceso de atención médica y las acciones de mejora frente a la práctica radiológica

Proponer mejoras de seguridad y protección para los TOE.

Marco Teórico

Historia de la Radiología

El abordaje histórico de los rayos x han expuesto su origen natural y el costo beneficio empleado en el ámbito médico.

Los Rx fueron descubiertos por Roentgen en el año 1895, quien, por su interés en los tubos de rayos catódicos, experimentó con tubos de platino cianuro de bario y su fluorescencia surgía al pasar un haz de rayos; una radiografía de la mano de su esposa Bertha Röntgen evidenció por primera vez imágenes óseas detalladas. La impresión de la placa radiográfica fue exhibida en el año 1895 frente a la sociedad física-Médica de Würzburg, como una herramienta para el diagnóstico oportuno de enfermedades (Gonzales & Gonzales, 2017).

La afectación de la radiación ionizante se da cuando los átomos cuyo núcleo tienen características a nivel de neutrones insuficientes o excesivos, generando inestabilidad y convirtiéndose en radiactividad.

La modalidad de radiología convencional es un instrumento médico cuyo designio busca diagnosticar condiciones de salud siendo empleada para la valoración y la detección de enfermedades a nivel anatómico como abdomen, tórax, huesos, pelvis, entre otros (Chen & Ott, 2006).

Madrigal (2009) afirma que los rayos x permitieron situar cuerpos extraños en la materia, mostrando inicialmente imágenes opacas, por lo cual se convirtió en una herramienta fundamental y constante para la atención médica.

Los beneficios para el área médica desde que Roentgen hizo su gran descubrimiento, los rayos x fueron significativos permitiendo en primera medida captar estructuras óseas para el reconocimiento profundo de ciertas patologías , dando al mundo una nueva oportunidad de diagnóstico a cualquier paciente sometido a los mismos, pero no solo permitió verificar estructuras óseas, sino que además también se utilizaban para diagnosticar enfermedades de los tejidos blandos como neumonía, cáncer de pulmón, edemas pulmonares y abscesos.

En contraposición hay que tener claridad que los rayos x, su principal fuente de energía es emanada mediante radiaciones ionizantes. Al ser los rayos x generadores de radiación ionizante es de vital importancia conocer cuáles son los efectos biológicos producidos por estos agentes y si ellos son beneficiosos o no para la salud humana, esto constituye en la actualidad una necesidad primordial (Puerta & Morales, 2020).

Efectos Estocásticos

Los efectos estocásticos son efectos que pueden aparecer, pero no lo hacen necesariamente. Lo más que se puede decir es que existe una cierta probabilidad de que estos efectos se produzcan. Los ejemplos más conocidos son el desarrollo de cáncer y las mutaciones genéticas.

Los efectos de la radiación ionizante pueden afectar a la célula causando su muerte. Pero, resulta que para matar directamente una célula se necesitan altas dosis de radiación. Por desgracia, esto no significa que las células sean resistentes a la radiación ya que, aunque la célula sobreviva, pueden alterarse sus funciones biológicas. Este es precisamente

el punto débil de las células. Si la célula no es capaz de realizar sus funciones biológicas (producción de proteínas, capacidad de reproducirse, etc.) morirá al poco tiempo (J.E. Amaro, 2006, p.8).

Es precisamente la capacidad de reproducirse de las células y organismos multicelulares la función más sensible a las rupturas causadas por la radiación. Esto es debido a que la reproducción es un proceso muy complejo que requiere el almacenamiento de información que incorpora las “instrucciones” acerca de la estructura y metabolismo de la célula. Es esta información la que puede ser alterada más fácilmente. El organismo como un todo muere, no porque sus células individuales hayan muerto, sino porque no logran reproducirse y reemplazarse (J.E. Amaro, 2006, p.9)

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

También se explica así por qué algunos tipos de células son más sensibles al daño de la radiación que otras. Las células que se reproducen rápidamente muestran una especial sensibilidad a la radiación (J.E. Amaro, 2006, p.10).

En los humanos adultos los dos órganos más sensibles son:

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

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

La sensibilidad de los organismos multicelulares a la radiación cambia con el tiempo. El periodo de crecimiento es obviamente el de mayor sensibilidad, pues la multiplicación de las células es más rápida. Por esta razón las dosis máximas recomendadas son menores para los niños y mujeres embarazadas. (J.E. Amaro, 2006, p.12).

La alteración de la información genética en la célula no significa necesariamente que las células sean incapaces de reproducirse. La disrupción de la información podría ser sólo parcial, la célula lograría reproducirse, pero la copia podría resultar alterada. Si las células alteradas proliferan más rápido que las normales, pueden desarrollarse cánceres latentes. (J.E. Amaro, 2006, p.13).

Enfermedad por Radiación

Los principales efectos estocásticos son los hereditarios y por carcinogénesis: este último efecto de carácter somático es de importancia crítica para la protección radiológica (Puerta & Morales, 2020).

Entendemos como carcinogénesis al proceso por el cual las células normales se transforman en células cancerosas, es ahí donde la radiación entra a jugar un papel importante.

La radiación puede ionizar cualquier átomo existente en los componentes de la célula, un resultado importante es la producción de radicales químicos, componentes extremadamente reactivos capaces de promover cambios químicos en las células. Esta carcinogénesis es uno de los efectos estocásticos más importantes, se cree que es un

proceso de etapas múltiples el cual se dividen en: iniciación del cáncer, la promoción del tumor y la progresión maligna (Gonzales, 1994).

Es aquí donde juega un papel protagónico el control a la dosis de radiación, la probabilidad que se inicien mutaciones es relativamente proporcional a la dosis recibida.

El cáncer es una enfermedad que se asocia a la exposición de radiación ionizante, sin embargo, es poco probable que la creación de un par iónico en una molécula de ADN genere la enfermedad. (Díaz, 2002).

Para el mes de julio de 2001, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), orientada en estudios epidemiológicos de leucemia en niños, clasificó a las radiaciones ionizantes como posiblemente cancerígenos y, por otro lado, en el encuentro regional sobre los campos electromagnéticos, Latinoamérica y el Caribe, se determinó que, si las radiaciones ionizantes no generan cáncer, pueden potenciar el crecimiento de tumores preexistentes. (Gómez & Pico, 2013).

La radiación posee riesgo carcinogénico comprobado. Se estima en un 5% la posibilidad de sufrir cáncer después de una exposición médica importante. Se estima que en EE. UU. Se presentarán 29,000 nuevos casos de cáncer vinculados a las tomografías computarizadas.

La radiación ionizante cuenta con suficiente energía para dar liberación a átomos y así dar creación a iones en los tejidos biológicos, causando daño en las moléculas biológicas como el ADN. Cuando hay una interacción con el ADN esta puede suceder de manera directa o por radicales libres que de igual forman causarán daño a este, causando cambios en las secuencias o mutaciones genéticas.

Al aparecer las mutaciones genéticas, estas pueden ser perjudiciales ya que existe la probabilidad de alterar el funcionamiento de las células lo que aumentaría el riesgo de padecer cáncer. Cabe considerar que el son los más propensos a desarrollar mutaciones genéticas ya sea en las células somáticas (no reproductivas) y las células germinales (las reproductivas). (Puerta & Morales, 2020).

Además de inducir cambios neoplásicos en tejidos somáticos, la radiación ionizante puede producir efectos transmisibles (hereditarios) en poblaciones irradiadas, a través de la inducción de mutaciones en el ADN de las células germinales masculinas o femeninas. Estas mutaciones, aunque no tienen consecuencias directas en el individuo expuesto, pueden expresarse en generaciones posteriores como desórdenes genéticos de muy diverso tipo y severidad. (CSN, 2013, pág. 19).

La estimación del riesgo de efectos hereditarios en humanos como consecuencia de la exposición a radiación se basa en el marco general de las enfermedades genéticas que ocurren de forma natural y en su clasificación en:

Mendelianas: Debidas a la mutación en un único gen. Dependiendo de la localización del gen mutado (en autosomas o en el cromosoma X) y de sus efectos en el fenotipo, las enfermedades Mendelianas se clasifican en autosómicas dominantes, autosómicas recesivas, ligadas al cromosoma X (dominantes o recesivas).

Cromosómicas: Debidas a alteraciones en los cromosomas.

Multifactoriales: debidas a complejas interacciones entre diversos factores genéticos y ambientales. Incluyen las anomalías congénitas comunes que están presentes en el momento del nacimiento y enfermedades crónicas en adultos.

Dosimetría

A fin de controlar el uso de radiación, a lo largo de la historia han evolucionado diversas tecnologías entre ellas la dosimetría, que permite controlar y efectuar intervenciones en caso de que se exceda la radiación y se alcancen factores de riesgo.

Uno de los componentes de la dosimetría es un pequeño dispositivo digital inalámbrico que suministra dosimetría continua de radiación electromagnética (REM) constituyendo la unidad de dosis en la radiación (Gentile, 2006).

El nivel de dosis mínima de la unidad del sistema internacional de medida es la unidad Sievert, equivalente a $1 \text{ Sv} = 100 \text{ REM}$. Estas medidas, determinan el valor límite de dosis permitida en el ámbito radiológico para aminorar la exposición del paciente y del trabajador. Por lo anterior, la dosis de miliSievert (mSv) por año admitida para el cuerpo en su totalidad es de 20 mSv y no debe exceder en un periodo corte de 5 años los 100 mSv (Gentile, 2006).

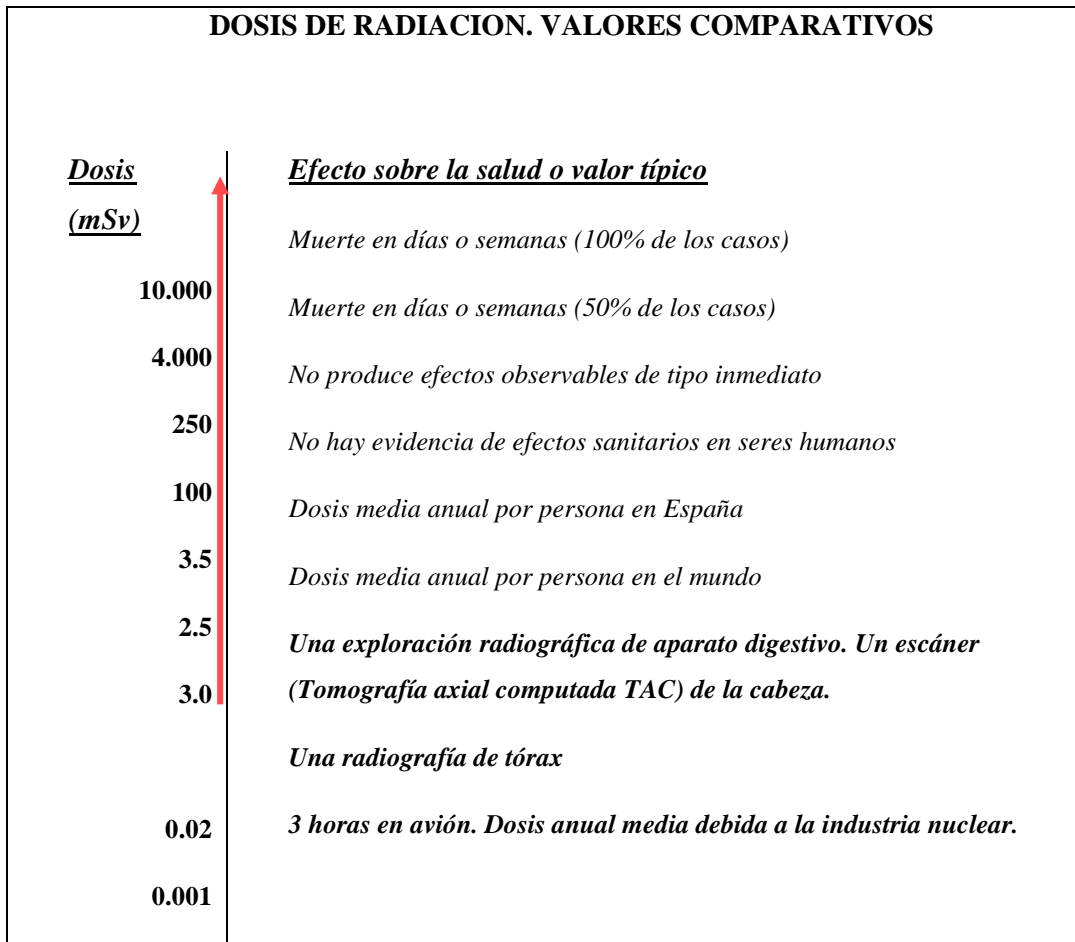
La Comisión Internacional de Protección Radiológica asevera que la dosis de exposición para trabajadores y pacientes debe ser de 10 mSv; si la dosis absorbida supera este valor, preexiste riesgo de condiciones adversas de salud por exposición a radiación.

Hay estudios que sugieren equivocaciones relacionadas con estas medidas en donde se presentan diferentes grupos de personas que han estado expuestas a radiación superando la mayor dosis de radiación permitida, generando extrapolación de los peligros evidenciados en contexto con dosis reducidas, sospechando en este caso la posibilidad de que surjan enfermedades como cáncer o que tenga efectos hereditarios (Díaz 2002).

En la siguiente figura se detalla la dosis de radiación y los efectos que se puede presentar la persona alterando su estado de salud.

Figura 1

Dosis de radiación y valores comparativos



Fuente. Tomada de Diaz (2002.P.16).

Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección Contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación

Exposición ocupacional:

Una dosis efectiva de 20 mSv por año como promedio en un período de cinco años consecutivos.

Una dosis efectiva de 50 mSv en cualquier año. c) Una dosis equivalente al cristalino de 150 mSv en un año.

Una dosis equivalente a las extremidades (manos y pies) o a la piel de 500 mSv en un año.

Exposición del público:

Una dosis efectiva de 1 mSv en un año.

En circunstancias especiales, una dosis efectiva de hasta 5 mSv en un solo año, a condición de que la dosis promedio en cinco años consecutivos no exceda de 1 mSv por año.

Una dosis equivalente al cristalino de 15 mSv en un año.

Una dosis equivalente a la piel de 50 mSv en un año.

Organismos de control.

En base a la multitud de estudios y conocimientos que se han desarrollado al largo de la historia en el campo de la radiación y por consiguiente en el campo de la protección radiológica, es de importancia enumerar cuáles son los organismos competentes en dichos campos. Estos organismos se encargan de velar por nuestra seguridad y medio ambiente.

ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) elaborara reglas de protección radiológica y otras utilizaciones de las radiaciones (ionizantes y no ionizantes) y sustancias radiactivas.

UNESCAR (United Nations Scientific Commite on the Effects of Atomic Radiation) se encarga de evaluar los niveles de radiactividad y los riesgos para el hombre.

ICRU (Comisión Internacional de Unidades Radiológicas) define los conceptos y las unidades necesarias de protección radiológica.

OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) su principal objetivo es “acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en todo el mundo”, a su vez se encarga de: Establecer protocolos de dosimetría y reglamentar el uso de sustancias radiactivas y generadores de radiación.

CIEMAT es un organismo de investigación y desarrollo tecnológico dirigido, a la formación de personal científico y técnico. Es la actual sede del laboratorio nacional de metrología de radiaciones ionizantes.

CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) su misión es evaluar y controlar el diseño, construcción y operación de las instalaciones nucleares y radiactivas (Ruiz & Canelles, 2007).

Protección radiológica de los trabajadores.

Uno de los principales objetivos de la protección radiológica consiste en la protección de los trabajadores expuestos por motivos profesionales a las radiaciones

ionizantes, de forma tal que el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzcan exposiciones sea lo menor posible y que las dosis individuales resultantes de dichas exposiciones también sean las menores posibles y no sobrepasen los límites de dosis reglamentarios. (CSN, 2013).

Según el Consejo de Seguridad Nuclear la vigilancia operacional de los trabajadores expuestos se basa en los siguientes principios:

Evaluación previa de las condiciones laborales para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico y asegurar la aplicación del principio de optimización.

Clasificación de los lugares de trabajo en diferentes zonas teniendo en cuenta la evaluación de las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad y magnitud de exposiciones potenciales.

Clasificación de los trabajadores expuestos en diferentes categorías según sus condiciones de trabajo.

Aplicación de las normas y medidas de vigilancia y control relativas a las diferentes zonas y a las distintas categorías de trabajadores expuestos, incluida en su caso la vigilancia individual.

Vigilancia sanitaria.

El titular de la instalación debe establecer las medidas de protección aplicables para prevenir la exposición, en función de los riesgos vinculados a los trabajos que impliquen exposición a las radiaciones ionizantes. Igualmente deberá informar a sus trabajadores expuestos antes de iniciar su actividad sobre los riesgos radiológicos asociados y las

normas y procedimientos de protección radiológica que deben adoptar. También deberá proporcionarles formación antes del inicio de la actividad y periódicamente (CSN).

Las dosis recibidas por los trabajadores expuestos durante toda la vida laboral se registran en el historial dosimétrico individual que se mantendrá debidamente actualizado y estará a disposición del propio trabajador (CSN).

Existe una normativa específica para garantizar una protección a los trabajadores externos, o trabajadores de contrata, equivalente a los trabajadores de plantilla que se detalla en el apartado de Carnés radiológicos y empresas externas (CSN).

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), suscita de forma permanente la búsqueda de regulación, control y orientación frente a la protección radiológica con el fin de evitar los efectos negativos que éstas causan y limita la probabilidad de incidencia en los efectos adversos que se asocian a la exposición (CSN).

No obstante, la práctica inadecuada o el desconocimiento de la dosificación pueden incidir en nuevas fuentes de emisión de radiación, exposición por vías nuevas o alteraciones entre las fuentes que existen. Por lo anterior se fundamentan tres principios que deben darse en la práctica médica: justificación, optimización y limitación de dosis y riesgos individuales (Díaz 2002).

Según la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), no es conveniente aplicar límites de dosis a la exposición médica de los pacientes, porque en ellos el pilar de la justificación respalda la irradiación y su cuantía, dado el mayor beneficio para éste (Ubeda, Roseti, & Aragón, 2018. p.249).

Por otro lado, existen también otros efectos que no se asocian a la dosificación de radiación sino por el incremento en la exposición o por condiciones que los hacen más propensos a detonar condiciones patológicas, denominadas efecto estocástico. (Martínez, 2017).

Metodología

Muestra

Estudios, investigaciones y publicaciones relacionadas con los efectos biológicos por radiación ionizante, con énfasis en los TOE.

Normativa relativa a las radiaciones ionizantes

Enfoque

Cualitativo, empleando la recolección de información y analizándolos con el fin de comprender el patrón y correlación entre causa y efecto. Los datos se sujetarán a un tratamiento estadístico.

Tipo de Estudio

Exploratorio-descriptivo.

Instrumentos para Utilizar

Se realizará una revisión bibliográfica exhaustiva de estudios y publicaciones científicas relacionadas con el tema de efectos estocásticos, biológicos de las radiaciones ionizantes y protección radiológica.

Desarrollo del proyecto.

Capítulo 1

Identificar los principales factores de riesgo en un área de ayudas diagnosticas con el fin de determinar el impacto de la exposición a radiaciones ionizantes del personal trabajador.

Tareas:

Revisar literatura sobre los principales factores de riesgo en un área de ayudas diagnosticas.

Definir cuáles son los principales factores de riesgo a los que se encuentra expuestos los TOE.

Realizar cuadro comparativo o conceptual, señalando dichos riesgos según el área.

Factor de riesgo: factor que aumenta la probabilidad de que se produzca un daño, un contratiempo, una desgracia u otra situación negativa, como contraer una enfermedad o sufrir un accidente laboral / Cualquier característica o circunstancia detectable de una persona o grupo de personas que se sabe asociada con un aumento en la probabilidad de padecer, desarrollar o estar especialmente expuesto a una enfermedad.

Con el pasar de los tiempos el área de la medicina ha tenido una evidente evolución en sus técnicas y procesos con el fin de preservar y corregir la salud de toda la población. Un área indispensable para la medicina es el área de ayudas diagnósticas, esta área que

mediante la toma de imágenes a diferentes partes del cuerpo son vitales para dar con un diagnóstico o tratamiento específico con el que cuenta o necesita un paciente.

Cabe resaltar la importancia y el papel protagónico que cumple el área de ayudas diagnósticas para la medicina, pero a su vez también es importante recalcar los posibles riesgos que encontramos en esta área tan importante en un centro asistencial.

Un área de ayudas diagnósticas se desarrolla inicialmente en ambientes como: salas de rayos salas de ecografía, tomografía axial, computarizada, mamografía, resonancia magnética, además de prestar servicios de apoyo de áreas exteriores del servicio de ayudas diagnósticas como es cirugía, áreas de cuidado crítico adulto y pediátrico y hospitalización con equipos de rayos x portátiles de Rayos X e imágenes.

A continuación, explicaremos grosso modo los principales riesgos que se evidencian en los servicios que presta el área de ayudas diagnósticas.

La mayoría de los equipos utilizados en estas áreas utilizan radiaciones como medio de obtención de las imágenes, por ende el primer riesgo que tenemos que poner a consideración es la exposición a radiaciones , por lo general la mayoría de equipos utilizan dosis bajas que se consideran seguras , sin embargo la radiación cuenta con la cualidad de ser acumulativa lo cual quiere decir que si no se toman las medidas de precauciones necesarias al estar expuesto a esas dosis pequeñas por un tiempo prologado puede generar problemas causados por la acumulación de radiación, se puede considerar un riesgo latente y presente para todo el personal que labora en el área(tecnólogos, jefes de enfermería , auxiliares , médicos radiólogos , entre otros).

Para evaluar de manera profunda los riesgos posibles debemos abarcar todas las áreas o factores presentes en el área de ayudas diagnósticas como lo son: Personal y Capacitación, pacientes, Instalación, equipos y elementos, dosimetría personal, protocolos, Registros y Documentación, entre otros. Estos factores se enfocan de manera directa con la evaluación del riesgo ya que al estar dentro del área de ayudas diagnósticas pueden tener una probabilidad de sufrir algún daño o percance.

La evaluación del riesgo se vuelve importante porque esta permite buscar y generar los posibles riesgos que tenemos en un área o labor específica, esta evaluación es trascendental porque con ellos se busca determinar los posibles riesgos y a su vez las posibles soluciones.

Al abarcar los riesgos presentes en un área de ayudas diagnósticas se debe enfocar a nivel global; es decir, no solo mirar los riesgos que establecen como tal la manipulación de equipos si no los riesgos latentes en todo el entorno (riesgos biológicos, biomecánico, condiciones de seguridad, físico, químico, psicosocial). Enfocar los riesgos desde el área de seguridad en el trabajo se hace imprescindible, esto conlleva a que el personal ocupacionalmente expuesto (TOE) minimicen los riesgos al momento de ejercer su labor.

Los principales factores de riesgo a los que se encuentra expuestos el personal TOE son:

Físicos: son todos aquellos factores ambientales de naturaleza física que, al ser percibidos por las personas, pueden provocar efectos adversos a la salud según sea la exposición y concentración de estos.

Químicos: es aquel evento con liberación de sustancias químicas peligrosas al medio ambiente, pero sin la ocurrencia de víctimas directas por la acción de las sustancias riesgosas en el organismo derramamiento de medicamentos o contacto incidental con la mucosa ocular y oral.

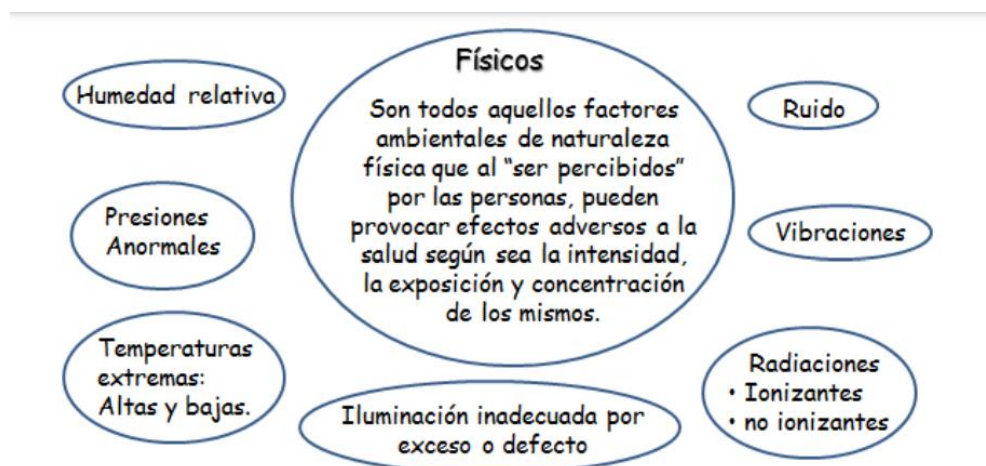
Biológicos: posible exposición a microorganismos que puedan dar lugar a enfermedades, motivada por la actividad laboral. Su transmisión puede ser por vía respiratoria, digestiva, sanguínea, piel o mucosas.

Mecánicos: conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos.

Eléctricos: es aquel que se produce por las instalaciones eléctricas energizadas o bajo tensión.

Factores de riesgo por carga física: son aquellas malas conductas posturales que no comulgan con la higiene postural y el autocuidado que pueden ocasionar lesiones en el personal TOE.

Psicolaborales: son aquellos que están originados por una deficiente organización y gestión de las tareas y por un entorno social negativo.

Figura 2*Factores de riesgos físicos**Fuente. Autoría Propia***Tabla 1***Factores de riesgo por área*

Área	Riesgo	Acción para generar el riesgo	Posibles consecuencias
Ecografía	Biomecánico	Carga o movimientos repetitivos	Lesiones generadas en el cuerpo. Fracturas, alteraciones discales, hernias, etc.
	Físico	Energía libre por equipos electromagnéticos	Alteraciones en la visión, estrés, fatiga o agotamiento.
	Psicosocial	Conflictos interpersonales	Altos niveles de estrés, desorden alimenticio.
	Mecánicos	Manipulación de equipos (Ecógrafo)	Golpes que desencadenen lesiones o fracturas importantes.
Radiografía y Tomografía	Biomecánico	Movimiento de camillas, de pacientes y equipos	Lesiones generadas en el cuerpo. Fracturas, alteraciones discales, hernias, etc.

	pesado como los portátiles	
Físico	Exposición a radiaciones ionizantes	<p>Efecto Estocásticos: la gravedad no depende de la dosis, efectos que pueden aparecer, pero no lo hacen necesariamente, solo existe una probabilidad, ejemplo más conocido desarrollo de cáncer</p> <p>Efectos No Estocásticos: la gravedad depende de la dosis, si se deposita una cierta dosis equivalente suficientemente alta, produce un tipo de efecto. Ejemplo, si se excede una dosis de rayos x, aparecerá enrojecimientos en la piel</p>
Biológicos	Contacto con líquidos o fluidos corporales contaminados y Transmisión a través de objetos o material	Enfermedades que ataquen el sistema inmune: Hepatitis SIDA Herpes Tuberculosis Otras infecciones
Físicos	Iluminación	Sobresfuerzos a la vista, alteraciones visuales

Nota: esta tabla muestra los principales factores de riesgo a los que se encuentra expuestos

los TOE en algunos servicios del área de imágenes diagnósticas. *Fuente.* Autoría propia.

Capítulo 2

Construir una matriz (AMEF): análisis, modo, efecto y fallas con el fin de determinar e identificar errores potenciales en el proceso de atención médica y las acciones de mejora frente a la práctica radiológica

Tareas:

Elaborar una matriz la cual estará constituida por: actividad en el proceso, modo de falla, causas – efectos, probabilidad de ocurrencia, severidad – Detección, NPR (número de prioridad del riesgo), calificación del riesgo y acción o barrera.

Enlace a la matriz: [AMEF.xlsx](#)

Figura 3

Vista previa de la matriz AMEF

Matriz de análisis, modo, efecto y falla (AMEF)									
Actividad	Modo de falla	Causas de falla	Efectos	Probabilidad de ocurrencia (1 -10)	Severidad (1 -10)	Detección (1 -10)	NPR	Calificación del riesgo	Acción o barrera
Identificación y confirmación del paciente	Identificación errada del paciente	* Falta de adherencia al protocolo de identificación establecido por la institución * Alta demanda de usuarios * Desempeño de actividades mecánicas	*Sobre exposición a radiación por paciente incorrecto * Evento de seguridad clínica. *Pérdida de confiabilidad en relación a resultados entregados	5	8	4	160	Alto	
Datos clínicos	Orden médica sin datos básicos completos	* Sin criterios para la toma de estudios	* No se asegura reporte confiable por parte del Radiólogo	3	3	1	9	Bajo	
Preparación	Malta preparación del paciente	* Poca información de la preparación requerida para los estudios por parte del personal que asigna cita. * Falta de verificación con historia clínica del paciente * Falta de comprensión de información por parte del paciente.	*Retraso en el diagnóstico y tratamiento. *Evento de seguridad *Reprogramación del estudio *Insatisfacción por parte del paciente	4	3	4	48	Bajo	
Identificación de riesgos	*No priorizar estudios * Ayuno prolongado que genera descompensación del paciente	* No adherencia a los criterios de priorización * Alta demanda de pacientes	* Evento de seguridad *Insatisfacción por parte del paciente	4	2	2	16	Bajo	
Protección radiológica	Falla en las medidas de protección radiológica	* No adherencia o desconocimiento del manual de radioprotección * Paciente poco colaborador	* Sobreexposición radiológica a paciente y/o acompañante * Posible evento clínico * Quejas, reclamos o insatisfacción del paciente	5	4	4	80	Bajo	
Toma del estudio	Estudio incorrecto (estructura)	* No adherencia al manual radiológico	* Sobreexposición radiológica * Insatisfacción por parte del paciente por repetición del estudio. *Retraso en el diagnóstico y						

Fuente. Autoría Propia

Capítulo 3

Proponer mejoras de seguridad y protección para los TOE.

Tareas:

Investigar normatividad vigente en cuanto a seguridad en las áreas de radiología y así proteger debidamente a los TOE.

Realizar diagrama o grafico con los principales elementos en protección radiológica para TOE.

Resolución 13382 de 1984: adopta medidas para la protección de la salud en el manejo de rayos x, otras fuentes de radiaciones ionizantes y el uso de sustancias radiactivas (Resolución 13382 de 1984).

Resolución 9031 de 1990: dicta normas y establece procedimientos relacionados con el funcionamiento y operación de los equipos de rayos X y otros emisores de radiaciones ionizantes Artículos 2, 3, 4, 6, 9 y 10 (Resolución 9031, 1990).

Resolución 4445 DE 1996: por el cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título IV de la Ley 09 de 1979, en lo referente a las condiciones sanitarias que deben cumplir los establecimientos hospitalarios y similares. Artículo 32, numerales 6.1 rayos x, 6.2 ecografía (Resolución 4445 DE 1996).

Resolución 181434 de 2002: reglamento de Protección y Seguridad Radiológica, conocido como “Norma Básica Colombiana en Protección Radiológica” (Resolución 181434, 2002).

Resolución 181304 de 2004: reglamentó la expedición de la Licencia de Manejo de Materiales Radiactivos (Resolución 181304, 2004).

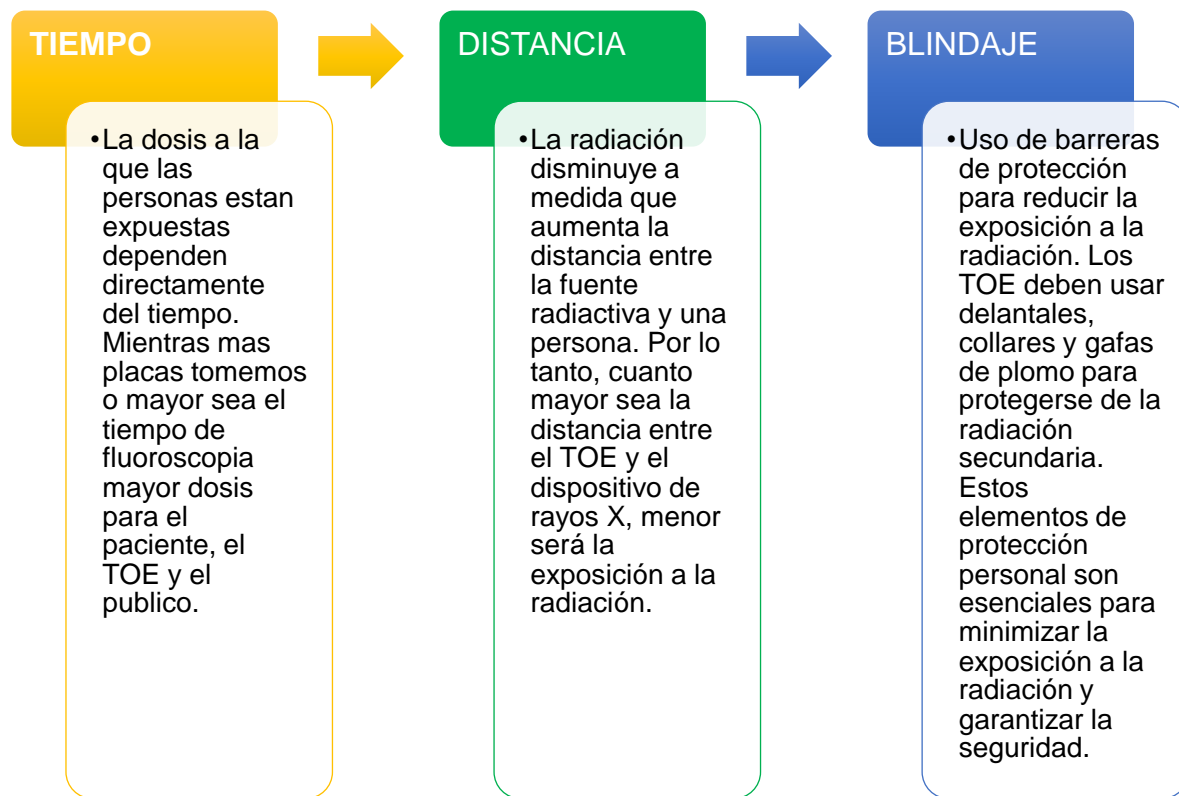
Resolución 181478 de 2004: reglamentó el procedimiento para la evaluación de las inspecciones a las instalaciones donde se gestionan materiales radiactivos y nucleares (Resolución 181478, 2004).

Resolución 180208 de 2005: por la cual se modifican y adicionan las Resoluciones 18 1304 y 18 1478 de 2004 (Resolución 180208, 2005).

Decreto 1474 de 2014: expide la Tabla de Enfermedades Laborales, que tendrá doble entrada: i) agentes de riesgo, para facilitar la prevención de enfermedades en las actividades laborales, y ii) grupos de enfermedades, para determinar el diagnóstico médico en los trabajadores afectados (Decreto 1474, 2014).

Figura 4

Factores básicos de protección radiológica



Fuente. Autoría Propia

Figura 5

Pilares del sistema de protección radiológica



Fuente. Autoría Propia

Conclusiones

Se debe hacer énfasis en las normativas y estándares de seguridad ocupacional, realizando investigaciones continuas, donde se pueda contextualizar a todo el personal, para brindar una mayor protección a trabajador y así mitigar los efectos negativos a los cuales se encuentren expuestos.

Tratar el tema de los efectos estocásticos con los TOE implica realizar una combinación de enfoques preventivos, estar chequeando la salud, en caso de ser necesario hacer cambios en las prácticas laborales y siempre hacer la revisión de normativas vigentes.

Promover un entorno laboral seguro es fundamental para proteger la salud y el bienestar de los trabajadores.

Hacer énfasis en prevención, monitoreo continuo de la salud, adaptación de prácticas laborales, capacitaciones, evaluación de riesgo, revisión de normatividad y regulaciones son pilares fundamentales para abordar el tema de efectos estocásticos, ya que cada uno de ellos se deriva el manejo que se debe dar a la situación al encontrarse expuesto a dichas radiaciones.

Referencia Bibliográficas

- A.C. Leitão, R. Alcantara. Respostas celulares às lesões induzidas por agentes físicos e químicos. radiobiologia e fotobiologia. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro; (1994),
- A.T. Natarajan, R.C. Vyas, J. Wiegant, M.P. Curado. A cytogenetic follow-up study of the victims of a radiation accident in Gioiania (Brazil). *Mutat Res.*, 247 (1991), pp. 103-111
[http://dx.doi.org/10.1016/0027-5107\(91\)90038-p](http://dx.doi.org/10.1016/0027-5107(91)90038-p) | Medline
- Andisco, D., Blanco, S., & Buzzi, A. E. (2014). Dosimetría en radiología. *Revista Argentina de Radiología / Argentinian Journal of Radiology*, 78(2), 114–117.
<https://doi.org/10.1016/j.rard.2014.06.010>
- D.C. Lloyd, R.J. Purrot. Chromossome Aberratin Analysis in Radiological Protection Dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry.*, 1 (1982), pp. 19-28
- Dan. Benninson. Efectos Biológicos de la Radiación. CNEN, UBA, MSP,MA, (1982),
- G.R. Vélez, A. Martínez, M.L. Haye. Efectos biológicos de la radiación. [Internet]. Córdoba: Universidad Nacional De Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales;, (2008),
- IAEA, International Atomic Energy Agency. Biological Dosimetry: Chromossomal Aberration Analysis for Dose Assesment. Technical Report Series, 260. Vienna: IAEA; 1986.
- International Commission on Radiological Protection. Radiation Protection: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: Adopted by the Commission in November 1990. ICRP Publication, 60. Oxford: Published for the International Commission on Radiological Protection; 1992.

- J. Hall Eric, J. Giaccia Amato. Radiobiology for the Radiologist. 7th. ed. Wolters Kluwer, (2012),
- Puerta Ortiz, J., & Morales Aramburo, J. (03 de 2020). Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. Revista Colombiana de Cardiología, 61-71. Obtenido de Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-articulo-efectos-biologicos-radiaciones-ionizantes-S0120563320300061>
- S. Wolff. Biological Dosimetry with Cytogenetic Endpoints. New Horizons in Biological Dosimetry., pp. 351-362
- T.A. Ramalho. Subsídios à Técnica de Dosimetria Citogenética Gerados a partir da Análise de Resultados Obtidos com o Acidente Radiológico de Goiânia [Tesis de Doctorado]. Rio de Janeiro: Universidad Federal do Rio de Janeiro UFRJ., (1993),
- T.A. Ramalho. Conferencias sobre Efectos Biológicos de la Radiaciones Ionizantes, organizado por el Instituto de Radioprotección y Dosimetría. IRD, (1997),
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). (1994). Report to the General Assembly, with Scientific Annexe. Genova: Unsclear;1994.