EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS CONTROLES TÉCNICOS Y AMBIENTALES DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA EN TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES EN UNA EMPRESA DE MEDICINA NUCLEAR DEL SUR OCCIDENTE COLOMBIANO DURANTE LOS AÑOS 2017-2020.

.

KENDER YAEEL LICONA CAMARGO

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE SALUD

ESCUELA DE SALUD PÚBLICA

MAESTRÍA EN SALUD OCUPACIONAL

SANTIAGO DE CALI

2021

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS CONTROLES TÉCNICOS Y AMBIENTALES DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA EN TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES EN UNA EMPRESA DE MEDICINA NUCLEAR DEL SUR OCCIDENTE COLOMBIANO DURANTE LOS AÑOS 2017-2020.

KENDER YAEEL LICONA CAMARGO

TRABAJO DE:

GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO

DE MAGÍSTER EN SALUD OCUPACIONAL

DIRECTOR:

ALBERTO J. COBO B. MD, MSO

CODIRECTOR:

GERMAN RAMIRÉZ. FS, MSO

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE SALUD

ESCUELA DE SALUD PÚBLICA

MAESTRÍA EN SALUD OCUPACIONAL

SANTIAGO DE CALI

2021

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 8

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 10

1.1 Formulación del problema 10

1.2 Pregunta de investigación 12

2 JUSTIFICACIÓN 13

3 OBJETIVOS 15

3.1 Objetivo general 15

3.2 objetivos específicos 15

4 Estado del arte 16

5 MARCO TEÓRICO 23

5.1 Fuente y transporte 23

5.2 Caracterización ambiental y exposición 25

5.2.1 Controles en la fuente 26

5.2.2 Controles en el medio 26

5.2.3 Controles en la persona 27

5.2.4 Evaluación y seguimiento médico 28

5.2.4.1 Examen preocupacional o de preingreso 28

5.2.4.2 Examen médico periódico 29

5.2.4.3 Examen médico post ocupacional o de egreso 29

5.2.5 Sistema de información 30

5.3 Medicina Nuclear 30

5.4 Clasificación de zonas 30

5.4.1 Zona controlada 31

5.4.2 Zona supervisada 32

5.5 Procedimiento para medición de niveles de radiación en las zonas controladas y supervisadas 32

5.5.1 Medición de niveles en modo intensidad 32

5.5.2 Monitoreo de contaminación superficial 32

5.6 Procedimiento para la recepción de material radioactivo 33

5.7 medidas de protección radiológica en medicina nuclear 34

5.8 Control de exposición a las radiaciones ionizantes en el personal de medicina nuclear 34

5.8.1 Control de la exposición interna 35
5.8.2 Recomendaciones prácticas para el manejo del yodo I-131 35
5.8.3 Control de la exposición externa 36
5.9 Exposición normal de los trabajadores ocupacionalmente expuestos 37
5.10 Normas generales para el uso del dosímetro individual 37
5.10.1 Uso correcto del dosímetro personal 38
5.10.2 Responsable del uso de los dosímetros 38
5.10.3 Procedimiento de entrega de los dosímetros y socialización de resultados 38
5.10.4 Lugar de almacenamiento de los dosímetros 39
5.10.5 Registro de la dosis 39
5.11 Legislación aplicable 39
5.12 Individuo 40
5.13 Descripción cargos y tareas realizadas por los trabajadores ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes 41
5.13.1 Médico especialista en medicina nuclear 42
5.13.2 Oficial de protección radiológica 42
5.13.3 Tecnólogos en medicina nuclear 44
5.13.4 Químico farmacéutico 44
5.13.5 Físico médico 45
5.13.6 Auxiliar de enfermería 46
5.13.7 Conductor de transporte de material radioactivo 47
5.14 Entrada al cuerpo y límites de dosis 47
5.15 Efectos biológicos, alteraciones de estructuras y funciones 49
5.15.1 Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes 49
5.15.1.1 Efectos determinísticos 49
5.15.1.1.1 Efectos agudos 49
5.15.1.1.2 Efectos tardíos 50
5.15.1.2 Efectos estocásticos 51
5.15.2 Radiosensibilidad de los órganos y tejidos 51
5.15.2.1 Piel 52
5.15.2.2 Aparato digestivo 52
5.15.2.3 Aparato respiratorio 53

5.15.2.4 Sistema cardiovascular 53
5.15.2.5 Sistema urinario 53
5.15.2.6 Sistema nervioso central 54
5.15.2.7 Tejido hematopoyético 54
5.15.2.8 Tejidos del ojo 54
5.15.2.9 Órganos reproductores 55
5.15.2.10 Hueso y cartílago 55
5.15.2.11 Sistema endocrino 55
6 METODOLOGÍA 57
6.1 Tipo de estudio 57
6.2 Población 57
6.3 Unidad de análisis 57
6.4 Definición y caracterización de variables 57
6.5 Instrumento de recolección de datos 60
6.6 Procedimiento 60
6.6.1 Plan de análisis 61
6.7 Consideraciones éticas 62
7 RESULTADOS 64
7.1 Resultados del primer objetivo: Caracterización de la población ocupacionalmente expuesta 64
7.2 Resultados del segundo objetivo: Analizar las variables técnicas y ambientales del sistema de vigilancia epidemiológico 68
7.3 Resultados del tercer objetivo: Establecer la relación entre de los controles técnicos establecidos en el programa de vigilancia epidemiológica para el cumplimiento de las normas de protección radiológica. 71
7.3.1 Cumplimiento de la licencia para manejo de material radiactivo 72
7.3.2 Cumplimiento de criterio de infraestructura en áreas del servicio de medicina nuclear 72
7.3.3 Mediciones ambientales de radiación en las áreas del servicio de medicina nuclear 73
7.3.4 Disposición de herramientas, accesorios y/o elementos de protección personal 74
7.3.5 Cumplimiento al seguimiento médico a los trabajadores expuestos 74
7.3.6 Cumplimiento al programa de capacitación 74
8 DISCUSIÓN 76

9 CONCLUSIÓN 78
10 BIBLIOGRAFÍA 79

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Listado de tareas del personal ocupacionalmente expuesto 41
Tabla 2. Límites de Dosis Recomendados 48
Tabla 3 Radiosensibilidad de los órganos 56
Tabla 4. Definición y Caracterización de Variables 57
Tabla 5. Estadísticas descriptivas 68
Tabla 6. Estadísticas de regresión 71
Tabla 7. Indicadores de evaluación 75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Paradigma de la salud ambiental 23
Figura 2. Gráfico caracterización general de la población 64
Figura 3. Gráfico distribución por edad 65
Figura 4. Gráfico distribución por antigüedad 66
Figura 5. Gráfico distribución por cargo 66
Figura 6. Gráfico distribución por sexo 67
Figura 7. Gráfico distribución por sedes 67
Figura 7. Gráfico dosis acumulada en milisievert (mSv) registrada en los trabajadores expuestos (tecnólogos) por cada año de estudio. 69
Figura 8. Gráfico dosis acumulada en milisievert (mSv) registrada en los trabajadores expuestos (otros cargos) por cada año de estudio. 70
Figura 9. Gráfico frecuencia de los datos dosis acumulada 2017 a 2020 70
Figura 10. Gráfico relación entre la variable dosis acumulada en milisievert (mSv) y la variable antigüedad del trabajador expuesto a radiaciones ionizante 71
Figura 11. Nivel de complejidad de las Radiofarmacia en los centros de medicina nuclear 73

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO 1. CRONOGRAMA 82
ANEXO 2. PRESUPUESTO 85
ANEXO 3. INSTRUMENTO 86

INTRODUCCIÓN

El ser humano está sometido permanentemente a la exposición de radiaciones ionizantes, en donde una gran proporción de la dosis efectiva anual recibida por la población resulta de la radiación natural proveniente del medio ambiente, correspondiente a un 86% de la dosis anual mundial, esta dosis varía de un sitio a otro dependiendo de la altitud y de la abundancia de minerales radioactivos naturales presentes en las rocas y el suelo. Adicionalmente un 14% de la exposición anual promedio es creada por el hombre, de la cual un 10% es debido al uso de rayos χ diagnósticos y un 4% debida a procedimientos de medicina nuclear [1].

De acuerdo con lo antes mencionado se realizó una investigación en una IPS de Medicina Nuclear del sur occidente colombiano que presta servicios de salud de apoyo diagnóstico y terapias con isótopos radioactivos, como beneficio se pudo conocer los métodos de control llevados a cabo como vigilancia ante la exposición a radiaciones ionizantes y poder sugerir a la empresa medidas de intervención que impacten en dicho sistema.

En una Institución Prestadora de Servicios de Salud IPS en Medicina Nuclear del suroccidente colombiano que tiene 74 trabajadores en total, de los cuales 36 de ellos un 49% en el área asistencial y distribuidos en los cargos de Médico nuclear, tecnólogos, auxiliares de enfermería, oficial de protección radiológica, químicos farmacéuticos, conductores de material radioactivo y regente de radiofarmacia; todos estos con exposición al factor de riesgo radiaciones ionizantes.

El servicio de Medicina Nuclear y tratamientos con radioisótopos comenzó a funcionar en el año 2000 con su sede principal en la ciudad de Cali, para luego brindar cobertura al suroccidente del país en las ciudades de Popayán, Palmira y Pereira. Sus instalaciones físicas se encuentran conformadas por áreas administrativas denominadas zonas supervisadas y áreas asistenciales denominadas zonas controladas, clasificadas de esta manera según las normas de protección radiológica.

En este tipo de instituciones por la naturaleza de los servicios prestados se cuenta con un sistema de vigilancia para el monitoreo y seguimiento de la salud de los trabajadores y garantizar que en las áreas donde se manipulen sustancias radiactivas se utilicen los principios de justificación, optimización y límites de dosis; para que la magnitud se mantenga tan bajo como sea razonablemente posible en donde el beneficio de la radiación predomine sobre el daño que esta pueda causar, utilizando como referencia los criterios numéricos de protección recomendados. Con este trabajo se pretendió investigar si en el sitio de estudio se está cumpliendo con los componentes de un sistema de vigilancia para controlar el riesgo de radiaciones ionizantes.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Formulación del problema

El Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA de Viena Austria en su última publicación de normas internacionales de protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación, consideran que la radiactividad es un fenómeno natural y las fuentes naturales de radiación son una característica del medio ambiente. Estas tienen muchas aplicaciones beneficiosas, que van desde la generación de electricidad hasta los usos en la medicina, industria y agricultura. Y los riesgos asociados a las radiaciones que estas aplicaciones pueden acarrear para los trabajadores, la población y el medio ambiente deben evaluarse para reducir la probabilidad de sucesos que puedan dar lugar a la aparición de efectos nocivos derivados de la radiación ionizante [2].

En Colombia también existen una gran variedad de aplicaciones de las radiaciones ionizantes, como las usadas en la radiografía industrial, en prospección y recuperación secundaria de petróleo, en investigación y en la salud. Destacándose las áreas radioterapia, de radiodiagnóstico y medicina nuclear; esta última siendo el área de estudio para esta investigación [3].

Por otro lado, el sector salud, durante las últimas décadas, ha tomado gran importancia a causa del gran desarrollo económico que implica este tipo de actividad. Debido a los cambios de política económica, de seguridad social y productiva, a nivel nacional e internacional, ha sido necesario desarrollar sistemas de vigilancia a nivel empresarial que permitan la monitorización continua de las áreas y del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes. Además, que la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), indica que las radiaciones ionizantes solo deben ser empleadas cuando su utilización esté justificada, considerando las ventajas que representa en relación con detrimento a la salud que pudieran ocasionar [4].

Generalmente en una rutina de trabajo en el área de medicina nuclear se utilizan dos tipos de radioisótopos el Tc-99 y el I-131, pero el problema de la exposición externa está dado en un 90% por la radiación proveniente de los pacientes inyectados con el material radioactivo. En este caso la relación de exposición típica es de 10% por preparación de la dosis, 10% por la administración de la inyección del radiofármaco y un 80% por el procedimiento de toma de imagen. Mientras que el yodo I-131 usado en terapias paliativas para enfermedades benignas y malignas

poseen un escaso rango de penetración para el trabajador, debido a que la mayor parte de su energía se deposita dentro del paciente idealmente en el órgano blanco. Sin embargo, este tipo de radioisótopo posee una prolongada vida media, por lo que se debe considerar la exposición de los miembros del público [5].

Esto implica que una fracción sustancial de la dosis anual recibida por el trabajador es debido a la presencia cerca del paciente durante la realización del estudio; por esto se considera de gran importancia la evaluación de los sistemas de vigilancia epidemiológica en los servicios de medicina nuclear y poder garantizar las condiciones de protección radiológica en el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.

Por otro lado, estudios realizados afirman que los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes necesitan conocer qué dosis están recibiendo. Por lo tanto, el monitoreo por medio de la dosimetría individual es la verdadera prueba para saber si la práctica de la radioprotección se está cumpliendo satisfactoriamente o si se necesitan mejoras en el sistema de vigilancia epidemiológico [6].

Con este estudio se destacó como característica principal, el poder conocer hasta donde la no implementación de un sistema de vigilancia puede afectar la salud del trabajador ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizante, debido a la falta de control en la intervención del riesgo, desencadenando un incremento innecesario en la dosis recibida por trabajador durante la ejecución de los procedimientos en medicina nuclear e incrementando la probabilidad de aparición de efectos deterministas o estocásticos como las lesiones de piel, catarata o cáncer.

Además, ante la carencia de una propuesta unificada que direccione a los servicios de medicina nuclear sobre la importancia de la evaluación de los sistemas de vigilancia en sus instituciones para poder garantizar óptimas condiciones de seguridad radiológica en sus trabajadores; dicho estudio se consideró como una vía para que futuros investigadores puedan seguir profundizando en el tema, ampliando de esta manera la brecha del conocimiento y poder seguir contribuyendo en el bienestar de la población.

Finalmente se planteó como estrategia de comunicación y difusión de conocimiento adquirido, la publicación de los resultados de la investigación para motivar la creación conjunta de contenido en el tema de interés. Así como la presentación a los directivos de la empresa los hallazgos de la investigación que afecten al cumplimiento de las medidas de protección radiológicas, utilizando un lenguaje sencillo que permita generar la comprensión y apropiación social del conocimiento.

Además de la comunicación de los resultados de la investigación en un congreso de medicina nuclear, para brindar un aporte científico al área, mostrando la herramienta utilizada para la evaluación de la eficacia de los sistemas de vigilancia epidemiológica para radiaciones ionizantes.

1.2 Pregunta de investigación

¿Qué tan eficaz de los controles técnicos y ambientales de un sistema de vigilancia epidemiológica en trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes en una empresa de medicina nuclear del sur occidente colombiano?

2 JUSTIFICACIÓN

Técnicamente las radiaciones ionizantes proporcionan grandes beneficios a la humanidad. Sin embargo, el uso inapropiado de las mismas puede acarrear un riesgo para la salud del trabajador por elevada exposición y falta de controles, con la consecuente probabilidad de producir enfermedad aguda o crónica y hasta la muerte. Dicha probabilidad depende directamente de la dosis absorbida, la tasa de dosis, la calidad de la radiación el tejido irradiado y otros factores relacionados como la edad; los cuales desencadenan la aparición de ciertos efectos biológicos que pueden ser relativamente inmediatos o manifestarse luego de décadas [3].

Desde el punto de vista de protección radiológica se considera la clasificación de los efectos derivado de la exposición a radiaciones ionizantes, en Determinísticos cuando poseen un umbral de dosis por debajo del cual no hay un efecto observable, seguido de una respuesta donde la severidad del efecto aumenta con la dosis de radiación. Y en estocásticos los que no tienen un umbral de dosis y cuya probabilidad de ocurrencia y gravedad aumenta linealmente a medida que aumenta la dosis [7].

Desde el año 1931 aparecen las primeras recomendaciones internacionales y surge la necesidad de la protección radiológica, todo esto generado por las observaciones de los daños producidos por las radiaciones. Por lo que científicos en todo el mundo ha demostrado que en cualquier institución donde se utilizan fuentes de radiaciones ionizantes durante los procesos, es necesaria la implementación de un Sistema de Vigilancia que ayude a mantener unos niveles de exposición considerablemente bajos y que permita minimizar la aparición de los efectos biológicos en el cuerpo humano [3].

Además, legalmente es obligación del empleador garantizar un Sistema de Vigilancia para proteger la salud de los trabajadores y de la población contra los riesgos causados por las radiaciones. Según lo establecido en el literal D título 3 del artículo 80 de la ley 9 de 1979. Esto permitirá evaluar los efectos producidos en el trabajador por las condiciones y medio ambiente de trabajo y verificar si su estado de salud puede constituir un peligro para el mismo.

Por otro lado, en el ambiente laboral las condiciones de trabajo intervienen de una forma muy importante en el bienestar del trabajador; desde el punto de vista preventivo se hace necesario determinar cuáles son esas condiciones de trabajo y cómo están afectando su salud. Por consiguiente, disminuir las dosis producidas por las diversas fuentes al nivel mínimo posible es una de las funciones del sistema de vigilancia para radiaciones ionizantes en los servicios de medicina nuclear, lo cual se encuentra enmarcado en la gestión de la seguridad y salud del trabajador.

Cabe destacar que la empresa dando cumplimiento al Decreto 1072 DE 2015 en su artículo 2.2.4.6.12 y la Resolución 2346 de 2007 evalúa las condiciones del medio ambiente laboral, que por la exposición continua a diferentes factores de riesgos podrían desencadenar alteraciones en el estado de salud de los trabajadores. El último informe de condiciones de salud describe que el 45% de la población se encuentran expuestos al factor de riesgo radiaciones ionizantes.

Se menciona que Colombia al ser parte del Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA adopta las normas de protección radiológica y seguridad nuclear establecidas por el Ministerio de Minas y Energía, encargado de regular, controlar y licenciar a nivel nacional todas las operaciones concernientes a las actividades nucleares y radiactivas, enmarcado en su resolución 18-1434 de 2002. Además de establecer como parámetros a cumplir dentro del sistema de vigilancia epidemiológica para radiaciones ionizantes un modelo que permita la identificación de las áreas y las fuentes radiactivas utilizadas en el servicio de medicina nuclear; el control en personas por medio registro de dosimetría, el uso dispositivos o elementos de protección personal, la realización de evaluaciones medicas ocupacionales para la declaración de actitud para el cargo, el control en ambiente por medio de la verificación anual de los blindajes plomados de la infraestructura al calcular la tasa de dosis de radiación en condiciones normales de funcionamiento del servicio.

Por otro lado, el control en los equipos detectores de radiación, sujetos a condiciones de mantenimientos y calibración, el seguimiento a los trabajadores expuestos a través de la vigilancia periódica con pruebas de laboratorios y cumplimiento a los programas de capacitación en protección radiológica.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la eficacia de los controles técnicos y ambientales de un sistema de vigilancia epidemiológica en trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes en una empresa de medicina nuclear del sur occidente colombiano durante los años 2017-2020.

3.2 objetivos específicos

1. Caracterizar la población expuesta a radiaciones ionizantes en la empresa objeto de estudio.
2. Analizar las variables técnicas y ambientales del sistema de vigilancia epidemiológico.
3. Establecer la relación entre de los controles técnicos establecidos en el programa de vigilancia epidemiológica para el cumplimiento de las normas de protección radiológica.

4 Estado del arte

Se presenta un análisis de los artículos más relevantes consultados sobre la vigilancia epidemiológica para garantizar la protección radiológica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes, para el desarrollo de esta investigación.

Douglas N, James W, Stephen B. Guidelines for Evaluations Surveillance Systems. US Department of Health and Human Services 2021; 37:1-18.

El objetivo de esta investigación de cohorte con muestreo probabilístico fue hacer más explícito el proceso de evaluación de los sistemas de vigilancia epidemiológica, ellos afirman que la vigilancia epidemiológica es la recopilación, el análisis y la interpretación continua y sistemática de datos de salud en el proceso de descripción y seguimiento de un evento de salud. Y que su evaluación debe promover el mejor uso de los recursos de salud pública asegurando que solo los problemas importantes estén bajo vigilancia y que los sistemas de vigilancia funcionen de manera eficiente [15].

Un resultado importante de evaluar la representatividad de un sistema de vigilancia es la identificación de subgrupos de población que pueden ser excluidos sistemáticamente del sistema. Este proceso permite la modificación adecuada de la recopilación de datos y una proyección más precisa de la incidencia del evento de salud en la población objetivo. Además, describieron atributos que pueden aplicarse para evaluar la capacidad de un sistema de vigilancia epidemiológica en lograr los objetivos para los que fue diseñado y si está cumpliendo una función útil en salud pública [15].

Mosquera W. Radioprotección en cateterismo cardiaco pediátrico. Rev Colomb de Cardiología 2020; 27:96-101.

Un artículo científico de la sociedad Colombiana de cardiología en donde por medio de un estudio de tipo descriptivo pretendían dar a conocer la importancia de los métodos de control para minimizar la dosis recibida por el trabajador en los procedimientos de cardiología intervencionista, los cuales se han incrementado en los últimos años; por ejemplo en Estados Unidos pasó de 2.4 millones en 1993 a 4.6 millones en el 2006, este aumento progresivo ha sido visto con gran preocupación ya que la dosis recibida en el ámbito de la salud antes representaba la quinta parte de la recibida como radiación natural [11].

Según la comisión científica de las naciones unidas consideran que la radiación posee un riesgo carcinogénico comprobado, y estiman un 5% de probabilidad de sufrir cáncer después de una exposición médica importante. En la investigación afirman que la radiación ionizante es útil en el área de la salud, y los procedimientos realizados en esta área han sido perfeccionado en las últimas décadas, sin embargo curiosamente ese mismo perfeccionamiento no ha sido desarrollado en el campo de la radioprotección, lo cual combinado con la falta de mecanismos de protección adecua y la falta de entrenamiento específico en protección radiológica incrementan la dosis recibida por el personal que participa en el procedimiento [11].

Por lo que concluyen que los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes en una sala de intervencionismo necesitan saber qué dosis están recibiendo, que esta es la verdadera prueba para saber si la práctica de la protección radiológica se está cumpliendo satisfactoriamente o si se necesitan mejoras. Por lo que deben ser monitorizados por un sistema de vigilancia que determine su nivel de exposición. Esto permite detectar malos hábitos de trabajo que puedan ocasionar dosis demasiado elevadas, y poder plantear consejos prácticos para reducirlas [11].

Jaramillo W, Morales J, Puerta A. Dosimetría Personal y Exposición Ocupacional en Cardiología Intervencionista. Rev Colomb de Cardiología 2020; 27:52-60.

Este estudio descriptivo que tenía como objetivo hacer una revisión sistemática de la literatura acerca de los niveles de exposición ocupacional y la metodología empleada en la dosimetría personal en cardiología intervencionista, a través de consulta en bases de datos en la que identificaron artículos en varios idiomas entre los años 1998 a 2018. Describen que el área de radiología intervencionista es una de las especialidades de la medicina más utilizadas, pero a pesar de sus beneficios algunos procedimientos como la angiografías coronaria involucra tiempos elevados de exposición con el equipo de rayos x que ponen en riesgo al paciente y al equipo médico a altos niveles de radiación; lo cual incrementa la probabilidad de sufrir catarata en el cristalino y cáncer en el cerebro después de largos periodos de su carrera sin las medidas indicadas de protección radiológica [6].

Además, mencionan que la carga de trabajo, la complejidad de los procedimientos y la falta de entrenamiento en protección radiológica son factores que contribuyen al aumento de la exposición de estos profesionales. Por lo que la implementación de sistemas de vigilancia epidemiológica es fundamental para demostrar el cumplimiento de los límites de dosis establecidos por organismos reguladores, poder reducir las dosis ocupacionales y en consecuencia limitar el riesgo de efectos estocásticos a largo plazo [6].

Lo que les permitió concluir que las dosis ocupacionales en cardiología intervencionista pueden superar los límites de dosis efectiva y dosis en el cristalino, si no son utilizados de forma correcta los elementos individuales de radioprotección y si las técnicas utilizadas durante los procedimientos son inadecuadas; por lo que el establecimiento de programas de entrenamiento en protección radiológica, el monitoreo con dosimetría personal como una herramienta de sistema de vigilancia epidemiológica conducirá a disminuir el riesgo radiológico en este tipo de procedimientos [6].

Ubeda C, Nocetti D, Inzulza A. Magnitudes y Unidades para Dosimetría del Personal Ocupacionalmente Expuesto en Radiodiagnóstico e Intervencionismo. Revista Chilena de Radiología 2018; vol 24:5-11

.

En un artículo publicado en la revista Chilena de radiología mencionan que la exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes pueden producirse como consecuencia de diversas actividades llevadas a cabo por el ser humano, particularmente por el trabajo asociado al uso de sistemas de rayos x en las aplicaciones médicas de radiodiagnóstico y que para controlar esta exposición es necesario poder evaluar y cuantificar los niveles de radiación ionizante a los que son expuestos los trabajadores durante estos procedimientos médicos [13].

Lo antes descrito le permitió llevar a cabo una investigación descriptiva de revisión documental que tuvo como objetivo generar un documento guía que presentara de manera didáctica y en un lenguaje sencillo para los profesionales de la salud y áreas afines las principales magnitudes y unidades que se deben conocer y utilizar en la dosimetría ocupacional de los trabajadores involucrados en la ejecución de procedimientos que conlleven el uso de fuentes externas de radiación ionizantes [13].

Para la evaluación de la de exposición a la radiaciones ionizantes a la que son sometidos los trabajadores ocupacionalmente expuestos es necesario utilizar como referencia las magnitudes y unidades dosimétricas adecuadas, las cuales han sido desarrolladas a nivel internacional por un trabajo en conjunto entre la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (ICRU) y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), para relacionar la dosis de radiación a los efectos biológicos que pudieran ocasionar es necesario tener en cuenta la eficacia y calidad de radiación, así como también la sensibilidad de los órganos y tejidos irradiados [13].

En esta investigación al igual en los procedimientos de medicina nuclear consideran que las exposiciones en el rango a dosis bajas, la protección radiológica está principalmente enfocada a la protección contra el cáncer y las enfermedades hereditarias inducidas por la radiación; estos efectos se consideran de naturaleza probabilística, sin umbral y cuya frecuencia de aparición aumentó en proporción a la dosis de radiación. Dichos investigadores manifiestan que existen diversos documentos y recomendaciones internacionales de magnitudes y unidades dosimétricas para monitorear los niveles de radiación ionizante a los que son expuestos los trabajadores en procedimientos médicos; sin embargo, la legislación nacional en Chile no se encuentra actualizada en este sentido y no contempla en sus documentos un glosario que permita encontrar de forma rápida y precisa este tipo de información [13].

Palacios C. Determinar el Cumplimiento del Subprograma de Protección Radiológica dentro del Programa de Salud Ocupacional de un Hospital de nivel III. Tesis Maestría. Universidad del Valle; 2010.

Un proyecto de investigación de tipo descriptivo realizado en el Universidad de Valle en donde se efectuó la revisión documental de la información suministrada por la oficina de seguridad y salud en el trabajo y de recursos humanos sobre las características sociodemográficas y la observación de los equipos utilizados y las diferentes actividades en la que se desempeñaban 48 trabajadores expuesto al factor de riesgo radiaciones ionizantes de un hospital de tercer nivel; con el objetivo de determinar el cumplimiento del programa de protección radiológica en las áreas de imagenología. Pudieron describir que la falta de cumplimento de las medidas de protección radiológica y la falta de seguimiento por medio de un sistema de vigilancia epidemiológica pueden ocasionar una alta exposición a la radiación ionizante lo cual tiene una cierta relación con la disminución de la expectativa de vida del trabajador [4].

Por otro lado, se consideró que la dosimetría, como la medida que se utiliza para evaluar la magnitud de la dosis absorbida por el trabajador y el cumplimiento de la legislación que rige la actividad de los trabajadores expuesto a radiación ionizantes deben ser sometidas a vigilancia y seguimiento a través de un programa de prevención de riesgos. Recomienda también generar una cultura de capacitación continua en los trabajadores, enfocada a la correcta utilización de los elementos de protección personal, el cumplimiento de las medidas de protección radiológica y adquiriendo las mejores competencias en la operatividad de los equipos [4].

Además, que al saber en qué condiciones están trabajando el personal expuesto a radiaciones ionizante como técnicos, tecnólogos, y médicos durante los procedimientos nos permite aplicar medidas de control en las instalaciones, en los equipos y en las personas, para así evitar los efectos nocivos sobre la salud provocado por la exposición innecesaria a la radiación. En esta investigación mencionan que a pesar de la relevancia del tema por los efectos biológicos que produce la radiación en los trabajadores ocupacionalmente expuestos, paradójicamente se han realizado muy pocos estudios al respecto, que sirvan de guía para conocer hasta donde el no cumplimiento de un sistema de vigilancia epidemiológica aumenta la probabilidad de aparición de efectos estocásticos en la población [4].

Palacios D, Calvache A, Álvarez G. Metodología de evaluación del sistema de vigilancia en salud pública. Informe Quincenal Epidemiológico Nacional 2009; vol 14(4):49-64.

Este fue un estudio piloto evaluativo con enfoque cuantitativo de tipo descriptivo transversal el cual tuvo como objetivo diseñar en una secretaría de salud municipal un método para realizar la evaluación del sistema de vigilancia en salud pública Sivigila, contaron con una población de una unidad notificadora municipal y catorce unidades generadoras de datos UPGD del municipio Duitama departamento de Boyacá, en la cual aplicaron un cuestionario a todos los sujetos de análisis. En este artículo plantean que la evaluación de los sistemas de vigilancia debería promocionar la mejor utilización de los recursos de salud pública, asegurando que solamente se vigilen los problemas importantes y que los sistemas de vigilancia operen eficientemente [16].

Por otro lado, recomiendan en lo posible, que la evaluación de sistemas de vigilancia debería incluir recomendaciones para mejorar su calidad y eficiencia. Por lo que una evaluación debería determinar si un sistema está cumpliendo con una función útil de salud pública y está logrando los objetivos del sistema. Para esto se sugieren una serie de atributos de la evaluación como: simplicidad, flexibilidad, aceptabilidad, sensibilidad, valor predictivo positivo, representatividad e implementación oportuna.

Generalmente la evaluación está concebida como una actividad que permite emitir un juicio de valor, su aplicación es válida para todos los sistemas de vigilancia diseñados. Ya que permite identificar las brechas existentes entre el cumplimiento de los objetivos y su comportamiento en un momento determinado, proponiendo posteriormente las medidas para su corrección; pero es necesario tener en cuenta que debido a que los sistemas de vigilancia varían ampliamente en cuanto a método, alcance y objetivos, las características que son importantes para un sistema pueden ser menos importantes para otros [16].

El estudio por medio de la aplicación del cuestionario dirigido a los funcionarios asignados a la vigilancia epidemiológica de las secretarías de salud, permitió revisar elementos y actividades de los procesos de vigilancia y la percepción que tenían los profesionales acerca del mismo. Para finalmente poder concluir que el método planteado en esta investigación sirve como una base importante para poder realizar de forma continua la evaluación de los sistemas de vigilancia en salud pública, ya que el país requiere la construcción y operación de un subsistema de evaluación y control, estandarizado y de fácil comprensión y aplicación [16].

Batista R, González E, Feal P. Evaluación de la vigilancia en salud en algunas unidades de atención primaria en Cuba. Rev Esp Salud Pública 2001; vol 75(5):443-458.

Un estudio de cohorte con muestreo probabilístico en donde realizaron una evaluación del sistema de vigilancia en ocho policlínicos de atención primaria en salud de la ciudad de la habana, menciona el valor de tener en cuenta elementos de la organización del sistema, la importancia del problema a vigilar, así como la evaluación de varios atributos como la sensibilidad, oportunidad, flexibilidad, valor predictivo positivo o representatividad. Además, en Cuba los estudios de evaluación de sistemas de vigilancia son escasos y se han dirigido a problemas específicos [17].

En esta investigación se utilizó un cuestionario que cuantificó algunos atributos del sistema (sensibilidad, oportunidad, representatividad, utilidad) y una entrevista semiestructurada a médicos, epidemiólogos y a otros participantes del sistema de vigilancia; obteniéndose como resultado que la organización del sistema de vigilancia en los policlínicos evaluados fue satisfactoria y se tiene en cuenta la disposición del personal necesario adecuadamente preparado y los recursos mínimos para su buen desempeño. Además de que exista alguna insuficiencia en el cumplimiento de algunos atributos de la vigilancia esto no afecta el resultado del sistema en su conjunto, ya que es capaz de detectar cualquier situación epidemiológica relevante y proponer medidas adecuadas de control [17].

Finalmente poder afirmar que la vigilancia epidemiológica en los niveles de atención en salud es decisiva para el éxito de las acciones e intervenciones sobre los problemas identificados; por lo tanto, la evaluación del funcionamiento y resultados del sistema de vigilancia resulta de vital importancia en el proceso de gestión de salud pública en busca de mayor efectividad y eficiencia, para poder así contribuir en la promoción y prevención de la salud [17].

Montoya M, Quinceno L, Gómez M. Sistema de Vigilancia Epidemiológica para el Factor de Riesgo Radiaciones Ionizantes. Grupo de profesionales del departamento de Antioquia Medellín Colombia: Dirección Seccional de Salud; 2000 p.1-38.

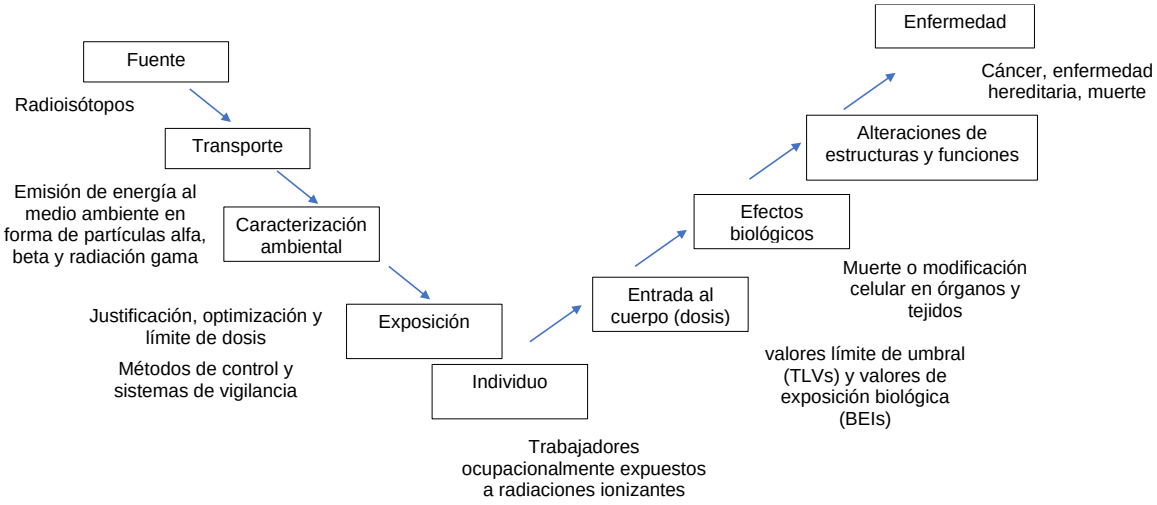
En un documento guía publicado por la dirección seccional de salud de Antioquia manifiestan que debido a la carencia de una propuesta unificada que direccione el manejo seguro de fuentes emisoras de radiación en el país, se convocó a un grupo de profesionales de diferentes instituciones para estructurar un modelo que articule la vigilancia epidemiológica, el control y el monitoreo del personal ocupacionalmente expuesto y de los ambientes de trabajo. Por lo que se elaboró una herramienta para brindar apoyo a instituciones del sector de la salud, la industria, y universidades que utilicen o dispongan de cualquier fuente emisora de radiación ionizante; y de esta manera poder estandarizar los mecanismos de evaluación, monitoreo y seguimiento de los procesos que involucren fuentes radiactivas [3].

Elementos conceptuales y metodológicos plasmados en esta publicación contribuyen a mejorar y a facilitar en cada una de las instituciones la labor de quienes deben velar por las condiciones de salud y seguridad durante el uso de fuentes radiactivas y por ende minimizar sus riesgos, por medio de la implementación de un sistema de vigilancia epidemiológica [3].

5 MARCO TEÓRICO

Para responder a la pregunta de investigación se propone la perspectiva del paradigma de la salud pública ambiental de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA figura 1. Esta aproximación presenta un modelo que describe una serie de características entre fuente y exposición que afectan al individuo y como esto puede llegar generar un efecto en salud.

Figura 1. Paradigma de la salud ambiental



5.1 Fuente y transporte

Para explicar la estructura atómica es importante mencionar que los últimos lustros del siglo XIX se descubrieron los rayos catódicos y fueron reconocidos como formados por partículas materiales con carga eléctrica negativa, luego en 1.895 y en los años siguientes se produjeron los descubrimientos de la radiactividad por Becquerel, y los elementos radioactivos por los esposos Curie. Del conjunto de estos fenómenos emerge la idea de la existencia de partículas cargadas subatómicas, es decir, contenidas dentro de los átomos [8].

En el año 1.899, Joseph Thomson condujo estos resultados en un modelo, que describe el átomo como una esfera de carga eléctrica positiva neutralizada por un número apropiado de electrones contenidos en su interior. Posteriormente Rutherford y sus ayudantes realizaron estudios, sobre la dispersión de partículas alfa, para investigar la estructura de los átomos; los resultados de sus experiencias, publicadas entre 1.911 y 1.913, dejaron establecida la existencia en cada átomo de un núcleo con cargas positivas. Como ya se conocía la existencia de los electrones, la imagen del átomo se completó admitiendo que alrededor del núcleo se mueven en trayectorias circulares electrones con carga unitaria negativa, gracias a lo cual el átomo en conjunto es neutro [8].

Existe una clasificación de los elementos químicos, de acuerdo con el número atómico, número másico, número de neutrones y estado energético de los nucleones, éstos pueden tener iguales algunos o todos los números que lo identifican, diferenciándose únicamente por el estado energético de los nucleones. Teniendo en cuenta que un elemento químico se identifica por su número atómico y que pueden existir diferencias entre los átomos de un mismo elemento químico, por el número de neutrones o por el estado energético, se ha denominado en general nucleidos o núclidos a los átomos que representan cualquier elemento químico [8].

Considerando el número atómico, el número másico y el estado energético de los nucleones, los nucleidos se pueden clasificar como isótopos, isótonos, isóbaros e isómeros. Definiéndose los isótopos como aquellos nucleidos que tienen igual número atómico (Z) pero difieren en el número másico (A) por lo tanto poseen un número diferente de neutrones, aunque estén representando el mismo elemento químico [8].

Por lo que se considera la radiactividad como la transformación espontánea de los núcleos, esto implica la redistribución de los componentes del núcleo tendiendo a buscar una estructura más estable. Esto es posible mediante la emisión de partículas o radiación electromagnética como fotones gamma, buscando así su estado de mínima energía. Los nucleidos que se transforman espontáneamente son conocidos como radionucleidos o radionúclidos, los cuales pueden ser naturales o artificiales [8].

Por otro lado, se define una radiación como ionizante cuando al interactuar con la materia produce ionización de la misma. El origen de esta radiación siempre es atómica, pudiéndose producir tanto en el núcleo del átomo como en los orbitales y pudiendo ser de naturaleza corpuscular como las partículas subatómicas o electromagnéticas como son los Rayos X o Rayos Y [8].

Las sustancias radiactivas son emisores de energía, la cual puede ser en forma de partículas alfa, partículas beta o radiación gamma. La interacción de estas radiaciones con la materia en ciertas circunstancias da lugar a la emisión de neutrones y radiación X. La radiación X y la radiación gamma, las cuales consisten en entidades físicas llamadas fotones, tienen propiedades idénticas diferenciándose únicamente en su origen. La radiación gamma es radiación electromagnética emitida por núcleos excitados o en las reacciones de aniquilación de la materia y la antimateria [8].

La radiación X es radiación electromagnética emitida por los átomos a través de dos tipos de mecanismos: El primero se presenta cuando los electrones realizan cambios en los niveles energéticos, a este tipo de radiación se le denomina fluorescencia de radiación, y el segundo mecanismo para la generación de radiación X consiste en la desaceleración de partículas cargadas por campos coulombianos, a este tipo de radiación se denomina radiación de frenado [8].

La radiación ionizante es generalmente caracterizada por su habilidad para excitar o ionizar los átomos que constituyen la materia con la cual interactúa. Teniendo en cuenta que la energía necesaria para causar el escape de un electrón de valencia en un átomo está en el rango de 4 a 25 eV, por lo que radiaciones que posean energía cinética que excedan esta magnitud pueden ser llamadas ionizantes [8].

5.2 Caracterización ambiental y exposición

Antes de definir su sistema de monitoreo, la empresa debe evaluar el tipo de aplicación, el tipo de fuente, el área de influencia y el personal con probabilidad de exposición. Con base en lo anterior debe decidir cuáles de los siguientes monitoreos van a implementar; si una evaluación ambiental periódica de áreas semanal, quincenal o mensual, calibración anual o después de cualquier mantenimiento de los equipos de monitoreo por la entidad autorizada, prueba anual de frotis para las fuentes radiactivas selladas, medición de los niveles de contaminación radiactiva en personas, superficies u objetos [3].

La empresa debe mantener los registros de la vigilancia radiológica individual y de los puestos de trabajo durante la vida laboral del trabajador y posteriormente como mínimo hasta que alcance los 75 años y durante 30 años por lo menos después de terminado el trabajo que implica la exposición ocupacional según lo establecido en el artículo 108 Resolución 181434 de 2002.

5.2.1 Controles en la fuente

- Seleccionar las sustancias radiactivas y equipos emisores de radiaciones ionizantes con el menor riesgo para su uso.

- Restringir los materiales radiactivos en áreas especificadas (solo llevar al área el material estrictamente necesario).

- Emplear la mínima cantidad de actividad de material radioactivo que sea necesaria para el fin que se persigue.

- Separar el instrumental que se usa para la manipulación de material radioactivo.

- Exigir a los proveedores garantía de calidad de fuentes adquiridas (fabricación, blindaje, certificado de pruebas de escapes y transporte seguro).

- Realizar calibración y mantenimiento de equipos.

- Almacenar y disponer en forma segura los desechos. Gestionar su disposición final mediante convenios con el proveedor de la fuente o entidades autorizadas [3].

5.2.2 Controles en el medio

- Demarcar y señalizar el área de acuerdo con las normas internacionales y resaltar la prohibición respecto a mujeres embarazadas y niños.

- Aislar el material radioactivo mediante el uso de recipientes blindados.

- Manipular el material radioactivo dentro de cabinas con guantes plomados.

- Manipular el material con instrumentos como pinzas, protectores plomados de jeringas y guantes plomados.

- Utilizar barreras plomadas portátiles con su reglamento de empleo.

- Instalar campanas extractoras de gases y vapores en áreas que lo requieran.

- Instalar sistemas de alarmas para detección de dosis de radiación ionizante anormales.

- Limitar el haz útil de radiación.

- Reglamentar la protección radiológica para el manejo de equipos y sustancias [3].

5.2.3 Controles en la persona

- Capacitación, inducción y entrenamiento en protección radiológica y manejo de residuos radiactivos.

- Dosimetría personal mensual para todo el personal expuesto a radiaciones ionizantes. Esta dosimetría se recomienda que se haga con dosímetros de película o TLD (termoluminiscencia) y dosímetros de anillos para estimar la dosis recibida en extremidades.

- Dosimetría personal de lectura directa para registro temporal en procedimientos con radiaciones ionizantes que impliquen alta tasa de dosis o exposición ocasional.

- Equipos de protección personal plomados, tales como delantales, protectores de tiroides y gónadas, guantes, protectores oculares, máscaras, equipo de protección de cuerpo entero con suministro de aire. La selección del equipo de protección personal que se vaya a utilizar debe estar de acuerdo con el tipo de exposición.

- Aplicación de protocolos de manejo de sustancias y equipos radiactivos. Controles médicos y de laboratorio de acuerdo con las recomendaciones técnicas [3].

5.2.4 Evaluación y seguimiento médico

La determinación de un caso sospechoso, probable, compatible o caso confirmado dependerá del concepto médico emitido, con base en los criterios de evaluación enunciados a continuación.

La finalidad de la evaluación y seguimiento médico en los trabajadores ocupacionalmente expuestos es poder vigilar el estado de salud y garantizar que no presenten enfermedades derivadas de la radiación ionizante. Además, es importante tener en cuenta en el seguimiento la presentación de cuadros agudos o crónicos [3].

5.2.4.1 Examen preocupacional o de preingreso

Para el reconocimiento preocupacional es necesario solicitar al trabajador que ingrese a las áreas de exposición un Hemoleucograma, sedimentación y extendido de sangre periférica con los componentes que se mencionan a continuación [3].

- Eritrocítico, incluye recuento de reticulocitos
- Leucocitario
- Plaquetario
- Hemoglobina
- Hematocrito
- Volumen corpuscular medio
- Hemoglobina corpuscular media
- Concentración media de hemoglobina corpuscular
- Urea, creatinina, BUN
- Bilirrubinas total y directa, fosfatasas alcalinas, Espermograma
- LH, FSH
- T3, T4, TSH

En el Sistema de Vigilancia Epidemiológica se debe establecer como criterio para la declaración de no aptitud al examen de preingreso los siguientes:

- Menores de 18 años
- Mujeres en embarazo o lactantes
- Personas con nefropatía
- Personas con hepatopatía
- Neuropatía central
- Tuberculosis
- Dermatitis crónicas

- Quienes al hemograma presenten:
- Leucocitos menores de 4.000 o mayores de 15.000
- Neutrófilos menores de 2.400
- Linfocitos menores de 1.000
- Hematíes menores 3´500.000 o mayores de 5´900.000
- Reticulocitos más del 2%
- Variaciones en el recuento de leucocitos, en exámenes repetidos, mayores del 10%.

5.2.4.2 Examen médico periódico

En los reconocimientos médicos periódicos, además de las exploraciones clínicas que el médico juzgue pertinentes, se realizará un estudio de hemograma completo y demás pruebas de laboratorio descritas en el examen preocupacional y se vigilarán también las enfermedades objeto de vigilancia. Estos exámenes serán realizados de manera semestral, según lo establecido en el artículo 100 título V Resolución 2400 de 1979.

Si se presentan alteraciones como neutropenia, leucopenia o trombocitopenia se retirará al trabajador de la exposición al riesgo y se hará control hematológico a los 25 días. Si transcurrido un mes el análisis hematológico es normal, el trabajador podrá regresar a su sitio de trabajo; de lo contrario deberá mantener separado de la exposición hasta tanto se normalice su cuadro hemático [3].

Si los análisis de laboratorio son normales podrá regresar a su sitio de trabajo al completar el mes; de lo contrario hasta cuando los análisis de laboratorio sean normales. En general, donde los exámenes anotados resulten alterados, a consideración del médico ocupacional, se puede realizar exámenes complementarios de tipo cromosómico, como el de intercambio de cromátides hermanas para detectar alteraciones a nivel de ADN [3].

5.2.4.3 Examen médico post ocupacional o de egreso

Se debe realizar el examen médico de egreso en el cual se consigne los hallazgos clínicos, los exámenes de laboratorio realizados al momento de retiro de la empresa, bien sea por pensión o porque cese el nexo laboral con la empresa [3].

Se debe elaborar un resumen en la historia clínica de los datos clínicos y paraclínicos, en el momento en el cual un trabajador se retira de la empresa, con destino a una nueva vinculación laboral [3].

La historia clínica ocupacional de las personas expuestas a radiaciones ionizantes se deberá guardar en la empresa por un período de 30 años contados a partir del retiro del trabajador, según el artículo 108 Resolución 181434 de 2002.

5.2.5 Sistema de información

Los registros mínimos que se deben llevar en el sistema de vigilancia epidemiológica son:

- Registro de vigilancia radiológica individual, dosimetría de tronco y anillo.
- Registro de vigilancia radiológica de puestos de trabajo, mediciones de áreas y superficies.
- Inventario y movimiento de las fuentes de radiación
- Inventario de desechos radiactivos.
- Revisión y calibración de los equipos de protección radiológica
- Ensayos de los planes de emergencias radiológicas, su evaluación y actualización.
- Certificados de preparación y evaluación en protección radiológica de los trabajadores [3].

5.3 Medicina Nuclear

Área de la medicina que se dedica primordialmente al diagnóstico de patologías o lesiones mediante el uso de sustancias marcadas con los isótopos radioactivos o terapia isotópica. Incluye el estudio de los fenómenos biológicos originados por la utilización de los isótopos radioactivos, así como el empleo de ciclotrones y reactores nucleares en la producción de radionúclidos de uso médico [8.]

5.4 Clasificación de zonas

La clasificación de los lugares de trabajo se realizará de acuerdo con la evaluación de las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad y magnitud de exposiciones potenciales.

Clasificará e identificará y delimitará todos los lugares de trabajo en los que exista la posibilidad de recibir dosis superiores a los límites de dosis establecidos para los miembros del público, y se establecerán las medidas de Protección Radiológica aplicables.

Según los riesgos inherentes y el potencial de exposición, las zonas de trabajo se clasifican en Controladas y Supervisadas [8].

5.4.1 Zona controlada

Es aquella en donde las condiciones normales de trabajo, incluyendo incidentes menores, requieren que el trabajador cumpla procedimientos y prácticas bien establecidas, dirigidas específicamente a controlar la exposición a la radiación [8.] Por lo que se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- Solo personal debidamente capacitado, entrenado catalogado como ocupacionalmente expuesto de la institución podrá laborar en estas instalaciones.
- Se restringirá el acceso a estas zonas al público en general, sólo el médico nuclear o el oficial de Radio protección pueden autorizar el ingreso de otras personas a estas instalaciones bajo condiciones especiales de seguridad.
- Las zonas serán debidamente demarcadas y los accesos a estas restringidos mediante la utilización de cerraduras o dispositivos de vigilancia administrativa que impidan el acceso a estas a personal no autorizado.
- Las zonas serán demarcadas especificando el tipo de exposición al que puede estar sometido y los riesgos asociados.
- Las personas que laboran en zonas controladas deberán seguir los procedimientos descritos en este manual para el manejo y operación de fuentes radiactivas
- El personal que labora en las zonas controladas deberá reportar cualquier accidente o incidente que pueda afectar la seguridad de las fuentes o aumentar la probabilidad de una exposición potencial
- Se dispondrán dispositivos de seguridad como detectores de campo, detectores de contaminación superficial que detecten posibles pérdidas radiactivas o eviten la diseminación de contaminación.
- Nadie podrá sustraer objetos de las zonas controladas donde existen fuentes radiactivas sin una previa autorización y chequeo de este del oficial de radio protección, evitando de esta forma la pérdida de material o la diseminación de contaminación.

Se considera como zona controlada las áreas de Inyectología, área de Gamacámara, almacén de residuos, radiofarmacia, sala de pacientes inyectados, baño de pacientes inyectados. En esta zona son o pudieran ser necesarias medidas de protección y disposiciones de seguridad específicas [8].

5.4.2 Zona supervisada

Es aquella en la cual se siguen ciertas condiciones de trabajo, y normalmente no son necesarios procedimientos especiales [8]. Por consiguiente, se consideran como zona supervisada las áreas de recepción y sala de espera fría, baño frío, oficinas administrativas [8].

5.5 Procedimiento para medición de niveles de radiación en las zonas controladas y supervisadas

5.5.1 Medición de niveles en modo intensidad

- Verifique que las baterías del detector estén en perfecto estado. El detector de radiación cuenta con un test de baterías que me indican el estado de las mismas.
- Verifique la escala de medida que indica la manecilla.
- Multiplique la lectura del detector por el factor de calibración
- El valor de la medida en mR/h se da multiplicando la magnitud mostrada en la pantalla por la escala respectiva, para dar su valor en Sv/h, multiplique el valor en mR/h por 10.

La medición de niveles en intensidad debe hacerse a diario, con el fin de garantizar unas adecuadas condiciones de seguridad en las instalaciones, el monitoreo se realiza al terminar la jornada por el tecnólogo de turno [8].

5.5.2 Monitoreo de contaminación superficial

- Verifique que las baterías del detector estén en perfecto estado, El detector de radiación TBM-3 cuenta con un test de baterías que me indican el estado de las mismas.
- El valor de la medida en cuentas por minutos CPM se da multiplicando la magnitud mostrada en la pantalla por la escala respectiva, para dar su valor

en Bq/cm^2, dividir el valor en CPM por 60 y este resultado multiplicarlo por el valor dado en el certificado de calibración del equipo.
- Ubique el detector a una distancia de 1cm de la zona a medir.
- La medición de niveles de contaminación superficial debe hacerse diariamente, o en caso de que se presente un incidente, con el fin de verificar que no hay objetos contaminados en el servicio [8].

5.6 Procedimiento para la recepción de material radioactivo

En el servicio de medicina nuclear el material es recibido por el tecnólogo o el oficial de protección radiológica. El cual deberá realizar lo siguiente:

- Colocarse los guantes desechables y el chaleco plomado, quite el envoltorio exterior y controle la etiqueta del contenedor de los radionucleidos.
- Controle el embalaje exterior para detectar cualquier signo de deterioro
- Controle si lo que fue ordenado coincide con la información en la boleta de entrega.
- Tome un paño húmedo o copito de algodón húmedo y realice un frotis del bulto
- En un lugar de baja radiación proceda a medir el frotis con el detector de contaminación superficial que no deberán superar 4 Bq/cm2.
- Se medirá también la tasa de dosis en contacto y a 1.0 metro con el medidor de área (intensímetro) y se comparará con el índice de transporte etiquetado en la caja de transporte que se reportara en el formato de recepción de material radiactivo, de encontrar que el valor es mayor al registrado deberá avisar al oficial de Radioprotección para tomar las medidas
- Una vez destapado el contenido se verificará que la sustancia y actividad corresponden al material pedido [8.]

En caso que se presente la situación de que el embalaje se encuentre dañado, asegúrese de realizar lo siguiente:

- Comuníquelo a su supervisor inmediatamente. Luego colóquese los guantes y ponga el paquete en un lugar seguro, tal como la campana de extracción, en donde puede investigarse el daño.
- Mida la tasa de dosis a 1 metro de su paquete y sobre la superficie de éste. Si las lecturas son superiores a las tasas de dosis permitidas que se muestran en la siguiente tabla, asegure que otras personas se mantengan a 2-3 metros de distancia del paquete y comuníquelo a su supervisor [8].

5.7 medidas de protección radiológica en medicina nuclear

Existen limitaciones prácticas establecidas por las comisiones nacionales e internacionales para proteger a los trabajadores ocupacionalmente expuestos. La racionalización de estos límites se basa en que aún los usos pacíficos de la energía atómica requieren cierta exposición a la radiación y a que es imposible blindar completamente a los trabajadores. Por esta razón, el personal de medicina nuclear debe estar constantemente alerta sobre los métodos prácticos de radioprotección. Estos métodos son: distancia, blindaje y tiempo. Mediante el uso adecuado de estos tres métodos, el nivel de radiación a la cual el trabajador está expuesto puede ser mantenido en un mínimo y dentro de las limitaciones recomendadas [8].

La distancia constituye uno de los mejores métodos de radioprotección y es uno de los más utilizados en la rutina diaria; no solamente es un procedimiento efectivo de protección, sino que es también el más barato. Cuando un individuo se aleja de la fuente radioactiva es natural esperar recibir menos radiación [8].

El principio del tiempo es también un método práctico de radioprotección. Cuanto más tiempo se exponga un individuo a un campo de radiación, mayor será la exposición total. El sentido común indica que el tiempo debe ser utilizado como control de la exposición a la radiación. En las aplicaciones diagnósticas de medicina nuclear el tiempo no es un factor tan importante como cuando se trata de aplicaciones terapéuticas [8].

Mientras que el blindaje es también un método práctico de radioprotección. El uso de materiales blindados como las láminas o ladrillos de plomo no es nada nuevo para los trabajadores de medicina nuclear. El blindaje es simplemente un objeto usado para prevenir o reducir el pasaje de radiación [8].

5.8 Control de exposición a las radiaciones ionizantes en el personal de medicina nuclear

Dado a que el riesgo biológico está directamente relacionado con la dosis de radiación a los tejidos, la absorción de material radioactivo debe estar restringida [8]. Por lo que se recomienda colocar en práctica las siguientes:

5.8.1 Control de la exposición interna

La mayoría de los radionucleidos que se utilizan en medicina nuclear son considerados leve o moderadamente tóxicos con respecto a contaminación interna, sin embargo, una excepción significativa de I-131 es considerada altamente tóxica debido a su especificidad por la glándula tiroides. La exposición interna por ingestión, inhalación o absorción dérmica puede ser satisfactoriamente controlada por prácticas simples y sistemáticas que incluyen:

- Vestir túnica o delantal que proteja la ropa en toda área en que se manejen fuentes radiactivas abiertas. Esas prendas protectoras deben ser retiradas antes de abandonar el área apropiada para su uso.
- Utilizar guantes en todo momento que se manipule material radioactivo
- No comer, beber, fumar o aplicar cosméticos en áreas en las cuales se utilice o almacene material radioactivo.
- No almacenar alimentos, bebidas o artículos personales en áreas en las cuales se utilice o almacene material radioactivo.
- No utilizar la boca con ningún tipo de instrumento tales como pipetas para fraccionar o medir material radioactivo.
- Mantener el área de trabajo libre de contaminación. Realizar semanalmente test para identificar áreas que requieran descontaminación [8].

5.8.2 Recomendaciones prácticas para el manejo del yodo I-131

- Deben tomarse precauciones especiales para el uso de yodo en forma de solución, ya que una contaminación interna con I-131 resulta en una dosis equivalente de radiación para la tiroides de aproximadamente 52 mSv, debido a la exposición y a la captación biológica del órgano.

- Es importante que, al abrir el vial, se haga en una campana de extracción. El componente volátil siempre está en equilibrio con la actividad de la solución en el vial. La causa primaria de contaminación del personal es la inhalación de la nube de radioyodo que escapa del vial al abrirlo.

- Siempre que sea posible, almacenar los viales en la heladera y en la oscuridad. El componente volátil puede ser minimizado manteniendo la solución a una temperatura menor que la temperatura ambiental, la luz brillante o solar incrementa este componente.

- Utilizar guantes siempre que se maneje radioyodo. El yodo puede penetrar parcialmente los guantes desechables y ser absorbido a través de la piel, por esa razón se recomienda usar dos pares de guantes cuando se manejan cantidades mayores a 10 mCi.

- Ser muy cuidadoso de no tocarse el cuello u otras áreas de la piel o la vestimenta cuando está manejando radioyodo.

- Mantener la solución de I-131 de desecho en contenedores bien tapados, con tapas ajustadas y a un pH básico para reducir la volatilidad.

5.8.3 Control de la exposición externa

- La exposición externa puede ser controlada por los métodos clásicos de minimizar el tiempo, maximizar la distancia y utilizar blindajes.

- El factor tiempo puede ser efectivamente utilizado llevando a cabo procedimientos tan eficientemente como sea posible. Los procedimientos nuevos deben ser practicados con material no radiactivo de forma que se adquiera experiencia para poder realizarlos de la manera más rápida posible. Por otro lado, el intentar realizar los procedimientos de forma demasiado rápida puede resultar en derramamientos u otros accidentes que aumentarán el tiempo de exposición.

- En la práctica, se pueden lograr distancias de trabajo seguras en varios aspectos, manejando los viales con pinzas, almacenando el material radioactivo de desecho en áreas alejadas a las áreas de tránsito del personal, manteniendo la mayor distancia posible con los pacientes inyectados durante los procedimientos.

- En cuanto a los blindajes, se deben usar ladrillos de plomo, vidrio plomado, protectores de jeringa, contenedores para el almacenaje de material de desecho, valijas plomadas para el transporte de dosis, etc.

5.9 Exposición normal de los trabajadores ocupacionalmente expuestos

Ya que el servicio de medicina nuclear está conformado por un grupo interdisciplinario de trabajadores cuyas actividades, funciones y responsabilidades son distintas, se presenta una estimación de las dosis esperadas como se muestra en la tabla 3 presentada anteriormente.

Las dosis esperadas por trabajadores ocupacionalmente expuestos se obtienen a partir de las cargas de trabajo y a partir del material que será solicitado en la licencia de Registro de las instalaciones, las tareas que serán desarrolladas, el tiempo estimado y los blindajes que serán interpuestos en las herramientas de trabajo y elementos de protección personal que utilizarán [8]. Para lo cual se menciona los siguientes:

- Delantal plomado
- Protector de tiroides
- Blindaje del pick o contenedor de unidosis
- Protector de jeringa.
- Mampara plomada
- Barrera del generador
- Blindaje de vial

5.10 Normas generales para el uso del dosímetro individual

- Una vez los dosímetros lleguen a la instalación verifique que vienen con el respectivo dosímetro de control.
- El dosímetro de control será almacenado en el mismo lugar en donde son almacenados los demás dosímetros cuando no se está en la jornada laboral
- Haga el cambio del dosímetro personal de cada uno de los trabajadores del servicio, y envíe a lectura los dosímetros del mes anterior.

5.10.1 Uso correcto del dosímetro personal

- El dosímetro será utilizado únicamente por el Trabajador Ocupacionalmente Expuesto
- El uso del dosímetro es personal y restringido.
- El dosímetro se debe de colocar en aquella posición que sea más representativa de la parte más expuesta de la superficie del tronco.
- Las dosis a las extremidades, especialmente a las manos, pueden ser algo mayores, pero a menos que sea probable que estas dosis se aproximen a los tres décimos de los límites de dosis equivalente apropiados, no será necesaria la utilización de dosímetros adicionales.
- Si por alguna razón se decide usar un delantal plomado, el dosímetro se colocará debajo de este y con la etiqueta hacia fuera.
- En los casos particulares en que los valores registrados estén próximos a los niveles de investigación, puede ser necesaria, la utilización de dos dosímetros, uno debajo del delantal para estimar la dosis efectiva, y otro por encima del uso para estimación de la dosis equivalente en cristalino y piel.
- Si un dosímetro se pierde o se daña, el usuario del mismo estará obligado a comunicarlo inmediatamente.
- La responsabilidad de la utilización correcta del dosímetro, es del propio usuario.
- Si se sospecha de sobreexposición accidental debe avisar al oficial de protección radiológica quien tomará las medidas correctivas.
- El trabajador está obligado a efectuar los cambios mensuales del dosímetro en el plazo y en la forma establecidos.
- Una vez llegue el reporte de dosimetría se verificarán los niveles de dosis recibidos por los trabajadores y se dispondrán de las medidas necesarias en caso de sobreexposición.

5.10.2 Responsable del uso de los dosímetros

El responsable, tanto del buen uso de los dosímetros como de su recambio mensual es el oficial de protección radiológica OPR del servicio de medicina nuclear.

5.10.3 Procedimiento de entrega de los dosímetros y socialización de resultados

Mensualmente, el oficial de protección radiológica (OPR) realizará el recambio de los dosímetros para lo cual se establece el siguiente procedimiento [8].

- Una vez lleguen los nuevos dosímetros que por lo general es unos días antes, se verificará que éstos correspondan a los que se tienen activos en el servicio de dosimetría, estos serán almacenados en una zona cuya tasa de dosis corresponda al fondo de radiación natural hasta el día del recambio.
- El día del recambio cada trabajador está obligado a acercarse para realizar el respectivo recambio.
- En caso de superarse el nivel de investigación, se notificará lo sucedido al trabajador con el fin de establecer la causa y aplicar los correctivos necesarios.

5.10.4 Lugar de almacenamiento de los dosímetros

Los dosímetros del personal ocupacionalmente expuesto deben ser ubicados en una gaveta bajo llave o en un área donde pueda tener la supervisión del oficial de protección radiológica o la dirección administrativa del servicio. Generalmente los lugares idóneos son aquellos en ubicados en las zonas supervisadas [8].

5.10.5 Registro de la dosis

Los reportes emitidos por la empresa de dosimetría son analizados y socializados por el oficial de protección radiológica y consolidar la información en una base de datos con el historial dosimétrico de cada trabajador, la cual permite llevar un control y seguimiento de la dosis acumulada recibida en los años de servicio. Los reportes estarán disponibles en caso de solicitud por el ente regulador [8].

5.11 Legislación aplicable

Para esta investigación se tomaron como referencias la legislación aplicable en materia de exposición a radiaciones ionizantes, en las que se mencionan las siguientes.

- **Ley 9 de 1979 -** Código Sanitario. Título III Radiofísica sanitaria (Art 149 al 154) Legisla sobre las radiaciones ionizantes y los materiales radioactivos.

- **Resolución 2400 de 1979 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social - Estatuto de seguridad industrial.** Capítulo V de las radiaciones ionizantes (Artículos 97 a 109). Señala las condiciones de control sanitario que han de observarse en relación con los trabajadores que manejan sustancias radiactivas.

- **Resolución 2013 de 1986** Por la cual se reglamenta la organización y funcionamiento de los comités de paritarios de seguridad y salud en el trabajo.

- **Decreto 1295 de 1994** Define en el Sistema General de Riesgos Profesionales, los riesgos profesionales, su clasificación y prestaciones.

- **Decreto 4130 de 2011** Por la cual se reasignan funciones al instituto colombiano de geología y minería Ingeominas, como el licenciamiento y el control para la gestión de materiales nucleares y radiactivos en el país.

- **Decreto 1072 de 2015** Por la cual se expide el decreto único reglamentario del sector trabajo.

- **Ley 1562 de 2012** Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad y salud en el trabajo.

- **Decreto Legislativo 295 de 1958** regula el control sobre las importaciones, uso y aplicaciones de los isótopos radioactivos.

- **Resolución 18-1434 de 2002 del Ministerio de Minas y Energía** - Norma Básica de Protección Radiológica.

- **Resolución 90874 de 2014-** Por medio de la cual se establecen los requisitos y procedimientos para la expedición de autorizaciones para el empleo de fuentes radiactivas y de las inspecciones de las instalaciones radiactivas.

5.12 Individuo

Las personas que trabajan en las instalaciones con riesgo radiológico se clasifican, en función de las condiciones en que realizan su trabajo, como trabajadores ocupacionalmente expuestos y miembros del público [8].

Se consideran trabajadores ocupacionalmente expuesto el personal que por las circunstancias en que se desarrolla su trabajo, bien sea de modo habitual o de modo ocasional, están sometidas a un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes como lo son los Tecnólogos de Imágenes Diagnósticas, Médico Nuclear, Químicos

farmacéutico, auxiliares de enfermería oficiales de protección radiológica y conductores de transporte de material radioactivo [8].

Son miembros del público todos los demás trabajadores de la institución cuyo tránsito por las zonas controlada o supervisada sea esporádico, poco probable o nulo, como trabajadores administrativos, personal de oficina, celadores, mensajeros y personal de aseo. Trabajadores operativos no expuestos a la fuente, los familiares de los usuarios mientras no estén siendo atendidos como pacientes con fines diagnósticos o terapéuticos y cualquier otro individuo de la población [8].

5.13 Descripción cargos y tareas realizadas por los trabajadores ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes

Las tareas desarrolladas por los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes en los servicios de medicina nuclear de la empresa estudiada se resumen en la tabla 1.

Tabla 1 Listado de tareas del personal ocupacionalmente expuesto

CARGO	TAREAS	TIPO DE TAREA	RIESGO IRRADIACIÓN	EXPOSICIÓN
Tecnólogo	Entrevista al usuario	Rutinaria	NA	0,0005µSv/h
	Recepción material radiactivo	Rutinaria	Irradiación y contaminación	0,49µSv/h
	Toma de la imagen	Rutinaria	Irradiación y contaminación	0,53µSv/h
	Gestión de residuos radiactivos	Rutinaria	Irradiación y contaminación	12,5µSv/h
Aux enfermeria	Entrevista al usuario	Rutinaria	NA	0,0005µSv/h
	Posicionamiento del paciente	Rutinaria	Irradiación y contaminación	0,53µSv/h
	Cuidados de enfermeria	Rutinaria	Irradiación y contaminación	0,53µSv/h
	Gestión de residuos radiactivos	Rutinaria	Irradiación y contaminación	12,5µSv/h
Medicos nucleares	Consulta médica	Rutinaria	NA	0,0005µSv/h
	Lectura de la imagen(diagnóstico)	Rutinaria	NA	0,0005µSv/h
	Revisión del informe	Rutinaria	NA	0,0005µSv/h
	Terapia con yodo I-131	ocasional	Irradiación y contaminación	0,53µSv/h
Químicos farmaceuticos	Recepción material radiactivo	ocasional	Irradiación y contaminación	0,49µSv/h
	Producción de radiofarmaco	Rutinaria	Irradiación y contaminación	0,218µSv/h
	Gestión de residuos radiactivos	Rutinaria	Irradiación y contaminación	12,5µSv/h
Físico Médico	Mediciones para cálculo de blindaje	ocasional	Irradiación y contaminación	2,55x10^(-3) mSv
Conductores	Transporte de material radiactivo	Rutinaria	Irradiación y contaminación	0,0005µSv/h

Para el funcionamiento operativo de los servicios de medicina nuclear, es necesario poder contar con un grupo de trabajadores que ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes desempeñan una serie de actividades dentro de los cargos descritos a continuación [8].

5.13.1 Médico especialista en medicina nuclear

El médico especialista en medicina nuclear es el responsable de realizar las tareas de:

- Prescribir la dosis a administrar al paciente, usando la exposición mínima necesaria para el diagnóstico.
- Revisar la información pertinente resultante de exámenes anteriores para evitar exámenes adicionales innecesarios.
- Evitar, a no ser que existan poderosas indicaciones clínicas, la administración de radioisótopos con fines diagnósticos o terapéuticos a mujeres embarazadas.
- Restringir a las madres en período de lactancia el amamantamiento hasta que el radiofármaco sea eliminado.
- Administrar radioisótopos con fines diagnósticos a niños, solo si existe una poderosa indicación clínica.
- Calcular la dosis a administrar según el peso y la superficie corporal del paciente.
- Planificar todo procedimiento terapéutico destinado a mujeres embarazadas de forma que cause el mínimo riesgo al embrión o feto.
- Informar a los pacientes de los posibles riesgos en el tratamiento de terapia metabólica.
- Vigilar que la administración de radioisótopos a los pacientes sea realizada bajo su prescripción.
- Realizar el seguimiento clínico de los pacientes tratados.
- Llevar los registros de las historias clínicas de los pacientes atendidos.
- Usar correctamente durante la jornada el dispositivo de vigilancia radiológica individual.

5.13.2 Oficial de protección radiológica

Como responsable directo del funcionamiento de la instalación, debe cumplir y hacer cumplir las normas establecidas en la organización en materia de protección radiológica. Además, tiene la autoridad para detener, en cualquier momento, el funcionamiento de la instalación, si estima que se han reducido las condiciones de seguridad radiológica [8]. Para lo cual deberá desarrollar las siguientes tareas:

- Participar en las autorías de inspección vigilancia y control realizadas por los entes reguladores, relacionadas con el uso de material radioactivo en las instalaciones.
- Mantener vigente los permisos o licencias para el manejo del material radiactivo.
- Establecer un Programa de Educación continua sobre protección radiológica para todo el personal expuesto a radiaciones ionizantes.
- Realizar el seguimiento y control de los registros asociados a la ejecución de los programas y procedimientos de protección radiológica.
- Solicitar los elementos de protección personal para radiaciones ionizantes que se requieran según necesidad y supervisar su correcto uso y mantenimiento.
- Usar correctamente durante la jornada el dispositivo de vigilancia radiológica individual.
- Supervisar el uso correcto y mantenimiento de las herramientas y elementos de protección personal.
- Elaborar y verificar la implementación de los procedimientos operacionales, de emergencia y protección radiológica.
- Asegurar que el ingreso a las áreas y la manipulación de material radioactivo sea realizado solamente por personal autorizado.
- Efectuar la evaluación de seguridad y el Plan de Emergencia.
- Identificar las zonas controladas y supervisadas en el servicio.
- Establecer el control de acceso a las zonas controladas.
- Realizar el seguimiento de la dosimetría individual del personal ocupacionalmente expuesto.
- Efectuar las mediciones de tasa de dosis y niveles de contaminación en la instalación.
- Participar en las investigaciones de exposiciones accidentales a radiaciones ionizantes.
- Verificar que se efectúe el mantenimiento de todos los equipos de protección radiológica.
- Aplicar las restricciones y recomendaciones para trabajadoras embarazadas.
- Asegurar que los manuales de los equipos estén disponibles y sean entendidos por los operadores, y que estén traducidos al idioma oficial del país.
- Mantener actualizado y disponible el inventario de material radioactivo.
- Verificar que se efectúen acciones correctivas luego de la ocurrencia de exposiciones accidentales en trabajadores.
- Coordinar el desarrollo de simulacros de los planes de emergencia radiológicas.
- Verificar que se realice una adecuada gestión de los residuos radiactivos generados.

5.13.3 Tecnólogos en medicina nuclear

Los tecnólogos en medicina nuclear son los responsables de la ejecución de las siguientes tareas:

- Comprobar que la actividad de la dosis a aplicar al paciente corresponda a la prescrita por el médico.
- Verificar la correcta identificación del paciente.
- Realizar los controles periódicos del calibrador de dosis.
- Aplicar las indicaciones establecidas por el médico nuclear en la aplicación de los procedimientos operacionales.
- Utilizar apropiadamente los dispositivos, herramientas y elementos de protección que le proporcionen.
- Usar correctamente durante la jornada el dispositivo de vigilancia radiológica individual.
- Cumplir con las disposiciones existentes respecto a la protección, seguridad y ejecución de los sistemas de vigilancia epidemiológica.
- Aplicar los procedimientos de seguridad a seguir en caso de accidente radiológico.
- Informar al Oficial de Protección Radiológica sobre cualquier situación de riesgo o de accidente.
- En el caso de trabajadoras, tan pronto como conozca su estado de gravidez, notificar a su jefe inmediato sobre su condición [8].

5.13.4 Químico farmacéutico

Su rol principal es en la parte operativa de la producción de radiofármacos, para lo cual debe realizar las siguientes actividades:

- Elaborar la orden de producción de radiofármacos y etiquetas de unidosis
- Realizar la elución del generador de material radioactivo
- Ejecutar la marcación y ajustes de radiofármacos tecnecio
- Realizar inspección visual a los radiofármacos preparados
- Comprobar la actividad de las unidosis.
- Verificar la correcta identificación de la unidosis
- Realizar los controles periódicos del calibrador de dosis
- Utilizar adecuadamente los dispositivos, herramientas y elementos de protección para radiaciones ionizantes.
- Usar correctamente durante la jornada el dispositivo de vigilancia radiológica individual.

- Mantener actualizado los protocolos de marcación de los diferentes radiofármacos.
- Supervisar la disponibilidad de materiales e insumos necesarios para la marcación de radiofármacos convencionales.
- Realizar los controles de calidad respectivos de todos los radiofármacos obtenidos.
- Gestionar de manera adecuada los solventes y materiales a utilizar durante el proceso.
- Cumplir con las políticos y requerimientos de saneamiento e higiene, salud y protección radiológica establecidas por la institución.
- Aplicar los procedimientos de emergencia en caso de accidentes radiológicos.
- Utilizar apropiadamente los equipos de monitoreo de tasa de dosis de contaminación superficial.
- Participar en los programas de entrenamiento y capacitación relativo a la seguridad y protección radiológica.
- Informar al oficial de protección radiológica cualquier situación de riesgo o de accidente [8].

5.13.5 Físico médico

Este es el profesional con mayor conocimiento en materia de protección radiológica por lo que es nombrado el presidente del comité de seguridad radiológica, tiene la responsabilidad de ejecutar las siguientes tareas:

- Realizar cálculos de blindajes a las instalaciones del servicio de medicina nuclear.
- Usar correctamente durante la jornada el dispositivo de vigilancia radiológica individual.
- Calcular la estimación de dosis en los casos de accidentes radiológicos y/o reportes de dosimetría alta.
- Emitir concepto técnico sobre los equipos o instrumentos nuevos que se vayan adquirir.
- Brindar capacitaciones en seguridad y protección radiológica a trabajadores ocupacionalmente expuestos.
- Brindar a la empresa de medicina nuclear las recomendaciones necesarias en todo lo concerniente a los cálculos de blindaje y medidas de protección radiológica.
- Supervisar las actividades de calibración de equipos y dosimetría [8].

5.13.6 Auxiliar de enfermería

Su rol principal es brindar un cuidado integral de enfermería a los usuarios que reciben atención en el servicio de medicina nuclear, para esto deberán desarrollar las siguientes tareas:

- Servir de apoyo al médico nuclear en la aplicación de terapias metabólicas.
- Dar apoyo al tecnólogo en los procedimientos de medicina nuclear
- Brindar las instrucciones a los pacientes que serán sometidos a procedimientos en medicina nuclear.
- Realizar la atención primaria a paciente que presente urgencias vitales.
- Monitorizar los signos vitales del paciente durante los procedimientos realizados.
- Registrar en la historia clínica toda la información disponible sobre los problemas identificados.
- Conocer y aplicar los procedimientos de seguridad y protección radiológica especificados en el Servicio de Medicina Nuclear.
- Cumplir con las disposiciones existentes respecto a la ejecución de los programas de vigilancia epidemiológica.
- Verificar la correcta identificación del paciente y posicionarlo para la toma de la imagen.
- Utilizar adecuadamente las herramientas, dispositivos y elementos de protección para radiaciones ionizantes.
- Usar correctamente durante la jornada el dispositivo de vigilancia radiológica individual.
- Participar en los programas de entrenamiento y capacitación relativo a protección radiológica.
- Aplicar los procedimientos de seguridad en caso de accidentes radiológicos.
- Informar al Médico Nuclear, al oficial de protección radiológica del servicio sobre cualquier situación de riesgo o accidente.
- En el caso del personal ocupacionalmente expuesto femenino, tan pronto como conozca su estado de gravidez, notificar a su jefe inmediato [8].

5.13.7 Conductor de transporte de material radioactivo

Son los encargados de transportar los bultos con las unidosis de material radioactivo por las sedes de la empresa de medicina nuclear, para lo cual deberán realizar las siguientes tareas:

- Conducir el vehículo autorizado para el transporte de material radioactivo.
- Utilizar apropiadamente los equipos de medición de tasa de dosis y contaminación superficial.
- Utilizar adecuadamente los dispositivos, herramientas y elementos de protección que le proporcione la empresa.
- Aplicar los procedimientos de seguridad en caso de accidentes radiológicos.
- Acordonar el área en caso de accidentes y evitar la exposición innecesaria a la radiación de trabajadores y miembros del público.
- Cumplir con las disposiciones existentes en materia de protección radiológica y ejecución de programas de vigilancia epidemiológica.
- Aplicar los sistemas y dispositivos de seguridad para el manejo de material radioactivo.
- Participar en los programas de entrenamiento y capacitación en protección radiológica.
- Informar al Oficial de Protección Radiológica sobre cualquier situación de riesgo o de accidente.
- Usar correctamente durante la jornada el dispositivo de vigilancia radiológica individual.
- Diligenciar los registros que se requieran en la ejecución del proceso. y deben mantener actualizada su autorización individual [8].

5.14 Entrada al cuerpo y límites de dosis

La Comisión Internacional de Protección Radiológica ICRP, considera que los límites de dosis existentes que fueron recomendados en la Publicación 60 ICRP de 1991 y publicación 103 ICRP de 2007, continúan proporcionando un nivel adecuado de protección. Los coeficientes de detrimento nominal tanto para trabajadores como para el público en general, aunque numéricamente algo más bajos, son consistentes con los suministrados en 1990. Estas pequeñas diferencias no tienen importancia práctica [9.] Los límites de dosis recomendados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Límites de Dosis Recomendados

LÍMITES DE DOSIS		
TIPO DE LÍMITE	**OCUPACIONAL**	**PÚBLICO**
Dosis efectiva	20 mSv por año promediada en periodos difinidos de 5 años	1 mSv en un año
	1,67 mSv mensual	
Dosis anual equivalente en:		
Cristalino	150 mSv	15 mSv
Piel	500 mSv	50 mSv
Manos y pies	500 mSv	
Publicación 60 ICRP 1991, publicación 103 ICRP 2007		

Para exposición ocupacional en situaciones de exposición planificada, la Comisión Internacional de Protección Radiológica ICRP, continúa recomendando que el límite debería expresarse como una dosis efectiva de 20 mSv por año, promediada en períodos definidos de 5 años (100 mSv en 5 años), con la condición adicional de que la dosis efectiva no debería exceder 50 mSv en cualquier año[9].

Para exposición del público en situaciones de exposición planificada, la Comisión continúa recomendando que el límite debería expresarse como una dosis efectiva de 1 mSv por año. Sin embargo, en circunstancias especiales podría permitirse un valor superior de dosis efectiva en un solo año, con la condición de que el promedio a lo largo de un período definido de 5 años no exceda 1 mSv por año [9].

Según las recomendaciones de 1990 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica considera que si una trabajadora ha declarado (es decir, ha notificado a su empleador) que está embarazada, deben realizarse controles adicionales para proteger al embrión o feto. Es política de la Comisión que los métodos de protección para mujeres embarazadas en el trabajo deberían proporcionar una protección al embrión/feto semejante a la que se proporciona a los miembros del público. Las condiciones de trabajo de una trabajadora encinta, después de la declaración de embarazo, deberían ser las adecuadas para garantizar que la dosis suplementaria al feto no exceda alrededor de 1 mSv durante el resto de la gestación [9].

5.15 Efectos biológicos, alteraciones de estructuras y funciones

El estudio de los efectos biológicos de la radiación ionizante ha recibido un impulso permanente, como consecuencia de su uso cada vez mayor en la medicina, ciencia e industria y aplicaciones militares de energía atómica.

La energía depositada por las radiaciones ionizantes al atravesar las células vivas da lugar a iones y radicales libres que rompen los enlaces químicos y provocan cambios moleculares que dañan las células afectadas. En principio cualquier célula puede ser alterada por la radiación, pero el ADN es el blanco biológico más crítico debido a la información genética que contiene [8].

5.15.1 Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

Según el comité científico de las naciones unidas UNSCEAR, los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes están ocasionados por el daño infringido a las células como consecuencia de la interacción de la radiación con la materia. El daño, puede ocasionar muerte o modificación celular, lo que a su vez puede afectar el normal funcionamiento de los diferentes órganos o tejidos [8].

5.15.1.1 Efectos determinísticos

Se presentan cuando ocurre un daño al tejido u órgano afectado, y consecuentemente al individuo, debido a que un número considerable de células mueren. Este tipo de daño ocurrirá en aquellos individuos que reciban una dosis de radiación por encima del umbral determinado para cada efecto, principio dosis dependiente [8]. Existiendo la posibilidad de unos efectos agudos y efectos tardíos.

5.15.1.1.1 Efectos agudos

- Irradiaciones Globales: Cuanto mayor es la dosis recibida, más severa y prolongada es la sintomatología, estos efectos precoces son debidos a pérdidas celulares. La lesión principal es la aplasia medular con una linfopenia inicial. Y en exposiciones a partir de dosis superiores a 1 Gy para radiaciones X o gamma en pocos minutos se presentan efectos sobre tejido

hematopoyético, que son más graves cuanto mayor es la dosis. Este tipo de efectos se pueden observar en bombas atómicas [8].

- Irradiaciones parciales:

Piel: A partir de 10 Gy para radiaciones X y gamma y en exposiciones de pocos minutos, se produce una radiodermitis exudativa.

Pelo: Alopecia tras irradiación localizada del cuero cabelludo, en exposiciones de pocos minutos e iguales o superiores a 3 Gy.

Gónadas: Las células testiculares son muy radiosensibles y a partir de dosis de 0,3 Gy. Para radiaciones X y gamma y en exposiciones de breves minutos se produce oligospermia. Dosis superiores a 4 Gy pueden entrañar esterilidad definitiva. En la mujer los ovarios tienen una radiosensibilidad menor y la esterilidad se produce a dosis superiores a 8 Gy [8].

5.15.1.1.2 Efectos tardíos

- Ojo: Catarata a partir de dosis acumuladas para el cristalino de 10 Gy en radiaciones X y 0,8 Gy en neutrones.

- Piel: Radiodermitis crónicas, con atrofia, hiperqueratosis y telangiectasias, en exposiciones repetidas de 5 mGy/día y dosis acumulada superior a 10 Gy.

- Embrión y Feto: En ciertas ocasiones accidentales, la irradiación de la mujer embarazada puede conducir a malformaciones fetales que dependen de la dosis recibida en el feto y del momento de la irradiación en el curso de la vida fetal:

- Malformaciones cerebrales, malformaciones óseas: A partir de dosis de 0,3 Gy en la fase de organogénesis.

- Retraso intelectual: Con dosis recibidas en el feto superiores a 0,5 Gy después de la 8ª semana de gestación [8].

5.15.1.2 Efectos estocásticos

Ocurren cuando en la célula no se produce un daño mortal, pero resulta modificada en su estructura como el ADN por el efecto de la radiación, generalmente se pondrán en marcha los mecanismos de reparación celular, de modo que, si la reparación no es completa, y se produce la supervivencia de la célula con una mutación, la modificación será transmitida a las células hijas, que si son somáticas podrían degenerar a una neoplasia en el órgano o tejido afectado del individuo expuesto, pero si las células afectadas son las responsables de la transmisión de la información genética a los descendientes de los individuos expuestos se podría inducir una enfermedad hereditaria [8].

Estos efectos ya sean somáticos o genéticos se denomina efectos de naturaleza aleatoria no dosis dependientes y pueden ocasionar tumores radioinducidos como:

- Epitelioma espinocelular cutáneo: A partir de lesiones de radiodermitis crónica. Se necesitan dosis acumuladas superiores a 15 Gy.

- Osteosarcoma: Por incorporación de radionucleidos y con dosis acumuladas en esqueleto superiores a 8 Gy.

- Leucemia: Es el cáncer radioinducido más común. Es la patología estocástica más frecuente entre las víctimas de explosiones nucleares y exposiciones profesionales. Todas las formas de leucemia pueden ser radioinducidas salvo las leucemias linfoides crónicas.

- Cáncer primitivo de pulmón: En casos de exposición a radiaciones alfa, son cánceres ligados al radón, sobre todo en exposiciones de trabajos de minería[8].

5.15.2 Radiosensibilidad de los órganos y tejidos

La respuesta y la gravedad del daño que puede ser tolerado en un tejido u órgano depende de varios factores, como el nivel de depleción celular que produce disfunciones en los tejidos, el momento de manifestación del daño, la capacidad de reparación y recuperación del tejido, el volumen incluido en el campo, la dosis total administrada, el tiempo total y número de fracciones en que se subdivide la dosis[14].

La exposición de los diferentes órganos y tejidos del cuerpo trae como consecuencia diferentes probabilidades de daños y diferentes severidades. Por lo que la Comisión Internacional de Protección Radiológica ICRP llama a la combinación de la probabilidad y de la severidad del daño detrimento. Para reflejar el detrimento combinado de los efectos estocásticos, la dosis equivalente en cada órgano y tejido se multiplica por el factor de ponderación de los tejidos y los resultados son sumados sobre todo el cuerpo para dar la dosis efectiva; el nombre especial de la unidad de dosis efectiva es sievert (Sv)[14].

La magnitud física básica utilizada en protección radiológica para efectos estocásticos es la dosis absorbida promediada en el órgano o tejido, es decir la energía depositada en el órgano dividido por la masa del órgano o tejido. Para los efectos determinísticos la dosis absorbida es promediada sobre la parte más irradiada del tejido, tal como el volumen de la piel irradiada en el campo de radiación directa. La unidad para representar la dosis absorbida es el Gray (Gy)[14].

Generalmente los efectos que se mencionan a continuación se presentan en exposiciones agudas o accidentales [14].

5.15.2.1 Piel

Los efectos de las radiaciones sobre la piel son dependientes de la dosis y de la profundidad y área de la piel irradiada. La escala de severidad de los síntomas es la misma que para las quemaduras comunes: eritema, edema, ampollas, úlceras, necrosis y esclerosis.

Las dosis umbral para efectos determinísticos después de una dosis aguda en un campo de 3 cm de diámetro, se encuentra en los siguientes rangos: Depilación temporaria de 3 a 5 Gy y en el peor de los casos necrosis con dosis superiores a 25 Gy [14].

5.15.2.2 Aparato digestivo

Los daños al tubo digestivo provocan síntomas agudos y crónicos, que van desde la diarrea y dispepsia hasta úlcera, estenosis y obstrucciones. Hay una variada radiosensibilidad de las diferentes partes del tubo digestivo, siendo las más sensibles el intestino delgado, recto, colon y estómago, en ese orden [14].

Estos efectos producen un síndrome gastrointestinal mortal cuando gran parte del intestino es expuesto en forma aguda a una dosis mayor de 10 Gy. Las complicaciones tardías debido a lesiones localizadas en el aparato digestivo se manifiestan en meses o años posteriores a la exposición, y aparecen en forma de obstrucciones, constricciones y adherencias, resultantes de la fibrosis, pudiendo aparecer perforaciones y fístulas [14].

5.15.2.3 Aparato respiratorio

El pulmón es el órgano más sensible del tórax. La neumonitis por irradiación puede sobrevenir en forma precoz e ir seguida, semanas o meses después, por radiofibrosis. Cuando la mayor parte o todo el volumen de ambos pulmones son irradiados se puede producir neumonitis mortal.

La dosis letal por irradiación aguda es de 8-10 Gy o 20-30 Gy para exposiciones fraccionadas en 6-8 semanas [14].

5.15.2.4 Sistema cardiovascular

El corazón no es considerado un órgano altamente radiosensible. Sin embargo, una dosis de 40 Gy fraccionada en forma convencional (10 Gy/semana) puede causar algún grado de degeneración miocárdica, y una dosis mayor de 60 Gy para todo el corazón puede llevar a la muerte por derrame pericárdico y pericarditis constrictiva.

Los vasos sanguíneos también muestran cambios después de dosis de 40 a 60 Gy. En general la permeabilidad vascular y flujo sanguíneo tiende a incrementarse en las primeras fases de la respuesta, continuando después de varios meses por la degeneración de las células endoteliales, el engrosamiento de la membrana basal y esclerosis gradual [14].

5.15.2.5 Sistema urinario

El riñón es el elemento más sensible, mientras que la vejiga tiene una sensibilidad intermedia y los uréteres son los más resistentes. Con dosis fraccionadas de 20 Gy en 3-4 semanas se puede observar una reducción en la función renal. Con dosis más altas se produce nefritis aguda en un plazo de 6-12 meses, este puede ser letal o conducir a la nefritis crónica [14].

5.15.2.6 Sistema nervioso central

El tejido nervioso posee muy poca capacidad de repoblación, lo cual es motivo suficiente para no ser considerado radioresistente la dosis de tolerancia para todo el cerebro es de alrededor de 55 Gy fraccionados en 5-6 semanas. Por lo que un incremento de la dosis puede llevar a la necrosis cerebral.

Para la médula espinal las dosis de tolerancia son más bajas que para el cerebro, las estimaciones de una dosis segura para la médula cervical, torácica y lumbar varían entre 35 Gy en 4 semanas y 50 Gy en 5 semanas [14].

5.15.2.7 Tejido hematopoyético

El sistema hematopoyético es uno de los tejidos más sensibles del cuerpo. Se pueden advertir respuestas después de 0,5-1 Gy, ya sea que se administren en exposición única o en una serie de fracciones pequeñas. Una dosis letal después de una exposición accidental está comprendida entre 3 a 5 Gy.

La dosis umbral para detectar depresión en la hematopoyesis, durante la exposición ocupacional se ha estimado en un valor mayor a 0,4 Sv/año y la dosis umbral que induce aplasia medular mortal probablemente es mayor a 1 Sv/año [14].

5.15.2.8 Tejidos del ojo

De los tejidos de la región del ojo como glándulas lagrimales, conjuntiva, córnea y retina; el cristalino es el más sensible a la radiación. La producción de opacidades es la consecuencia del daño sobre las células del epitelio anterior del cristalino. Este es particularmente sensible a la irradiación uniforme y responde a dosis de aproximadamente 1 Gy en una única dosis o 4 Gy en forma fraccionada, con la formación de cataratas. Con dosis 7,5 Gy en forma aguda a 14 Gy fraccionados, la opacidad del cristalino alcanza el 100% de la dificultad de la visión de las personas expuestas [14].

5.15.2.9 Órganos reproductores

El ovario es un órgano sumamente radiosensible responde a dosis únicas de 2-6 Gy produciendo esterilidad temporal. Las mujeres mayores son más susceptibles, probablemente debido a un decreciente número de folículos con la edad.

El testículo es también un órgano radiosensible, con dosis de 0,1 a 0,15 Gy producen esterilidad temporal. La dosis que induce esterilidad permanente en el 100% de los hombres expuestos es mayor a los 6 Gy [14].

5.15.2.10 Hueso y cartílago

El hueso y cartílago en desarrollo son mucho más sensibles a la radiación que esos mismos tejidos en el adulto, puede ocurrir retardo o incluso la detención del crecimiento con dosis superiores a 20 Gy. Se incluyen la escoliosis, cifosis, deslizamientos de las epífisis femorales, hipoplasia, retraso del crecimiento y problemas dentales [14].

En general el hueso adulto es considerado radioresistente a pesar que después de la irradiación se vuelve susceptible al trauma y a la infección. Una dosis de 65 Gy administrada en 6-8 semanas no ocasiona comúnmente la osteonecrosis, pero puede determinar una mayor predisposición a la fractura y demora en el proceso de cicatrización posterior [14].

5.15.2.11 Sistema endocrino

La disfunción tiroidea puede ser debida a la irradiación de la glándula tiroides o del eje hipotálamo-hipofisario. El daño directo a la glándula tiroides debido a la radiación ionizante puede causar hipotiroidismo primario, mientras que la irradiación del eje hipotálamo-hipofisario produce hipotiroidismo secundario.

La glándula tiroides se considera como un órgano radioresistente desde el punto de vista de la destrucción y de la deficiencia funcional, ya que se requiere un mínimo de 300 Gy para producir la ablación total en un corto período. El hipotiroidismo es el más frecuente de los efectos determinísticos tardíos que afectan a la glándula tiroides después de la irradiación, manifestándose el daño clínico varios meses o años después [14].

La sensibilidad de los órganos a la radiación ionizante se resume en la tabla 3 que se presenta a continuación.

Tabla 3 Radiosensibilidad de los órganos

ORGANO	DOSIS	EFECTO
Piel	3-5 Gy	Depilación temporal
	7 Gy	Depilación permanente
	3-10 Gy	Eritema
	10-15 Gy	Radiodermatitis seca
	15- 25 Gy	Radiodermatitis exudativa
	< 25 Gy	Necrosis
Intestinos	< 10 Gy	Diarrea, dispepsia, ulcera, estenosis, obstrucciones
Pulmón	8-10 Gy	Neumonitis, fibrosis
Corazón y vasos sanguineos	40-60 Gy	Derrame pericárdico, pericarditis constrictiva, engrosamiento de la pared de los vasos
Riñón	20 Gy	Reducción de la fun cion renal, nefritis aguda y cronica, hipertensión
Cerebro	< 55 Gy	Necrosis cerebral
Tejido hematopoyético	0.5-1 Gy	Disminución de la hematopoyesis, aplasia medular
Ojos	< 1 Gy	Daños sobre las celulas del epitelio anterior del cristalino, opacidades y cataratas
Ovarios	2-6 Gy	Esterelidad temporal
Testiculos	0.1-0.15 Gy	Esterelidad temporal
Hueso y cartílago	< 20 Gy	En niños deslizamiento de epífisis femorales, hipoplasia, retraso del crecimiento
	65 Gy	Mayor predisposición a la fractura
Tiroides	300 Gy	Ablación, hipotiroidismo
Gisione P, Perez M del R. Efectos Biologicos De La Radiacion. Aiea. 2000;1–23.		

6 METODOLOGÍA

6.1 Tipo de estudio

Estudio descriptivo de corte transversal.

6.2 Población

Estuvo conformada por 36 trabajadores de una empresa de medicina nuclear del sur occidente colombiano con exposición al factor de riesgo de radiaciones ionizantes; a la cual denominaremos Unidad de análisis**.**

6.3 Unidad de análisis

Distribuida por 9 Tecnólogos en Medicina Nuclear, 7 Oficiales de Protección Radiológica, 6 auxiliares en Enfermería, 5 Médicos Nucleares, 4 Químicos Farmacéuticos, 3 conductores de material radioactivo, 1 físico y 1 Regente de Farmacia.

6.4 Definición y caracterización de variables

Se analizaron las siguientes variables en el estudio:

Tabla 4. Definición y Caracterización de Variables

VARIABLE	DEFINICION	TIPO DE VARIABLE	MODALIDAD
Sexo	Hombre-Mujer	Cualitativa	Nominal
Edad	Número de años cumplidos	Cualitativa	Nominal
Antigüedad en el Cargo	Número de años cumplidos en el cargo	Cuantitativa	Continua
Cargo	Nombre del cargo del trabajador	Cualitativa	Nominal
Sede	Lugar de permanencia del trabajador	Cualitativa	Nominal

Licencia para manejo de material radiactivo	Cumplimiento de la licencia para manejo de material radiactivo	Cualitativa	Nominal
Dosis del periodo mSv	Cantidad de radiación recibida en el mes	Cuantitativa	Continua
Dosis acumulada mSv	Cantidad total de radiación acumulada recibida en promedio de cuatro años exposición	Cuantitativa	Continua
Tasas de dosis de radiación en las áreas	Medición de cantidad de radiación en las áreas	Cuantitativa	Continua
Accesorios y barreras para la protección de radiaciones ionizantes	Validación de accesorios y barreras para la protección de radiaciones ionizantes	Cualitativa	Nominal
Equipos detectores de radiación	Cumplimiento de los requisitos estándar para los equipos de medición	Cualitativa	Nominal
Tipos radioisótopos por sedes	Tipo de radioisótopos utilizados en el servicio	Cualitativa	Nominal
Seguimiento médico	Cumplimiento de las evaluaciones médicas ocupacionales	Cualitativa	Nominal
Seguimiento a capacitación	Cumplimiento a programa de capacitación	Cualitativa	Nominal
Verificación de registro físico de capacitación	Cumplimiento de registro capacitación	Cualitativa	Nominal
Licencia para manejo de material radioactivo	Cumplimiento de licencia para manejo de material radioactivo en el servicio de medicina nuclear	Cualitativa	Nominal

Materiales radiactivos utilizados	Tipo de radioisótopos utilizado en el servicio	Cualitativa	Nominal
Actividad de tecnecio Tc99 solicitada	Cantidad de tecnecio Tc99 solicitada en el servicio.	Cuantitativa	Continua
Actividad de I131 solicitada en el servicio	Cantidad de actividad de yodo solicitada en el servicio de medicina nuclear	Cuantitativa	Continua
Actividad de Galio 67 solicitada en el servicio	Cantidad de actividad de Galio 67 solicitada en el servicio de medicina nuclear	Cuantitativa	Continua
Áreas o zonas controladas y supervisadas	Verificación del cumplimiento de las áreas controladas y supervisadas en servicio de medicina nuclear	Cualitativa	Nominal
Medidas de blindaje en área de preparación de radiofármacos	Cumplimiento con las medidas de blindaje en las áreas de preparación de radiofármacos	Cualitativa	Nominal
Medidas de blindaje en área de almacenamiento de radioisótopo	Cumplimiento con las medidas de blindaje en área de almacenamiento de radioisótopo	Cualitativa	Nominal
Medidas de blindaje en área de almacenamiento de residuos radioactivos	Cumplimiento con las medidas de blindaje en área de almacenamiento de residuos radiactivos	Cualitativa	Nominal
cantidad de elementos de protección personal para radiación ionizantes	Número de elementos de protección personal para radiaciones ionizantes	Cuantitativa	Continua

Cantidad de barreras y accesorios para radiaciones ionizantes	Número de barreras y accesorios para la protección de radiaciones ionizantes	Cuantitativa	Continua
Dosímetros utilizados por el trabajador ocupacionalmente expuesto	Tipo de dosímetros utilizados por el trabajador ocupacionalmente expuesto	Cualitativa	Nominal
Condiciones de uso y almacenamiento de dosímetro	Verificación de las condiciones de uso y almacenamiento adecuado del dosímetro	Cualitativa	Nominal

6.5 Instrumento de recolección de datos

Se utilizó un instrumento de recolección de datos modificado de la Dirección Seccional de Salud de Antioquia, para registrar la información obtenida sobre los controles establecidos como vigilancia epidemiológica y su aplicación y uso, para la protección a radiaciones ionizantes en cada una de los servicios de medicina nuclear de la empresa en estudio.

6.6 Procedimiento

Por medio de revisión documental y búsqueda en bases de datos secundarias e historias clínicas ocupacionales se pudo evaluar la eficacia de los controles implementados como vigilancia para protección radiológica de los trabajadores e instalaciones.

Los datos obtenidos en el instrumento de evaluación fueron codificados y en ningún caso comunicados al área administrativa de la empresa. Solo la información consolidada podrá ser presentada después de aprobado y realizado en estudio.

Esta se desarrolló en las fases descritas a continuación:

Fase 1: Recolección de la información

a. Se realizó una revisión documental a los informes de protección radiológica, registros de mediciones ambientales de radiación en las áreas y superficies y la dosimetría individual de los trabajadores ocupacionalmente expuestos durante los periodos de 2017 a 2020 en cada uno de los centros de trabajo de medicina nuclear.

Fase 2: Aplicación del instrumento por el investigador.

a. Se asignó un código a cada uno de los centros de trabajo de manera interna para esta investigación.
b. Se consolidó en el instrumento de evaluación la información suministrada por la empresa, en donde se abordaron los siguientes componentes:
    - Identificación del centro de trabajo
    - Materiales radiactivos usados
    - Áreas del servicio de medicina nuclear
    - Estado del blindaje
    - Equipos detectores de radiación
    - Accesorios y elementos de protección personal
    - Dosimetría de los trabajadores
    - Seguimiento médico ocupacional
    - Seguimiento a capacitaciones

Fase 3. Las bases de datos fueron ordenadas y sometidas a análisis estadístico para facilitar su comprensión y poder establecer comparaciones de la dosimetría ocupacional con los límites primarios de dosis recomendados.

6.6.1 Plan de análisis

Para caracterizar la población expuesta a radiaciones ionizantes en la empresa objeto de estudio, las variables cuantitativas como edad y antigüedad serán procesadas para obtener el promedio y la desviación estándar del grupo de trabajadores ocupacionalmente expuestas. Las variables cualitativas como cargo, sexo, sede se procesaron para obtener porcentajes que den cuenta de la distribución de estas características en la población estudio.

Para analizar las variables técnicas y ambientales del sistema de vigilancia epidemiológico, se estimaron el promedio de tasa de dosis de radiación en milisievert (mSv) de las áreas, se analizaron la dosis acumulada en milisievert (mSv) de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes en los periodos de 2017 a 2020. Calculando la variación entre el valor obtenido y el valor esperado de 20 mSv al año.

Utilizando el programa de Excel se realizaron las estadísticas descriptivas por medio de análisis de datos y la relación entre las variables con estadísticas de regresión.

Para verificar la relación de controles técnicos establecidos en el programa de vigilancia epidemiológica para el cumplimiento de las normas de protección radiológica, se realizó un análisis descriptivo con los resultados de los indicadores recopilados a través del instrumento de evaluación, como la identificación centro de trabajo y licencias para manejo de material radiactivo, la actividad en miliCuries y materiales radiactivos utilizados en los servicios, cumplimiento al criterio de infraestructura para las áreas en medicina nuclear, disposición de herramientas y dispositivos o elementos de protección personal para radiaciones ionizantes, cumplimiento en el seguimiento médico y cumplimiento a programa de capacitación.

6.7 Consideraciones éticas

De la investigación con isótopos radioactivos y dispositivos generadores de radiaciones ionizantes y electromagnéticas. (Capítulo III Resol. 008430/1993)

Para efecto de esta investigación se tomaron en cuenta las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud plasmadas en la resolución 008430 de 1993, expedida por la dirección de desarrollo científico y tecnológico del ministerio de salud, en donde se establecen las siguientes consideraciones:

Se protegió la privacidad del trabajador ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes, sujeto de investigación, informando al trabajador sólo cuando se detecten factores críticos que puedan poner en peligro su salud, según el artículo 8 de la resolución 008430 de 1993.

Toda la información obtenida a través de la revisión documental de los sistemas de vigilancia epidemiológica y búsqueda en base de datos de dosimetría individual, historia ocupacional y mediciones ambientales fueron consignadas en el instrumento codificado para cada centro de trabajo del servicio de medicina nuclear.

Por lo que la información una vez consolidada sólo fue visible por el investigador y su director, no se comunicó a la parte administrativa de la empresa, generando un mínimo riesgo de presentarse conflictos de interés ya que no hubo participación activa más allá del proceso investigativo por parte del autor de la tesis.

Para esta investigación se requirió información que solo se pudo obtener directamente de la historia clínica ocupacional. Aunque esta fue una situación infrecuente, se contaba con la autorización del centro de medicina nuclear, toda vez que ni la identidad de los trabajadores ni datos sensibles como dirección, teléfono, resultado de examen médicos y otras evaluaciones no relevantes para esta investigación fueron compartidos con el investigador. En este caso para identificar al trabajador se utilizó el número de historia clínica y la información captada fue la frecuencia de los laboratorios clínicos realizados a los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes.

Por otro lado, el parágrafo primero del artículo 16 de la resolución antes mencionada indica que, en el caso de investigaciones con riesgo mínimo, el comité de ética por razones justificadas podrá autorizar que el consentimiento informado se obtenga sin formularse por escrito y tratándose de investigaciones sin riesgo, podrá dispensar al investigador de la obtención del mismo.

Además, según el artículo 11 de dicha resolución esta investigación se clasifica en la categoría de riesgo mínimo debido a que se registraron datos de los documentos revisados del sistema de vigilancia para radiaciones ionizantes correspondientes a la población en estudio, no se realizó ninguna intervención ni manipulación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas ni sociodemográficas de los sujetos de investigación.

7 RESULTADOS

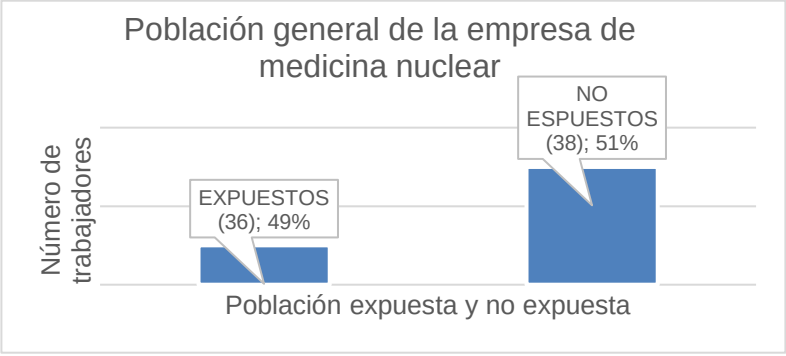
En esta investigación parte de la información del sistema de vigilancia epidemiológica; como dosis de periodo, dosis acumulada, la antigüedad, el cargo y la edad; fue obtenida por medio del análisis de una base de datos con la dosimetría de 36 trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes. Además de la recopilación con el instrumento de evaluación, los métodos control utilizados como vigilancia para radiaciones ionizantes en cada uno de los centros de trabajo del servicio de medina nuclear.

Durante la revisión documental se utilizó el instrumento de evaluación en cada uno de las sedes de la empresa de medicina nuclear, pudiéndose consolidar la información suministrada sobre el sistema de vigilancia epidemiológica en bases de datos; la cuales ha sido organizadas por medio de tablas dinámicas y sometidas a pruebas estadísticas; obteniéndose así los listados de frecuencias de las variables y las relaciones entre las mismas. Utilizando las gráficas de Excel se realizaron las tabulaciones para el análisis, interpretación y comprensión de los resultados.

La presentación de los resultados según los objetivos de la investigación se divide en tres componentes: la caracterización de población ocupacionalmente expuesta, el análisis de las variables técnicas y ambientales del sistema de vigilancia y la relación entre de los controles técnicos establecidos en el programa de vigilancia epidemiológica para el cumplimiento de las normas de protección radiológica

7.1 Resultados del primer objetivo: Caracterización de la población ocupacionalmente expuesta

Figura 2. Gráfico caracterización general de la población



En general la figura 2 muestra que, de todos de los trabajadores de la empresa de medicina nuclear, el 51% o 38 trabajadores pertenecen al área administrativa, donde no existe riesgo de radiación ionizantes. Mientras que el 49% o 36 trabajadores son ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes, siendo esta la población estudio en esta investigación.

Figura 3. Gráfico distribución por edad



En la figura 3 se puede observar que la mayoría de los datos están concentrados cerca al promedio, el cual fue de 37 años para los trabajadores ocupacionalmente expuestos, y una desviación estándar de 9 años lo cual nos indica cierta variabilidad en los datos, y gráficamente se genera una asimetría a la derecha del promedio.

Para la población no expuesta la distribución es similar ya el promedio de edad es 31 años con una desviación estándar de 8 años.

A continuación, se presenta la figura 4 que representa la distribución de los datos de la variable antigüedad en los trabajadores expuestos, en donde se encuentra un trabajador con año de antigüedad, 6 trabajadores con más de 13 años de antigüedad y el promedio es de 7 años.

Figura 4. Gráfico distribución por antigüedad

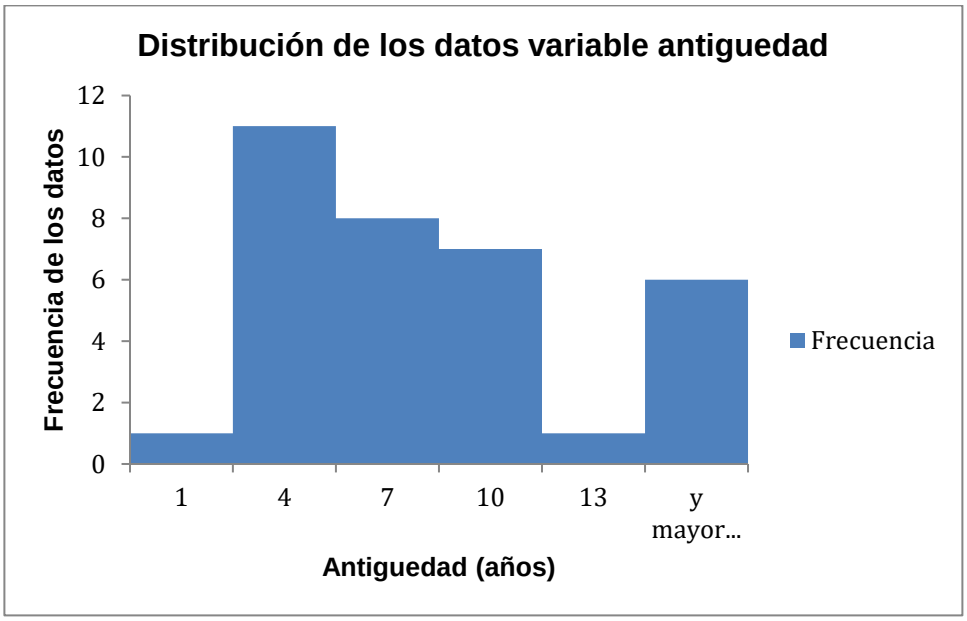
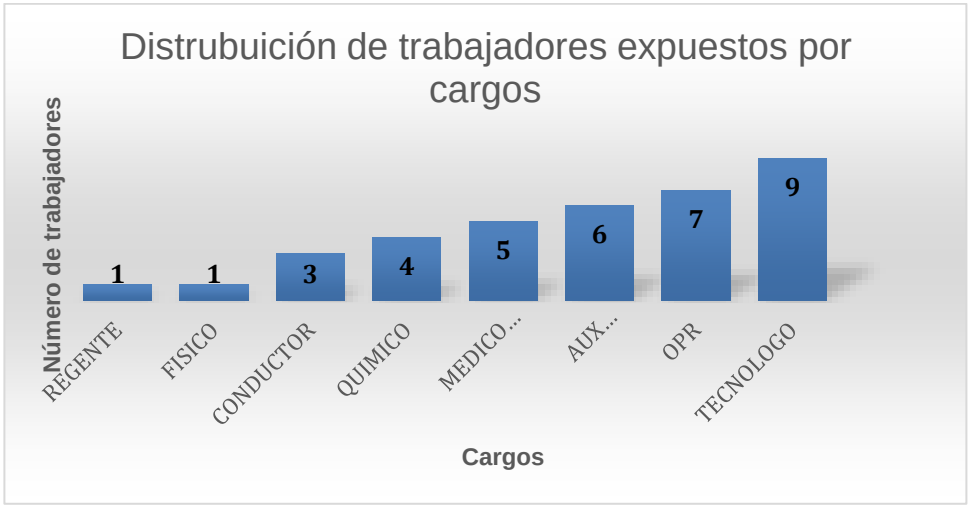
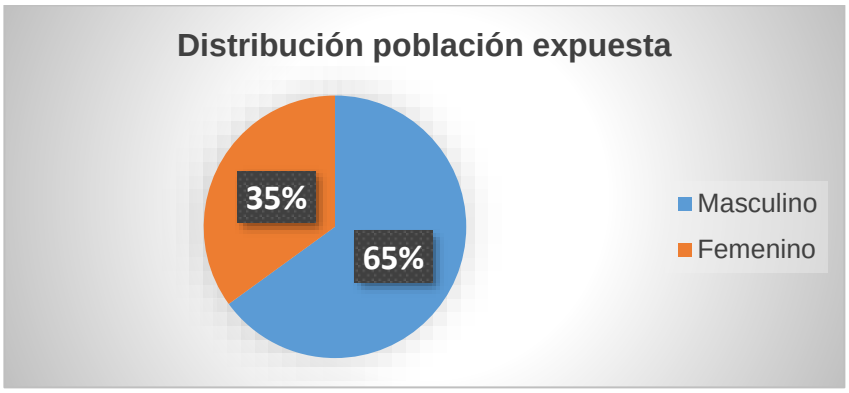


Figura 5. Gráfico distribución por cargo



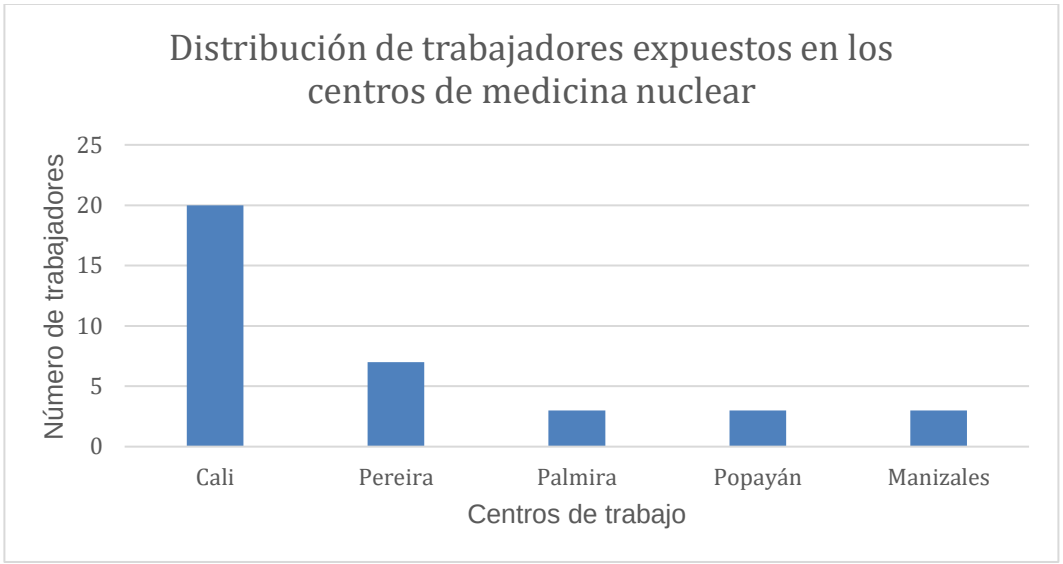
Según lo antes descrito en esta investigación se pudo observar que de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes 9 son tecnólogos, 7 oficiales de protección radiológica OPR, 6 auxiliares de enfermería, 5 médicos nucleares, 4 químicos farmacéuticos, 3 conductores para transporte de material radiactivo, 1 físico y 1 regente de farmacia.

Figura 6. Gráfico distribución por sexo



La grafica representada como figura 6 muestra la distribución de la población por sexo, en donde un 65% son los que pertenecen al sexo masculino y un 35% los del sexo femenino.

Figura 7. Gráfico distribución por sedes



Adicionalmente se pudo conocer la distribución de los trabajadores en las sedes a nivel nacional, en donde 20 trabajadores pertenecen a sede principal ubicada en la ciudad de Cali, 7 en la sede de Pereira y 3 trabajadores para cada una de las sedes en Palmira, Popayán y Manizales

7.2 Resultados del segundo objetivo: Analizar las variables técnicas y ambientales del sistema de vigilancia epidemiológico

Por otra parte, y en relación a las mediciones de dosimetría analizadas de los periodos 2017 a 2020 se pudo encontrar que durante los últimos cuatro años de la dosimetría realizada en el servicio de medicina nuclear se aprecia que a todos los trabajadores se le han realizado 12 mediciones por año, para un total de 48 mediciones.

Además, se destaca que en el mes de diciembre siempre es donde se obtienen valores más alto de dosimetría, lo cual puede tener relación al aumento de la carga de trabajo y en abril del 2020 fue el mes donde menos radiación se registró en los dosímetros, debido a la disminución de la carga de trabajo por el confinamiento decretado por el gobierno nacional.

Tabla 5. Estadísticas descriptivas

	Dosis del periodo hp (10) msv	**Valor mensual esperado**	**Variación mensual observada**	**Dosis acumulada**
Media	0,081998395	1,67	1,588001605	6,6705939
Error típico	0,004685423	7,92914E-16	0,004685423	0,294723915
Mediana	0	1,67	1,67	1,14
Moda	0	1,67	1,67	0
Desviación estándar	0,165389461	2,79889E-14	0,165389461	10,4033785
Varianza de la muestra	0,027353674	7,83376E-28	0,027353674	108,2302841
Curtosis	15,42393525	-2,003218021	15,42393525	2,029730665
Coeficiente de asimetría	3,359841371	-1,001205707	-3,359841371	1,702435472
Rango	1,52	0	1,52	44,88
Mínimo	0	1,67	0,15	0
Máximo	1,52	1,67	1,67	44,88
Suma	102,17	2080,82	1978,65	8311,56
Coeficiente de variación	202%	0%	10%	156%

De acuerdo al análisis estadístico de la tabla 5, la mediana nos indica que el 50% de la dosis acumulada es de 1.14 mSv o menos. Una variación mensual observa entre el valor esperado y la dosis mensual del periodo de un 10% según el coeficiente de variación; además el máximo valor de dosis acumulada registrada fue de 44.88 mSv en un histórico dosimétrico de 15 años, lo cual permite deducir que los trabajadores solo reciben el 10% de la dosis máxima permitida.

Adicionalmente la figura 7 se representa gráficamente para cada año del periodo en estudio, la dosis acumulada en milisievert de los tecnólogos; cargo de la empresa de medicina nuclear con mayor exposición a radiaciones ionizantes. Mientras que en la figura 8 se representa la dosis acumulada en milisievert de los trabajadores expuestos en los demás cargos. Sin embargo, se puede observar que todos los trabajadores alcanzan una dosis acumulada inferior a 8 milisievert (mSv) en cada año. Se recuerda que el límite máximo permisible por organismos como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y el Consejo Nacional de Protección Radiológica y Mediciones (NCRP) es de 20 mSv por año.

Figura 7. Gráfico dosis acumulada en milisievert (mSv) registrada en los trabajadores expuestos (tecnólogos) por cada año de estudio.

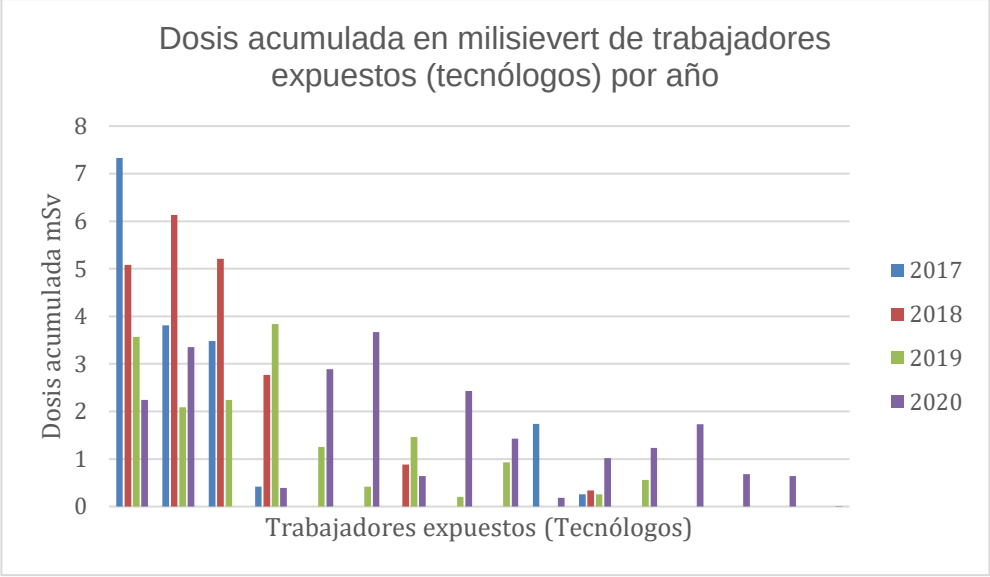


Figura 8. Gráfico dosis acumulada en milisievert (mSv) registrada en los trabajadores expuestos (otros cargos) por cada año de estudio.

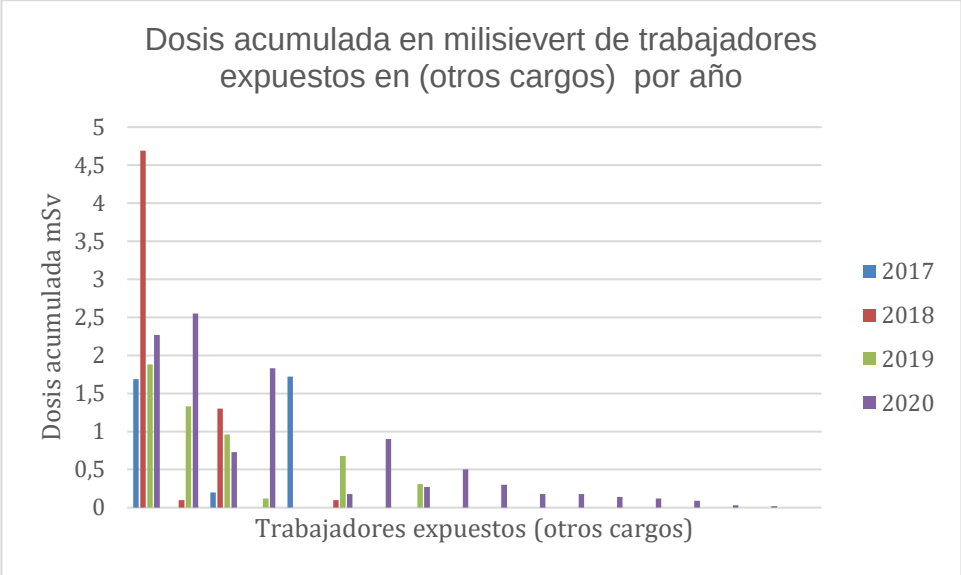
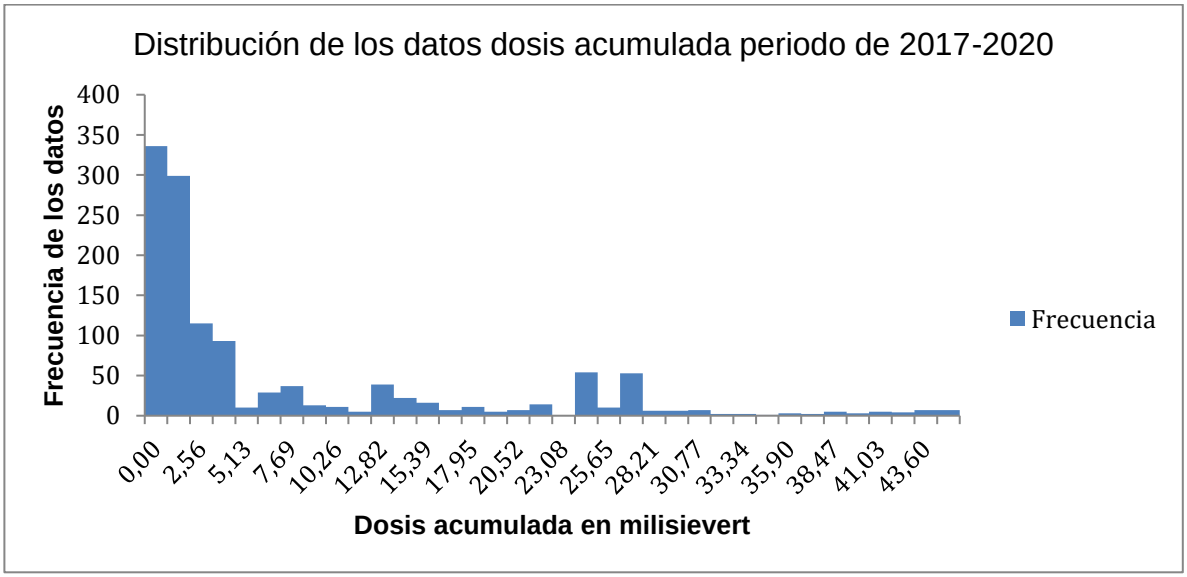


Figura 9. Gráfico frecuencia de los datos dosis acumulada 2017 a 2020



En la figura 9 se puede observar la frecuencia de los datos de la variable dosis acumulada en milisievert, en donde se genera gráficamente una asimetría derecha y distribuyen los datos de forma leptocúrtica.

Figura 10. Gráfico relación entre la variable dosis acumulada en milisievert (mSv) y la variable antigüedad del trabajador expuesto a radiaciones ionizante

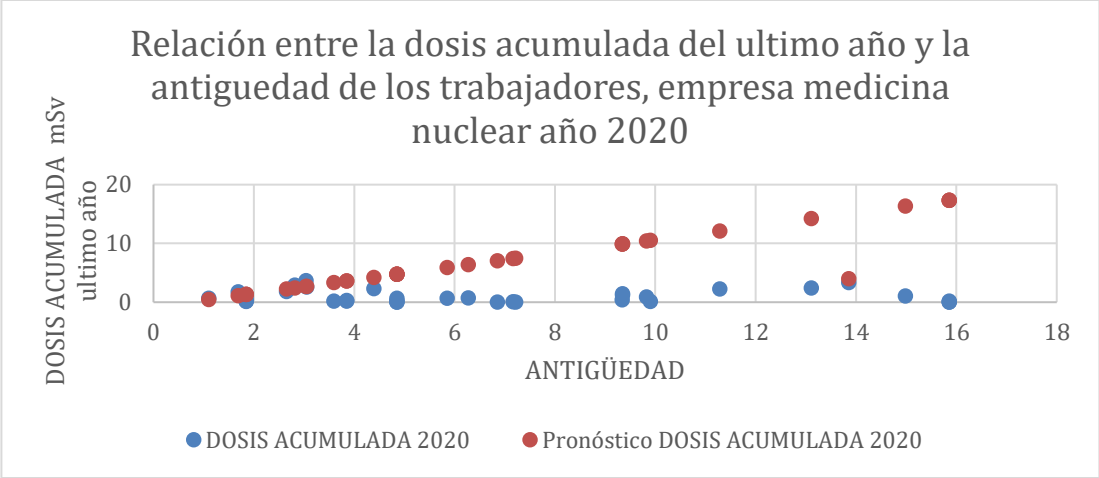


Tabla 6. Estadísticas de regresión

Coeficiente de correlación múltiple	0,480129724
Coeficiente de determinación R^2	0,230524552
R^2 ajustado	0,206478444
Error típico	9,503701272

Para esta investigación existe poca relación entre las variables dosis acumulada y antigüedad del trabajador ocupacionalmente expuesto, ya que en los resultados de las estadísticas de la regresión, el coeficiente de correlación representado por R^2 ajustado es muy cercano a cero.

7.3 Resultados del tercer objetivo: Establecer la relación entre de los controles técnicos establecidos en el programa de vigilancia epidemiológica para el cumplimiento de las normas de protección radiológica.

En esta investigación se verificó el cumplimiento de las normas de protección radiológica con base en los métodos de control utilizados en cada centro de trabajos de medicina nuclear, utilizando los siguientes indicadores de evaluación.

7.3.1 Cumplimiento de la licencia para manejo de material radiactivo

El 100% de los centros de trabajo de la empresa evaluada cuentan con licencia vigente para manejo de material radiactivo, esta incluye el responsable de la protección radiológica y el personal autorizado para laborar en los servicios de medicina nuclear. Así como también el tipo de radioisótopo y la actividad en milicurio (mCi) autorizada para manejar.

Todos de los centros de trabajo utilizan tecnecio 99 como radioisótopo principal en la ejecución de los procesos en medicina nuclear, y la actividad del radioisótopo están en el rango de 123mci a 5000mci. Además, un 62.5% de los centros realizan el pedido del radioisótopo diariamente y un 37.5% semanal.

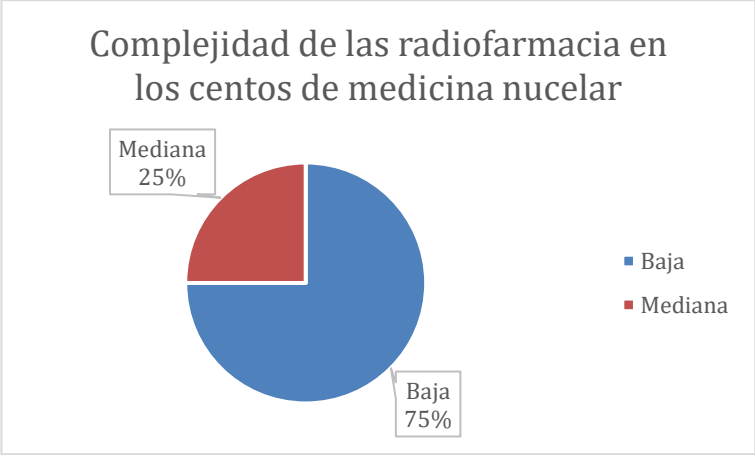
Por otro lado, alrededor de un 60% de los centros evaluados utiliza yodo 131 en el servicio de medicina nuclear y la actividad solicitada está en el rango de 30mci a 200mci. Importante destacar que para favorecer las medidas de protección radiológica la presentación en la que se solicita este insumo es en capsula.

Mientras que el 80% de los centros utiliza Galio-67 como insumo dentro de los procesos de medicina nuclear, con una baja frecuencia de pedido ya que es semanal y una actividad que oscila en el rango de 10mci a 200mci. Cabe destacar todos los centros realizan pruebas de frotis “escape o fuga de material radiactivo durante el proceso de recepción del bulto.

7.3.2 Cumplimiento de criterio de infraestructura en áreas del servicio de medicina nuclear

El 100% de los centros de trabajo evaluados cumplen con los criterios de infraestructura, ya que cuentan con las áreas que se requiere dentro del servicio de medicina nuclear. Conservando los flujos entre las zonas controladas y supervisadas. Todos los centros cuentan con mamparas o barreras protectoras para la manipulación de material radiactivo, con un blindaje en plomo y vidrio plomado de espesor promedio de 10mm. Además de áreas de almacenamiento de radioisótopos y áreas para decaimiento de residuos radiactivos, con un blindaje en su infraestructura de ladrillo y plomo y un espesor promedio de 3 mm.

Figura 11. Nivel de complejidad de las Radiofarmacia en los centros de medicina nuclear



Solo el 25% de los centros tienen una radiofarmacia de mediana complejidad en el servicio de medicina nuclear como se observa en la figura 11, con un blindaje de en su infraestructura de ladrillo y plomo que oscila de 2cm a 3cm de grosor y superficies lisas y lavables en todas sus áreas.

Por otro lado, todos los centros de trabajo cuentan con mamparas o barreras protectoras para la manipulación de material radiactivo, con un blindaje en plomo y vidrio plomado de espesor promedio de 10mm. Así como también área de almacenamiento de radioisótopos y áreas para decaimiento de residuos radiactivos, con un blindaje en su infraestructura de ladrillo y plomo y un espesor promedio de 3 mm.

7.3.3 Mediciones ambientales de radiación en las áreas del servicio de medicina nuclear

Las mediciones de radiación en las áreas de los centros de trabajo arrojan unas tasas de dosis promedio de 1 milisievert (mSv) en los periodos de 2017-2020. Estas permitieron comprobar el estado del blindaje de la infraestructura en condiciones normales de funcionamiento. Cabe destacar que todos los centros cuentan con un inventario de equipos para las mediciones y cumplen con los criterios de calibración y mantenimientos de equipos de medición.

7.3.4 Disposición de herramientas, accesorios y/o elementos de protección personal

Todos los centros de trabajo cuentan con 1 delantal plomado y 1 protector de tiroides de equivalencia de 0.5 mm de plomo, unas gafas con cristal en plomo equivalente a 0.75 mm, un par de guantes de 0.05 mm de plomo.

En cuanto a las herramientas de trabajo utilizadas para atenuar la radiación, todos los centros de trabajo evaluados cuentan con un protector de jeringa plomado de espesor de 5 mm, pinzas para manipulación de viales radiofarmacéuticos de 23 cm de longitud y contendores plomados para el transporte de unidosis de 6.4 mm de blindaje. Solo dos centros de medicina nuclear cuentan con protector de vial para elusión de radioisótopo, exactamente los que tienen una radiofarmacia de mediana complejidad, lo cual se requiere para cumplimiento del requisito de protección radiológica.

Cada uno de los centros evaluados utiliza 2 dosímetros por cada trabajador, destacándose la dosimetría termoluminiscente TLD que estima la dosis en tejido profundo y la dosimetría de anillo que estima la dosis en extremidades, además de contar con un área para el almacenamiento del dosímetro, dando cumplimiento al criterio de disposición de herramientas, accesorios y/o elementos de protección personal para radiaciones ionizantes.

7.3.5 Cumplimiento al seguimiento médico a los trabajadores expuestos

Todos los centros de trabajo cumplen con el criterio de las evaluaciones medicas ocupacionales al realizar el examen como hemograma, extendido periférico, y hormona estimulante de la tiroides TSH a los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes en los periodos comprendidos entre 2017 a 2020 con una frecuencia semestral.

7.3.6 Cumplimiento al programa de capacitación

Los centros de trabajo evaluados cumplen con un programa de capacitación, ya que se evidenciaron registros de capacitación de los periodos 2017 a 2020, en temas de protección radiológica, guías y protocolos en medicina nuclear, manejo de equipos detectores y efectos de las radiaciones ionizantes.

Tabla 7. Indicadores de evaluación

TIPO DE INDICADOR	NOMBRE INDICADOR	DEFINICION	COMO SE MIDE	FUENTE INFORMACIÓN	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	UNIDAD	INTERPRETACION
RESULTADO	Estado de licencia para manejo de material radiactivo	Verificación de estado de la licencia para maneo de material radiactivo en el servicio	Número de centros con licencia vigente x 100 / Número de centros de	Licencia fisica	Anual	%	Porcentaje de centros de trabajo que cuentan con licencia vigente para manejo de material radiactivo.
RESULTADO	Cumplimiento al programa de capacitación	Cantidad de centros de trabajo que cumplen con el programa de capacitación en protección radiológica	Número de centros que cumplen con programa de capacitación x 100 / Número de centros de trabajo	Registros de capacitación	Anual	%	Porcentaje de centros de trabajo que cumplen programa de capacitación en protección radiologica
RESULTADO	Cumplimiento a seguimiento médico	Centros de trabajo que cumplen con los examen medicos ocupacionales	Número de examenes realizados x 100 / Número de examenes planeados	Certificados medicos ocupacionales	Anual	%	Cantidad de centros de cumple con el seguimiento medico ocuapcional
RESULTADO	Cumplimiento mantenieminto y calibración de equipos	Verificar si los centros cumplen con los criterios de manteniemiento y calibración de equipos detectores de radiación	Número de centros que cumplen con mantenimiento y calibración x 100 / Número de centros de trabajo	Inventario de equipos detectores de radiación	Anual	%	Cantidad de centros que cumplen con el criterio de calibración y manteniemnto de equipos
RESULTADO	Cumplimiento infraestructura en medicina nuclear	Verifica el cumplimiento criterio infraestructura en areas de medicina nuclear	Número de centros que cumplen con criterio de infraestructura x 100 / Número de centros de trabajo	Licencia de construcción	Anual	%	Cantidad de centros que cumplen con el criterio de infraestructura para areas de medicina nuclear
RESULTADO	Disposición de herramientas y elementos de protección	Evalua la disposición de herramientas y elementos de protección en los centros	Numero de herramientas y elementos de protección para radiación en los centros de trabajo	Invetario de herramientas y elementos de protección	Anual	Número	Cantidad de herramientas y elementos de protección para radiaciones ionizantes en los centros
RESULTADO	Medición de radación en mSv en áreas	Evalua la cantidad de radiación proedio en mSv en el periodo	Promedio de tasa de radiación en los centros	Registros de mediciones ambientales	Anual	Número	Promedio de tasa de radiación en mSv en areas de los centros de medicina nuclear

8 DISCUSIÓN

Con base a los objetivos planteados en esta investigación se pudo encontrar con la caracterización de población estudio, que cuatro de cada diez trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes son los tecnólogos en medicina nuclear, estos representan el cargo con mayor volumen de personal debido a las necesidades de los servicios; adicionalmente se pudo observar que siete de cada diez trabajadores son del género masculino.

Por otro lado, se puede resaltar que se encontró en la distribución de la población expuesta, que siete de cada diez trabajadores se encuentran concentrados en la ciudad de Cali. La cual por ser la sede principal de la empresa es donde se ejecutan la mayor cantidad de los procesos, por ende, requiere más trabajadores.

Con relación al análisis de los niveles de exposición a radiación ionizantes, se presentó que los trabajadores recibieron una dosis acumulada de 1 mSv en los años comprendidos entre 2017 a 2020, solo el 10% de la dosis recomendada por la comisión internacional de protección radiológica, organismo de control que establece los límites de dosis para exposición a radiaciones ionizantes.

La implementación de sistemas de vigilancia para la protección contra las radiaciones ionizantes es fundamental para reducir las dosis ocupacionales y limitar el riesgo de efectos estocásticos a largo plazo. Sin embargo, es importante destacar que contar con un programa de entrenamiento y capacitación en protección radiológica, la disponibilidad de dispositivos de radioprotección y la monitorización de la dosis del trabajador durante los procedimientos son elementos fundamentales para cumplir con los límites de dosis.

Un dato importante de discusión es el presentado en un artículo especial publicado en la revista colombiana de cardiología en noviembre de 2020, donde afirman que el uso correcto del dosímetro al nivel del tronco en los procedimientos en cardiología intervencionista nos permite calcular la dosis efectiva Hp (10) recibida por el trabajador en piel y extremidades[6]. Y en la investigación aquí realizada se utilizó como criterio de evaluación la dosis efectiva Hp (10) suministrada por la empresa a través de la base de datos segundaria, este nos permitió conocer el comportamiento de la dosimetría en los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes en los últimos cuatro años.

Se resalta nuevamente que las dosis recibidas por la población estudio en esta investigación esta alrededor del 10 % de la dosis máxima permisible, lo cual permite deducir que el sistema de vigilancia implementado para la protección de trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes en la empresa de medina nuclear del sur occidente colombiano es eficaz, por lo que se cumplen los principios de justificación, optimización y límite de dosis; como se describen en la última publicación de los valores límite de umbral (TLVs) y valores de exposición biológica (BEIs) de la conferencia americana de higienistas industriales gubernamentales (ACGIH) del año 2020, en donde además se establecen como límites de dosis para manejo de exposición a un individuo una dosis efectiva que no exceda los 50 MSv al año[18].

En dicha investigación la posibilidad de la introducción de sesgos era también un tema importante al inicio del estudio, ya que se contaba con una población a estudiar en la que se desconocía si la dosis acumulada del trabajador podía verse afecta por otros historiales dosimétricos obtenidos en el desempeño de actividades similares en otros servicios de imágenes diagnosticas. Si embargo se pudo comprobar que una gran parte del personal con mayor antigüedad que labora en la institución objeto de estudio realizaron sus prácticas en este sitio y una vez finalizadas han quedado trabajando en esta empresa, además de que los trabajadores se encuentran vinculados a la licencia de funcionamiento del servicio. Convirtiéndose estos dos factores en fortalezas para la investigación y controlándose los sesgos hasta donde el estudio lo permitía.

Por otro lado, una de las principales características que tuvo este estudio es que pretendió dar a conocer hasta donde la no implementación de un sistema de vigilancia puede afectar la salud del trabajador ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizante, debido a la falta de control en la intervención del riesgo, desencadenando un incremento innecesario en la dosis recibida por trabajador durante la ejecución de los procedimientos en medicina nuclear.

9 CONCLUSIÓN

Tomando como referencia esta investigación y con base en los resultados obtenidos se puede concluir que el seguimiento de los trabajadores ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes por medio de la dosimetría individual, fue un componte importante para la evaluación del sistema de vigilancia epidemiológica en la empresa de medicina nuclear del sur occidente colombiano, ya que permitió conocer las condiciones de protección radiológicas de los trabajadores por medio del registro de la dosis acumulada en milisievert en los periodos de estudio, el cual estuvo por debajo de los límites de dosis establecidos para exposición ocupacional de 20 mSv año definidos por la comisión internacional de protección radiológica.

Además se evidenció que los tecnólogos en medicina nuclear representa el cargo de la empresa de más exposición a radiación, relacionado a las tareas propiamente que desempeñan como la administración del radiofármaco y toma de la imagen diagnostica; debido a que el 90% de la exposición se da por la presencia cerca al paciente inyectado con el material radiactivo, por lo que la implementación de controles eficaces durante la ejecución de las tareas en medicina nuclear limitan la probabilidad de aparición de efectos en los trabajadores.

Con este trabajo se apunta a que otras empresas de medina nuclear evalúen con detenimiento los controles implementados en los sistemas de vigilancia epidemiológica de sus instituciones, y poder garantizar óptimas condiciones de radioprotección. Adicionalmente se sugiere como una vía para que futuros investigadores puedan seguir profundizando en el tema, ampliando de esta manera la brecha del conocimiento y poder seguir contribuyendo en el bienestar de los trabajadores; generando un aporte a la salud ocupacional y salud pública.

Según la evidencia encontrada para esta investigación, la empresa estudiada cumple adecuadamente con los lineamientos técnicos de protección para los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes. Sin embargo, se requiere mayor estudio en términos de la medicina ocupacional para abordar los órganos blancos.

.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. The National Academies. BEIR VII health risks from expo-sure to low levels of Ionizing radiation. [Internet]. Expert Consensus Report. 2002 [Acceso 11 Mar 2019]. Disponible en: http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/beirviifinal.pdf.

2. Amano Y. Protección Radiológica y Seguridad de las Fuentes de Radiación. Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA Viena 2016; 14: 40-103.

3. Montoya M, Quinceno L, Gómez M. Sistema de Vigilancia Epidemiológica para el Factor de Riesgo Radiaciones Ionizantes. Grupo de profesionales del departamento de Antioquia Medellín Colombia: Dirección Seccional de Salud; 2000 p.1-38.

4. Palacios C. Determinar el Cumplimiento del Subprograma de Protección Radiológica dentro del Programa de Salud Ocupacional de un Hospital de nivel III. Tesis Maestría. Universidad del Valle; 2010.

5. Núñez M. Protección radiológica en medicina nuclear. Escuela universitaria de tecnología médica Montevideo Uruguay: Comité de tecnólogos de Alasbimn; 2008. p.4.

6. Jaramillo W, Morales J, Puerta A. Dosimetría Personal y Exposición Ocupacional en Cardiología Intervencionista. Rev Colomb de Cardiología 2020; 27:52-60.

7. García F, Fernández M, Castell R. Protocolos de vigilancia sanitaria específica en radiaciones ionizantes. Ministerio de Sanidad y Consumo de

Madrid: Grupo de trabajo de salud laboral de la comisión de salud pública del consejo interterritorial del sistema nacional de salud; 2013 p.17-19. https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/radiacio.pdf

8. Torres G. Estrategia Nacional para la Prevención, Atención y Monitoreo de Riesgos Radiológicos. Unidad de Seguridad Nuclear, Protección Radiológica y Gestión Ambiental Bogotá DC: Ingeominas; 2002 p.1-62.

9. Smith H. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press 1990; volumen 2: 1-211.

10. Cancio D, Rudelli M, Brosed A. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 2007; 103: 34-117.

11. Mosquera W. Radioprotección en cateterismo cardiaco pediátrico. Rev Colomb de Cardiología 2020; 27:96-101.

12. Nénot J, Coates R, Benisnson D. General Principles for the Radiation Protection of Workers. Commission on Radiological Protection. Pergamon 1997; vol 27: 1-70.

13. Ubeda C, Nocetti D, Inzulza A. Magnitudes y Unidades para Dosimetría del Personal Ocupacionalmente Expuesto en Radiodiagnóstico e Intervencionismo. Revista Chilena de Radiología 2018; vol 24:5-11.

14. Rudelli M, Bomben A, Bruno N. Radiation Protection in Medicine. Protección Radiológica en Medicina. Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 2011; 105:13-61.

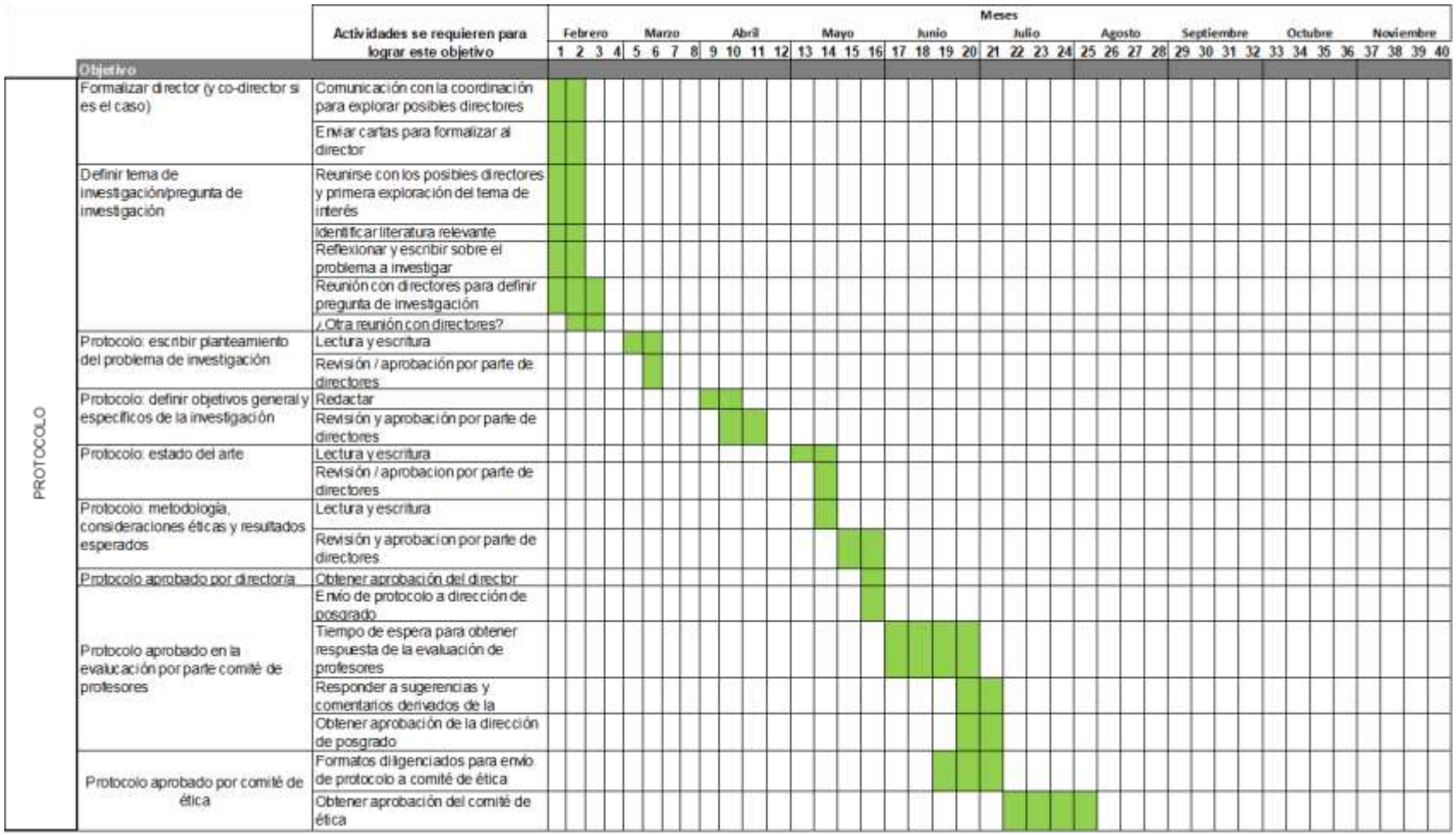
15. Douglas N, James W, Stephen B. Guidelines for Evaluations Surveillance Systems. US Department of Health and Human Services 2021; 37:1-18. https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/00001769.htm

16. Palacios D, Calvache A, Álvarez G. Metodología de evaluación del sistema de vigilancia en salud pública. Informe Quincenal Epidemiológico Nacional 2009; vol 14(4):49-64.

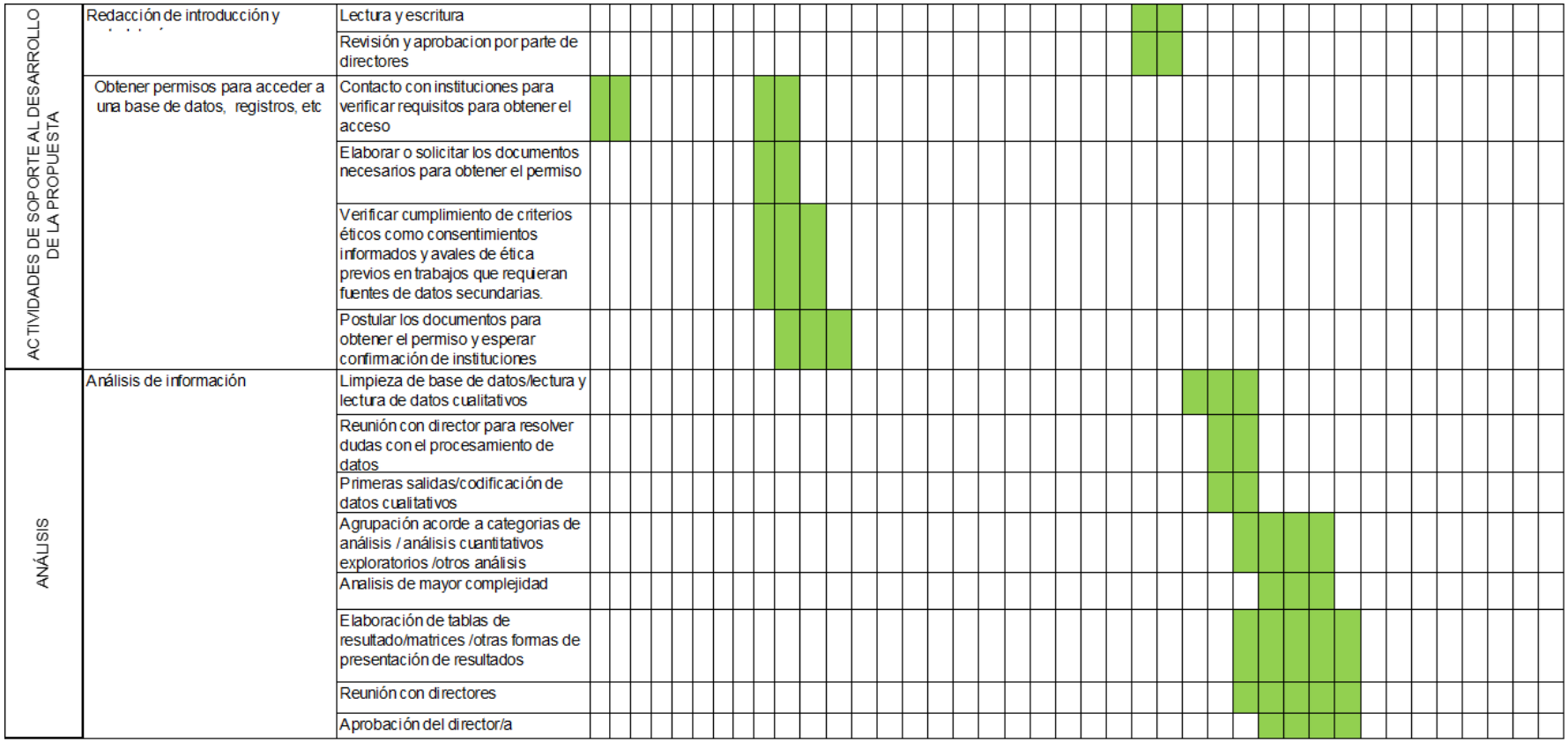
17. Batista R, González E, Feal P. Evaluación de la vigilancia en salud en algunas unidades de atención primaria en Cuba. Rev Esp Salud Pública 2001; vol 75(5):443-458.

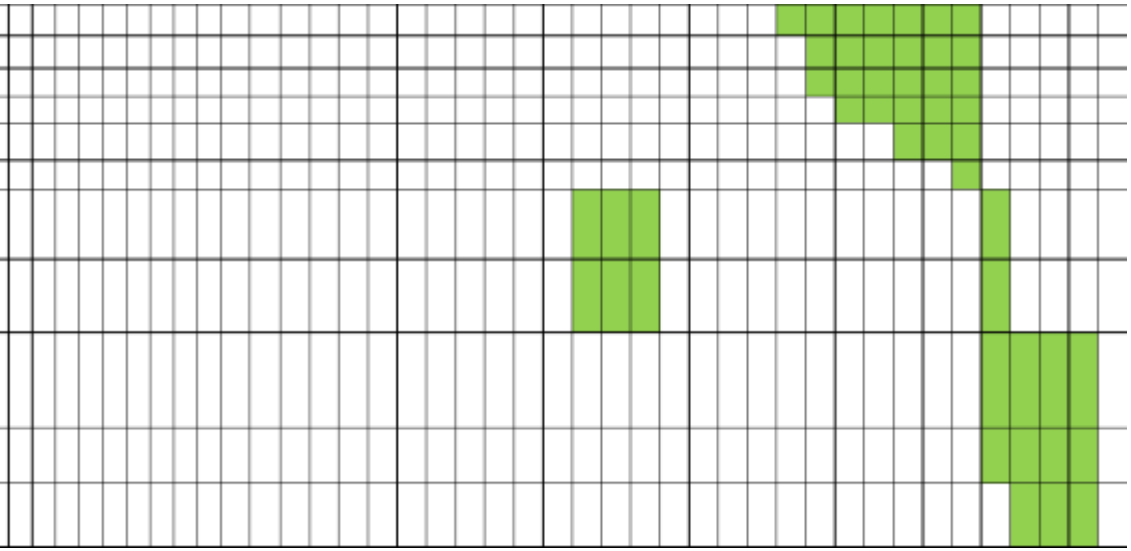
18. ACGIH. Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure índices. ACGIH; 2020. p 1-298.

ANEXO 1. CRONOGRAMA



	Objetivo	Actividades se requieren para lograr este objetivo	Meses: Febrero 1 2 3 4 · Marzo 5 6 7 8 · Abril 9 10 11 12 · Mayo 13 14 15 16 · Junio 17 18 19 20 · Julio 21 22 23 24 · Agosto 25 26 27 28 · Septiembre 29 30 31 32 · Octubre 33 34 35 36 · Noviembre 37 38 39 40
PROTOCOLO	Formalizar director (y co-director si es el caso)	Comunicación con la coordinación para explorar posibles directores	
		Enviar cartas para formalizar al director	
	Definir tema de investigación/pregunta de investigación	Reunirse con los posibles directores y primera exploración del tema de interés	
		Identificar literatura relevante	
		Reflexionar y escribir sobre el problema a investigar	
		Reunión con directores para definir pregunta de investigación	
		¿Otra reunión con directores?	
	Protocolo: escribir planteamiento del problema de investigación	Lectura y escritura	
		Revisión / aprobación por parte de directores	
	Protocolo: definir objetivos general y específicos de la investigación	Redactar	
		Revisión y aprobación por parte de directores	
	Protocolo: estado del arte	Lectura y escritura	
		Revisión / aprobacion por parte de directores	
	Protocolo: metodología, consideraciones éticas y resultados esperados	Lectura y escritura	
		Revisión y aprobacion por parte de directores	
	Protocolo aprobado por directoría	Obtener aprobación del director	
	Protocolo aprobado en la evaluación por parte comité de profesores	Envío de protocolo a dirección de posgrado	
		Tiempo de espera para obtener respuesta de la evaluación de profesores	
		Responder a sugerencias y comentarios derivados de la	
		Obtener aprobación de la dirección de posgrado	
	Protocolo aprobado por comité de ética	Formatos diligenciados para envío de protocolo a comité de ética	
		Obtener aprobación del comité de ética	


ACTIVIDADES DE SOPORTE AL DESARROLLO DE LA PROPUESTA
ANÁLISIS
Redacción de introducción y
Lectura y escritura
Revisión y aprobacion por parte de directores
Obtener permisos para acceder a una base de datos, registros, etc
Contacto con instituciones para verificar requisitos para obtener el acceso
Elaborar o solicitar los documentos necesarios para obtener el permiso
Verificar cumplimiento de criterios éticos como consentimientos informados y avales de ética previos en trabajos que requieran fuentes de datos secundarias.
Postular los documentos para obtener el permiso y esperar confirmación de instituciones
Análisis de información
Limpieza de base de datos/lectura y lectura de datos cualitativos
Reunión con director para resolver dudas con el procesamiento de datos
Primeras salidas/codificación de datos cualitativos
Agrupación acorde a categorias de análisis / análisis cuantitativos exploratorios /otros análisis
Analisis de mayor complejidad
Elaboración de tablas de resultado/matrices /otras formas de presentación de resultados
Reunión con directores
Aprobación del director/a

DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	Redacción de resultados	Interpretación y redacción	
		Reunión con director	
		Interpretación y redacción	
		Aprobación del director/a	
	Redacción de discusión y recomendaciones	Lectura y escritura	
		Aprobación del director/a	
	Trabajo de grado preliminar	Formato al informe final (portada, páginación, subtítulo, tipo de letra, etc.)	
		Organización de la bibliografía en software especializado (mendeley, Zotero, etc)	
		Trabajo de grado final con índice, tablas, gráficos, matrices, referencias bibliográficas, agradecimientos	
	Informe del proyecto de investigación aprobado por Director/a		
	Entrega del informe del proyecto de investigación para solicitar sustentación		

ANEXO 2. PRESUPUESTO

RUBRO	VALOR UNITARIO	TOTAL
Gastos de Personal		
Director del proyecto (1hora semanal x 12 meses)	$ 4.800.000	$ 4.800.000
Codirector del proyecto (1hora semanal x 12 meses)	$ 4.800.000	$ 4.800.000
Estadístico (1 mes)	$ 1.000.000	$ 1.000.000
Investigador (12 meses)	$ 750.000	$ 9.000.000
Total		$ 19.600.000
Gastos Generales		
Transportes	$ 200.000	$ 200.000
Comunicación	$ 200.000	$ 200.000
Servicios públicos	$ 400.000	$ 400.000
Total		$ 800.000
Materiales y Suministros		
Resmas papel (2 resmas)	$ 14.000	$ 28.000
Tóner Tinta (2 recargas)	$ 30.000	$ 60.000
Empastado/ argollado (2 empastados)	$ 35.000	$ 70.000
Total		$ 158.000
TOTAL GENERAL		**$ 20.558.000**

FINANCIACIÓN		
Responsable	**Porcentual**	**Pesos ($)**
Universidad del Valle	52%	$ 10.600.000
Investigador	48%	$ 9.958.000
TOTAL	100%	**$ 20.558.000**

ANEXO 3. INSTRUMENTO

INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA RADIACIONES IONIZANTES

MEDICINA NUCLEAR

Con la aplicación del instrumento se podrá evaluar el sistema de vigilancia epidemiológica establecido en cada una de las sedes del servicio de medicina nuclear, para el control y el monitoreo del personal ocupacionalmente expuestos y de los ambientes de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes. Esta herramienta de evaluación forma parte de una tesis de posgrado, la cual cuenta con la aprobación del comité de ética de la Universidad de Valle.

1. IDENTIFICACIÓN DEL SERVICIO

1.1 Indique el Código del centro de trabajo.

CT1

CT2

CT3

CT4

CT5

CT6

CT7

1.2 Cuenta con responsable de la protección radiológica

Si __ no___

1.3 Cumple con licencia de funcionamiento y manejo de material radiactivo vigente:

Cumple_____ No cumple_____

2. MATERIALES RADIACTIVO UTILIZADOS:

2.1 Tc-99m: Periodo de semidesintegración de 6,03 horas

2.1.1 Actividad solicitada en miliCuries: _____

2.1.2 Frecuencia de pedido: (Diario, semanal, quincena, mensual, otros_____)

2.1.3 Se realiza Prueba de frotis: Si __ no___

2.2 Yodo I-131: Periodo de semidesintegración de 8,026 días

2.2.1 Actividad Solicitada en miliCuries: _____

2.2.2 En qué forma se solicita el yodo

Solución _____ Capsula_____

2.2.3 Frecuencia de pedido: (Diario, semanal, quincena, mensual, otros_____)

2.2.4 Se realiza Prueba de frotis: Si __ no___

2.3 Galio-67: Periodo de semidesintegración de 78,2 horas

2.3.1 Actividad solicitada en miliCuries: _____

2.3.2 Frecuencia de pedido: (Diario, semanal, quincena, mensual, otros_____)

2.3.3 Se realiza Prueba de frotis: Si __ no___

3. AREAS DEL SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR:

3.1 Indique si cuenta con las siguientes áreas:

Áreas pacientes radiactivos: Si ____ No ____ No aplica ____

Área de atención al usuario, zona fría: Si ____ No ____ No aplica ____

Área oficina médico, zona fría: Si ____ No ____ No aplica ____

Baño público, zona fría: Si ____ No ____ No aplica ____

Baños trabajadores: Si ____ No ____ No aplica ____

Baño pacientes radiactivo: Si ____ No ____ No aplica ____

Área de Inyectología, zona caliente: Si ____ No ____ No aplica ____

Sala Gamacámara, zona caliente: Si ____ No ____ No aplica ____

Sala de Pruebas de Esfuerzos: Si ____ No ____ No aplica ____

Cuarto Caliente, radiofarmacia: Si ____ No ____ No aplica ____

Señalización de zonas controladas y supervisadas: Si ____ No ____

Cuarto de residuos radiactivos: Si ____ No ____ No aplica ____

Área de producción radiofármacos: Si ____ No ____ No aplica ____

Área de recepción técnica: Si ____ No ____ No aplica ____

Área administrativa: Si ____ No ____ No aplica ____

3.2 Cuarto Caliente-Radiofarmacia:

3.2.1 Indique la complejidad de la radiofarmacia

Baja

mediana

3.2.1 Indique el material de blindaje del área

Muros-Material: _____

3.2.2 Indique Espesor blindajes: _____

3.2.3 Indique si cuenta con superficies lisas en todas las áreas del cuarto caliente:

Sí ____ No ____

3.2.4 Indique si cuenta con cabina manejadora de aire:

Cumple_____ No cumple_____ No aplica_____

3.2.5 Indique si el área Cuenta con filtro:

Cumple_____ No cumple_____ No aplica_____

3.2.6 Cual es la frecuencia de cambio del filtro: _____

3.2.7 Se cuenta con mamparas o barreras protectoras para manipulación material radiactivo:

Cumple_____ No cumple_____ No aplica_____

3.2.8 Indique el material de blindaje

Muros-Material: _____

3.2.9 Indique Espesor del blindaje: _____

3.3 Almacenamiento de radioisótopos:

3.3.1 Cuenta con área para el almacenamiento de radioisótopos

Cumple_____ No cumple_____ No aplica_____

3.3.2 Indique el material de blindaje del área

Muros-Material: _____

3.3.3 Indique el espesor del blindaje: _____

3.4 Almacenamiento de residuos Radiactivos

3.4.1 Cuenta con área para almacenamiento de residuos radiactivos

Cumple_____ No cumple_____

3.4.2 Indique el material de blindaje del área

Muros-Material: _____

3.4.3 Indique el espesor del blindaje: _____

4 TASAS DE DOSIS EQUIVALENTE DE RADIACIÓN:

Solicitar las mediciones de las tasas de dosis de radiación de las áreas del servicio de Medicina Nuclear, para comprobar estado del blindaje en condiciones normales de funcionamiento.

4.1 Indique el valor promedio en mSv de tasa dosis de radiación del servicio en 2017

_____

4.2 Indique el valor promedio en mSv de tasa dosis de radiación del servicio en 2018

_____

4.3 Indique el valor promedio en mSv de tasa dosis de radiación del servicio en 2019

_____

4.4 Indique el valor promedio en mSv de tasa dosis de radiación del servicio en 2020

_____

5. EQUIPOS DETECTORES DE RADIACIONES:

5.1 Cuenta con inventario de equipos de protección radiológica:

Cumple_____ No cumple_____

5.2 Cumple con los criterios de calibración y mantenimiento

Cumple_____ No cumple_____

5.3 Cuenta con registros de mantenimiento:

Cumple_____ No cumple_____

6.ACCESORIOS Y/O ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:

6.1 Se cuenta con delantales plomados en el servicio de medicina nuclear

Cumple_____ No cumple_____

6.1.1 Indique el Número de Delantales plomados: _____

6.1.2 Indique su espesor equivalente en plomo: _____

6.2 Se cuenta con protector de tiroides plomado en el servicio de medicina nuclear

Cumple_____ No cumple_____

6.2.1 Indique el número de protectores de tiroides: _____

6.2.2 Indique su espesor equivalente en plomo: _____

6.3 Se cuenta con Gafas Plomadas en el servicio de medicina nuclear
Cumple_____ No cumple_____

6.3.1 Indique el número de gafas plomadas: _____

6.3.2 Indique su espesor equivalente en plomo: _____

6.4 Se cuenta con guantes plomados en el servicio de medicina nuclear

Cumple_____ No cumple_____ No aplica_____

6.4.1 Indique el número de Guantes plomados: _____

6.4.2 Indique su espesor equivalente en plomo: _____

6.5 Se cuenta con protectores de jeringas plomados:

Cumple_____ No cumple_____

6.5.1 Indique el número de protectores de jeringas:_____

6.5.2 Indique su espesor equivalente en plomo: _____

6.6 Se cuenta con pinzas para manipulación de viales radiofarmacéuticos

Cumple_____ No cumple_____ No aplica_____

6.6.1 Indique el número de Pinzas: _____

6.6.2 Especifique su longitud: _____

6.7. Cuenta con contenedores plomados de unidosis

Cumple_____ No cumple_____

6.7.1 Indique el número de Contenedores plomados de unidosis: _____

6.7.2 Indique su espesor equivalente en plomo: _____

6.8 Cuenta con protectores de viales para elusión

Cumple_____ No cumple_____ No aplica_____

6.8.1 Indique el número de protectores de viales para elusión: _____

6.8.2 Indique su espesor equivalente en plomo: _____

6.9 Describa la Ropa de trabajo que se utiliza en el servicio de medicina nuclear: _____

7. DOSIMETRIA INDIVIDUAL DE LOS TRABAJADORES:

7.1.1 Se cuenta con dosímetro para registrar la dosis recibida por el trabajador expuesto a radiaciones ionizantes

Cumple_____ No cumple_____

7.1.2 Indique el tipo de dosimetría utilizada en el servicio (lista desplegable)

Dosimetría TLD y anillo: _____ Dosimetría de película y anillo: _____

Dosimetría de anillo: _____ Dosimetría de lectura directa _____

Dosimetría TLD_____ Dosimetría película

7.1.3 Indique el número de dosímetros utilizados por los trabajadores: _____

7.1.4 Se cuenta con área para almacenamiento de dosímetros

Cumple_____ No cumple_____

Observación: Los trabajadores del servicio de medicina nuclear sujetos de evaluación se encuentran unidos a la licencia de funcionamiento del establecimiento, por lo que no desarrollan en otros sitios actividades con exposición a radiaciones ionizantes.

8. SEGUIMIENTO MEDICO:

8.1 Indique el cumplimiento a las evaluaciones y exámenes médicos ocupacionales de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.

Hemograma Cumple_____ No cumple_____

Extendido periférico Cumple_____ No cumple_____

Hormona estimulante de la tiroides TSH Cumple_____ No cumple_____

Valoración oftalmológica Cumple_____ No cumple_____

Examen médico de ingreso y/o periódico Cumple_____ No cumple_____

Realiza los exámenes médicos periódicos cada seis meses

Cumple____ No cumple_____

9. SEGUIMIENTO A CAPACITACIÓN:

9.1.1 Se lleva un registro de capacitación firmado por el trabador expuesto a radiaciones ionizantes: Cumple_____ No cumple_____

9.1.2 Se ha realizado capacitación en los siguientes temas:

Guías y protocolos en medicina nuclear Cumple_____ No cumple_____

Protección radiológica Cumple_____ No cumple_____

Efectos de las radiaciones ionizantes Cumple_____ No cumple_____

Manejo de equipos de medición Cumple_____ No cumple_____