



Doctorado en Ciencia Aplicada

**Guido Marcelo Rincón Arévalo**

**Herramienta para predecir el riesgo por exposición a radiaciones ionizantes en trabajadores del sector de la salud utilizando técnicas de *Machine Learning***

# **Herramienta para predecir el riesgo por exposición a radiaciones ionizantes en trabajadores del sector de la salud utilizando técnicas de *Machine Learning***

Guido Marcelo Rincón Arévalo

Documento presentado como requisito para optar por el título de Doctor en Ciencia Aplicada

Directores:

Codirector Temático: PhD. Claudia Liliana Sánchez Camargo  
Codirector Metodológico: PhD. Cesar Augusto Rodríguez Suarez

Doctorado en Ciencia Aplicada  
Universidad Antonio Nariño  
Bogotá D.C.  
2021

## Prefacio

La elaboración de la presente tesis de investigación surgió del interés por conocer el nivel de riesgo por exposición a la radiación ionizante en trabajadores ocupacionalmente expuestos, utilizando resultados de mediciones hechas en las instituciones prestadoras de salud para categorizar niveles de riesgos y predecir exposiciones de los trabajadores. Estas mediciones son datos que existen en las clínicas, hospitales e instituciones prestadoras de salud donde se utilizan los rayos X con fines de diagnóstico y/o tratamiento de enfermedades.

Para realizar la investigación se hizo una revisión científica, normativa y técnica donde se analizan las diferentes temáticas relacionadas con el objeto investigativo, teniendo en cuenta desde los avances más recientes en prevención, así como los cumplimientos obligatorios en seguridad y salud en el trabajo. El análisis del estado de revisión tecnológica, científica y normativa permitió la selección de palabras clave relacionadas como: Trabajador Ocupacionalmente Expuesto, Radiación Ionizante, Institución Prestadora de Salud, Administradora de Riesgos laborales, entre otras. La búsqueda de patentes relacionadas con la investigación ayudó a elaborar un producto con características innovadoras, factible de proteger a través de una patente y aplicable a nivel industrial.

En el diseño se utilizaron diferentes técnicas de *Machine Learning*, usando datos que permitieron entrenar y probar el modelo para cuantificar y predecir la exposición al riesgo físico por radiación ionizante en trabajadores ocupacionalmente expuestos. El análisis determinó que el uso de datos y su propia combinación logran integrar el cumplimiento de normas obligatorias en cuanto al análisis de riesgo, almacenamiento de información y centralización de los reportes, mejorando la orientación diagnóstica de la salud de los expuestos y proporcionando a las empresas un cumplimiento en normas de radio protección obligatorias y la conservación de datos de exposición que deben ser mantenidos hasta 20 años después de terminar el cese laboral.

Para la obtención de los datos que se analizaron en la investigación se contó con la estandarización de un procedimiento operativo normalizado para cuantificar el daño biológico por radiación en muestras sanguíneas en colaboración con el grupo de Mutagénesis de la Universidad Autónoma de Barcelona, y teniendo en cuenta la situación de pandemia actual, aún no han sido realizadas. Sin embargo, los datos utilizados para el diseño de esta herramienta utilizaron valores de las mediciones hechas en las IPS a los trabajadores expuestos y los resultados de mediciones en el ambiente laboral que son cuantificados mensualmente.

Para la obtención de la información se tuvo en cuenta el diligenciamiento de un consentimiento informado, recordando que la presente investigación no constituye un riesgo para la salud para los trabajadores.

Para predecir el riesgo se probaron algoritmos de *Machine Learning* como Regresión Logística, Árboles de Decisión y *Random Forest*, los cuales fueron implementados en Python utilizando el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, por sus siglas en inglés) Spyder.

## Resumen

La exposición a la radiación ionizante induce cambios biológicos que pueden desencadenar en enfermedades de alto costo o catastróficas en quien las manipula, estos cambios no son inmediatos, pueden tardar tiempo en aparecer, sin embargo, la cuantificación de la radiación ionizante, análisis de peligros y la ponderación del riesgo logran categorizarlos y evitar que puedan ser materializados.

Las instituciones de salud deben cumplir con mediciones de radiación dispersa que pueden ser absorbidas por los trabajadores mientras realizan el acto médico o en el ambiente donde desarrollan sus funciones. Estas mediciones se realizan con equipos como los dosímetros para tener una vigilancia mensual y conocer valores de exposición de los trabajadores.

Esta investigación utiliza los resultados de la medición del trabajador y del ambiente laboral y realiza una categorización del riesgo con los resultados obtenidos de las instituciones de salud. Con el uso de *Machine Learning* se realiza la ponderación del riesgo (predicción) de la radiación absorbida y la dispersa en el ambiente laboral y utilizando estos valores se logra diseñar una herramienta que permite conocer y predecir el riesgo de exposición en el que se encuentra un trabajador ocupacionalmente expuesto.

## **Abstract**

Exposure to ionizing radiation induces biological changes that can trigger high-cost or catastrophic diseases in those who handle them, these changes are not immediate, they can take time to appear and additionally these diseases have diverse factors, however, the quantification of ionizing radiation, hazard analysis and radiation weighting manage to categorize risks and prevent them from materializing.

Health institutions must comply with scattered radiation measures that can be absorbed by workers while performing the medical act or in the environment where they perform their functions. These measurements are made with equipment such as dosimeters to have a monthly surveillance and to know the exposure values of the workers.

This research uses the results of the measurement of the worker and the work environment and performs a risk categorization with the results obtained from health institutions. With the use of Machine Learning, the risk of absorbed and dispersed radiation in the work environment is weighted and with these values it is possible to design a tool that allows knowing and predicting the risk of exposure in which a worker is occupationally exposed.

## **Agradecimientos**

Al Todopoderoso por permitirme tener y disfrutar a mi familia apoyándome en cada decisión tomada.

A la convocatoria 753 de 2016 para la formación de alto nivel del Departamento Norte de Santander de la cual fui beneficiario.

Al equipo del doctorado: Dra. Claudia Sánchez, Dr. Cesar Rodríguez, Dra. Yanine González, Dr. Andrés Hernández y demás profesores involucrados en el proceso de formación.

Y especialmente a mi esposa, hijos y familiares, quienes siempre han sabido brindarme su apoyo durante todos mis años de estudio doctoral.

## **Lista de Abreviaturas y acrónimos**

*ARL: Aseguradora de Riesgos Laborales*

*AT: Accidente laboral*

*DA: Dosis absorbida*

*DE: Dosis efectiva*

*EL: Enfermedad Laboral*

*Hp 10: Dosis personal equivalente*

*IA: Inteligencia Artificial*

*IPS: Institución prestadora de salud*

*ML: Machine Learning*

*mSv: mili Sievert*

*RI: Radiación ionizante*

*Sv: Unidad de dosis de radiación llamada Sievert*

*TOE: Trabajador ocupacionalmente expuesto*



## Tabla de Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Importancia de la investigación .....	2
1.2	Antecedentes .....	3
1.3	Objetivos .....	4
1.3.1	Objetivo General .....	4
1.3.2	Objetivos específicos.....	4
1.4	Alcance .....	5
2	Estado del Arte.....	6
2.1	Científico .....	6
2.1.1	Radiación ionizante .....	6
2.1.2	Radiobiología.....	6
2.1.3	Desarrollo de cáncer solido.....	7
2.1.4	Alteraciones moleculares.....	7
2.1.5	<i>Machine Learning</i> .....	7
2.1.6	Inteligencia Artificial (IA).....	7
2.1.7	Uso de la Inteligencia Artificial en el Sector de la Salud .....	8
2.1.8	Aprendizaje Supervisado.....	8
2.1.9	Técnicas de Regresión.....	9
2.1.10	Regresión logística .....	9
2.1.11	Árbol de decisión .....	10
2.1.12	Random Forest.....	12
2.2	Técnica .....	13
2.2.1	Patentes relacionadas .....	13
2.3	Justificación.....	16
3	Metodología.....	19
3.1	Método TRIZ:.....	19
3.1.1	Problema específico planteado.....	20
3.2	Metodología para la identificación de factores predictivos de riesgo .....	21
3.2.1	Riesgo laboral.....	22
3.2.1.1	La exposición:.....	23
3.2.1.2	La Comprensión .....	28
3.2.1.3	La Probabilidad.....	30

3.2.2	Cualificación profesional y entorno laboral .....	32
3.2.2.1	La Oportunidad Laboral .....	35
3.2.2.2	Ingreso al mundo laboral .....	39
3.2.2.3	Formación Universitaria.....	40
3.2.3	Incidentes laborales .....	40
3.2.3.1	Incidente Biológico.....	42
3.2.4	Medidas de prevención frente al riesgo laboral .....	48
3.2.4.1	Optimización .....	49
3.2.4.2	Limitación:.....	50
3.2.4.3	Justificación.....	51
3.2.4.3.1	La Distancia .....	52
3.2.4.3.2	El Tiempo .....	53
3.2.4.3.3	El Blindaje.....	53
3.2.5	Equipos y tecnologías de uso .....	54
3.2.5.1	El ambiente Laboral .....	55
3.2.5.2	Las funciones asignadas.....	57
3.2.5.3	Nuevas tecnologías radiológicas.....	59
3.3	Metodología para el uso de técnicas para el análisis predictivo a partir de los inputs utilizados en la investigación.....	61
3.3.1	Estudio y comprensión de los datos .....	62
3.3.2	Análisis de los datos y selección de características (preparación): .....	63
3.3.3	Modelado.....	65
3.3.4	Evaluación .....	66
4	Resultados y Análisis .....	68
4.1	Categorías de riesgo.....	68
4.2	<i>Machine Learning</i> .....	72
5	Producción .....	74
5.1	Productos.....	74
5.2	Participación en proyectos de investigación .....	75
6	Conclusiones .....	86
7	Recomendaciones.....	90
	Bibliografía .....	92
	Referencias Jurídico-legales.....	101

Anexos.....	103
Anexo 1: Formato de preguntas orientadoras.....	103
Anexo 2: Consentimiento informado para los participantes.....	105

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> .....	13
<b>Tabla 2</b> .....	17
<b>Tabla 3</b> .....	21
<b>Tabla 4</b> .....	65
<b>Tabla 5</b> .....	65
<b>Tabla 6</b> .....	66

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> .....	10
<b>Figura 2</b> .....	11
<b>Figura 3</b> .....	12
<b>Figura 4</b> .....	18
<b>Figura 5</b> .....	23
<b>Figura 6</b> .....	34
<b>Figura 7</b> .....	41
<b>Figura 8</b> .....	48
<b>Figura 9</b> .....	55
<b>Figura 10</b> .....	62
<b>Figura 11</b> .....	67

# 1 Introducción

La Radiación Ionizante (RI), es energía en forma de ondas o partículas que puede generar cambios en la materia. Se utiliza en las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS), con equipos generadores de radiación para el diagnóstico y tratamiento de diversas patologías y enfermedades, estos equipos son manipulados por profesionales de la salud que desde su especialidad los utilizan para mejorar la calidad de vida de los pacientes, durante su uso, existen trazas de radiación dispersa que pueden ser absorbidas por quienes los manipulan, logrando generar cambios en la salud de los profesionales y ocasionando a futuro enfermedades laborales (IARC, 2000).

Las IPS deben garantizar estándares de cumplimiento obligatorio y requisitos de calidad para prestar servicios donde se utilice la radiación en áreas como: Radiología, Intervencionismo, Rayos X, entre otros; algunos de estos requisitos incluyen controles en la fuente emisora (equipos generadores), en el medio laboral (instalaciones) y en el monitoreo a la salud de los Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos (TOE), y que desde los Ministerios de Salud, Trabajo y Minas y Energía son inspeccionados.

Los TOE son: Tecnólogos en Imágenes Médicas Diagnosticas, Radiólogos, Intervencionistas y otros profesionales del área de la salud, que usan y manejan constantemente equipos emisores de radiación durante su labor asistencial, son clasificados según su exposición en trabajadores de alto riesgo y por esta razón tienen periodos más cortos de semanas de cotización al régimen pensional.

Cuando los TOE, utilizan y manipulan la radiación en las IPS, se expanden partículas subatómicas u ondas electromagnéticas que constantemente pueden ser absorbidas y generar cambios en la configuración de su Ácido Desoxirribonucleico (ADN), junto con el posible desarrollo de enfermedades crónicas (Battineni et al., 2020) o de alto costo como el cáncer (OMS, 2016), siendo su uso considerado un grado de riesgo para la salud de quienes lo manipulan, como lo menciona el Decreto 2090 de 2003, determinando una pensión especial por exposición y teniendo en cuenta la Ley 797 de 2003, y la Resolución 0312 de 2019 que ratifican los estándares mínimos de cumplimiento laboral con el fin de proteger la seguridad y salud de los trabajadores.

Por otra parte las IPS deben garantizar mecanismos de control sobre las emisiones generadas y monitorear la exposición con el uso de dosímetros cuyos reportes deben ser conservados hasta 20 años después de terminar el cese laboral (Decreto 1072 de 2015), adicionalmente según los requisitos de habilitación (Resolución 3100 de 2019) en los servicios de salud se debe llevar un registro del uso de los rayos X y los procedimientos realizados donde se indique la dosis de radiación expresada en unidades según la tecnología del equipo, adicionalmente la cantidad de imágenes que el encargado ha rechazado (tecnólogo, profesional de medicina o especialista en radiología), esto debe incluir la razón del rechazo, la cantidad de estudios repetidos y el control de calidad con fecha vigente de los equipos que puedan generar radiación ionizante.

Esta información la poseen las IPS, sin embargo, el reporte de eventos laborales notificados a la Federación de Aseguradores Colombianos (Fasecolda), de acuerdo con el consolidado anual (para el año 2021) asociado al uso de radiaciones, evidencia un constante aumento en el número de las enfermedades reconocidas por las Administradoras de Riesgos Laborales (FASECOLDA, 2016).

Por lo anterior, se hace necesario diseñar una medida para monitorear la salud de los trabajadores expuestos, que incluya datos de dosis absorbidas para permitir predecir el riesgo de exposición a RI, fundamentado en controles existentes en las IPS y datos de la radiación dispersa en el lugar de trabajo, así cuantificar un nivel de exposición del TOE y basados en fundamentación teórica, variables predictoras y herramientas de *Machine Learning*, lograr categorizar y predecir el nivel de riesgo de exposición laboral.

## **1.1 Importancia de la investigación**

Las IPS actualmente monitorean la cantidad de radiación dispersa que puede ser absorbida mediante el uso de mediciones con equipos como los dosímetros, la periodicidad de medición cuantificable se realiza mensual o trimestralmente y proporciona un resultado que indica un valor de dosis absorbida el cual no debe superar un valor de referencia establecido. Este resultado es un valor que expresa la dosis absorbida durante un periodo de tiempo, y define un umbral anual hasta 20 mSv según lo describe el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, 2016). Las IPS entonces, generan una cantidad enorme de datos que son tratados de manera convencional para su interpretación y estudio. Para mejorar este proceso de análisis, se sugiere el uso de sistemas capaces de trabajar con dichos datos y utilizando algoritmos de Aprendizaje Automático *Machine Learning*, ser capaz de obtener la información de los datos, permitiendo simplificar el proceso, aprender de ellos y mejorar el análisis de los resultados.

En este contexto las tecnologías fundamentadas en el uso y aplicación de *Machine Learning* han comenzado a ser potenciales en el poder predictivo diagnóstico en salud (Koh & Tan, 2005) y pueden proporcionar una orientación más acertada para la toma de decisiones (Silcox, 2020) frente a la exposición a la radiación y permitir en el futuro mejorar la capacidad diagnóstica de manera más precisa en el ámbito sanitario (Núñez et al., 2019), su éxito requerirá de la participación diagnóstica de los especialistas en el área clínica en lugar de pensar en posibles reemplazos (Kohli et al., 2017).

Por esta razón se tendrá un impacto inicialmente, en la salud del profesional y en su práctica, logrando seguimientos más personalizados (Hueso et al., 2019) y también asegurando la trazabilidad de la información y protegiendo a la IPS frente a posibles eventos de tipo legal asociados con la vigilancia de la salud de los trabajadores (Decreto 1072 de 2015, Decreto 472 de 2015). Lo anterior, proporcionando una óptima relación entre el costo-beneficio y un mejor seguimiento en las evaluaciones médicas ocupacionales de sus colaboradores (Resolución 2346 de 2007), demostrando su utilidad (Uribe et al., 2019) en la mitigación de riesgos y la ayuda diagnóstica en prevención de la exposición en medicina nuclear (Papakonstantinou et al., 2021) evaluando y conservando siempre los principios éticos y de propiedad de datos (Zukotynski et al., 2020) en este caso, de los trabajadores y de los resultados de las mediciones ambientales hechas en las instituciones de salud.

## **1.2 Antecedentes**

Actualmente los métodos utilizados para el monitoreo de cambios en la salud de los trabajadores expuestos a la radiación ionizante han sido empleados en sector industrial, nuclear y salud. Entre las herramientas para el monitoreo del riesgo existen sistemas que usan biomarcadores (Rana et al., 2010) (patente N° WO2011127056A2), midiendo aberraciones o cambios en ácidos nucleicos y micronúcleos en sangre periférica (Pajic et al., 2015; Ropolo et al., 2012). Otros métodos usan dosímetros con sensores (patente N° WO2014191957) para determinar valores de dosis de radiación y obtener una matriz de respuesta en campo para cuantificar exposición. Agentes tópicos protectores (patente N° CN105342901) han sido utilizados para aliviar la exposición a radiación ionizante en trabajadores como medida de vigilancia y prevención por exposición.



Los métodos tradicionales incluyen el monitoreo biológico con analitos de laboratorio para el control y observación de cambios en los reportes sanguíneos (Heydarheydari et al., 2016), usando contadores hematológicos que verifican la presencia de aumento o disminución de recuentos en las líneas celulares de los expuestos, orientando la existencia de alguna alteración (Caciari et al., 2012). Sin embargo, los procedimientos o técnicas utilizadas no tienen en cuenta el histórico de datos de medición que tiene la institución de salud de cada trabajador expuesto, ni de las mediciones ambientales que son realizadas, estos datos son útiles para categorizar el riesgo de exposición por dosis absorbida de la radiación dispersa en el ambiente y la dosis absorbida por el trabajador, que al ser integradas permiten una categorización y predicción de la exposición con los resultados ya existentes.

Con los elementos presentados y teniendo en cuenta diferentes perspectivas de control que han sido abordadas, es necesario concebir otras variables para predecir el riesgo de exposición por uso de la radiación ionizante en el sector de la salud, entonces, para dar solución a las razones expuestas surge la pregunta:

¿Cómo predecir el riesgo de exposición a radiaciones ionizantes utilizando resultados de dosis absorbidas y técnicas de *Machine Learning*?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar una herramienta para predecir el riesgo de exposición por dosis permitidas legalmente de radiaciones ionizantes en trabajadores ocupacionalmente expuestos del sector de la salud utilizando técnicas de *Machine Learning*.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar los factores predictivos de riesgo para la salud de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiación ionizante.
- Determinar las técnicas de clasificación o regresión más adecuadas para el análisis predictivo diagnóstico a partir de los inputs identificados durante la investigación.
- Definir los resultados históricos de mediciones hechas a trabajadores y ambiente laboral, para realizar pruebas y entrenamiento de la herramienta teniendo en cuenta los principios éticos en la investigación.

## 1.4 Alcance

La presente investigación utiliza datos existentes en ambientes laborales donde se maneje la radiación ionizante, análisis de literatura científica relacionada con el tema, requisitos legales de obligatorio cumplimiento del problema a estudio y que junto con la percepción del riesgo, como experiencia relatada por los trabajadores ocupacionalmente expuestos busca diseñar una herramienta tipo backend para predecir el riesgo por exposición a radiaciones ionizantes, utilizando información obtenida del trabajador, que proporciona categorías de análisis del riesgo concebido individualmente, emplea resultados de mediciones dosimétricas y utilizando técnicas de *Machine Learning*, logra categorizar en niveles de riesgo la cantidad de radiación absorbida. Según el resultado obtenido logra predecir un nivel de riesgo utilizando una técnica de aprendizaje automático como *Random Forest* para obtener los parámetros del nivel de riesgo: Bajo, No bajo y predecir su exposición a partir de datos reales. El sistema y método para el desarrollo de la herramienta fue radicado ante la Superintendencia de Industria y Comercio como patente de invención nacional.

## 2 Estado del Arte

### 2.1 Científico

Para la construcción del estado del arte se realizaron búsquedas en base de datos científicas cuyo propósito fue conocer literatura asociada al objeto de estudio. Estas fueron: Scopus, Google Academic, PubMed y búsqueda abierta en Google, Dataset Search adicionalmente se realizó una vigilancia normativa para conocer las exigencias y cumplimientos internacionales en protección radiológica hasta los aplicados localmente.

#### 2.1.1 Radiación ionizante

Después del descubrimiento de las radiaciones ionizantes en 1895 por Wilhem Röntgen, estas han sido utilizadas en los diferentes campos del conocimiento, del desarrollo económico, tecnológico y científico, aplicándose en diversas áreas como la industria, la investigación, el diagnóstico médico y en la ingeniería. Desde ese momento, se ha venido produciendo más radiación y materiales radiactivos artificiales. La utilización de la radiación en medicina ha sido y es particularmente beneficiosa, sin embargo, es necesario evitar exposiciones excesivas o innecesarias, como aseguran algunos autores “existen diferentes tipos de radiaciones ionizantes que pueden diferir en la eficacia de producir daño biológico, esta relación entre dos tipos de radiaciones se conoce como Eficacia Biológica Relativa (RBE)” (Castro-Volio, 2020). La unidad equivalente en radio protección es el Sievert (Sv), y un Sievert es la cantidad de radiación de cualquier tipo, equivalente al efecto biológico de 1Gy de radiación electromagnética (rayos  $\gamma$  y rayos X) (Castro-Volio, 2020; OIEA, 2010).

#### 2.1.2 Radiobiología

Es la ciencia que se dedica a estudiar los fenómenos y efectos que se producen después de la exposición a radiaciones y absorción en los seres vivos. Incluye a la medicina, la física, la biología y la química, busca comprender desde estos aspectos, los cambios debidos a las dosis efectivas (DE) recibidas y estima el daño biológico de la dosis absorbida (DA) en diferentes órganos o tejidos, comparando y utilizando factores de ponderación en el cuerpo humano.

### **2.1.3 Desarrollo de cáncer sólido**

Según el INEN, “la Organización mundial de la Salud (OMS), plantea que al menos un 40 por ciento de los casos de cáncer podría evitarse si se controlan reconocidos agentes causales de la enfermedad (carcinógenos), agentes que se encuentran en el ambiente general o laboral (radiación ionizante), o se originan en hábitos y condiciones de vida no saludables” (INEN, 2018; OMS, 2016). Estos agentes laborales cuando interactúan con los tejidos pueden presentar efectos deterministas o no deterministas, asociados con la presentación de patologías y demostrando el desarrollo de cánceres sólidos pos-exposición a bajas dosis de radiación constante con una incidencia mayor de cáncer en trabajadores expuestos que en otros no expuestos, explicando estadísticamente su relación (Sun et al., 2016a), adicionalmente, la mortalidad asociada con desarrollo de cáncer sólido por exposición prolongada a bajas dosis (Richardson et al., 2015) y el desarrollo de toxicidad celular en los expuestos (Terzic et al., 2015).

### **2.1.4 Alteraciones moleculares**

Las alteraciones moleculares presentadas en los trabajadores expuestos a niveles de exposición pueden ser cuantificadas, y sugieren una utilidad potencial para proporcionar y mejorar los programas de vigilancia médica (Ropolo et al., 2012), teniendo en cuenta los efectos nocivos sobre la salud de los trabajadores que utilizan la radiación (Qian et al., 2016) y los cambios futuros que pueden presentar.

### **2.1.5 *Machine Learning***

Es una disciplina científica perteneciente al ámbito de la Inteligencia Artificial, esta crea sistemas que aprenden de manera automatizada, es decir, logra identificar patrones complejos en los datos, y crea algoritmos que revisan los datos y son capaces de replicar y predecir comportamientos futuros (Medina, 2020). En el *English Oxford Living Dictionary* se encuentra como definición de la inteligencia artificial: “La teoría y desarrollo de sistemas computacionales capaces de llevar a cabo tareas que normalmente requieren inteligencia humana” (Bernard, 2018).

### **2.1.6 Inteligencia Artificial (IA)**

En el año 1950, se escuchó por primera vez el termino cuando Alan Turing explicó que, en el futuro las maquinas obtendrían inteligencia y serían capaces de simular los razonamientos de los humanos, en este sentido su fundamento se concentró en lograr orientaciones predictoras (González, 2007).

### **2.1.7 Uso de la Inteligencia Artificial en el Sector de la Salud**

En el sector de la salud se han utilizado conjuntos de datos evaluados previamente acelerando procesos y logrando una mayor precisión para brindar una mejor atención médica en general (Mintz & Brodie, 2019). Desde este principio se ha usado la IA en el sector para el diseño de drogas medicamentosas utilizando el desarrollo de la química y la biología computacional unido a la potencia informática, aplicando con éxito en casi todas las etapas del proceso y desarrollo de fármacos, acelerando la investigación y reduciendo el costo y el riesgo relacionado con los ensayos clínicos y preclínicos (Zhong et al., 2018). En otras especialidades como la Neumología el aprendizaje automático para la clasificación de pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), ha sido un método viable y sólido en comparación con la opinión de neumólogos individuales. El diseño de algoritmos, ha mostrado una mayor precisión comparada con médicos certificados por junta para predecir la opinión de consenso sobre la presencia de una exacerbación y la categoría de triaje adecuada en un conjunto representativo de casos de pacientes (Swaminathan et al., 2017). En la Dermatología se ha utilizado para clasificar lesiones asociadas a malignidad, el uso de la IA demostró ser capaz de clasificar el cáncer de piel con un nivel de competencia semejante al de los dermatólogos (Esteva et al., 2017), en Cardiología para la medicación con anticoagulantes (Solomon et al., 2004), ha sido implementada, igualmente para toma de decisiones en intervención y apoyo para disminuir errores médicos (Buzaev et al., 2016), en Neurología para el uso de medios de contraste como el Gadolinio (Gd) por su alto poder de toxicidad ha sido útil la IA para reducir la dosificación y conservar el contraste (Gong et al., 2018) y en manejo de demencia usando técnicas de aprendizaje no supervisado para diferenciar patologías unas de otras (Morabito et al., 2016), utilizando categorías de algoritmos de regresión se han podido utilizar redes neuronales artificiales en bases de datos sobre cáncer establecidas por la *Radiation Effects Research Foundation* (RERF), revelando características únicas en dosis bajas de radiación que no podían explicarse por la dosis de exposición nominal, variando según el órgano, el sexo y la edad en el momento de la exposición (Sasaki et al., 2014).

### **2.1.8 Aprendizaje Supervisado**

Los algoritmos de aprendizaje automático se pueden clasificar en supervisados y no supervisados. Un algoritmo para aprendizaje supervisado corresponde a una situación donde se tiene una variable de salida que se desea predecir basándose en un conjunto de características previas (Ponce et al., 2004). Permite relacionar las características con la variable de salida, distinguir y clasificar adecuadamente un nivel de exposición, facilitar el diagnóstico diferencial y establecer el pronóstico y riesgo (Lugo-Reyes et al., 2014).

### **2.1.9 Técnicas de Regresión**

Los modelos de regresión son el fundamento de la analítica predictiva. Este enfoque se basa en “establecer una ecuación matemática como modelo para representar las interacciones entre las diferentes variables en consideración y dependiendo de la situación, hay una gran variedad de modelos que se pueden aplicar durante la realización del análisis predictivo” (Espino & Martínez, 2017). Para efectos de esta investigación nos centraremos principalmente en analizar una de las técnicas de regresión: es decir la regresión logística para ser empleadas en el desarrollo del modelo de aprendizaje, utilizando un histórico de mediciones hechas en institución de salud que contenía información periódica como: mediciones ambientales y de los trabajadores que eran tecnólogos en Imágenes Médicas Diagnosticas, odontólogos, higienistas y médicos.

### **2.1.10 Regresión logística**

Su origen se remonta a la década de los sesenta (Cornfield et al., 1961) y se universaliza desde principios de los años ochenta, debido a los avances informáticos (Fiuza & Rodríguez, 2000), hace parte de la familia de algoritmos de clasificación supervisada y es considerado como un modelo adecuado para la clasificación, es ampliamente utilizado entre investigadores con propósitos generales (Hair et al., 2010).

Ha sido utilizado en ciencias de la salud para construir modelos teniendo en cuenta su simplicidad (Larrañaga, 2010). Usado también para predecir la ubicación categórica o probabilidad de pertenencia a una categoría de una variable dependiente basada en variables independientes (Starkweather & Kay, 2011) en esta investigación la regresión emplea la estimación de máxima verosimilitud (EMV) para determinar la probabilidad de pertenencia categórica.

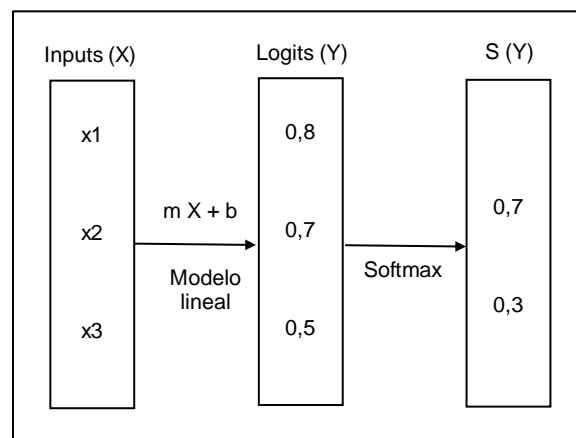
Su fundamento matemático consiste en explicar una función sigmoidea, donde la variable puede tomar valores entre 0 y 1, a través de una expresión que puede contemplar la existencia de variables independientes (Ramírez & Rodríguez, 2014). La variable a modelar: Y (dependiente) es categórica, generalmente dicotómica (binaria), lo que constituye una situación muy frecuente y sencilla de representar, por ejemplo: Si/No, Sano/Enfermo, Bueno/Malo, Bajo/No bajo, y mostrar la probabilidad de que ocurra un suceso dependiendo de sus variables.

Lo que se modela se representa por Y (variable dependiente) y las k variables independientes (explicativas y de control), se designan por X1, X2, X3... (Ramírez & Rodríguez, 2014); el modelo

creado calcula  $y_i$  como una función lineal de  $x_i$ . Si se usa la misma ecuación que en regresión lineal se obtienen salidas que van de menos infinito a infinito, mientras que  $y_i$  solo tiene dos posibles valores (Sánchez C, 2019). El modelo utiliza una función de caja negra para comprender la relación entre la variable dependiente categórica y las variables independientes. Esta función se conoce como función *softmax*, la cual toma las puntuaciones calculadas y devuelve las probabilidades. En el siguiente gráfico se muestra cómo funciona el modelo de regresión logística:

**Figura 1**

*Modelo de regresión logística*



Nota: Elaboración propia

### 2.1.11 Árbol de decisión

Clasificado dentro de la familia de los algoritmos de aprendizaje supervisado (Fátima Medina Merino & Ismelda Ñique Chacón, n.d.), se puede utilizar para resolver problemas de regresión y clasificación (James Gareth et al., 2013). Según algunos autores:

“Son modelos cuyo objetivo principal es el aprendizaje inductivo a partir de observaciones y construcciones lógicas, similar a los sistemas de predicción basados en reglas, que sirven para representar y categorizar una serie de condiciones que suceden de forma sucesiva para la solución de un problema” (Barrientos et al., 2009).

El algoritmo intenta resolver el problema mediante la representación de un árbol. Cada nodo interno del árbol corresponde a un atributo y cada nodo hoja corresponde a una etiqueta de clase. Utiliza el coeficiente de Gini para calcular la probabilidad de que una característica específica se clasifique incorrectamente cuando se selecciona al azar. El rango del coeficiente empieza desde 0 y los valores cercanos a cero son menos impuros que aquellos que se acercan al 1.

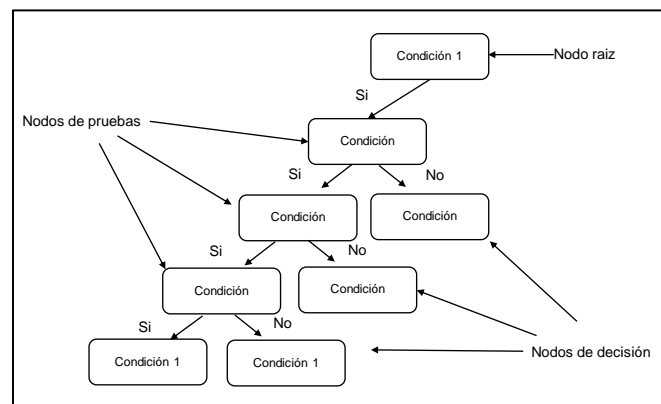
Se desarrollan utilizando conjuntos de datos de entrenamiento, como resultado de la división aleatoria del conjunto de datos original en los de entrenamiento y prueba utilizando un 80:20 de división aleatoria (Yang et al., 2016). Sirven para mejorar la comprensión y como herramienta para explicar posibles soluciones a una decisión basadas en ciertas condiciones (Romero et al., 2020). Estos son clasificadores que emplean una estructura de árbol para modelar la correspondencia entre las propiedades del modelo y los potenciales resultados. Según algunos expertos “el árbol se representa por nodos, donde el nodo principal o raíz es el atributo a partir del cual se inicia el proceso. Los nodos prueba son preguntas acerca del atributo o problema. Los nodos finales corresponden a una decisión, la cual coincide con una de las variables clase del problema a resolver” (Charris L et al., 2018).

Es simple de entender e interpretar, los datos no requieren demasiada preparación, puede manejar datos categóricos y numéricos. Son herramientas que se utilizan para la toma de decisiones médicas y se asemejan a un diagrama de flujo que guía al lector para clasificar a una persona como de mayor riesgo o de menor riesgo para un resultado (Doupe et al., 2019).

Se considera como debilidad que pueden generar arboles muy complejos que no generalizan muy bien los datos, pues pequeñas variaciones en los datos producen grandes cambios en la estructura generada. El problema para encontrar el árbol óptimo está clasificado como NP complejo, por lo tanto, se usan métodos heurísticos para resolverlo. A continuación, en la Figura 2 se muestra cómo funciona un árbol de decisión.

**Figura 2**

*Árbol de Decisión*



Nota: Elaboración propia



### 2.1.12 *Random Forest*

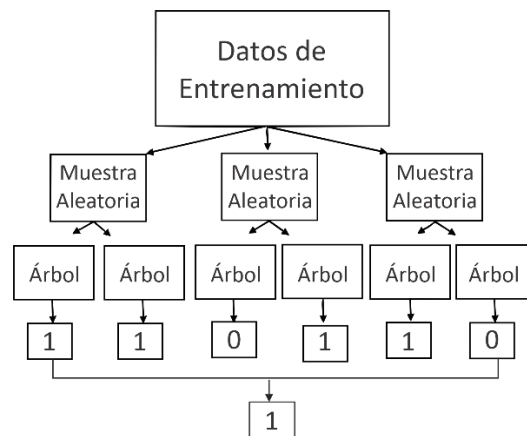
Es un algoritmo de clasificación supervisado que crea bosques con varios árboles de decisión. Consta de una colección de clasificadores estructurados en árboles (Breiman, 2001), “cada árbol depende de los valores de un vector muestreado independientemente y con la misma distribución para todos los árboles del bosque” (Medina & Ñique, 2017). Se define como un conjunto de árboles de decisión combinados, es decir, distintos arboles toman diferentes partes del conjunto de datos, pero ningún árbol toma todos los datos de entrenamiento haciendo que cada árbol se entrene con distintas muestras de datos del entrenamiento (Martinez, 2020).

La construcción de la serie de árboles predictores la realiza con un subconjunto de los datos para después promediar los resultados obtenidos (Hastie et al., 2008) y se obtiene la predicción del problema. En general, cuantos más árboles haya en el bosque más robusto será el bosque y mayor será la precisión.

Son fáciles y rápidos de implementar, producen predicciones altamente precisas y puede manejar un gran número de variables de entrada. De hecho, se considera una de las técnicas más precisas de aprendizaje disponibles (Biau & Fr, 2012). Dentro de las ventajas se considera como un algoritmo con resultados buenos, funciona bien con muchas clases de problemas, es capaz de manejar gran cantidad de datos, identificar variables significativas y mostrarlas. Sin embargo, es uno de los algoritmos que produce el efecto de caja negra, no es fácilmente interpretable (Gago, 2017) pues se tiene poco control sobre lo que hace el modelo y adicionalmente, sobre ajusta los conjuntos de datos que tienen demasiado ruido. La Figura 3 ilustra cómo funciona un *Random Forest*.

**Figura 3**

*Random Forest*



Nota: Elaboración propia

El algoritmo es un clasificador que contiene: colección estructurada de árboles clasificados  $\{h(x, \Theta_k), k=1, \dots\}$ , vector aleatorio  $\{\Theta_k\}$ , “x” vector de entrada. Al utilizar los datos de entrenamiento extrae la distribución al azar del vector aleatorio “Y”, “X”, y cada vez que se añaden más árboles, el *Random forest* no se sobre ajusta, sino que genera un valor límite de error:

$$P_{X,Y}(P_{\Theta}(h(X, \Theta) = Y) - \max_{j \neq Y} (P_{\Theta}(h(X, \Theta) = j) < 0))$$

La interacción entre los clasificadores y la dependencia entre ellos proporciona correlación y determinan la función marginal:

$$mr(X,Y) = P_{\Theta}(h(X, \Theta) = Y) - \max_{j \neq Y} P_{\Theta}(h(X, \Theta) = j)$$

## 2.2 Técnica

A continuación, se presentan los diferentes resultados del estado de la técnica evidenciados a través de búsquedas de patentes. Las bases de datos consultadas fueron: Espacenet, Google Patents, PatentScope, SIC, y búsqueda abierta de patentes, usando palabras clave como: Alerta temprana (asociado a enfermedades), Aprendizaje de Máquina (asociado a detección de enfermedades y asociado a identificación de patrones de comportamiento), Biomonitorio (relacionado a micronúcleos), Detección (asociado a enfermedades), Dosímetro (asociado a dosis absorbida de radiación ionizante), Dosis radiación ionizante (por uso de rayos X), Predicción (asociado a dosis de radiación ionizante, asociado a enfermedades), Pronóstico (asociado a consecuencias de exposición a radiación ionizante, asociado a enfermedades).

### 2.2.1 Patentes relacionadas

Teniendo en cuenta los resultados de la vigilancia tecnológica, se presentan en la Tabla 1 las patentes que utilizan *Machine Learning*, biomarcadores y soluciones similares.

**Tabla 1**

*Patentes relacionadas que utilizan Machine Learning, biomarcadores y soluciones similares*

Publicación	Nombre	Similitudes	Diferencias
WO2011127056A2	<i>Biomarkers for assessing exposure to ionizing radiation and absorbed dose.</i>	<p>*Plantea técnicas citogenéticas como diagnóstico por exposición a radiación ionizante.</p> <p>*Propone el uso biomarcadores sensibles a la radiación capaces de determinar el estado de exposición cualitativa y niveles de exposición.</p>	<p>* Se basa en técnicas citogenéticas para predecir riesgo por medio del uso de muestras sanguíneas y sus resultados de la exposición.</p> <p>* No tiene en cuenta las variables individuales del TOE como son datos sociodemográficos,</p>

			epidemiológicos, y los resultados individuales de las mediciones dosimétricas.
WO2014191957	<i>Algorithm for wireless, motion and position-sensing, integrating radiation sensor for occupational and environmental dosimetry.</i>	* Integra radiación ocupacional y ambiental.	<p>*Usa dosímetro con sensor que determina valores de dosis de radiación para una matriz de respuesta en campo.</p> <p>*Genera un vector de solución inicial.</p> <p>*Determina valores de dosis de radiación para una matriz de respuesta.</p> <p>*Establece valores de radiación sin predicción.</p> <p>*Determina un valor de radiación neto final para cada campo de radiación en la matriz de respuesta.</p>
CN105342901	<i>Preparation method of protective agent for relieving ionizing radiation to electrical workers.</i>	* Protección de la salud.	<p>*Se enfoca en el uso de un producto (agente) protector para ser usado por parte del trabajador.</p> <p>*No evalúa el riesgo de exposición y su categorización.</p>
US20180275404	<i>Method of detecting and outputting radiation dose rate information.</i>	<p>*Detecta y muestra información relacionada con la tasa de dosis de radiación en trabajadores.</p> <p>*Se basa en la detección de las tasas de radiación existentes mientras que un trabajador está realizando una operación en un área radiológicamente controlada.</p>	<p>*Muestra al trabajador un mapa de dosis de radiación ionizante dentro de la zona de exposición.</p> <p>*No tiene la capacidad de estimar niveles de riesgo.</p> <p>*No compara los datos de mediciones ambientales y de dosis absorbida para obtener el riesgo y su predicción.</p>
CN109409654	<i>A kind of method, terminal and memory for evaluating</i>	<p>*Evalúa un índice de riesgo de exposición ocupacional.</p> <p>*Suministra un índice capaz de evaluar cuantitativamente el</p>	*Calcula diferencias entre mediciones de dosis anual obtenida y predefinida.

	<i>nuclear power station occupational exposure risk index.</i>	riesgo de exposición ocupacional.	<p>*Incluye el número de radiación de dosis anual.</p> <p>*Se enfoca en un método para medición de riesgo a exposición específicamente en una planta nuclear.</p> <p>*Medición de riesgo por exposición en una planta nuclear.</p>
CN110261518	<i>A kind of screening of human body effect of low dose radiation molecular injury marker taurine and verification method.</i>	*Detecta daño inducido por radiación.	<p>*Usa técnicas metabólicas.</p> <p>*Emplea muestras biológicas como orina, etc.</p> <p>*No se sugiere el uso de técnicas o métodos de <i>Machine Learning</i> para mejorar la vigilancia.</p>
WO2016094330A2	<i>Methods and machine learning systems for predicting the likelihood or risk of having cancer.</i>	* Usa inteligencia artificial.	<p>*Usa redes neuronales y se puede aplicar a cualquier tipo de aprendizaje.</p> <p>*Puede utilizarse en cualquier forma de sistema de inteligencia artificial.</p>
ES2606015T3	Métodos y combinaciones de marcadores para la detección de la predisposición al cáncer de pulmón.	<p>*Usa regresión logística.</p> <p>*Usa métodos estadísticos.</p>	<p>*Usa marcadores, los resultados y la combinación entre ellos para predecir.</p> <p>*Según el número y resultado de marcadores aumenta la sensibilidad.</p> <p>*Se repite el procedimiento n veces hasta obtener un número adecuado de marcadores.</p>
US10153058B2	<i>Machine learning for hepatitis C.</i>	<p>*Usa Regresión logística.</p> <p>*Incluye resultados de clínica del paciente.</p> <p>*Usa <i>Random Forest</i>.</p>	<p>*Seguimiento en 1, 3 y 5 años.</p> <p>*Usa resultado de biopsias.</p>

EP3029153B1	<i>Mesothelioma biomarkers and uses thereof.</i>	<p>*Predice un riesgo.</p> <p>*Indica la probabilidad de tener enfermedad.</p>	<p>*Calcula el área bajo la curva para indicar probabilidad de tener mesotelioma.</p> <p>*Combina resultados de biomarcadores para predicción.</p> <p>*Utiliza un clasificador Naive Bayes.</p>
-------------	--	--	---

## 2.3 Justificación

Actualmente las instituciones prestadoras de salud en Colombia, deben cumplir con requisitos normativos de habilitación para su funcionamiento (Resolución 3100 de 2019). Estos requisitos definen los cumplimientos en capacidad técnico-administrativa, suficiencia patrimonial y capacidad tecnológica y científica en prestación de servicios de imágenes diagnosticas según el nivel de complejidad. Además de los cumplimientos para prestar servicios de salud, se incluyen los obligatorios en seguridad y salud en el trabajo (Resolución 0312 de 2019) donde los empleadores deben cumplir con estándares asociados a la seguridad laboral.

Posteriormente a estos procesos administrativos, los trabajadores clasificados como ocupacionalmente expuestos deben cumplir con exigencias de formación (Resolución 482 de 2018), cumplimientos de afiliación pensional (Decreto 2090 de 2003) categorización de riesgo (Decreto 1295 de 1994 y Decreto 1072 de 2015) y de vigilancia epidemiológica por manipular uno de los cinco agentes carcinógenos ocupacionales en Colombia (MinSalud & INC, 2012) y garantizar que tengan un nivel de exposición menor al límite permisible. En Colombia, estos trabajadores según registros de la Federación de Aseguradores Colombianos para el año 2020 (FASECOLDA, 2016), son más de 17.000 en todo el territorio nacional, los cuales presentan un aumento en su vinculación y muestran un incremento en el número de accidentes laborales, enfermedades laborales y de incapacidades asociadas a este nivel de riesgo. Estos procesos de reconocimiento por enfermedades, accidentes e incapacidades generan costos al Sistema General de Seguridad Social en Salud, involucrando procesos que van desde el patrimonio de las empresas, pagos por el sistema pensional y reconocimientos por las administradoras de riesgos laborales.

Desde la seguridad y la salud en el trabajo se incluyen intervenciones para mitigar estos eventos desde: La Fuente emisora (equipo generador de rayos X), el medio laboral (lugar donde ocurre la exposición) y el Trabajador Ocupacionalmente Expuesto (TOE). En la actualidad las IPS utilizan los

controles en la fuente, en el medio y en el trabajador para minimizar eventos que puedan generar a futuro enfermedades o incapacidades laborales asociadas con el uso de la radiación ionizante. En este proceso, se usan intervenciones en el trabajador como el uso del dosímetro, uso de los elementos de protección personal y los exámenes médicos ocupacionales (Resolución 2346 de 2007), también se pueden utilizar análisis citogenéticos como la detección de micronúcleos (MN), con el uso o no de cultivos celulares como opción para realizar estudios epidemiológicos en poblaciones de alto riesgo (Torres-Bugarín & Ramos-Ibarra, 2013). Empleando tiempos cortos de incubación con este análisis citogenético se permite mejorar la oportunidad diagnóstica por exposición según frecuencia de MN (Rincón G, 2021.), y así poder controlar los efectos producidos por uno de los más importantes cancerígenos laborales mundialmente (Qian et al., 2016) y que están contemplados dentro del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, proporcionando una orientación entre exposición a dosis bajas de radiación ionizante y la relación con formación de cáncer sólido (Sun et al., 2016b) y para el control ambiental usan la medición de fugas y los sistemas de blindaje empresarial.

Los controles aplicados en la fuente emisora incluyen la periodicidad de mantenimientos preventivos y correctivos según el uso y la vida útil de los equipos empleados. Estos controles son resultados obtenidos, y escasamente utilizados para tomar decisiones y/o interpretar la categorización del riesgo de los trabajadores, teniendo en cuenta que durante los periodos de tiempo mensual no deben superar un umbral máximo de exposición y un límite anual (ICRP, 2007). Cuando se presentan eventos asumidos de origen laboral, se establece un costo al sistema que incluye un pago según el porcentaje de pérdida laboral, para calcularlo se multiplica por el valor del salario según el nivel de riesgo V y que equivale al 6.960% del devengado. Esto consiste en multiplicar el valor que puede recibir un profesional o especialista, por ejemplo: un trabajador ocupacionalmente expuesto como un médico ortopedista mensualmente su salario oscila en 30.000.000 COP y al ser multiplicado por el 6.960% equivaldría a un pago mensual de 2.088.000 COP para el administrador y si la incapacidad laboral es de un mes, debe asumirse el 100% del salario base cotizado cuando su origen es laboral (Decreto 1266 de 1994). En la Tabla 2 se presenta el número de enfermedades, accidentes e indemnizaciones laborales pagados en los últimos 11 años.

## **Tabla 2**

*Enfermedades, accidentes e indemnizaciones laborales pagados en los últimos 11 años*

Año	Clase de riesgo	Número de empresas	Total de trabajadores	Número AT calificados	Número EL calificadas	Total Indem. IPP AT-EL
2009	5	492	10.625	541	3	6
2010	5	523	12.973	905	19	10
2011	5	626	14.384	715	14	14
2012	5	761	13.272	649	10	7
2013	5	922	12.580	683	4	7
2014	5	1.028	12.652	761	10	7
2015	5	1.175	12.926	815	12	8
2016	5	1.282	14.108	893	15	18
2017	5	1.400	16.197	856	9	4
2018	5	1.532	16.779	888	8	12
2019	5	1.650	17.290	962	5	15
2020	5	1.805	17.833	1075	632 (Covid19)	6

**Nota.** AT: Accidentes de trabajo EL: Enfermedad laboral IPP: Incapacidad permanentemente parcial.

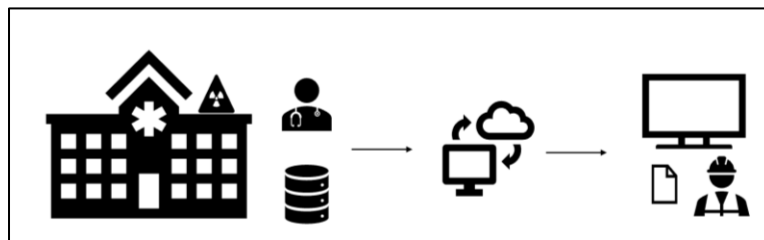
Recuperada de *Servicios sociales y de salud Colombia- Riesgos Laborales* - (FASECOLDA, 2021)

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario diseñar una herramienta para predecir el riesgo de exposición a radiaciones ionizantes en trabajadores del sector de la salud utilizando técnicas de *Machine Learning*, que permitan utilizar los resultados existentes de las mediciones realizadas a los trabajadores y al ambiente laboral e incluir nuevas variables que serán analizadas para mejorar la predicción del riesgo como el componente biológico asociado a la genotoxicidad.

Por este motivo, y como se ha demostrado en este capítulo, se evidencia que el uso de datos de mediciones absorbidas en los trabajadores y en el ambiente laboral permiten realizar un acercamiento y la aproximación de medir el nivel riesgo por el uso de la radiación ionizante de manera más útil y logrando predecir según el umbral el nivel de riesgo en el que estaría el trabajador expuesto. En la Figura 44 se muestra el uso de la herramienta para predecir el riesgo de exposición a radiaciones ionizantes.

#### Figura 4

*Esquema del uso de la herramienta para predecir el riesgo de exposición a las RI*



Nota: Elaboración propia

Entonces, la información ingresa al modelo computacional de la siguiente manera: 1. Un formato CSV contiene los datos con los resultados de las mediciones hechas según frecuencia en los ambientes de exposición laboral y del trabajador ocupacionalmente expuesto. Contiene columnas con los resultados individuales de medición y del ambiente laboral de cada uno de los seis meses anteriores acumulados y de cada trabajador expuesto. 2. El modelo computacional creado puede ser manejado en un entorno de desarrollo interactivo como *Spyder*, donde se ejecuta el formato CSV con los resultados de las mediciones mensuales, bimensuales o trimestrales expresados en miliSievert (mSv). 3. Cada una de las mediciones obedece a resultados de meses diferentes de exposición (por ejemplo, resultados de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio) del mismo sujeto (trabajador), es decir, un mismo trabajador tendrá resultados de hasta seis mediciones diferentes (según el mes de exposición) y constantes según su labor. 4. Y finalmente, se obtiene con el algoritmo empleado una salida que consiste en predecir el nivel de riesgo para el mes siguiente de exposición en: “Bajo” o “No bajo” y servirá para el área encargada de la institución de salud o del asegurador tomar decisiones según el nivel de riesgo obtenido.

## 3 Metodología

El apartado metodología se desarrolla en dos partes, inicialmente, se presenta el método TRIZ como una teoría para resolver problemas y posteriormente se presenta la metodología para la identificación de factores de riesgo en los TOE que se utilizarán como variables del sistema predictivo.

### 3.1 Método TRIZ:

Con la formulación del problema de investigación y teniendo en cuenta la necesidad de innovar y desarrollar nuevas herramientas se utilizan bases metodológicas fundamentadas en contradicciones y usando teorías para resolver problemas de forma inventiva, se plantea entonces el uso de la metodología TRIZ (en ruso: Teoriya Rezhnija Izobretatelskih Zadach) que consiste en analizar de manera lógica y sistemática el proceso ingenioso y que significa “teoría para resolver problemas de manera inventiva” desarrollada por Genrich Altshuller en 1946.

Teniendo en cuenta la justificación e importancia previamente planteada, se identifican aspectos esenciales y relevantes para convertirlo en un problema abstracto. Posterior se escoge una solución abstracta previamente establecida para el problema y, por último, se transforma la solución abstracta escogida en una solución específica para el problema específico original (Ilevbare et al., 2013). Después de analizar los problemas técnicos (análisis de patentes) y de investigación (análisis de



estado del arte), se lleva a cabo el proceso de solución planteando la metodología en cuatro pasos (Córdova, 2008):

- Análisis del problema: Después de definir el problema se hace un proceso de análisis del problema específico, derivando todas las variables (contradicción, idealidad, pautas de evolución del problema).
- Abstracción: Proceso para convertir el problema general, en problema TRIZ.
- Solución general: Obtener una solución general de TRIZ, con el uso de las herramientas proporcionadas por esta metodología (40 principios de inventiva, 39 parámetros y matriz de contradicciones).
- Solución específica: Se define el dominio de la solución específica a través del mapeo de la solución general y la experiencia del inventor. Con la metodología se disminuye la realización de prueba y error evitando que el proceso sea itinerante, entonces:

Para la solución del problema asociado con la prestación de servicios en las IPS, y que aumenta la carga prestacional al sistema de salud por accidentes y enfermedades, las Aseguradoras de Riesgos Laborales (ARL) garantizan el cubrimiento laboral según la clase y actividad de riesgo. Las IPS demandan el servicio de las ARL para prevenir, mitigar riesgos y peligros que pueden afectar la salud de sus afiliados, y asumen el 100% de los pagos de cotización según el tipo de riesgo y la contratación laboral, entonces con el uso de resultados específicos y valores de exposición de dosis absorbidas que deben ser monitoreadas por las IPS se combinan los resultados para proponer la solución al problema.

### 3.1.1 Problema específico planteado

Predecir el riesgo físico por radiación ionizante en TOE del sector de la salud, a partir de variables (empresa y trabajador), utilizando técnicas de *Machine Learning* para garantizar cumplimiento normativos en la empresa y contribuir a preservar la salud de los trabajadores. Algunos autores sugieren el siguiente esquema de solución de problemas:

- “- Problema genérico: Se utilizó la matriz de contradicciones, para mostrar cómo otros problemas generales análogos al que se plantea han sido resueltos.
- Solución general: Se determina con la ayuda de algunos de los 40 principios inventivos TRIZ.

- Solución específica: Finalmente, al usar estas soluciones generales, se plantea una posible solución para el problema específico planteado para encontrar las soluciones con la matriz de contradicciones” (Córdova Wilmer, 2008).

El parámetro técnico que se define para intervención según la matriz es la precisión de la medida (parámetro 28), el cual se tuvo en cuenta como insumo de entrada para el desarrollo de la herramienta. Para ello el principio inventivo es la Combinación (principio 5), que proporciona solución al problema planteado, usando información relevante del trabajador y medición de datos monitoreados existentes en la IPS. En la Tabla 3 se muestran los parámetros y principios propuestos.

En el estado del arte y de la técnica no se encontró una propuesta que usara los elementos aquí contemplados después de utilizar ecuaciones de búsqueda con palabras clave como: Alerta temprana (asociado a enfermedades), Aprendizaje de Máquina (asociado a detección de enfermedades y asociado a identificación de patrones de comportamiento), Biomonitorio (relacionado a micronúcleos), Detección (asociado a enfermedades), Dosímetro (asociado a dosis absorbida de radiación ionizante), Dosis radiación ionizante (por uso de rayos X), Predicción (asociado a dosis de radiación ionizante, asociado a enfermedades), Pronóstico (asociado a consecuencias de exposición a radiación ionizante, asociado a enfermedades).

**Tabla 3**

*Aplicabilidad de instrumento TRIZ*

<b>Parámetros Técnicos Propuestos de TRIZ</b>	<b>Principios Inventivos propuestos de TRIZ</b>
28. Precisión en la medida	5. Combinación
Variables presentes en IPS-ARL	No encontrado en el estado de la técnica y en la literatura analizada. Se añaden variables y se combina

**Nota.** Tomada y adaptada de Altshuller, 1999.

### **3.2 Metodología para la identificación de factores predictivos de riesgo**

Para la identificación de los factores predictivos de riesgo, la metodología utilizada estuvo enmarcada en investigación cualitativa bajo paradigma fenomenológico, utilizando como instrumento las entrevistas conversacionales (ver Anexo 1), que permitieron el acercamiento de la percepción de los

participantes frente al riesgo por exposición a la radiación, y continuando una línea hermenéutica se cuestiona de qué manera, en qué momento y que lugar permitir el horizonte que se desea develar y el contexto a ser revelado (Troncoso & Amaya, 2017).

Antes de comenzar con las entrevistas, los participantes firmaron un consentimiento informado (ver Anexo 2) reconociendo que no existía riesgo para su salud y estuvieron de acuerdo en que las entrevistas se grabaran y se transcribieran para explorar las prácticas en 5 participantes que eran tecnólogos en Imágenes Médicas Diagnosticas (rayos X), con más de 20 años de experiencia en el sector de la salud.

El trabajo interpretativo se realizó tematizando entrevistas con preguntas abiertas realizadas durante los años 2019-2020. En estas entrevistas los participantes expresan sus opiniones y matizan sus respuestas siendo categorizadas y esquematizadas para el proceso de análisis. Se usaron nombres ficticios en los participantes para personalizar el contenido y ofrecer confidencialidad al relato. Los guiones de las preguntas fueron previamente elaborados (ver Anexo 1), orientando sobre aspectos a profundizar con los participantes como experiencia en el cargo, conocimiento de la radiación, alteraciones en la salud, medidas de protección, tiempo de trabajo en el área, formaciones recibidas, eventos asociados con el riesgo: accidentes, incidentes, horas de trabajo en la institución de salud, para finalmente llegar a la obtención de cinco categorías de riesgo así: Riesgo Laboral, Medidas de prevención, Incidentes laborales, Equipos/Tecnologías de uso y Cualificación y Entorno laboral, las cuales permitieron identificar factores de riesgo asociados con el sentir de los participantes frente al riesgo por la exposición. A continuación, se describen los resultados de las categorías:

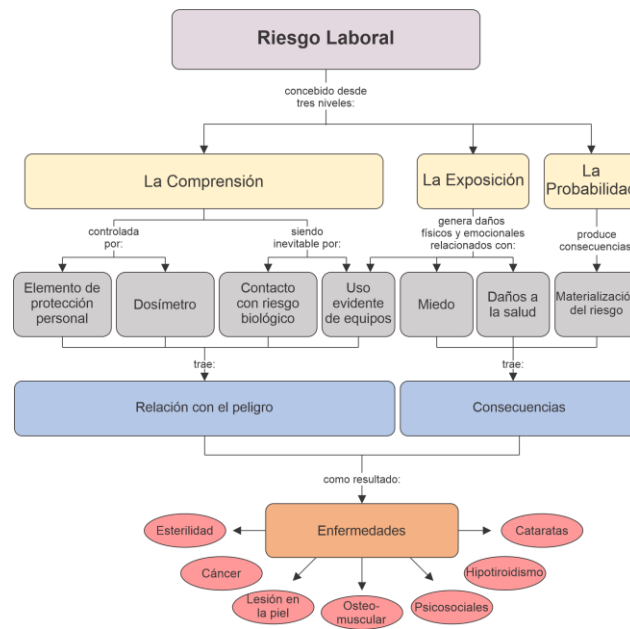
### **3.2.1 Riesgo laboral**

En este apartado de la investigación se busca ingresar y analizar la categoría del riesgo laboral desde la narrativa de los participantes, para ello se hizo un análisis de la información que se recibe del contexto y la interpretación que los participantes hacen, se elabora desde la experiencia del trabajador, su percepción y de manera inductiva se define la categoría descrita con base en las diferentes formas de vivirlo, de sentirlo y de expresarlo, teniendo en cuenta que la exposición a radiación ionizante es un fenómeno real en todas sus expresiones; aunque no se sienta, no se vea y no se perciba su olor, el poder de penetración es capaz de modificar estructuras internas a nivel celular que son comprendidas por los participantes. Para entender la categoría de riesgo laboral en este grupo de participantes, se organizaron tres grandes temáticas que resultaron del análisis de la información obtenida a través de la interpretación de las entrevistas, para facilitar la comprensión se diseñó un esquema (ver

Figura 5) que estructura la información obtenida y para personalizar el relato se usaron nombres ficticios en los participantes.

**Figura 5**

*Riesgo Laboral*



Nota: Elaboración propia

El trabajo interpretativo de esta categoría se realizó utilizando la técnica de triangulación de cotejo que consiste en articular: a) los enunciados y respuestas de los participantes obtenidos a través del relato, su grabación, transcripción y análisis, b) el conocimiento de las categorías de estudio proveniente de la literatura y revisiones bibliográficas realizadas, y c) la perspectiva de los investigadores. El riesgo laboral es concebido entonces desde tres niveles:

### 3.2.1.1 La exposición:

Técnicamente se define la exposición como la situación en la cual las personas (sujetos/trabajadores/participantes), se encuentran en contacto con los peligros (GTC 45-2012) (ICONTEC, 2010). Adicionalmente, para la Agencia Internacional de Investigación de Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), la exposición a la radiación ionizante es clasificada en el grupo I de agentes y es considerada como inductor de cáncer en humanos. Así mismo, La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, 2007), define la exposición ocupacional a todas las exposiciones incurridas por trabajadores (participantes), en su trabajo.

Desde la Seguridad y Salud en el Trabajo, la exposición es un término utilizado en protección radiológica en sentido cuantitativo, definido y general que equivale a la «radiación de personas o

materiales». Se define desde dos categorías: a) exposición externa: debida a radiación de fuentes situadas fuera del cuerpo y b) exposición interna: debida a radiación de fuentes situadas dentro del cuerpo, el término alude a la exposición de un trabajador/sujeto/participante, recibida o comprometida durante un período de trabajo (OIT, 1987), es decir su jornal ordinario corriente o normal. Como se pudo constatar, existen diferentes conceptos sobre exposición, sin embargo, se puede considerar siguiendo los lineamientos del Resolución 18-1434 de 2002 (Res 18-1434 de 2002) a grandes rasgos que:

- Exposición normal: se prevé que se reciba en las condiciones normales de funcionamiento de una instalación o una fuente y que puede mantenerse bajo vigilancia con el uso de controles en la fuente emisora, en el medio laboral y con el uso de elementos de protección individual.
- Exposición ocupacional: toda exposición de los trabajadores (participantes), sufrida durante el trabajo.
- Exposición potencial: se prevé no se produzca con seguridad, pero que puede ser resultado de un accidente ocurrido en una fuente o deberse a un suceso o una serie de sucesos de carácter probabilístico.

Para los participantes la exposición a la radiación según los diferentes términos es considerada como el quehacer diario, se concibe como algo profundo, que hace parte de la actividad cotidiana, es una constante en su jornada laboral, su disponibilidad asistencial hace que en cualquier momento se presente la exposición y se tenga que utilizar una fuente o equipo emisor para generar radiación según sea el caso, exponiéndose a trazas dispersas que pueden ser absorbidas de acuerdo al procedimiento, espacio físico en la institución de salud y condición clínica de los pacientes.

Cuando la exposición es descrita por los participantes, el lenguaje corporal y la comunicación no verbal empleada, junto con los gestos faciales son asociados a segmentos del cuerpo que localizan donde se manifiestan los efectos acumulativos de la exposición a la radiación; señalan “órganos blancos”, se tocan los párpados, la garganta y la piel, organizan y dirigen sus respuestas con expresiones y gestos de asentimiento que ofrecen una expresión negativa de la exposición, muestran que la acumulación de radiación puede afectar alguno de estos órganos que se palpan, transmiten su preocupación, hacen ver que el contacto con el peligro es inevitable y se hace manifiesto, presente.

Para cuantificar la exposición, los participantes, utilizan instrumentos de medición como los dosímetros, que miden las dosis recibidas (absorbidas) en periodos de tiempo para conocer por medio de un número su exposición o umbral recibido de radiación, así los sujetos del estudio consideran que la medición dosimétrica proporciona regulación, monitoreo, cumplimiento legal y seguridad sobre el

límite permitido de exposición mensual, aunque siendo un instrumento móvil, que fácilmente puede olvidarse, o dejar en lugares diferentes de la superficie corporal, en otros escenarios o lugares donde pueden recibir mayor radiación a la esperada realmente, pero es la garantía para conocer su existente exposición, frente al equipo emisor durante un periodo de tiempo, mes tras mes.

La cuantificación de las dosis con instrumentos de medición como los dosímetros en cada participante es una constante utilizada y conocida para ponderar la exposición, saben que el uso del dosímetro puede detectar la dosis acumulada de exposición mensual y que cuantifica la radiación que pudo haber sido absorbida. El participante describe el dosímetro como un instrumento guardián que pronostica la cantidad de exposición que tiene en el cuerpo, es considerado como un vigía de la exposición, garantiza y alerta sobre su condición de salud, aunque algunas veces se olvida, se deja en otro lugar o no se usa como debe ser.

Cuando el manejo de la intensidad de energía puede ser programada y la emisión es manipulada, el control de la exposición depende de factores individuales que el trabajador debe conocer, aparece entonces en *Alex* la preocupación por el uso al azar o el afán de hacer las cosas que llevan a implementar intensidades mayores si el equipo así lo permite, el conocimiento y la experiencia son los únicos que pueden controlarlo, pues los sistemas de salud y la celeridad de los procesos diagnósticos le preocupan con el uso imperceptible de la radiación para obtener imágenes mejores, superiores, más nítidas. La preocupación se muestra cuando se recuerdan los principios bioéticos (Siurana Aparisi, 2010), que hacen referencia a la no maleficencia, sin dejar de un lado la autonomía y el proceder individual de cada participante según se presente el caso.

Elementos de Protección Personal (EPP): Desde la Seguridad y Salud en el Trabajo la exposición a la radiación es controlada por el uso constante de los EPP que proporcionan un porcentaje de atenuación de la radiación dispersa en el área de trabajo, evitando ser absorbida por algunos órganos del trabajador y disminuyendo la gravedad en caso de sobreexposiciones. Todos los participantes del estudio conocen que los EPP minimizan el poder de penetración de la radiación, saben de su existencia y tienen la disponibilidad de uso en sus áreas de trabajo, para *Raúl* y *Ana* algunos elementos ejercen disconfort, incomodidad y falsa seguridad, las pruebas con fluoroscopios que han realizado muestran dispersión de la radiación y por otro lado, el peso y el tiempo de uso hacen que así se sientan, su material de elaboración es pesado y ejercen presión sobre sus hombros y espalda.

Se encuentran respuestas de otros participantes como *Ana*:

*Ana*: “Conozco la colimación, colima uno solamente lo que le pidieron, si le pidieron una mano, colimamos para tomar la mano, para que la radiación dispersa sea muy mínima, eh los

chalecos, tiroides que también los tenemos y los protectores gonadales para niños que también los tenemos y para nosotros esta acá el blindaje y puerta cerrada”.

Es entonces la conjugación del campo a colimar, con el uso del elemento de protección quienes ofrecen protección personal y por eso es necesario saber y conocer el procedimiento a realizar. Es justo hacerlo al ritmo del proceso, sin prisas y con tecnicismos, con delicadeza y sinceridad cuando lo asistencial es programado y se tiene el tiempo de atención para realizar el trabajo.

A menudo, ocurre que las urgencias no dan espera, la atención debe ser inmediata, es entonces donde el elemento de protección puede olvidarse, pues se consideran esenciales los procedimientos, los protocolos, la atención, la vida, pero tales detalles no contestan de verdad a las preguntas de la frecuencia, periodicidad y uso del elemento, por tanto, no tiene sentido el inventario, la marca o el confort cuando se trata de atención médica inmediata. Raúl responde:

*Raúl:* “Nosotros usamos el blindaje, y también para evitar la radiación dispersa que tiene que ver con nosotros utilizamos la colimación, tiene que ver mucho con nosotros porque a medida que cerremos el colimador menos radiación nos va a quedar en el ambiente. Y del paciente la colimación, protección y chalecos gonadales. Colimar es limitar el haz de luz. Otra cosa que se utiliza como tal, son: los tiempos de exposición, eh se le coloca poco (...)”.

Así como se ha descrito en el texto, la sensación de discomfort y falsa seguridad proporcionada por los elementos de protección personal, el cierre de los campos de exposición es una constante que permanece en el grupo de participantes como medida de mitigación de la exposición laboral y prevención del riesgo, cuando el elemento de protección no controla totalmente la exposición o da la sensación de escasa protección, las normas básicas de radio protección (Normas de seguridad del OIEA) como la limitación, son entendidas con el uso de los elementos de protección personal como blindaje, en especial en lugares donde el campo no es blindado y tienen el uso de equipo móvil para traslado en el área de trabajo.

La exposición a la radiación se acepta, pero también se respeta, se sabe que se debe trabajar con ella pero que se debe evitar cualquier contacto y exposición. Algunas fuentes emisoras usan sustancias químicas en su proceso, la exposición se aumenta cuando se usan sustancias para revelar y fijar, el trabajador lo sabe, logra comprender que existe y que hace parte de su jornada asistencial, en este momento del procedimiento asistencial requiere de cuidado y concentración, pues la colimación y el elemento personal no ejercen control en la exposición asociado al manejo de sustancias químicas.

Contacto con el riesgo: Para los participantes la exposición es inevitable cuando existe el contacto y es sinónimo de posible accidente o enfermedad. Es decir, si está presente el peligro existe una cualidad

en la fuente de daño y el riesgo es una probabilidad de afectarse si entra en contacto con esa fuente en determinadas circunstancias. Esas circunstancias pueden ser diferentes si son observadas desde los ambientes donde se labora: cuartos plomados, salas de cirugía, urgencias.

Los participantes tienen conocimientos claros de cómo la relación con el riesgo produce alteraciones/enfermedades cuando se realizan los procesos diagnósticos en los diferentes servicios clínicos, saben de los efectos a mediano y largo plazo que se pueden generar, entienden lo estocástico y determinístico de la radiación, conocen que son propensos a desarrollar enfermedades catastróficas como el cáncer y otras como la esterilidad, el hipotiroidismo y cataratas, saben que por la exposición la empresa les cotiza el alto riesgo en el sistema laboral, debido a la frecuencia de exposición y la necesidad de protegerlos, aunque algunas veces los pagos al sistema de salud no son constantes, ni frecuentes y pueden estar desafiados al régimen de salud. Para *Alex* esta es una constante en su vida laboral, a pesar de entender la exposición y reconocer la empresa su peligrosidad, cuestiones administrativas ajenas a su actividad, hacen que se prioricen inversiones diferentes al pago frecuente de la seguridad social, considerando esta situación como una dinámica constante en el sector.

Para evitar el contacto con el riesgo, la ley del inverso cuadrado (Núñez, 2008) es una costumbre de aplicación laboral, que se entiende como la distancia máxima para evitar riesgos de exposición, es decir, los participantes aíslan hasta dos metros su distancia de la fuente de emisión. Los participantes dentro de su labor realizan esta actividad como algo rutinario que ejerce en su misión una disminución de contacto con el riesgo, la realizan sin planearlo y hace parte de la actividad asistencial rutinaria. Los participantes definieron el inverso al cuadrado de la siguiente manera:

*Ana*: “Lo que tenemos que saber, hacia dónde está el sensor, la distancia que aplico y siempre la norma general es que yo coloco el paciente de aquí para allá, para que me quede derecho y lejos de mí”.

*Raúl*: “Prácticamente es la distancia, entonces es la distancia la que le ayuda a uno a medir la radiación y eso lo usamos súper bien., en ese sentido la protección acá es muy buena y no se irradia uno tanto (...)”.

Conocen que el uso de equipos portátiles aumentan el riesgo de exposición, porque cuando se utilizan, no se encuentran en zonas protegidas o controladas (Resolución 482 de 2018), cuando es necesario su traslado de un lugar a otro puede generar adicionalmente lesiones asociadas con el manejo de cargas, sin embargo, menciona *Ana*: “No manejamos portátil para que estemos más expuestos”, esto es minimizar el riesgo, es limitar la exposición según lo relata la entrevistada, el uso de fuentes móviles aumenta el contacto con el riesgo, posibilidades de lesiones mecánicas por traslados, usando



fuerza propia para el arrastre del equipo portátil, existe una relación con el peligro y como resultado una lesión muscular.

Otros eventos inevitables son mencionados, como la exposición biológica durante la atención que resulta evidente cuando el cuidado de la salud se hace manifiesta en un paciente atendido que ingresa con lesiones traumáticas asociadas con pérdida de la continuidad de la piel, sangrados y lesiones en segmentos corporales traumáticos.

Los equipos que se manejan en sala tienen un control específico como lo menciona en la entrevista *Raúl*:

*Raúl*: “Gracias a Dios nosotros contamos con equipos prácticamente de última tecnología, equipos digitales, que manejan dosis de radiaciones mínimas porque son relativamente nuevos y fijos, ósea a uno le colocan la técnica, y desde que el paciente no se mueva, son estudios que se hacen bien y vamos a la fija... Esto también ayuda a que nosotros no nos irradiemos tanto porque la mayoría de equipos no necesitamos estar allá expuestos y todo, muévase para acá y habla uno y el paciente se acomoda (...)”.

### 3.2.1.2 La Comprensión

Las variables sociodemográficas son de gran importancia cuando se comprende el riesgo laboral; la edad del trabajador, el tipo de contrato, los años de experiencia, la antigüedad en el cargo, el tamaño de la empresa, el día de la semana, entre otras variables, influyen en la comprensión del riesgo. Aunque también los años de vida, la experiencia laboral y el tiempo en el cargo demuestran que los relatos suelen ser más asociados a algo común en su quehacer y que se pueden presentar en cualquier momento y generar escaso o poco asombro.

Con el uso de las entrevistas se involucran conceptos relacionados con el sentir de los participantes, haciendo un registro de cada uno de los niveles de análisis de manera que al transcribir se incluyen los detalles asociados a sus respuestas e identificando sentires, emociones y significados en cada uno de los datos narrados de la experiencia laboral frente a la comprensión del uso de la radiación como parte asistencial en sus labores contratadas, esto puede evidenciarse en la definición de riesgo laboral en el relato del participante:

*Gladys*: “(...) el riesgo laboral era todo: apuñalados del norte, el olor del revelador y además los rayos (...)”.

El relato anterior ilustra como un conjunto de fenómenos y factores influyen para entender el riesgo laboral y que afectan para ser definido, sin embargo, aunque haya un alto grado de subjetividad y

aunque como algunos autores sugieren: “Parte de una premisa básica: el riesgo es subjetivo depende de muchos más factores que el de la gravedad y la probabilidad, tal como defienden métodos tan conocidos como el de William T. Fine 1971” (Garzón et al., 2013; Slovic, 1992).

Lo anterior permite entender que los trabajadores ocupacionalmente expuestos, comprenden que se producen consecuencias cuando el riesgo se materializa, se acumula y que afecta su condición de salud. La comprensión del riesgo laboral por su parte hace concluir que existe un nexo causal que genera daños físicos y emocionales, así como lo relata *Lucy*:

*Lucy*: “(...) yo pienso que la radiación afecta a las personas que trabajan en rayos X, pues son como muy hipócritas, cizañeras (...)”.

El relato anterior muestra como no solamente la comprensión del riesgo es desde lo físico, sino también desde lo emocional, elementos de clima organizacional pueden ser determinantes para comprender el riesgo laboral, su interacción, la celeridad de los procesos, el manejo del estrés, sirven para entender como este tipo de exposición afecta también el componente emocional de los participantes y en otras condiciones trae consecuencias como el síndrome de Burnout, que en la identificación de peligros laborales muchas veces no se ha contemplado.

Esto da para preguntarse qué significa la cizaña y la hipocresía para los compañeros en un contexto laboral cuando se trabaja buscando la mejora de la calidad de vida de las personas, cumplir con la adherencia a las guías clínicas y trabajar en pro de un diagnóstico acertado, implica esto un lugar de desconocimiento de la postura del otro, poner en juego criterios individuales para comprender la radiación, incluir sentires (sentimientos y sensaciones) para definir la comprensión del riesgo según lo transcurrido laboralmente en el tiempo.

Comprender el riesgo es hacer las cosas bien, según dice *Gladys*:

*Gladys*: “(...) pero al principio si me daba muy duro, yo decía: oiga pero que tal estos, todavía trato de hacer las cosas bien y todavía criticando (...)”.

Tener respeto en lugar de miedo al riesgo es una manera de comprenderlo, incluir en su labor los principios de radio protección Normas de seguridad del OIEA (OIEA, 2007): Justificación, limitación y tan bajo como sea razonablemente posible es entre otros un argumento relacionado con la comprensión, sin embargo, el temor, miedo y daños a la salud aparecen constantemente cuando la exposición es frecuente y evidente que junto con el riesgo biológico son inevitables. Es lo que consideran la mayoría de participantes cuando definen que todo esto trae el contacto con el peligro y

consecuencias cuyo resultado termina en enfermedades como cáncer, alteraciones genéticas y daño en mucosas, así como lo narran *Gladys y Ana*:

*Gladys*: “(...) no manejamos portátil para que estemos más expuestos. Somos propensos al cáncer. Nos pueden traer alteraciones genéticas, daño en mucosa. Acá tenemos riesgo biológico porque manejamos urgencias (...)”.

*Ana*: “(...) daño a la salud, pero yo colimo no dejo todo el campo abierto (...)”.

El riesgo laboral se comprende entonces desde la emoción: “miedo”, junto con el uso evidente de equipos y daños físicos a la salud que cuando se relacionan con el peligro traen consecuencias y como resultado enfermedades que pueden estar asociadas a la supervivencia presente, si se tiene miedo, se siente amenazada la integridad física y sin recursos para hacerle frente, es decir la necesidad de trabajar y continuar, así se comprenda que cada turno y cada exposición es una traza de acumulación que tal vez a futuro pueda ser el comienzo para llevar una nueva forma de vivir.

Cuando el vínculo riesgo laboral es unido a las labores diarias, se evidencia una precisión clara de que a largo plazo se pueden presentar condiciones irreversibles que afectan la salud, tal como lo refiere *Raúl* cuando expresa que:

*Raúl*: “(...) Son ondas y partículas... ¡¡A nadie le gusta irradiarse, pues uno corre el riesgo!!”.

Podría señalarse entonces, que el riesgo laboral para los trabajadores ocupacionalmente expuestos agudiza y activa los sentidos, aumenta el estado de alerta frente a su uso y señala que la exposición frecuente a trazas de radiación, puede ocasionar efectos irreversibles, encontrándose en este grupo de participantes una alta percepción del riesgo ocupacional y una elaboración clara de las consecuencias.

La angustia que pueden sentir por acontecimientos futuros que no se ven y con los que se cuenta con escasas capacidades de resolver no se deben confundir con el estrés, debe analizarse aislado, incluso considerar que pueden acabar por generar problemas de salud diferentes. Es entonces en las jornadas nocturnas laborales cuando se siente que es necesaria la compañía, pues cuando no hay riesgo de exposición las noches son largas, sin lugar donde descansar, el espacio es frío y solo, la soledad agobia y el turno se vuelve interminable.

### **3.2.1.3 La Probabilidad**

Es definida como “la posibilidad de que la exposición al factor de riesgo en el tiempo, genere consecuencias no deseadas; dicha probabilidad está directamente relacionada con los controles que

la empresa haya establecido para minimizar o eliminar el riesgo” (ARL-SURA, 2017; Rodríguez & Rodríguez, 2017)

Desde la Seguridad y Salud en el Trabajo la jerarquización para intervención y control del riesgo incluyen cinco niveles según *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, 2016): 1) La eliminación, 2) La sustitución, 3) Los controles de ingeniería, 4) Los controles administrativos y 5) Los elementos de protección personal, de los cuales la eliminación y la sustitución no son concebidas en este proceso hasta que se generen nuevas tecnologías que impliquen o contemplen el uso de otros espectros electromagnéticos y que sean comprobados no patógenos o nocivos para el hombre.

Los controles de ingeniería implican diseños e inversión en planta física y tecnologías de punta que logren controlar y disminuir mayormente la materialización del riesgo relacionado con eventos asociados a la salud. En cambio, los controles administrativos pueden categorizar al trabajador en tiempos y espacios donde se pueda mitigar la exposición y los resultados no deseados cuando se definen jornadas de trabajo, periodos de descanso y periodicidad de controles clínicos, por su parte los elementos de protección antes descritos van de la mano de la labor asistencial para controlar la posibilidad de materializar el riesgo y minimizar consecuencias de ser necesario.

Sin embargo, la probabilidad también se concibe desde la credibilidad o también fundada en la verdad, es decir, la generación de consecuencias que aunque logren minimizarse, el participante entiende que pueden materializarse, entonces estudiar desde la materialización del riesgo implica adentrarse en el trabajador biopsicosocial teniendo en cuenta sus pensamientos, emociones y conductas, adicional a los factores sociales e individuales que desempeñan un papel significativo de la actividad humana o en el contexto de una enfermedad o concebido desde las cosas que no están dadas o descritas.

El participante sabe que debe trabajar, que debe responder, pero que también se está haciendo daño, cada día de trabajo es exponerse a algo que genera interiormente algún cambio, alguna relación intrínseca con potencialidad de daño y entonces ese componente integral del ser empieza a concebirse como algo débil, deteriorado y con muchas posibilidades para ser también concebidas y estudiadas, como lo describe *Ana*:

*Ana*: “Las radiaciones son invasivas para el cuerpo humano, nos pueden traer alteraciones genéticas, nos pueden traer cáncer, nos pueden traer daño en mucosa, esterilidad en la mujer, incluso en los hombres también”.

La influencia del trabajo genera en el participante supuestos que cada vez pueden ser confirmados, existen varios interrogantes que son demostrados por el quehacer, definen en sus pensamientos sucesos o eventos aleatorios con medidas de certidumbre de que dicho suceso puede ocurrir y esa probabilidad oscila en un concepto donde la enfermedad permanece presente.

Desde la probabilidad se entiende el riesgo laboral cuando se fundamenta en criterios asimilados desde el entorno educativo como lo define *Alex*:

*Alex*: “Y como alguna vez me enseñó un profesor: cualquier mínimo efecto produce una reacción en cadena, ósea cualquier mínima dosis de radiación que usted reciba produce un efecto, mínimo o mucho, pero produce un efecto, eso me decía un profesor. Por eso... uno debía protegerse al máximo”.

Los procesos educativos llevan a generar saberes enfocados desde el entorno cognitivo, social y personal, en este caso para definir la probabilidad desde la experiencia y según lo aprendido en la formación profesional, el concepto de riesgo laboral es concebido desde la probabilidad que se enmarca en la singularidad de lo aprendido y desde la realidad individual para generar junto con la información del entorno su propia definición, aceptación y concepto.

### **3.2.2 Cualificación profesional y entorno laboral**

La escogencia de carreras en áreas de la salud tiene un carácter humanístico en los individuos, se adquieren conocimientos y habilidades que permiten solucionar problemas relacionados con la salud y el diagnóstico clínico, en este caso el de la imagenología y que se presenta de la misma forma en los ámbitos local, regional y nacional.

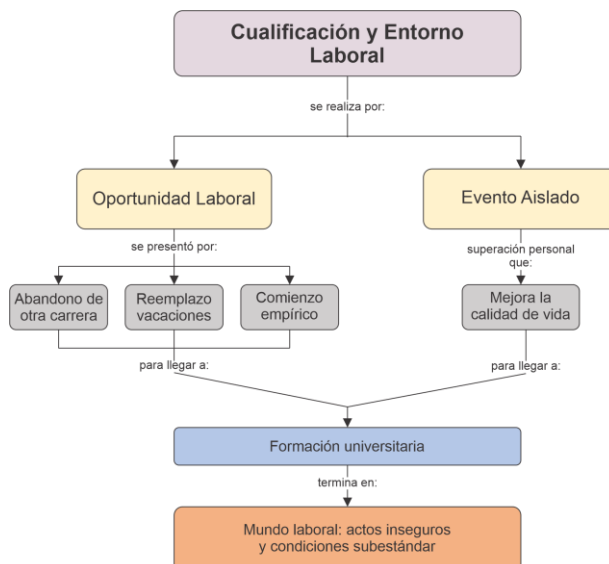
En este capítulo se darán a conocer los motivos que llevaron a un grupo de participantes a profundizar en su formación para adquirir conocimientos y habilidades profesionales a lo largo de la vida con el uso de la radiación, concibiéndolo como un proceso complejo que hace parte de su actividad laboral. El motivo de escoger estas profesiones en los participantes se resume en aspectos impulsados algunas veces por el desconocimiento, por oportunidades o por el privilegio de recibir una pensión vitalicia a corto plazo, también por disfrutar de dos vacaciones en el año o por mejorar el perfil laboral.

Desde el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), se generan las recomendaciones para cumplimiento en seguridad nuclear y protección ambiental en los países miembros y se estipulan los mecanismos de protección para la exposición a radiaciones ionizantes que se asumen regulados en leyes, decretos, resoluciones y circulares. La legislación colombiana adopta estas recomendaciones,

y en el Decreto 2090 de 2003, define las actividades que generan alto riesgo para la salud de los trabajadores y determina que el acceso a pensión sea reconocido en diferentes condiciones de los demás trabajadores del territorio nacional. Algunos detalles expuestos en el decreto concretizan las semanas de cotización, los periodos vacacionales y el porcentaje de pago asumido por el empleador al sistema pensional. En el grupo de interés se encontraron algunas de estas posturas y su relación con la exposición será detallada en esta categoría.

En la Figura 66, y como resultado de la codificación se presenta una relación grafica entre las respuestas obtenidas, la interpretación y la inclusión secuencial del análisis.

La cualificación profesional se entiende como todos aquellos estudios y aprendizajes enfocados a la inclusión y reinserción laboral, cuyo objetivo principal es adecuar y aumentar el conocimiento y habilidades de los trabajadores (participantes) a lo largo de toda la vida productiva. La formación se logra cuando el papel del centro educativo tiene la función de ser dador de formación y a la vez posibilita las identidades profesionales (Navarrete, 2013). En tal sentido, en este apartado hacemos un análisis por los conocimientos adquiridos y la inmersión en el campo laboral de un grupo de tecnólogos en imágenes diagnósticas. Esta descripción de la categoría: “Cualificación profesional y entorno laboral”, define que la instrucción se realiza en el grupo de participantes por ser una oportunidad laboral, o un evento aislado.

**Figura 6***Cualificación y entorno laboral*

Nota: Elaboración propia

La cualificación profesional se puede definir como toda capacitación enfocada para la inmersión en el mundo laboral, su objetivo es aumentar el conocimiento y las habilidades prácticas de los participantes en la labor asignada. La formación se logra cuando el papel del centro educativo tiene la función de ser dador de formación y a la vez posibilita las identidades profesionales (Navarrete, 2013). En tal sentido, en este apartado hacemos un análisis por los conocimientos adquiridos y la inmersión en el campo laboral de un grupo de tecnólogos en imágenes diagnósticas. Esta descripción de la categoría: “Cualificación profesional y entorno laboral”, define que la instrucción se realiza en el grupo de participantes por ser una oportunidad laboral, o un evento aislado.

De esta manera los hallazgos en este capítulo tienen una descripción en lo que tiene que ver con la protección de la exposición, relacionado con el grado de escolaridad universitaria y los motivos que llevan a escoger este perfil profesional, muchos de los conceptos abordados en este apartado se conocen desde lo técnico y se implementan en la práctica asistencial. En este caso, las temáticas de análisis de la cualificación profesional y entorno laboral se analizan desde los sentidos presentes en los participantes, que organizados según sus relatos permiten entender y revelar como se llega al campo laboral según las decisiones tomadas en el transcurso de la vida.

### 3.2.2.1 La Oportunidad Laboral

Se presenta cuando en un momento en la vida se generan necesidades que hacen que se tomen decisiones de independencia donde se buscan y desean cambios individuales y sociales. La necesidad de tener una oportunidad de empleo se presenta en los participantes por tres razones: a) abordaje empírico, b) reemplazo vacacional, c) abandono de carrera universitaria. Cuando se encuentra esta oportunidad laboral sin importar el motivo que impulsa el cambio, se introduce inmediatamente en el riesgo laboral, encontrándose entonces exposiciones frecuentes donde la mayoría de los riesgos radiológicos no son riesgos asumidos ya sea por el trabajador expuesto o el empleador, y esto diferencia sustancialmente de otros riesgos como los sicosociales, químicos, biomecánicos y biológicos, en este caso el riesgo físico por radiaciones en el sector de la salud puede pasar inadvertido, por tanto, es necesario reconocer que la relación entre este tipo riesgos debe incluir el conocimiento y reconocimiento que se merecen.

Según los contextos en los que nacen las personas, se desarrollan, laboran y envejecen, influyen en las decisiones laborales y oportunidades profesionales que se presenten, estos determinantes hacen que el comienzo empírico inicie en los participantes por la búsqueda de mejores oportunidades en su vida, como lo relata Gladys, empieza porque encuentra la oportunidad de vincularse con una institución y en ese momento, no se tienen exigencias de formación profesional para ejercer las actividades asistenciales relacionadas con la imagenología.

*Gladys:* “Empecé empíricamente, en ese entonces no había la carrera, era la única allá, fui creciendo y aprendiendo con ellos. Luego empecé a estudiar, hace 19 años, tres años en la universidad, fueron tres años de estudio (...)”.

Aspectos sociales, culturales y organizativos de los gobiernos, hacen necesario la profesionalización de las carreras según la dinámica poblacional y las exigencias mundiales. Los retos impuestos en la vida y la influencia normativa en salud hacen que el trabajo empírico empiece a tecnificarse y a proponer requisitos educativos para ejercer este tipo de labores. Es clara entonces, la relación con el avance tecnológico que van asumiendo los estados y con la exigencia educativa en campos como el sector de la salud.

Otros participantes relatan que empezaron con la ayuda y asesoría de las enfermeras y la orientación de los médicos que necesitaban un auxiliar en su consultorio, alrededor de 20 personas trabajaban empíricamente y fueron convocados a la universidad para profesionalizar su labor y homologar la



carrera, es así como comienza la inmersión educativa para profesionalizarse, las exigencias laborales crean la necesidad de recibir una instrucción en los participantes y obtener un grado para poder ejercer.

Entonces, inicia la formación como lo menciona *Alex*:

*Alex*: “Yo empecé hace 20 años y luego tuve tres años de formación”.

Se reciben instrucciones que hacen más sólido el proceder profesional y que junto con la experiencia se conjugan para demostrar competencias en el ambiente laboral, sin embargo, los mismos participantes reconocen la necesidad de la constante actualización con el fin de ser competentes en la actualidad, tal como lo relata *Alex*:

*Alex*: “Ya estoy supremamente desactualizado, lo que yo hacía ya no se hace”.

Esta aseveración hace pensar que en esos primeros inicios y antes de tecnificar las carreras o mejorar la tecnología, se podían encontrar mayormente riesgos asociados a la labor contratada, la manipulación de equipos manuales tipo Chernóbil y otros más de uso antiguo con el que se hacían mamografías y se mantenían todo el día encendidos como lo relata *Alex* y que se refiere al equipo emisor como “chéchere”, elevan la ponderación de la exposición a circunstancias donde seguramente los blindajes y la protección solían ser escasos, junto con los requisitos locativos de cumplimiento que al día de hoy cuentan las instituciones de salud. Sin embargo, otros participantes que asumen también la formación desde el inicio empírico y actualmente ejercen su labor, han sido partícipes de los cambios tecnológicos y valoran la tecnología que actualmente usan, tal es el caso de *Raúl*:

*Raúl*: “Acá contamos prácticamente con equipos de última tecnología, equipos fijos. ¡o sea a uno le colocan la técnica!”

Claramente las manifestaciones gratas por el uso de la tecnología actual refieren que los avances tecnológicos se perciben desde el propio ser y se manifiestan según la percepción individual. Al generar esta comparación y describir que la técnica está programada en el equipo, expone claramente que la manipulación de la programación puede generar frecuencias diferentes que puedan ser nocivas para el paciente o el trabajador. Todas las actividades diagnósticas que impliquen la mínima intervención humana tienden a generar subjetividades en su uso, sin embargo, con extrema frecuencia la ceguera que genera un procedimiento automatizado puede dejar el acto clínico huérfano, sin alma, sin ética. Y se encuentran procesos diagnósticos que se limitan a tiempos para orientar una patología

y se olvidan los pre saberes que fueron concebidos en el ámbito estudiantil cuando se perseguía ser un profesional formado con altos niveles éticos y científicos para la sociedad, haciendo notar que la práctica clínica está colmada de automatismos ciegos, que ofrecen respuesta a las necesidades del sistema y dejan aislada la correlación clínica que puede realizarse, que es necesaria y que las nuevas tecnologías pueden deslumbrar, pues modernas o antiguas, todas tienen sus riesgos.

Algunas veces, colegas salen a vacaciones y es la oportunidad para el inicio laboral de otros, como es el caso de *Lucy*, que inicia su actividad laboral por un reemplazo vacacional:

*Lucy*: “Entré a trabajar haciendo unas vacaciones en la Clínica, hacia vacaciones, compensatorios y después turnos (...)”.

Cuando se entrega compromiso suficiente en la oportunidad laboral y se demuestra que se pueden continuar realizando actividades asistenciales, es el inicio que marca la trayectoria de vida de *Lucy*, quien describe el transcurso de su vida entre el uso de radiaciones y su crecimiento personal y económico, usando constantemente la radiación en el área de la salud, específicamente en la intervención diagnóstica, trabajando hasta en dos lugares diferentes y supliendo muchas veces las necesidades de sueño y descanso, considera *Lucy* que:

*Lucy*: “Si uno quería tener algo, tocaba trabajar en dos lados para tener algo medio bueno... yo soy muy ahorradora, yo tengo buen apartamento, buen local, buen carro y me gusta mucho viajar (...)”.

Las proyecciones individuales se logran en los participantes, cuando realizan de manera constante funciones asistenciales y organizadamente definen sus inversiones durante el proceso diario entre la exposición y su quehacer laboral. También considera *Lucy* que otros tienen diferentes prioridades, asegurando:

*Lucy*: “Yo tengo compañeros que realmente no han hecho nada, porque trabajan y trabajan y cogen la plata y no sé, la vuelven plata de bolsillo”.

Para otros el inicio de las vacaciones no fue el comienzo en sus carreras, pero si ha sido un constante goce mientras están trabajando, *Ana*, comenta que:

*Ana*: Llevo 18 años en esto, siempre he salido a las vacaciones que me corresponden, he trabajado más lo que es mamografía, rayos X convencional y estudios especiales, pero ya son muy pocos: colon por enema y urografía que era lo más normal en rayos.

Las vacaciones bajo la luz de la norma, son merecidas después de cumplir tiempos laborales y proporcionan un descanso que se relaciona con periodos para disminuir los efectos de la exposición, asociados a cambios por el uso constante de la radiación, en otros casos como lo menciona *Raúl*:

*Raúl*: “Con ciertos parámetros de medición lo mandan a uno a vacaciones y si digamos uno ya tiene las vacaciones, entonces le dan unos días para que el cuerpo se desintoxique (...)”.

Esto refiere que la sobreexposición ha estado presente en el área de trabajo y cuando es cuantificada y se observan límites superiores al umbral permitido, se toman decisiones administrativas para evitar lesiones que desencadenen en enfermedades asociadas al uso de la radiación. Para otros como *Alex*; las vacaciones no fueron la oportunidad de inicio en el campo laboral, sino la prohibición del goce de las mismas:

*Alex*: “Yo duré ahí como 8 años más o menos creo yo, nunca hubo vacaciones, eso hacia parte de la parte administrativa, a pesar de que ellos sabían que, por norma, por ley, uno debe tener vacaciones 15 días cada seis meses, no se cumplían debido al modelo de contratación, no había partidas, primero para que hubiese un reemplazo y lo otro para que uno saliera a vacaciones porque generalmente se contrataba por prestación de servicios y a veces por diferentes modelos”.

Empieza a revelarse según sea el caso, incumplimientos normativos que hacen que se modifiquen y vulneren condiciones contempladas en códigos laborales y que son derechos fundamentales en las sociedades. Algunas de estas particularidades deben ser tenidas en cuenta en el análisis y lograr hacer injerencia entre la exposición y cambios en la salud que a futuro puedan ser encontrados.

El motivo de ingreso al campo laboral se presenta cuando otras decisiones coaccionadas por factores individuales o eventos aislados impulsan a cambiar el horizonte profesional, es el caso de *Gladys*:

*Gladys*: “Soy una abogada frustrada, si... yo estudié derecho, estudié dos semestres, quedé embarazada, mi papá me quitó todo, todo apoyo económico, por lo tanto... bueno... Y por cosas de la vida llegué a estudiar Radiología”.

Las reflexiones que se asumen en la vida son el inicio de un nuevo destino, la mayoría de las veces se presentan obstáculos, pero junto con la perseverancia logran superarse.

Cualquiera de los motivos que impulsaron a los participantes a introducirse en la formación profesional, tienen en común decisiones que fueron el comienzo para ahondar en la exposición a la radiación y terminar finalmente en un entorno laboral.

### 3.2.2.2 Ingreso al mundo laboral

Al ingresar al mundo laboral se encuentran actos y condiciones inseguras en todas las profesiones, en todos los campos, y en todas las actividades contratadas que desde la Norma Técnica Colombiana (NTC 3701) son estudiados. Para el análisis de la exposición a la radiación y teniendo en cuenta la escolaridad recibida se realiza un abordaje integrando los conceptos técnicos con las respuestas interpretadas, para esto se tiene en cuenta las definiciones de la NTC 3701 y el análisis de causalidad.

- Causas inmediatas: son las circunstancias que se presentan antes del contacto, que producen la pérdida (accidente, enfermedad); se dividen en actos inseguros y condiciones subestándar.
  - Acto inseguro o subestándar: “es todo el acto que realiza un trabajador de manera insegura o inadecuada y que proporciona la ocurrencia de un accidente de trabajo” (NTC 3701) (ICONTEC, 1995).
  - Condición insegura o subestándar: “situación que se presenta en el sitio de trabajo y se puede definir como la presencia de riesgos no controlados que pueden materializarse y generar accidentes de trabajo o enfermedades laborales” (NTC 3701) (ICONTEC, 1995).
- Causas básicas: “corresponden a las causas reales que se manifiestan después de los síntomas; son las razones por las cuales ocurren las causas inmediatas, las componen los factores personales y factores del trabajo” (Res 1401 de 2007)
  - Factores personales: son el conjunto de actitudes fisiológicas, psicológicas, motivacionales y de conocimiento que se pueden cambiar conscientemente.
  - Factores del trabajo: están relacionados con la supervisión, el uso de equipos, el liderazgo y la ingeniería.

Cada participante, reconoce que los actos subestándares son situaciones potenciales de daño, entiende que la exposición puede limitarse si los comportamientos son coherentes con el actuar y como lo define un protocolo, sin embargo, en algunos casos los procesos son prioridad y pueden encontrarse situaciones donde está la vida del paciente y se pueda generar una exposición adicional.

Las condiciones subestándares son en general una adaptación al espacio físico donde se quiere laborar, en algunos eventos los servicios diferentes a las áreas de Rayos X, presentan espacios que no son aptos para el desarrollo de las actividades asistenciales, se requiere entonces hacer una inspección general que necesita experticia y tecnicismos para que lo aprendido logre ser realizado, empieza acá a implementarse mecanismos de blindaje como los biombos, de aislamiento como la distancia y de alerta como los datos conceptuales (jerga) (Martínez M., 2014).

### 3.2.2.3 Formación Universitaria

La formación universitaria en algunos casos comenzó por ser una oportunidad laboral futura, algunas veces asumiendo labores de manera empírica y que luego se perfeccionó con la formación académica. *Alex*, define que la formación recibida sirvió para lograr hacer las cosas bien, para encontrar respuesta a aquellas imágenes que siendo reveladas orientan un diagnóstico acertado de sus pacientes y resalta: “Yo las estude y las conocía muy bien, para que, no me quejo del programa...”.

La solidez en la formación y la academia, definen el alcance de los estudiantes cuando el propósito del aprendiente es lograr perfeccionar lo que le han enseñado. Esta formación es concebida por los participantes que se titularon como Tecnólogos en Imágenes Diagnósticas como una formación integral, que se complementa con la experiencia, en todo momento la catedra recibida fue esencial en su labor profesional, es concluyente cuando se trata de predecir una patología con la observación de las imágenes y por su formación se cuenta con el criterio suficiente para aportar en el diagnóstico clínico, un caso particular menciona *Alex*, cuando relata que trató de estudiar patología radiológica para saber a qué se enfrentaba, cuando recibía un paciente con herida de arma blanca.

*Alex*: “Una vez venía un muchacho remitido de una clínica y le habían dicho que no tenía nada, por eso el acudió donde yo trabajaba y el médico le había dicho lo mismo, pues no le encontraba nada importante, pero yo vi un neumotórax, era pequeño, yo vi la línea, el borde del pulmón colapsado y le dije: ¡Este paciente tiene un neumotórax!”.

La emoción de la narración cuando se alcanza un grado certero en el diagnóstico permite concluir que el desarrollo profesional se fundamenta en los principios y bases de la formación, el participante valora los contenidos, transmite la integralidad y define el profesionalismo, se siente preparado para poder observar detalles que a simple vista pueden pasar inadvertidos.

### 3.2.3 Incidentes laborales

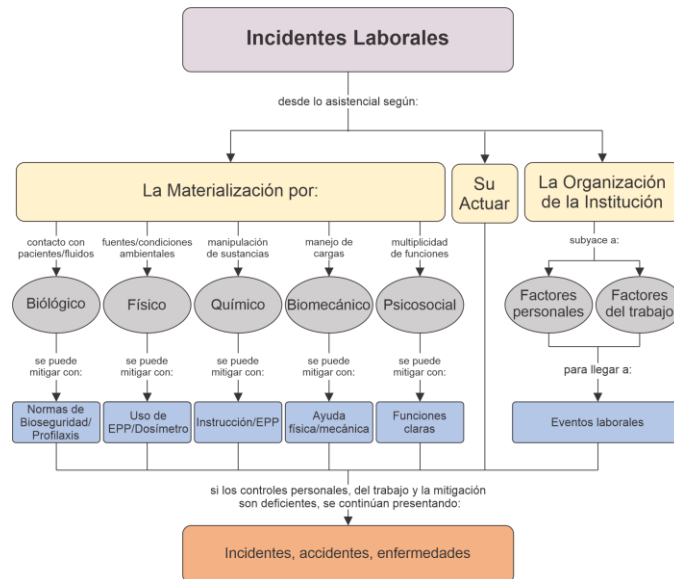
Este análisis se fundamenta en los tipos de incidentes laborales que fueron descritos por el grupo de participantes en esta investigación, su análisis incluye la interpretación detallada de sus respuestas cuando describen los eventos que en algún momento fueron considerados casi-accidentes y que, desde la comprensión en el tema y la literatura son analizados considerándolos en una posible materialización laboral.

Los participantes conciben los incidentes laborales desde la posible materialización, es decir, la conversión en un accidente, también desde la organización unido a procesos administrativos y

gerenciales y desde su propio actuar combinando su experiencia y conocimiento. Para entender esta categoría se diseñó la Figura 77 que ilustra su comprensión.

**Figura 7**

*Incidentes laborales*



Nota: Elaboración propia

Los incidentes laborales muestran que su ocurrencia es habitual, sin embargo, no todos son reportados, ya sea por desconocimiento, porque no generan secuelas o incapacidades, o por olvidos, existen subregistros en su notificación y no todos son investigados, la mayoría de ellos no ocasionan lesiones aparentes y pueden pasar desapercibidos. Para la OSHA (Administración de seguridad y salud ocupacional de los Estados Unidos), la definición de incidente con lesión es considerada accidente y utiliza la definición “incidente” cuando no existe lesión aparente.

Para Pearson por cada accidente mortal, existen 400 incidentes que sucedieron en la empresa antes de ocurrir el suceso y muchos de ellos pasan inadvertidos o sin ser analizados.

Modelos concatenados como el de Heinrich en 1931, (teoría del efecto dominó), consideran que: “el 88 % de los accidentes están provocados por actos humanos peligrosos, el 10%, por condiciones peligrosas y el 2 % por hechos fortuitos, además considera una “secuencia de factores”, en la que cada uno actuaría sobre el siguiente de manera similar como lo hacen las fichas de dominó, que van cayendo una sobre otra, considerando una posible secuela más grave cuando llega al final” (Botta, 2010; Heinrich, 1931)

Para reflexionar sobre la materialización de los incidentes en eventos laborales, se tienen en cuenta los relatos hechos por los participantes, la probabilidad de materializar un incidente a lo largo de su vida laboral y dimensionar la caracterización según algunos “tipos de riesgos” en seguridad y salud en el trabajo.

### 3.2.3.1 Incidente Biológico

La exposición percutánea y el contacto o exposición a mucosas o piel no intacta hacen que se presente un accidente biológico. Aunque los términos pueden ser considerados sinónimos la principal diferencia con el incidente radica en las consecuencias sobre la integridad física y psicológica que se generen en el trabajador. El evento repentino que relatan los participantes se pone a consideración en los relatos para ser interpretado cuando lo manifiestan en el proceso asistencial como lo menciona *Lucy*:

*Lucy*: “En una oportunidad atendimos a una niña con meningitis de noche, entonces obviamente allá nos pusieron a todos a tomar el antibiótico, a todos los que tuvimos que ver”.

En esta afirmación se describe claramente el flujograma general de actuación frente a un evento de tipo biológico, una secuencia derivada de la atención asistencial que denota una exposición biológica y que es entendida por el participante, narrando la serie de actividades que se realizan. Este caso revela que la percepción del riesgo es aumentada frente a este tipo de exposición, refiere con claridad el proceder frente a una exposición biológica, describe que su interacción exige la notificación y que trae el uso de profilaxis preventiva para todos los contactos. El participante entiende que el tratamiento impide su materialización y que es necesario realizarlo.

Para *Alex*: “Muchas veces tenía hasta que barrer el sitio, me tocaba hasta limpiar vómitos, trapear orines, hacer de todo”.

Es una narración donde el contacto con líquidos de precaución se presenta en el lugar de trabajo, el trabajador lo asume dentro de sus responsabilidades y realiza una manipulación que claramente denota una exposición biológica.

El manejo y manipulación de fluidos o líquidos de precaución universal son considerados altamente patógenos porque pueden contener agentes susceptibles de generar enfermedades infectocontagiosas en los humanos. La observación de estas conductas y las lecturas de las interpretaciones hacen considerar que se puede encontrar una materialización clara de la exposición que desencadena en un posible accidente. La multiplicidad de funciones relacionadas o no con la actividad laboral, confunden la misión del profesional, se combinan peligros, actividades domésticas y asistenciales en un mismo

escenario, dando la posibilidad de conectar eventos en una cascada de actividades realizadas al mismo tiempo.

Cuando se logran analizar los incidentes de tipo físico se pueden descubrir un número de significados de eventos que narran los participantes, *Ana* detalla algunos apartes como:

*Ana*: “El cuarto oscuro allá es realmente muy pequeño, esa sala de rayos es fría y oscura”.

Se contempla desde factores como la iluminación, el confort y el espacio físico de las instalaciones que junto con las condiciones ambientales y siendo clasificadas en el peligro físico hacen parte de un conjunto de causas que cuando se combinan y/o extralimitan pueden lograr que un accidente pueda presentarse o materializarse. La arquitectura de los lugares y sus condiciones ambientales hacen parte de la jerarquización de controles que la empresa desde lo administrativo debe intervenir, garantizando estándares mínimos de cumplimiento normalizados como lo menciona la legislación.

En cambio, *Raúl* relata que el concepto de incidente laboral es asociado al riesgo físico por radiación y menciona eventos que son consignados en registros empresariales que hacen pensar en su integridad, en su ser, en su actuar:

*Raúl*: “En alguna ocasión las dosimetrías alcanzaron a pasar por encima del límite permitido, entonces me mandaron a descansar, eso fue hace como 12 años, pero nunca se supo (...)”.

Existe una preocupación que claramente se evidencia en un reporte dosimétrico, es un incidente. Su relato confirma que el desconocimiento del evento lleva a la no investigación, se deja un vacío en el cómo y por qué suceden los eventos, el trabajador no logra diferenciar ni magnificar a largo plazo su posible daño, sin embargo, lo interroga, lo pregunta, se refiere a los efectos negativos futuros para su salud (Collett et al., 2020).

La empresa entiende que existe un estado de alerta frente a un número o reporte, un valor que supera el límite permitido, pero no aclara lo sucedido, su actuar es tímido frente al trabajador. Desde la Seguridad y Salud en el Trabajo estos eventos son evidenciados en la legislación y deben ser investigados con el fin de encontrar barreras que hayan sido permeadas y se puedan materializar en accidentes laborales. La jerarquización de control en Seguridad y Salud en el Trabajo (ISO 45001) claramente está fallando, la injerencia administrativa y de ingeniería no describen por el participante controles frente al incidente.

Considerando las fuentes emisoras como agentes potenciales de peligros cuando entran en contacto con el participante y se convierten en riesgos que pueden ocasionar incidentes, se encuentran relatos como lo menciona *Alex*:



*Alex*: “En angiografía uno está expuesto al rayo directamente, uso gorro y gafas, siempre dura más tiempo, esos son incidentes diarios (...)”.

El participante conoce del peligro, sabe que el riesgo es la exposición y que el elemento de protección mitiga el efecto del riesgo, lo atenúa. Pero añade el tiempo, es decir, se usan controles, pero si la exposición es prolongada las consecuencias son mayores. En el caso de la radiación ionizante se tienen elementos “trazas”, ondas o partículas que se encuentran dispersas y que después de un corto tiempo, son absorbidas o desaparecen del ambiente laboral. El contacto con el equipo emisor genera a veces miedo o respeto por su manipulación. Cuando la exposición se presenta sin interrupción, se espera una relación constante entre el número de peligros detectados y la causalidad directa con futuros incidentes, que junto con la eficacia de controles existentes en el sitio de trabajo ponderan el nivel de deficiencia (GTC 45). Incluir en el análisis el nivel de deficiencia hace pensar en la frecuencia de exposición que cuando es superada se aumenta entonces la probabilidad de ocurrencia de eventos no deseados, para realizar su cuantificación se deben tener en cuenta medidas y métodos prácticos de protección como la distancia, el tiempo y el blindaje (Vinet & Zhedanov, 2011), que conjugados con la labor asistencial deben ser tenidos en cuenta, como lo relata *Alex*:

*Alex*: “Además, la radiación dispersa, la radiación secundaria, la radiación del paciente (...)”.

Considerar o clasificar en un evento más de un motivo de exposición, revela que el participante entiende las diferentes longitudes que puede tomar la radiación cuando es utilizada en el proceso asistencial. Una sumatoria de exposiciones que en un solo acto médico se encuentran presentes, el participante lo sabe, lo conoce, entiende que es su ser, siente que son incidentes que están ahí en su quehacer diario.

Cuando se trata de una atención de urgencias o de ofrecer un diagnóstico oportuno a un paciente se acude a colaboraciones en la atención, *Gladys* comenta:

*Gladys*: “A veces toca en un neumotórax tratar de sentar al paciente con camillero y auxiliar, porque toca vertical, entonces ahí se exponen todos”.

Existen procesos asistenciales donde está comprometida la vida del paciente y hacen que la prisa sea mayor, se requiere celeridad en el proceso y que la atención sea rápida, estas actividades demandan un actuar veloz y sin esperas, la necesidad de ofrecer un diagnóstico oportuno para realizar una intervención hace pensar: ¿es necesaria esa exposición al camillero?, ¿al auxiliar?, la postura lo exige, entonces la exposición de otros trabajadores con diferentes funciones asistenciales, ¿es necesaria?, y se derivan otras preguntas relacionadas con el uso de protección y la acumulación de incidentes por exposición que de manera concatenada pueden ir materializándose.

Estas eventualidades y constantes ayudas son incidentes que hacen parte de la labor asistencial, cuando la frecuencia es aumentada pueden ocurrir lesiones independientes de su severidad, estos son incidentes y cuando la frecuencia de exposición es alta puede convertirse en accidente o enfermedad.

Otros relatos hechos por *Gladys*, muestran la necesidad de ahondar en detalle cuando de protección se trata, tomar la iniciativa para comprobar la eficacia de protección de los elementos cuando la seguridad no se siente completa o proporciona falsa seguridad:

*Gladys*: “Con esos EPP, hemos tenido varios inconvenientes: dejaban pasar las radiaciones (...)”.

Estas conclusiones son hechas por comprobación, el trabajador usa los elementos de protección personal y con los equipos de trabajo realiza sus controles de calidad para conocer el estado real de los elementos y sacar juicios de la protección que utilizan. Es frecuente en imagenología que los trabajadores usen el fluoroscopio para hacer imágenes a los elementos y comprobar la utilidad de los mismos, es una estrategia que artesanalmente permite conocer el poder de penetración o blindaje que el elemento tiene frente al rayo, proporcionando desde esta perspectiva un estado de seguridad o confianza.

*Raúl*: “Una fuente de esas cayó en el baño y se dieron cuenta que había una fuga de radiación, entonces sellaron el sitio y así continúa (...)”.

Estos eventos no son frecuentes en el ambiente laboral, pero pueden presentarse, en esta descripción la mayoría de veces las fuentes radioactivas por desconocimiento suelen ser manipuladas, un contacto cercano provee la cantidad suficiente de ondas o partículas para inducir cambios con efectos no deseados a corto o largo plazo en quien entra en contacto con ellas. Solo los cierres y/o el encapsulamiento de las áreas permitirá que con el correr de los años que la radiación sea atenuada. Estas narraciones asociadas con la manipulación dejan un escenario de investigación de posibles causas o eventos raíz que concluyan como un desconocimiento generalizado puede afectar una población y que aun pasando el tiempo continúe sin aclararse.

Realizando una vinculación de hechos y encontrando antecedentes que materializan eventos sicosociales, aparecen relatos que se logran atribuir a consecuencias de los sucesos narrados por *Alex*:

*Alex*: “La gente no iba a decir que era el hospital, sino que era uno (...) a veces llega gente agresiva a pesar de que uno está prestando un servicio”.

El participante se siente condicionado a creer ser culpable, usa las estrategias y herramientas disponibles para solucionarlo, pero el sistema de salud es así, la raíz de la culpa proviene del sistema, se deriva de la atención, del manejo de la oportunidad y del incumplimiento de los atributos de la atención en salud (Rosas et al., 2013).

Otros eventos relacionados con lo comportamental y el actuar ponen de manifiesto la compatibilidad en las relaciones personales, así lo detalla *Alex*:

*Alex*: “Una vez el gerente me llamó y me culpó a mí por el consumo de placas”

Entonces, situaciones relacionadas con el actuar profesional desencadenan en eventos de responsabilidad y culpa, que son derivados de la atención profesional o del mismo sistema en salud. Pero también se condiciona a sentir responsabilidades como propias cuando el ejercicio profesional así lo requiere, asume y revela un malestar propio que demuestra un sentimiento de culpa unido a la responsabilidad.

Se puede alterar entonces la relación entre el derecho a la nutrición y la jornada laboral, que desencadenan o se pueden convertir en eventos de interés organizacional:

*Alex*: “Me quedaba sin almuerzo o tenía que almorzar a las carreras”.

Factores como la organización del tiempo, las habilidades para trabajar y la agilidad pone de manifiesto que, si no se poseen, los resultados se pueden ver afectados en la prolongación de la estancia laboral, supresión o aplazamiento de actividades humanas. Adicionalmente otras situaciones administrativas ajenas a la atención, infraestructura y tecnología presentes en el sistema de salud, son reales y se ponen de manifiesto en los participantes:

*Alex*: “No me cancelaban sueldos, me quedaron debiendo dinero”.

Situaciones reales que no son ajenas al sentir generalizado de los profesionales de la salud son evidentes en los participantes, comparten y tienen en común los retrasos y la inusual frecuencia de periodicidad de pagos. Estos sentires son la relación entre el clima laboral, la organización empresarial y el riesgo basal propio de la labor, tienen efectos causales independientes en el riesgo por exposición a la radiación, asumiendo multiplicidad de causas y la posible generación de accidentes de varios tipos. Existen axiomas implícitos de que los accidentes tienen causas, su comprensión y su impacto pueden contribuir a generar estrategias de intervención que transforman las cadenas causales, reduciendo o impidiendo el riesgo de que el incidente se materialice en accidente (Hoyos, 1992).

Es entonces el clima laboral el que representa el conjunto de actividades que la empresa realiza de cara a la seguridad y salud en el trabajo (Hoyos, 1992), esta variable se conjuga directamente con la respuesta de la gerencia, los superiores de la empresa, la respuesta de los compañeros, la conducta de seguridad individual y el riesgo real. La relación es directamente proporcional con la generación de incidentes y la magnificación de eventos que son identificados.

Otros incidentes reconocidos hacen parte de una rutina laboral, se pueden presentar, solucionar y en otras ocasiones generar incertidumbres, tal es el caso de *Raúl*:

*Raúl*: “Un día se apagaron los controles, los tacos de la electricidad y ni idea que hacer, pues eso queda prendido”.

Dentro de las salas de imagenología existen protocolos de uso que deben ser realizados paso a paso, estos eventos pueden ser manejados con detalle cuando se tiene la instrucción, el relato demuestra un desconocimiento frente a un suceso fortuito donde no se pone en práctica un protocolo de actuación. Esto genera incertidumbre por no saber qué hacer y se hace evidente, manifiesta, se encuentra entonces una categorización factores causales del error: la comunicación hombre-máquina, el ambiente y la toma de decisiones (DeJoy, 1988), generan confusión por algo inesperado, por no saber cómo actuar.

Otros incidentes relacionados con la labor asistencial son narrados en las entrevistas, en sus relatos se encuentran asociaciones con el manejo de sustancias químicas que generan incidentes:

*Alex*: “El revelador y el fijador emiten vapores, uno tenía que leer las instrucciones para conocer ese tipo de riesgos y pues siempre era estresante”.

El uso de sustancias químicas siempre tiene un riesgo innato, muchas sustancias en su estado natural o combinado producen reacciones, incluso súbitamente. El propósito de un instructivo es proveer y seguir las instrucciones de manejo. Cuando la percepción del riesgo es disminuida y se combinan con actividades diferentes, se derivan sensaciones que desencadenen y denotan que la instrucción no es clara, se genera entonces una posible exposición por el uso de sustancias químicas enfocadas en el desconocimiento y se sienten angustias, estrés...

La multiplicidad de las tareas y funciones es otra constante de los participantes de interés, en este caso muchas de estas actividades se encuentran presentes en estos participantes, *Alex*:

*Alex*: “Tocaba hacer fuerza para pasar el paciente a la camilla”.

El sobreesfuerzo en la labor asistencial puede derivar de la multiplicidad de las labores cuando no se tienen herramientas biomecánicas para realizar estas actividades, los traslados de pacientes requieren de conocer puntos de apoyo y una higiene postural que exige preparación como soporte. En este caso el trabajador se queja, dice que realiza sobreesfuerzos, expone sus necesidades, quiere y manifiesta que lo ayuden cuando traslada pacientes, cuando usa su fuerza manual. Se puede materializar un accidente biomecánico que termina en lesión, es necesario conocer la frecuencia de la actividad y su severidad.

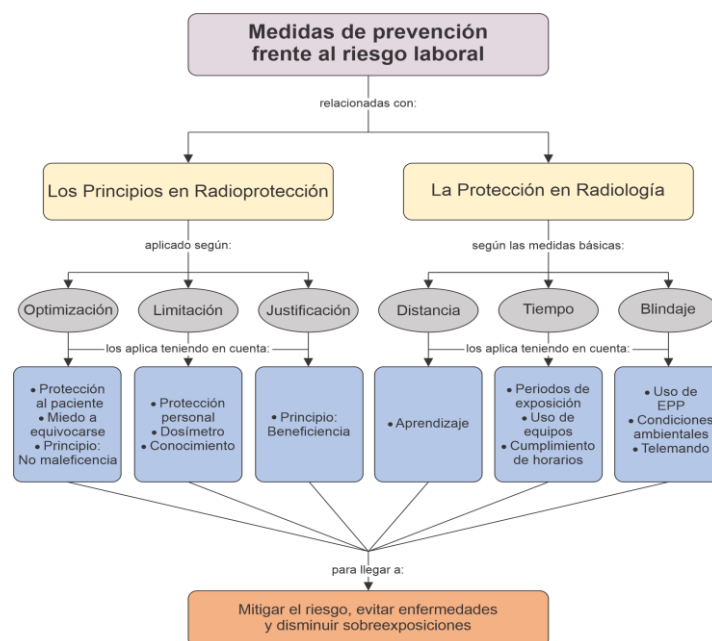
### 3.2.4 Medidas de prevención frente al riesgo laboral

En este apartado de la investigación se realiza un análisis enfocado en el uso de las medidas de prevención empleadas por los participantes, incluye su análisis un abordaje desde lineamientos legales y de obligatorio cumplimiento, para esto se realiza una comparación entre lo descrito y lo sugerido normativamente, se usa flexibilidad y sensibilidad para «reconocer» lo que sucede durante la indagación, y con pensamiento crítico construir el análisis de la categoría.

Las medidas de prevención frente al riesgo son relacionadas con los principios de radioprotección y con las medidas básicas en radiología, para comprender la categoría se diseñó la Figura 88 que esquematiza su interacción.

**Figura 8**

*Medidas de prevención frente al riesgo laboral*



Nota: Elaboración propia

El análisis de la información recolectada ha sido realizado según el proceso de uso, es decir durante la labor, con base a la percepción del riesgo individual, su experiencia acumulada, teniendo en cuenta “los principios de la radiación” y las “medidas de protección” utilizadas en radiología. Entonces las medidas de prevención frente al riesgo laboral se relacionan con los principios de radio protección que, entendidos desde la radiobiología, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) en su recomendación No 60 los define como:

#### **3.2.4.1 Optimización**

Se fundamenta en el principio de que las exposiciones a radiación deben ser mantenidas a niveles tan bajos como sean alcanzables, sin dejar a un lado factores sociales y económicos (OIEA, 2004). Toda dosis utilizada implica cierto tipo de riesgo; entonces las dosis deben reducirse cada vez que sea posible (Principio ALARA: ICRP No 26), esta reducción no será permanente, se debe estudiar todo tipo de costos como: económicos, sociales e individuales (ICRP 105, 2011).

La declaración conjunta entre la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en el llamado de Bonn a la acción No 2 (OIEA & OMS, 2012), propone mejorar el principio de optimización de la protección y la seguridad, asegurando niveles de referencia de diagnóstico para los procedimientos radiológicos e intervencionistas; fortaleciendo programas de calidad para exposiciones médicas, implementar criterios armonizados para pacientes y soluciones tecnológicas para el registro de exposición, dentro de una agenda a desarrollar hasta el año 2022.

Para comprender la optimización de la dosis, enfocada en las medidas de protección entre: equipo emisor, paciente y participante, se deben entender y aplicar conceptos académicos claramente definidos que pueden orientar el acto clínico y el sabio proceder sin incurrir en error, así lo menciona:

*Raúl: “Lo aprendí en cuatro semestres en la universidad”.*

La optimización debe ser lo razonable, debe entenderse desde la comprensión del uso, desde el mismo proceder que implican una combinación teórica con lo aprendido y su manipulación, mantener la exposición de los pacientes al mínimo y lograr el objetivo diagnóstico o intervencionista requerido (OIEA, 2016). Entender el uso de las magnitudes, logra un proceder ordenado donde el participante utilice valores que son referencias mínimas para la no maleficencia. Frente a la toma de decisión ante un procedimiento médico con radiaciones ionizantes, el profesional debe tener en cuenta los 4 principios de la bioética.

En este momento es condicionante al ejercicio profesional la experiencia, su sentir, su actuar, la decisión de uso es individual y depende de cada trabajador el uso correcto e interiorizar el propio cuidado, el cuidado del ambiente y también del paciente, esto es no hacer daño, causar dolor, incapacidad o matar a otro (Siurana Aparisi, 2010).

El participante asimismo concibe el riesgo desde la afectación al paciente, tal es el caso como lo menciona *Ana*:

*Ana*: “El sensor debajo de la mesa (¡inverso cuadrado!). Yo cuadro al paciente y cierro la puerta”.

Tiene en cuenta la optimización como cuidado al usuario, rescata al paciente, tiene un balance entre el uso de la distancia, ubicación de posturas y ángulos de ajuste para que la radiación absorbida sea menor, evitando sobreexposición o repetitividad en procesos. Esto es seguridad al paciente, posturas anatómicas que se fundamentan en principios de la bioética y se puede resaltar la “no maleficencia”, en este caso las medidas de prevención se unen al quehacer en el acto clínico.

Además, surgen nuevamente elementos de orden emocional que se relacionan con el uso de la radiación y la propensión al cáncer, la relación miedo a equivocarse está presente, se hace manifiesta, la medida de prevención es útil y proporciona seguridad, pero el participante sabe que existen elementos trazas que pueden ser absorbidos, dispersos, teme, sabe de sus magnitudes y consecuencias, le hacen pensar en su ser, en su salud; para *Ana*:

*Ana*: “(...) pues, estamos hablando: somos propensos al cáncer (...)”

Este es el principio de radio protección que contempla el uso óptimo de la radiación: ALARA, entre más bajo sea su uso debe ser razonadamente posible, pero el trabajador teme por su ser, tiene en cuenta que pueden existir situaciones que exponen su cuerpo, que inducen cambios, que se pueden presentar. Es entonces la obligación de hacer el bien para minimizar la exposición y prevenir el daño (Siurana Aparisi, 2010), aun en términos probabilísticos sigue siendo concebido.

### **3.2.4.2 Limitación:**

La cantidad de dosis de radiación que reciba una persona nunca deberá superar los límites permitidos siguiendo las especificaciones para cada circunstancia y según lo establecido por la ICRP 103 (ICRP, 2007). Aunque existen valores de referencia de exposición para las personas ocupacionalmente expuestas y para el público general, siempre generan incertidumbre y una difícil comprensión el sistema ALARA y el límite de dosis, muchos de estos fundamentos radiobiológicos son complejos e inciertos, algunos se han tomado como referencia extrapolada de los sobrevivientes de grandes

catástrofes mundiales como los bombardeos atómicos en Hiroshima y Nagasaki en 1945, el accidente de Chernóbil en 1985 y el Tsunami de Japón en 2011 (UNSCEAR, 2018), así, para el paciente se evalúa el riesgo beneficio en lugar de la limitación de la dosis (IAEA safety standars-46) (OIEA, 2016). El participante conoce, entiende y sabe las consecuencias de la radiación, sin embargo, sabe que existen barreras que permiten mitigar el riesgo y formas de cuantificar sus dosis promedio en periodos de tiempo, así lo refiere *Alex*:

*Alex*: “Me ponía el dosímetro, además de los guantes (...)”.

Interpretado desde el principio de radio protección “Limitación”, describe que en su actividad lo realiza, esto es tener en cuenta la magnitud y recordarla junto con el límite de exposición. El uso de barreras que limitan su penetración se asocia al principio, es un control personal, sabe que no puede superar los límites máximos de exposición y se protege. Para *Ana*:

*Ana*: Los dosímetros con el rango de exposición, la colimación, el blindaje y la puerta cerrada.

Esto es una descripción teórico-práctica para protección radiológica, que da cuenta de principios como la limitación, se tiene un concepto claro sobre medidas para prevenir el riesgo, conoce límites máximos y mínimos de exposición, periodicidad de mediciones, frecuencia de uso, de exposición. Otras medidas de prevención con relación a los ambientes laborales son descritas en el participante; colimar es limitar, confinar un espacio, es evitar dispersión, disminuir absorción y posible daño.

### **3.2.4.3 Justificación**

Para la ICRP “una exploración radiológica está justificada porque el beneficio obtenido es mayor que el riesgo y optimizada según la tecnología, y tendrá en cuenta por todos los medios posibles que la dosis recibida por las personas o por un grupo de personas sea lo menor posible, siempre que las medidas de protección y minimización de dosis no supongan un daño mayor para el individuo o la sociedad y siempre se debe suponer un beneficio” (Vicente et al., 2017). La justificación debe ser lo racional y lo ético se relaciona con principios de no maleficencia, esto es la obligación de no infringir daño intencionadamente. La Beneficencia consiste desde la bioética en los beneficios para el paciente derivados de la realización de un procedimiento y deben ser superiores a sus riesgos, es la obligación de hacer el bien. El dilema está antes de realizar un procedimiento a un paciente concreto, los riesgos y beneficios son conocidos, en el mejor de los casos, solo en términos probabilísticos. Debe haber una proporción entre los probables riesgos y beneficios del procedimiento a realizar. En este caso es el medico junto al tecnólogo que programa la dosis las figuras clave de decisión.



Las limitaciones prácticas determinadas por los organismos internacionales para salvaguardar a los trabajadores ocupacionalmente expuestos y su uso razonable se basan en que aún para fines pacíficos la energía ionizante requiere alguna exposición y que es imposible proteger en su totalidad a los sujetos. De esta forma, el personal clasificado como ocupacionalmente expuesto debe estar en constante alerta sobre las tres medidas básicas de protección en radiología, descritas y aplicadas así: a) La Distancia b) el Tiempo y c) el Blindaje, mediante su uso adecuado, el nivel de radiación a la cual el participante está expuesto puede ser sostenido en un mínimo y dentro de los límites establecidos.

#### **3.2.4.3.1 La Distancia**

Hace parte de los mejores métodos de radio protección y de los más empleados en el trabajo rutinario; es una manera efectiva de protección, y adicionalmente es la más económica (Vinet & Zhedanov, 2011). Cuando un sujeto se aleja de una fuente radioactiva se espera que reciba menos radiación, y puede pensarse que si duplica su distancia recibiría la mitad de la radiación; sin embargo, en realidad el sujeto podrá recibir un cuarto de la radiación, esto se conoce como la ley del cuadrado inverso de la distancia, que establece que la cantidad de radiación recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente (Núñez, 2008).

Para los participantes implementar y comprender estas medidas se fundamentan en aprendizajes que han sido adquiridos académicamente, influyen en su proceder laboral y tienen sustento sólido de protección.

Los participantes son conscientes que el uso del elemento de protección personal debe ser siempre una medida primaria de prevención, así lo confirma el Centro para el control de enfermedades (CDC por sus siglas en inglés), sin embargo, nunca deben ser utilizados como la única estrategia para la prevención y control del riesgo, sino como una intervención de la jerarquía de controles en protección, para *Raúl*, por ejemplo:

*Raúl*: “El faldón, la mampara, la distancia (...)”.

Inicialmente los elementos tangibles y próximos en el servicio, son utilizados en la práctica cuando están presentes, sin embargo, el participante contempla “la distancia” llevada a su ejercicio, esto es conocimiento puesto en práctica, esto es limitar el riesgo, es mitigar su exposición, es capaz de transformar la información adquirida y modificar su conducta esto es aprendizaje, aplicación de la información adquirida.

Otras descripciones teórico prácticas son mencionadas en los relatos que hace *Ana*:

*Ana*: “Los tiempos de exposición: Distancia, tiempo y blindaje”.

En su sentir se incluyen las medidas descritas, esto es conocimiento que revela su uso, hace parte de su actividad laboral. Las combinaciones de las medidas de protección laboral son mencionadas, expresarlas demuestra que existe conocimiento, que está presente, describir las conductas de seguridad o medidas de protección confirma que el participante quiere protegerse, cuidarse.

#### **3.2.4.3.2 El Tiempo**

Es también una medida práctica de radio protección. Su relación es directamente proporcional al riesgo, entre más tiempo se exponga una persona a una fuente de radiación, mayor será el riesgo. El sentido común indica que el tiempo debe ser utilizado como control de la exposición a la radiación (Vinet & Zhedanov, 2011). Como algunos autores sugieren: “La exposición externa puede ser controlada por los métodos clásicos como minimizar el tiempo, aumentar la distancia y emplear blindajes. El factor tiempo puede ser correctamente utilizado si se llevan a cabo procedimientos tan eficientes como sea posible” (Hernandez et al., 2015).

Existe dentro de los participantes una constante asociada a la permanencia en el servicio, para *Gladys*, estar en jornadas extendidas o periodos más largos de trabajo pueden ser condicionantes a un mayor riesgo y menciona:

*Gladys*: “El cumplimiento de horarios (...) cuando hay un timbre”.

Esta descripción hace referencia al tiempo de estancia asistencial que relacionado en un ambiente laboral es concebido como un riesgo adicional por periodos de permanencia prolongados en el servicio. El aislamiento de las áreas asistenciales es una garantía que minimiza el riesgo de exposición, el participante lo concibe como una medida preventiva asociada a la permanencia de tiempo en el lugar de trabajo.

#### **3.2.4.3.3 El Blindaje**

El uso de materia prima como el concreto o paredes de plomo no es nada nuevo para los participantes de la investigación. El blindaje sirve para prevenir o reducir la entrada de radiación. En el caso de las partículas  $\alpha$  o  $\beta$  la cantidad de blindaje es poca para absorber completamente las emisiones.

En la práctica general se usa blindaje suficiente para absorber completamente las partículas  $\alpha$  y  $\beta$ , y además para la radiación  $\chi$  o  $\gamma$ , el blindaje es único, con mayor grosor, hecho en plomo y atenúa la cantidad de radiación (Vinet & Zhedanov, 2011).

El uso de blindaje para los participantes, concebido desde la planta física y como refugio o aislamiento de la onda radioactiva se encuentra en los telemandos, pequeñas áreas que aíslan, garantizan visibilidad y confort, proporcionan control sobre el proceder clínico, siendo un control para los actos terapéuticos y diagnósticos a realizar, *Lucy* relata que:

*Lucy*: “El telemando en las salas, para lo químico el extractor”.

En este proceder es el blindaje utilizado como sinónimo de prevención, es considerado como una alternativa adicional para la protección, su uso garantiza un mayor aislamiento, un límite adicional frente al riesgo. El participante lo conoce, es capaz de nombrarlo inmediatamente se habla del control, es su experiencia práctica frente a la medida de prevención. Para *Raúl*:

*Raúl*: “Los colimadores, paredes y estándares de radio protección”.

Este relato establece que su actuar se fundamenta en la medida blindaje. Sin embargo, el participante menciona que las paredes en tiempos atrás no eran iguales, ahora son más exigentes los cumplimientos normativos y requerimientos:

*Raúl*: “(...) eran las paredes no tan plomadas como hoy en día, porque hoy en día son más rigurosos esos estándares de protección (...)”.

Esto da cuenta de que no siempre el tiempo pasado fue mejor, tal vez las exposiciones fueron mayores en un proceder anterior y la acumulación de cambios en el cuerpo han estado presentes, así no sean visibles en la actualidad, miles de cambios celulares han sido generados por el uso de la radiación y su aceleración con el correr del tiempo pueden ser disminuidos o minimizados con el uso de exigencias normativas y de planta física.

El conjunto de relatos de los participantes relacionados con las medidas de prevención, son utilizados teniendo en cuenta propósitos como la seguridad al paciente, la protección personal, los principios de la bioética, conocimientos adquiridos, tiempos de exposición y condiciones ambientales, algunos han sido abordados a profundidad en otros capítulos de la investigación y otros dan juicio para ahondar en nuevas categorías de investigación, o nuevas investigaciones que pueden ser derivadas del proceso descrito. Finalmente, el trabajador llega a un propósito único, utiliza herramientas que están en su medio laboral que conducen a mitigar el riesgo, evitar enfermedades y disminuir sobreexposiciones.

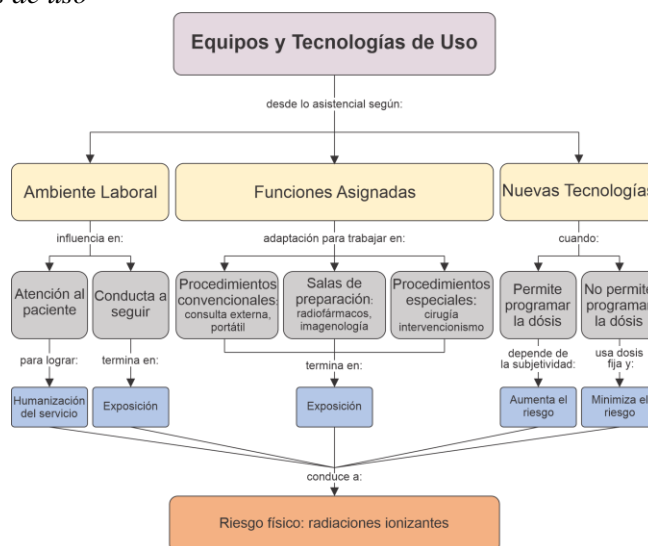
### **3.2.5 Equipos y tecnologías de uso**

Después de realizar el análisis a las categorías asociadas con el trabajador y el medio laboral, esta sección de la investigación describe el uso de las tecnologías y el comportamiento del participante

frente a la fuente emisora. Se diseña la Figura 9 para ilustrar su comprensión y se organiza según la descripción del grupo de participantes en los diferentes escenarios donde se realizaron las entrevistas.

**Figura 9**

*Equipos y tecnologías de uso*



Nota: Elaboración propia

En este análisis el uso de las tecnologías y las fuentes emisoras, se concibe desde la labor contratada, desde el profesionalismo y desde lo asistencial según lo descrito en los siguientes subcapítulos.

### 3.2.5.1 El ambiente Laboral

Es definido como “la articulación entre el espacio físico en el que se desarrollan las actividades laborales y las relaciones técnicas, sociales y de gestión, en los que se encuentran inmersos los trabajadores” (Ministerio de Trabajo Argentina et al., 2014).

La definición de ambiente o lugar de trabajo, puede ajustarse a la definición de salud de la Organización Mundial de la Salud (OMS): “estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de enfermedad” (OMS, 2006, 2010). El significado de ambiente laboral ha evolucionado durante los últimos años. A partir del enfoque del entorno físico (esquema habitual de la Salud y Seguridad Ocupacional, que según la OMS “consideran los riesgos físicos, químicos, biológicos y ergonómicos), la definición se ha ampliado para incluir hábitos de salud (estilos de vida saludable); factores psicosociales (organización y cultura de trabajo); para establecer nexos con la sociedad, y todo lo que pueda tener un profundo efecto en la salud del empleado” (OMS, 2010)

Se define según la Seguridad y Salud en el Trabajo como el conjunto de factores que influyen sobre el bienestar físico y mental de los trabajadores mientras se ejercen actividades laborales.

Para los participantes de esta investigación, el uso de equipos y tecnologías en el ambiente laboral discurre desde la influencia del uso de un conjunto de técnicas y procedimientos que surten efecto para lograr una atención al paciente, así lo relata *Gladys*:

*Gladys*: “En tres minutos estas entregándole al camillero. Y después lograr que el paciente sonría, que me exprese gracias, eso para mí es todo, me llena”

El uso de tecnologías en el ambiente laboral influencia la atención al paciente llevando a humanizar el servicio, esto es personalización de la atención, otorga una atención conforme a las normas de calidad, conocimientos y uso adecuado de tecnologías, con oportunidad, amabilidad, trato personificado, comunicación constante entre los participantes en el acto médico o paramédico en un ambiente de confort que permite mejorar el nivel de salud, la satisfacción del usuario y del trabajador contribuyendo a mejorar la calidad de vida (Aguirre Gas, 1991) (Kübler, 1997).

En otros casos el ambiente laboral es influenciado por las conductas a tomar, tal es el caso de *Alex* que menciona:

*Alex*: “Muchas cosas tienen que ver con la parte administrativa, que realmente no es el modelo de contratación, termina uno conociendo las mañan del equipo, generalmente los contratos de arreglo son empresas externas y le tocaba a uno”.

Muchas variables ambientales como influencia determinante del comportamiento están presentes e influyen en la toma de decisiones y representan un papel importante en el acontecer humano, entonces, considera las condiciones de trabajo como todos los aspectos internos, externos e individuales que están presentes al realizar una actividad laboral (Resolución 2646 del 2008).

El participante en este caso declara que el mantenimiento preventivo y correctivo de equipos depende de un proceso administrativo, sin embargo, asume una postura técnica que no corresponde, este argumento es determinante para actuar.

La conducta del participante opera como variable dependiente, como una respuesta frente a la atención en el entorno laboral. La manipulación intencionada de elementos físicos del ambiente, son utilizados con el propósito de optimizar el comportamiento laboral y mejorar los niveles de productividad de los empleados (Roth, 2000). El resultado de realizar experiencias sin previo conocimiento puede resultar en accidentes o incidentes, pero en el caso de la exposición y manipulación de la radiación conduce a una exposición por riesgo físico que en el mismo momento no es cuantificable y puede verse reflejada en otros sentires, así lo menciona *Lucy*:

*Lucy*: “Yo si tenía una vista muy buena, ahora no veo muy bien de cerca”.

La migración de la radiación dispersa puede ser absorbida por órganos blanco como el cristalino y se puede manifestar como pérdida de la visión (Hernández et al., 2020), (Papp et al., 2014), en este relato, el participante lo relaciona según su actividad, concluye que puede pasar, que está presente, que finalmente por la exposición surge y se puede materializar.

### 3.2.5.2 Las funciones asignadas

Las principales responsabilidades dentro de un puesto de trabajo son el cumplimiento de las funciones asignadas. Las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) las consignan en el manual de funciones, este manual permite y facilita a las IPS tener información clara sobre los cargos que conforman la actividad administrativa y asistencial, con el fin de mantener un soporte para el control de cambios que pretenda o requiera realizar a nivel organizacional. Los sistemas de gestión bajo las normas de la Organización Internacional de Normalización, con sus siglas en idioma inglés “ISO”, contienen una estructura documental que incluye el manual de calidad, de procedimientos, de funciones de acuerdo al cargo y la adaptación a cambios según sea necesario. En esta investigación, el participante muestra su capacidad para realizar funciones asignadas según se coordine administrativamente la labor, es decir, se adapta, las ejecuta y realiza funciones en procedimientos convencionales.

Teniendo en cuenta la Resolución 0482 de 2018, que reglamenta en Colombia el uso de equipos generadores y su clasificación según la práctica en categoría I y II, y que realizan procedimientos en los servicios de consulta externa, urgencias, unidad de cuidados intensivos con la ayuda de equipos fijos y/o portátiles. El uso de equipos y el entendimiento de la tecnología la concibe el participante como una función en su labor contratada, así lo menciona *Alex*:

*Alex*: “A veces, yo hago estudios especiales, el otro compañero hace portátiles y otro se va para cirugía”.

El participante relata una distribución y organización laboral, se ejecutan actividades asistenciales con el uso de la tecnología según sea coordinado y asignado, entiende que debe hacer y es sujeto de que puede cambiar. Adicional, conoce las actividades de los demás compañeros y cumple con lo asignado, sin embargo, su actividad termina con el contacto con el equipo emisor y una exposición al riesgo físico por radiación. Así lo confirma *Lucy*:

*Lucy*: “Todos rotamos: portátiles, especiales, cirugías”.

Significa tener la capacidad de responder en las diferentes áreas y procesos para realizar las actividades asistenciales según sea el caso. Los participantes manifiestan una adaptación a las

funciones, demuestran su facultad para trabajar en diferentes unidades funcionales y que tienen la aptitud para hacerlo, para *Alex*, por ejemplo:

*Alex*: “Una vez el equipo se dañó, nos mandaron a trabajar a otro lugar y había uno digital. Las mamografías tocaban con químicos y extractor, pero una máquina vieja (...)”.

En otros escenarios el participante describe su capacidad para trabajar en los servicios y realizar las actividades según su horario laboral, según las funciones asignadas y su capacidad de respuesta, para *Raúl*:

*Raúl*: “Acá nos están capacitando constantemente, durante las 12 horas realizamos unos 40 procedimientos de todos (...)”.

Esto demuestra que su formación permite realizar las funciones que el servicio exige, que se necesitan en el área asistencial, sin embargo, surgen preguntas sobre la magnitud de radiación dispersa que se puede absorber en los diferentes servicios mientras el participante combina la necesidad de cumplir con su labor contratada y su exposición asociada a la celeridad del proceso, desgaste físico y oportunidad de la atención.

El participante nuevamente manifiesta que cumple con las funciones asignadas y es capaz de realizarlas, resalta su labor asistencial y prioriza la atención cuando de él depende, es el caso de *Gladys*:

*Gladys*: “Yo nada de peros, me traen un ‘chequecito’ con el nombre del paciente y esa es mi prioridad”.

En este momento el paciente es lo importante en la labor, el participante describe un actuar rápido cuando su función así lo requiere. Para *Ana*, las funciones asignadas en la labor diaria contemplan la concentración en el proceso para su desarrollo y comenta:

*Ana*: “(...) allá es un equipo con sensores, no utilizamos chasis, simplemente tenemos que tener en cuenta hacia que parte va dirigida la parte derecha para evitar la confusión”.

La labor es realizada según la tecnología que posee el servicio, la utiliza según su cualificación profesional, acude a realizar el proceso con firmeza y confianza, esto es seguridad al paciente y seguridad laboral.

Según el nivel de complejidad de los servicios de salud se establecen labores o funciones asignadas a sus colaboradores teniendo en cuenta el recurso humano, físico y tecnológico que posean para el cumplimiento de sus objetivos, sin embargo, en cualquier nivel complejidad en salud que use

radiación ionizante, conduce a que exista siempre exposición ocupacional, así sea teniendo en cuenta las normas y precauciones de manejo, pues el riesgo “cero o nulo” no existe, el uso de tecnologías de punta u otras encontradas en los diferentes servicios usan las mismas ondas o partículas del espectro electromagnético que tienen poder de penetración a las células y por esta razón son considerados como inductores de patologías en humanos (Categoría tipo I IARC: agente inductor de cáncer).

Entonces surgen nuevas preguntas: ¿qué pasa en el intervencionismo con las largas jornadas y con los turnos prolongados cuando las cirugías derivan alguna complicación? *Raúl* comenta que:

*Raúl*: “Cardiología es donde uno más se irradia ese es el problema de la angiografía, yo trabajo en convencional, angiografía y tomografía”.

Este relato describe el lugar asistencial donde la radiación dispersa es mayor en los servicios de salud, el personal que trabaja en intervencionismo cardiaco es el que tiene mayor exposición anual a radiación (Badel et al., 2018), de la misma forma, el avance de la cirugía ortopédica en los últimos cinco años ha sido muy acelerado, y con ello, el uso de la intensificación de imágenes en el quirófano (Vivas et al., 2018), es entonces una descripción de la realidad contada por los participantes.

Las salas de preparación y los procedimientos especiales son servicios que en su mayoría usan radionucleidos como en medicina nuclear, considerados leve o moderadamente tóxicos con respecto a la contaminación interna, algunos tienen una excepción significativa y son considerados altamente tóxicos debido a su especificidad por la glándula tiroides y en otros casos la principal fuente de exposición es la radiación que proviene de pacientes que han sido dosificados en las intervenciones imagenológicas (Vinet & Zhedanov, 2011).

### **3.2.5.3 Nuevas tecnologías radiológicas**

Las Nuevas tecnologías radiológicas muestran que estas invenciones tienen una consecuencia favorable en el tratamiento de los pacientes, son costo-eficientes, mejoran conductas terapéuticas y pueden adicionalmente ser utilizadas como *screening* en la población (Margulis & Sunshine, 2000).

Los participantes no son ajenos a los avances tecnológicos, las instituciones de salud son garantes de mantener a su alcance tecnología de avanzada que cada vez permite mejorar su oportunidad diagnóstica, así lo mencionan *Raúl* y *Gladys*:

*Raúl*: “Los equipos eran diferentes, hoy son más sofisticados”.

*Gladys*: “(...) ahora tenemos equipos bien modernos, te imprimen todo, no tienes que matarte la cabeza”.



En este caso los nuevos equipos emisores son utilizados en el ambiente laboral y permiten al participante utilizar y modificar protocolos cuando el equipo permite programar las dosis, algunos equipos emisores pueden ser programados según la casa comercial y el objetivo de la fuente emisora.

Teniendo en cuenta las respuestas de los participantes cuando la fuente emisora permite o no manipular la dosis de radiación, los factores como la subjetividad son condicionantes para definir el voltaje en cada procedimiento diagnóstico, así lo comenta *Alex*:

*Alex*: “Uno podía mejorar el contraste, yo no escatimaba gastos si tocaba hacerle 3,4,5,6 para ver de la mejor forma la patología”.

Cuando existe alguna manipulación por el hombre se contempla la posibilidad de que exista error, en esta descripción el participante realiza varias proyecciones para mejorar la orientación diagnóstica, repite el proceso para obtener un mejor diagnóstico, pero es necesario realizar varias veces el proceso si, ¿el equipo lo permite? ¿Es necesario mejorar el contraste utilizando mayor exposición? Entonces, será mejor revisar procesos técnicos y de funcionalidad de los equipos y pensar en que requieren alguna revisión. *Gladys*, en su actividad comenta que:

*Gladys*: “Uno coloca manualmente el voltaje, uno dice: para niños una opción, para alguien delgado otra, para un gordito o gordo otra, ya uno sabe (...).

Esta descripción demuestra que el uso manual de programación puede ocasionar: errores asociados a la subjetividad, o errores clericales, que dependen de la comprensión de una anatomía individualmente y usar menores o mayores dosis de voltaje. Sin embargo, para *Lucy*:

*Lucy*: “Los de ahora son buenos, porque la demora es mínima y la exposición es menor”.

El participante declara que la tecnología nueva es mejor y la compara, relaciona el tiempo con la exposición, esto hace pensar que incluye medidas de protección que son utilizadas en las actividades asistenciales, usa los principios básicos de radio protección y los pone en práctica. En otros casos el participante es consciente del uso de la magnitud y lo relaciona inversamente proporcional con el tiempo, *Ana* refiere:

*Ana*: “Podemos manejar un kilo voltaje más alto que es la penetración en tiempo corto, para no repetir un paciente”.

En este caso conoce la tecnología que usa y sabe que puede manipular la dosis, esto es combinar tiempos y voltajes que dependen de su análisis y su experiencia para definir un proceder que está condicionado a su labor profesional. Todas estas las percepciones, argumentos, lenguajes y modo de

actuar son basados en el punto de vista del sujeto/participante (Kant), y por tanto pueden ser influidos por intereses y deseos particulares, pero se deben apreciar desde diferentes puntos de vista, ya sea desde la manipulación de tiempos, hasta el uso de magnitudes menores sin perder de vista lo propuesto técnicamente en el proceso diagnóstico. Para *Ana*:

*Ana*: “Nosotros tenemos parámetros para muñeca y pie con tanto tiempo, depende del grosor (...).”

*Ana*, sabe que existen parámetros y que se pueden manipular, está en su actuar el uso de las dosis, pero se influencia por su sentir, por su percepción, entendido como un proceso cognitivo que consiste en reconocer, descifrar y dar significado para la elaborar juicios según impresiones derivadas del ambiente físico y social, donde interviene el aprendizaje, la memoria y la simbolización (Melgarejo, 1994). Es entonces, muy dependiente del profesional la cantidad de dosis a utilizar en el proceso diagnóstico o terapéutico cuando de él depende su manipulación.

*Alex* y *Gladys* consideran que, si la fuente emisora permite utilizar diferentes tiempos y voltajes, pueden obtenerse mejores resultados y comentan:

*Ana*: “Uno podía mejorar el contraste, yo no escatimaba gastos, si tocaba hacerle 3,4,5,6 para ver de la mejor forma la patología (...).”

*Gladys*: “(...) antes con las placas se corría el riesgo de que salían negras, ahora haces varias tomas y escoges la que tú quieres (...).”

Según estas descripciones, los procedimientos relacionados con la optimización pueden ser vulnerados, se encuentran actividades que relatan una manipulación excesiva de dosis, donde el principio de radio protección: ALARA, “tan bajo como sea razonablemente posible”, que debe ser lo sensato, no es observado. Si la limitación de dosis fuese medida por procedimiento y paciente, claramente superaría un umbral permitido, en este caso no se observa un criterio racional y ético que concluyan en un proceder de sabio diagnóstico.

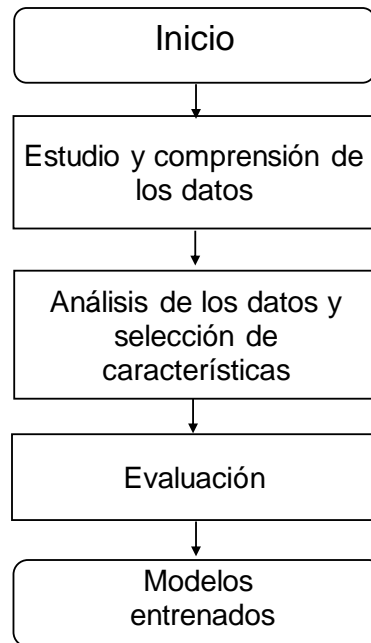
### **3.3 Metodología para el uso de técnicas para el análisis predictivo a partir de los inputs utilizados en la investigación.**

El conjunto de datos utilizados en esta investigación es un histórico de mediciones dosimétricas obtenidas de una IPS invitada a participar, estos datos tienen reporte numérico en unidades de mili Sievert (mSv) con una periodicidad de medición mensual para el trabajador y para el ambiente laboral.

En la Figura 10 se encuentra un diagrama de bloques con el procedimiento experimental simplificado.

**Figura 10**

*Diagrama para análisis predictivo de los inputs*



Nota: Elaboración propia

### 3.3.1 Estudio y comprensión de los datos

Se utilizaron para fines de la investigación el histórico de los años de exposición correspondientes a las mediciones en los años 2018-2019, teniendo en cuenta el resultado final de dosis absorbida de los Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos (TOE), cuyo historial dosimétrico se encuentra desde 12, 24, 36 y 48 meses de exposición correspondientes a los años 2017, 2018, 2019 y 2020. Inicialmente, se revisan los datos de 4 años de mediciones hechas en el ambiente laboral y a los trabajadores expuestos de la IPS. En el análisis de los reportes se encuentra que el año 2017 presenta resultados de mediciones en diferentes formatos y no se encuentran valores o algunos valores son ausentes por meses de medición. El reporte del año 2020 no tiene una frecuencia de medición mes tras mes, debido a la situación de salud pública mundial, algunas mediciones no fueron realizadas por cierres temporales de servicios o limitación en la realización de actividades clínicas. Teniendo en cuenta lo anterior se escogen los valores reportados para el año 2018 y 2019 por tener reportes completos del

personal expuesto, del ambiente laboral y disponibilidad del recurso con frecuencia ininterrumpida mensual de la medición.

La medición de los reportes escogidos incluye tres valores asociados al trabajador así: Dosis equivalente personal profunda: Hp (10), Dosis equivalente superficial Hp (0,07) y Dosis equivalente al cristalino Hp (0,3).

Teniendo en cuenta que la dosimetría de película no evalúa la dosis superficial Hp (0,07) ni de cristalino Hp (0,3), se utiliza el resultado de dosis equivalente personal profunda Hp (10), motivo de interés de medición de dosis absorbida recibida por el trabajador para los años 2018 y 2019.

La recolección de los resultados de las mediciones ambientales fue obtenida de los reportes de medición hechos durante todos los meses de los años 2018 y 2019.

### **3.3.2 Análisis de los datos y selección de características (preparación):**

Los datos que se exploraron para ser empleados en el modelo a crear son un histórico de mediciones del año 2018 y 2019, que fueron obtenidos de una base de datos de institución invitada a participar. Se tuvo en cuenta que durante estos años no existió alguna alteración en la frecuencia de mediciones hechas ambientalmente y a cada trabajador, ni tampoco de solicitudes medicas realizadas, adicionalmente es el conjunto de datos más frecuente y homogéneo encontrado.

Para la preparación de datos, se seleccionó el subconjunto de datos con los que trabajará el modelo entre todos los disponibles. Se consideraron los datos realmente necesarios para abordar el problema, teniendo en cuenta el alcance, disponibilidad de datos, y los datos no necesarios. Las características que poseen los datos analizados incluyen: mediciones asociadas a los trabajadores, tres en total así:

Dosis equivalente personal profunda: Hp (10)

Dosis equivalente superficial: Hp (0,07)

Dosis equivalente al cristalino: Hp (0,3)

Adicionalmente contenía la dosis acumulada desde el ingreso a la IPS, y dosis acumulada en el último año. Para fines de la creación del modelo se escoge el resultado Hp (10) que es la dosis equivalente personal a 10 mm de profundidad en tejido blando (Ubeda et al., 2018) y aceptado por la IAEA, y el resultado de medición ambiental del servicio (expresado en mSv) por disponibilidad, periodicidad y cantidad de mediciones.

Este conjunto de datos se ordenó de forma que solo quedaran registrados los valores según el resultado Hp (10), teniendo en cuenta que este resultado logra extrapolar la dosis recibida en cuerpo total sin

importar el tipo de dosímetro empleado para su cuantificación (Estévez, 2018), dejando preparados los datos para el modelo.

Los datos de las mediciones ambientales están dentro de los reportes asociados al grupo de trabajadores expuestos según la cuantificación ambiental en el mismo lugar de trabajo, estos valores se extraen y obtienen del conjunto inicial de valores y se crea un segundo data set para ser comparados con cada uno de los resultados Hp (10) correspondiente a los trabajadores, es decir se retiran los datos ambientales o de control que van a ser utilizados como variables predictivas. La forma en la que se trabajaron los datos fue teniendo en cuenta el ajuste de los datos al formato adecuado para trabajar con ellos, en este caso se importan los datos de ensayo a un archivo delimitado por comas (CSV por sus siglas en inglés), teniendo en cuenta disponibilidad, utilidad en la categorización y predicción.

Algunas transformaciones fueron necesarias aplicar para que los datos pudieran ser interpretados por el algoritmo de *Machine Learning* empleado. Se tuvo en cuenta que el resultado no detectable (ND) encontrado en el conjunto de datos, equivale a 0,01 mSv para resultados de mediciones hechas en dosímetros de película, de esta manera las mediciones utilizadas cumplen con los parámetros definidos para calidad según el tipo de dosímetro empleado en la medición.

Finalmente, el conjunto de datos compilado originalmente en formato CSV, está compuesto por registros electrónicos que abarcan dos años (2018 y 2019) con varios datos demográficos y variables clínicas de los trabajadores ocupacionalmente expuestos. Los aspectos más destacados del conjunto de datos se pueden resumir muy brevemente de la siguiente manera:

Cada fila corresponde a una medición mensual expresada en Hp 10 y cada resultado del TOE puede tener hasta 12 mediciones durante cada año, es decir, una fila está asociada al mismo TOE en cada mes de medición. La información personal del TOE fue eliminada (Edad, Nombres, Apellidos, Número de identificación, Código interno) y solo se dejaron como variables las que se van a utilizar en el modelo, medición Hp 10 y resultado de la medición ambiental de la IPS invitada a participar.

El conjunto de datos se pre procesó de la siguiente manera: En total se eliminaron columnas para garantizar la independencia de los datos, la mayoría de los valores no pertenecen a la influencia de la categoría: edad, nombre, código interno, Hp 0,3 y Hp 0,07. Después de realizar este proceso las características numéricas se mantuvieron intactas.

Se trabajó con una muestra representativa, teniendo en cuenta los porcentajes de entrenamiento 70-80% y prueba 20-30 % de los datos.

El conjunto de datos analizado tenía un total de 1680 datos y cada fila contenía los resultados de las variables. La Tabla 4 muestra los campos contenidos en la base de datos:

**Tabla 4**

*Variables de la base de datos*

codigo (identificación del trabajador)	genero (hombre, mujer)	ocupacion (tecnólogo, odontólogo, higienista, médico)	mes (según año de análisis)	dosis-hp10 (resultado de dosis personal profunda)	dosis_control (resultado ambiental del mes de exposición)
---	---------------------------	--	--------------------------------	--	--

Nota: Elaboración Propia

Posteriormente se incluyó la clase de riesgo, se obtuvo adaptando una escala combinada de rangos de exposición (Bullock & Ignacio, 2006; Cohen & Hering, 1995) presentada en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Escala de riesgo establecida para la investigación*

Dosis del trabajador (meses y años de exposición)	Medición ambiental del mes de exposición	Clase de riesgo
1,5mSv a 1,67 mSv/mes	Entre 1,5mSv y 1,67 mSv/mes	Muy Alto (3)
0,85mSv a 1,4 mSv/mes	Entre 0,85mSv y 1,4 mSv/mes	Alto (2)
0,2 mSv a 0,84mSv/mes	Desde 0,2 mSv a 0,84mSv/mes	Medio (1)
menor a 0,1 mSv/mes	menor a 0,1 mSv/mes	Bajo (0)

Nota: Adaptada de (Bullock & Ignacio, 2006; Cohen & Hering, 1995)

Como resultado, el atributo clase de riesgo contiene las categorías codificadas en: cero (0) que representa una exposición baja, uno (1) que representa exposición media, dos (2) que representa exposición alta y tres (3) exposición muy alta, los cuales son incluidos en la base de datos final frente al resultado obtenido de cada mes de exposición.

### 3.3.3 Modelado

Siguiendo con la preparación para el diseño del modelo, los datos utilizados de los años 2018 y 2019 tienen los reportes de las mediciones de los trabajadores y del ambiente laboral que se clasificaron en riesgo bajo, riesgo medio, riesgo alto y riesgo muy alto de exposición, los cuales fueron ponderados así: Bajo (menor o igual a 0,1mSv)= 0, Medio (0,2-0,83mSv)=1, Alto (0,84-1,4mSv)= 2, Muy Alto (1,5-1,67mSv)=3, los resultados obtenidos del año 2018 presentaron mayoritariamente valores Bajos y Medios y escasos valores Altos y Muy Altos de exposición en el trabajador.

Los datos del año 2019 presentaron valores Bajos y Medios de exposición en el trabajador para realizar el entrenamiento y prueba del modelo. Las entradas de Medición del empleado y Medición del entorno laboral, son utilizadas en este orden secuencial de variables y en forma de arreglo en dos

dimensiones. Teniendo en cuenta que los valores de las clases altas y muy altas eran escasos, se decide renombrar las categorías manteniendo la clase 0 como baja y las clases 1, 2 y 3 como No bajas. Posteriormente se probó con un modelo de Regresión logística, Árbol de decisión y *Random Forest*, conociendo las métricas de desempeño de los modelos.

### 3.3.4 Evaluación

La presencia de las clases desbalanceadas en el conjunto de datos, es un problema para los modelos creados debido a que el enfoque de predicción se centra en las clases mayoritarias. Para lograr el objetivo planteado en esta investigación, se emplearon técnicas para homogenizar el ensayo tratando de igualar los datos con aquellos ya existentes teniendo en cuenta que ninguna información del conjunto de test participara en el proceso de entrenamiento de los modelos, para posteriormente establecer comparaciones, analizar resultados y razonar sobre la utilidad al ser elegidas. Entonces la clase "0" se renombra como baja y las clases "1, 2 y 3" se agrupan y renombran como No baja. Para el entrenamiento, el porcentaje de la información que se utilizó fue del 70% de los datos y el 30% para realizar las pruebas en los modelos creados.

El uso de estas técnicas se fundamenta en modificar la distribución inicial de los datos para balancear las clases. El *Undersampling* es una de ellas y consiste en modificar la distribución de los datos reduciendo el número de datos de la clase mayoritaria, el *Oversampling* busca modificar la distribución de los datos incrementando su número en la clase minoritaria.

Teniendo en cuenta su utilidad, se realizaron iteraciones con las dos clases que tenían igual representación, y que habían sido obtenidas mediante un muestreo aleatorio simple y utilizando bibliotecas se realizó la acción varias veces hasta completar 10 repeticiones (*Oversampling*: 5, *Undersampling*: 5) para cada modelo creado. La tabla No 6 muestra las mejores métricas de desempeño de los modelos.

**Tabla 6**

*Métricas de Desempeño*

<b>Modelo</b>	<b>Precision</b>	<b>Recall</b>	<b>F1</b>
Regresión logística	0.98	0.95	0.97
Árbol de decisión	0.98	0.98	0.99
<i>Random Forest</i>	1.0	0.98	0.99

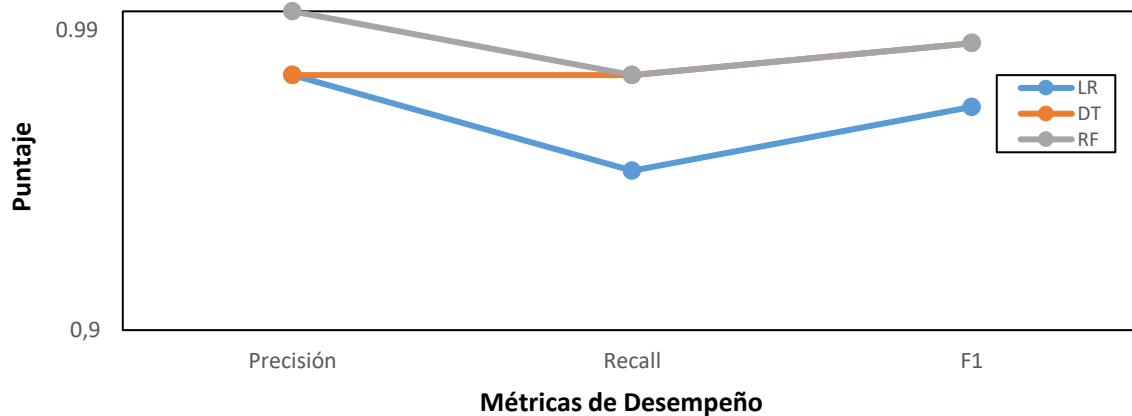
Nota: Elaboración propia

Los resultados en la investigación dejaron ver que el algoritmo con mejor desempeño fue el *Random Forest* cuando el conjunto de datos utilizado fue el original, y en la mayoría de los casos también mostró buen desempeño al realizar *undersampling* y *oversampling* con la data empleada, observándose resultados consistentes en cada repetición a lo largo de la experimentación.

Sin embargo, cuando los modelos tienen una tasa de error muy pequeña puede ocurrir el fenómeno de *overfitting* que dificulta su precisión y rendimiento. Esto significa que los modelos pueden haber aprendido de memoria el patrón que siguen los datos, en esta investigación se encontró que el patrón que tienen los datos es muy sencillo y fácil de aprender para el modelo, y que su estructura es comprendida por el modelo que mejor rendimiento demostró. Las métricas de desempeño utilizadas para evaluar el comportamiento muestran que el modelo de menor rendimiento fue la Regresión Logística, y el de mayor rendimiento fue el *Random Forest* evidenciándose como el mejor clasificador según “Recall” Precisión y F1. En la figura 11 se comparan los modelos y su desempeño frente a las métricas empleadas:

**Figura 11**

*Modelos y métricas de desempeño*



Nota: Elaboración propia



## 4 Resultados y Análisis

En este apartado se presentan en la primera parte los resultados y análisis de las cinco categorías del trabajo cualitativo, se confronta con la literatura científica y confluye con el ejercicio de la interpretación de los resultados obtenidos. En la segunda parte se muestran los resultados obtenidos del uso de datos para el enfoque de aprendizaje automático.

### 4.1 Categorías de riesgo

- La comprensión del riesgo laboral muestra un componente netamente subjetivo que depende de la visión que tenga el participante frente a su cuantificación y análisis. Siempre los riesgos y peligros han sido percibidos de manera muy diferente según la perspectiva de las partes interesadas y se relacionan según el contexto institucional, los recursos disponibles y procesos de trabajo (Scheer et al., 2014), los participantes describen conceptos que son concordantes con lo académico, con los procesos de trabajo asignados y lo comprenden desde la afectación física hasta los cambios comportamentales que se puedan generar.

La jerarquía de controles en Seguridad y Salud en el Trabajo para NIOSH, es un sistema que minimiza riesgos y utiliza los elementos de protección personal como mecanismos de mitigación, este es un concepto generalizado en la seguridad laboral, sin embargo, surge en la investigación otro concepto que acompañan percepciones individuales de los participantes con relación a su labor y concuerda con el bajo uso del elemento, en especial las gafas de protección, chaleco y el uso de la mampara plomada (Poveda & Plazas, 2020), que adicional al peso del material que están elaborados hacen que se presente discomfort y emerge un riesgo adicional: el biomecánico, asociado a lesiones osteomusculares producto de jornadas prolongadas cuando se están utilizando delantales plomados (Puerta & Morales, 2020).

Aunque los riesgos de la radiación, la inducción de cáncer y las enfermedades no cancerosas por exposición ya han sido documentados (Bazyka et al., 2018) para los participantes los eventos diarios están asociados a desmejoras en su salud, están presentes y terminan en enfermedades que a corto y largo plazo pueden presentarse, es una preocupación actual, que seguramente con el uso de procesos de educación, capacitación y comunicación ayudaran a mejorar el conocimiento y aumentar la percepción frente al cuidado (Schieber et al., 2020).

- En la cualificación y entorno laboral, vale la pena resaltar que en los relatos fueron puestos de manifiesto malestares por el incumplimiento de las condiciones laborales que deberían tener los trabajadores en cuanto a la modalidad prestacional por sus actividades y el disfrute de sus vacaciones. Algunos participantes de este estudio tuvieron su inicio laboral de manera empírica, sin embargo, posteriormente obtuvieron una formación universitaria de tres años que al ser comparados con la formación en otros países proporcionan los conocimientos de protección radiológica (tanto teóricos como prácticos) necesarios para abordar de manera autónoma los aspectos técnicos de la realización de procedimientos de imágenes médicas, basados en el uso de radiación ionizante (Faggioni et al., 2017), importantes en la profesionalización de la carrera, pues el aprendizaje empírico puede traer consigo una baja percepción del riesgo inicial, relacionado con la madurez o la etapa de la vida adolescente y que con la cualificación puede ser mejorado teniendo en cuenta que cada persona se forma según su espacio, su manera de aprender, sus potencialidades, su curiosidad epistémica y la construcción de su comprensión, de esta forma, cada participante es tarea de su única realización en un contexto determinado (Navarrete, 2013).
- Se logró entender los incidentes laborales más comunes en el grupo de participantes expuestos a radiaciones ionizantes en el sector de la salud, sus posibles causas, factores asociados a condiciones físicas, de organización (Gil, 2012) y probables consecuencias, estos incidentes constituyen el primer escalón para generar accidentes llevando a la materialización de eventos y la presentación de sucesos, demostrando que existe una relación directa entre la ocurrencia de incidentes y la finalización en accidentes (Mejía et al., 2019). Aunque parecen inconsistentes según la literatura la exposición a dosis bajas de radiación y la disfunción cognitiva, el estrés asociado con la exposición real o percibida derivada de multiplicidad de labores que fue encontrada en la investigación, consigue impactar el funcionamiento cognitivo generando estrés psicológico y logra superponerse con relación a efectos pro inflamatorios (Collett et al., 2020) que pueden somatizarse.

Escuchar e interpretar lo documentado con respecto a los incidentes encontrados en esta investigación permite comprender como la seguridad laboral es co-construida por los trabajadores y brinda rutas de acción concretas para los profesionales cuando se mantiene el uso de un sistema de notificación y reporte de incidentes (Rossignol, 2015) que serán los que activen los programas de vigilancia epidemiológica del riesgo específico.

- Las medidas de prevención frente al riesgo laboral por exposición a la radiación, incluyen en el grupo de participantes definiciones asociadas al uso de normas básicas en radiología definidas desde su actuar, muestran un conocimiento limitado sobre protección radiológica, con lagunas específicas de conocimientos sobre las dosis reales de radiación, que en este caso, se debería garantizar una educación de calidad tanto en pregrado como de formación continuada efectivas (Faggioni et al., 2017) (OIEA & OMS, 2012), pues en ellos recae la mayor responsabilidad a la hora de entregar y manipular dosis adecuadas de radiación (Soffia et al., 2017).

El componente riesgo/beneficio para el paciente es un principio que no es aislado del miedo a equivocarse por el participante, además de la experiencia del profesional y las medidas de prevención utilizadas cuando se habla del principio justificación, su evidencia es débilmente encontrada en la investigación, entendiendo que un estudio puede generar un daño al paciente, al participante y el ambiente, no se encuentra un diálogo con los pacientes sobre los riesgos / beneficios de los procedimientos, ni su participación, pues la comunicación de riesgos en los programas de educación y formación de los profesionales es fundamental para entender su actividad laboral (Schieber et al., 2020).

El sistema de protección radiológica en la gran mayoría de países del mundo se basa en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica en su publicación 103 (ICRP, 2007) y los principios de justificación, optimización y limitación, teniendo en cuenta las recomendaciones y unidas a los compendios bioéticos (Zölzer, 2020) (Beauchamp & Childress, 2012) la aplicación de la beneficencia y la no maleficencia en esta investigación se ve asociada al componente académico aprendido y al temor individual por situaciones que exponen su cuerpo, que producen riesgos, que inducen cambios y que se pueden presentar, sin embargo, entre los profesionales de la salud hay poco reconocimiento de los principios de protección radiológica como la justificación y optimización (Malone & Zölzer, 2016), que deben ser impartidos en la formación académica y ser llevados a la práctica, pues desde la bioética pueden reforzarse haciendo referencia a las tradiciones (religiosas-filosóficas), para lograr verdaderamente legitimidad global (Zölzer, 2020), demostrando que todo esto no es una cuestión de ciencia únicamente, sino que claramente tiene efectos y aspectos éticos.

- Algunas tecnologías descritas en esta investigación refieren el uso de equipos antiguos y claramente se visualiza un mayor riesgo de exposición cuando es obsoleta, considerando exposiciones y dosis más altas para paciente y trabajador cuando se relaciona con el envejecimiento del equipo (Zanca et al., 2020). Por otra parte, factores físicos como la obesidad del paciente son predictores fuertes para definir por los participantes el uso de dosis más altas de radiación, llevando a una mayor exposición tanto para trabajadores como para pacientes (EC, 2012), que son entendidas como desviaciones en los procesos que conducen a mayor exposición.

La optimización de la dosis, es un proceso de varios pasos que incluyen desde un programa de garantía de calidad hasta el efecto de la dosis sobre el paciente y la calidad de la imagen (Tsapaki, 2020), es mantener la exposición de los pacientes al mínimo necesario para lograr el objetivo diagnóstico o intervencionista requerido (OIEA, 2018). Los participantes de esta investigación conocen la teoría y tienen la experiencia, sin embargo, en la práctica de este grupo de participantes el principio de radio protección se contempla débilmente aplicado, la repetitividad de procesos y el uso de números repetidos de ensayos es narrado por los participantes en su proceder diario, sin tener en cuenta que el uso de radiación ionizante en imágenes médicas está asociado con riesgo de cáncer (IARC, 2000) dejando de lado el cuidado de sí mismo, del otro y del entorno (Garcés & Giraldo, 2013), por lo tanto, debe estar sujeto a estándares de seguridad y debe optimizarse (OEIA, 2016).

Es sabido para los participantes que procedimientos especiales en cirugía requieren más cantidad de radiación donde la exposición es mayor y están lejos de ser insignificantes los efectos carcinógenos que son estocásticos, lo que significa que son acumulativos durante la vida del personal médico, del tecnólogo o del paciente (Prasarn, 2014). Básicamente, no existe "muy poca" radiación, y en los procedimientos descritos se encuentra una baja práctica de acuerdo con el concepto de " tan bajo como sea razonablemente posible ", la experiencia acumulada de los participantes y su formación son un factor importante que debe abordarse para reducir la variabilidad en la dosis utilizadas, confirmando la necesidad de ahondar en detalle formaciones continuas que incluyan información sobre los factores que afectan la dosis de radiación al trabajador participante (Zanca et al., 2020) y de estandarización de protocolos como lo describe el llamado de Bonn a la acción.

## 4.2 *Machine Learning*

- Se presenta un enfoque de aprendizaje automático para la predicción del riesgo en trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes en el sector de la salud. El conocimiento, interpretación y predicción de los datos contribuye a la mejora en las condiciones de salud de los trabajadores, disminución de costos en las instituciones de salud y administradoras de riesgos cuando la presentación de enfermedades se hace manifiesta, siempre considerando que no existen métodos estándar para determinar el mejor enfoque en la práctica clínica, debido a que cada método tiene sus ventajas y desventajas (Uribe et al., 2019), teniendo en cuenta que con su uso es posible mejorar la calidad diagnóstica con datos médicos y ahorro en costos derivados durante la atención de enfermedades (Battineni et al., 2020).

Esta investigación describe un método novedoso para gestionar eficazmente el riesgo de exposición por dosis absorbidas de radiación ionizante. El modelo de mejor desempeño entrenado en este estudio, a saber, fue árbol de decisión y *Random Forest* que superan las métricas de predicción encontradas por la regresión, según las métricas de: Precisión, Recall y F1.

El trabajo llevó a una simplificación de la categoría riesgo y se completó con la aplicación de una estrategia en los conjuntos de datos para agrupar y renombrar las clases, el atributo de clase de riesgo se ajustó de cuatro a dos valores posibles, transformando así el problema original, es decir, la predicción de un futuro factor de riesgo: “bajo”, “medio”, “alto” y “muy alto”, en uno de clasificación binaria: “bajo”, “no bajo”. Esta simplificación del problema, junto con la reducción de la dimensionalidad lograda a través del análisis de componentes principales, da como resultado un conjunto de datos más compacto a partir del cual se pueden obtener generalizaciones aprendidas por los modelos de predicción presentados.

Los modelos que utilizan este tipo de variables son bastante efectivos, logran clasificaciones altas, que apoyan y dan soporte a los encargados de la Seguridad y la Salud en el Trabajo (Mosquera et al., 2021) o a las Aseguradoras de riesgos laborales para la predicción y ponderación del riesgo laboral. El número de datos utilizadas en el período de dos años se considera acorde con lo que se esperaría de una institución de salud de carácter multinacional, donde se encuentran trabajadores expuestos en servicios asistenciales. Sin embargo, se puede observar que cuando se usen mayores volúmenes de muestras y conjuntos de datos más grandes, es decir, con mayor número de resultados de dosis absorbidas en trabajadores con las mismas características y con la

participación de varias IPS, al realizar la modelización que interviene en el riesgo laboral podría suponerse que mejoraría aún más su interpretabilidad.

Este tipo de mediciones empleadas en el conjunto de datos, demuestran que existe un patrón homogéneo y estable aprendido por el modelo, y hace pensar que se obtuvo un buen algoritmo capaz de predecir el riesgo por exposición.

Teniendo en cuenta las características de los datos en cuanto a frecuencia y presentación de valores: “altos y muy altos”, el algoritmo incluirá en la práctica un conjunto de datos de los resultados con un historial acumulado de exposición de seis meses anteriores, es decir: seis mediciones dosimétricas del trabajador y seis resultados de medición del control ambiental del mismo periodo de tiempo, con estas doce variables predecirá el mes siguiente, clasificando al trabajador en dos posibles niveles de riesgo: cero (0) lo cual predice que el trabajador estará en riesgo “bajo”, o en uno (1) como “no bajo” prediciendo la existencia de riesgo por exposición para el mes siguiente laboral del trabajador. Para realizar esta clasificación se usa la función del algoritmo creado así:

```
new_data = np.array([
    [0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.9, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.2],
    [0.6, 0.2, 0.3, 0.1, 0.45, 0.8, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.2]
])
proba_predicted = rf.predict_proba(scaler.transform(new_data))[:, 1]
np.where (proba_predicted <= threshold, 0, 1)
```

## 5 Producción

### 5.1 Productos

Clase de Producto	Título	Medio de publicación	Clasificación	Fecha	Estado
Patente	Sistema y método para la gestión integral del riesgo por exposición a radiaciones ionizantes	Superintendencia de industria y comercio	-	oct-20	Radicada
Artículo	<i>Short Assay Design for Micronucleus Detection in Human Lymphocytes</i>	<i>BioMed Research International</i>	Q2	sep-21	Publicado
Artículo	Percepción del riesgo en profesionales sanitarios: Una mirada cualitativa	Accident Analysis and Prevención	Q1	sep-21	En proceso
Artículo	Predicción del riesgo laboral por exposición a radiaciones ionizantes en el sector salud utilizando algoritmos de <i>Machine Learning</i>	Información Tecnológica	Q3	sep-21	En proceso
Conferencia Internacional	Percepción del riesgo en profesionales sanitarios: Una mirada cualitativa	VIII Encuentro Internacional de Cuidado	-	Nov-21	Presentado
Conferencia Nacional	Percepción del riesgo por radiaciones ionizantes en trabajadores expuestos	XVII Encuentro Científico INS Instituto Nacional de Salud	-	Nov-21	Aceptado

Pitch: Cumbre Colombo Francesa 2019	Estimación de la genotoxicidad por exposición a radiaciones ionizantes en personal de la salud	Cumbre Colombo Francesa de Investigación y Educación COLIFRI 2019	-	jun-19	Presentado
Participación en Redes de investigación	Ciencias sociales y humanidades de la radiación ionizante Bélgica	Virtual	-	Sept-20	Presentado
Conferencia Internacional	Percepción del riesgo en profesionales sanitarios: Una mirada cualitativa	Congreso Internacional de Seguridad y Salud en el Trabajo	-	jun-21	Aceptado
Pasantía	Estandarización de procedimiento operativo para MN	Universidad Autónoma de Barcelona	-	Sept-Oct-19	Realizado
Estancia	Entrenamiento DCA	Hospital Universitario La Fe Valencia	-	Oct-19	Realizado

Tabla4

## 5.2 Participación en proyectos de investigación

Nombre del proyecto	Entidad	Año	Valor (Especie y contrapartida)
---------------------	---------	-----	---------------------------------





El futuro  
es de todos

Gobierno  
de Colombia

## BANDEJA DE ENTRADA >

### NC2020/0012429 - Patente de Invención Nacional - SISTEMA Y MÉTODO PARA LA GESTION INTEGRAL DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES

[Salir](#)

#### Datos de la solicitud

Referencia del solicitante	P-2020/19219	Fecha de radicación	05 oct. 2020
Número de patente	NC2020/0012429		
Estado	Bajo Verificación de Requisitos Mínimos		

#### Contacto

Apoderado	Número de identificación	Nombre(s)	Apellido(s)	Dirección (es)			
	66783790	CAROLINA MERCEDES	DAZA MONTALVO	Dirección Física : CARRERA 11 No. 86 - 53 PISO 6 BOGOTÁ D.C. (CO)			
Solicitante(s)	Número de identificación	Nombre(s)	Apellido(s)	Dirección (es)			
	86005600707		UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	Dirección Física : Carrera 3 Este No. 47A-15 BOGOTA CUNDINAMARCA (CO)			
Contacto de la solicitud	Número de identificación	Nombre	Dirección	Ciudad	Código postal	Pais	Tipo de dirección
	66783790	CAROLINA MERCEDES DAZA MONTALVO	CARRERA 11 No. 86 - 53 PISO 6	BOGOTÁ		CO	Dirección Física

[Cerrar](#)

## Información de la Patente

Tipo de Patente	Patente de Invención Nacional			
Solicitud vía PPH	<input type="checkbox"/>			
Inventor(s)	<b>Número de identificación</b>	<b>Nombre(s)</b>	<b>Apellido(s)</b>	<b>Dirección (es)</b>
	80417160	ANDRES IGNACIO	HERNANDEZ DUARTE	Dirección Física : Cra. 1 #47a15, BOGOTA CUNDINAMARCA (CO)
	88278746	GUIDO MARCELO	RINCON AREVALO	Dirección Física : Cra. 1 #47a15, BOGOTA CUNDINAMARCA (CO)
	10025092	CESAR AUGUSTO	RODRIGUEZ SUAREZ	Dirección Física : Cra. 1 #47a15, BOGOTA CUNDINAMARCA (CO)
Cesión				
Título	SISTEMA Y MÉTODO PARA LA GESTION INTEGRAL DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES			
Título inicial	SISTEMA Y MÉTODO PARA LA GESTION INTEGRAL DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES			
Tiempo para la publicación	0			

## Prioridad

Prioridad	
-----------	--

## Documentos

Descripción	1 Documento (s)		
	<b>Documento</b>	<b>Tipo</b>	<b>Confidencialidad</b>
	<a href="#">Descripción</a>	Descripción	Pública
Resumen	<p>La presente invención hace referencia a un sistema y método para la gestión integral del riesgo por exposición a radiaciones ionizantes que comprende los procesos de: a) Un sistema SCADA que se encuentra conectado a todos los equipos de interés, incluidos los emisores de radiación, los sistemas de acceso, las instalaciones, que provee información y medidas a los subsistemas de validación y manejo de equipos, validación de protocolos, validación de instalaciones y validación de estimación de cambios para controlar y supervisar la validación por medios inalámbricos o alámbricos que sean compatibles con los equipos y fuentes emisoras.</p> <p>b) Recolección por medio de una plataforma digital conectada a un servidor de base de datos; <span style="float: right;">Cerrar</span></p>		

5/10/2020

NC2020/0012429 - Patente de Invención Nacional - SISTEMA Y MÉTODO PARA LA GESTION INTEGRAL DEL RIESGO POR EXPOSI...

	<p>c) Estimación de un vector de paridad que encuentra la diferencia entre variables de estado del sistema estimadas y las variables de estado medidas por el sistema SCADA;</p> <p>d) Un sistema de reglas de decisión conectado al sistema SCADA para la validación de los protocolos de uso en radiología.</p> <p>e) Un sistema basado en reglas conectado al sistema SCADA para la validación de equipos emisores, y</p> <p>f) Análisis y correlación de los datos obtenidos en los pasos (a), (b), (c), (d) y (e) mediante técnicas de Machine Learning;</p>
Reivindicaciones	
Número de Reivindicaciones	<p>Recuerde que:</p> <p>-El número de Reivindicaciones diligenciado deberá estar coherente con el contenido del documento anexo</p> <p>-A partir de la undécima Reivindicación, deberá presentar pago por cada una de ellas para que éstas sean tenidas en cuenta</p> <p>10</p>
Número de folios	0
Declaraciones	<p><b>Declaración sobre el uso de Recursos Genéticos o Biológicos</b></p> <p>Declaro que el objeto de la presente solicitud de patente fue obtenido a partir de recursos genéticos o biológicos de los que cualquiera de los países miembros de la Comunidad Andina es país de origen.</p> <p><input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No</p> <p>Nota: En caso afirmativo deberá anexar copia del contrato de acceso de recursos genéticos o productos derivados, o certificado o número de registro, expedido por la Autoridad competente.</p> <p><b>Declaración sobre uso de Conocimientos Tradicionales</b></p> <p>Declaro que el objeto de la presente solicitud de patente fue obtenido a partir de conocimientos tradicionales de comunidades indígenas, afroamericanas o locales de países miembros de la Comunidad Andina.</p> <p><input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No</p> <p>Nota: En caso afirmativo deberá anexar la licencia o autorización de uso de conocimiento tradicional, o certificado, o número de registro expedido por la Autoridad competente.</p> <p><b>Declaración de documentos presentados durante el año de gracia</b></p> <p>Declaro que la invención fue divulgada por parte del inventor o causahabiente durante el año anterior a la fecha de presentación y/o prioridad de la presente solicitud de acuerdo con el Art. 17 de la Decisión 486.</p> <p><input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No</p> <p>Nota: En caso afirmativo deberá anexar el documento que divulga el objeto de la invención durante el año de gracia.</p>

Obtener Reporte PDF

Cra 13 No. 27-00 pisos 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 10 PBX: (571)5870000 . Call center: (571)5920400 Línea gratuita nacional 018000-910165  
www.sic.gov.co . e-mail: contactenos@sic.gov.co . Bogotá D.C. - Colombia.

[Política de privacidad](#) | Política editorial | Créditos | Webmaster: contactenos@sic.gov.co ::: Todos los derechos reservados 2008 - 2020

Cerrar

Hindawi  
 BioMed Research International  
 Volume 2021, Article ID 2322257, 6 pages  
<https://doi.org/10.1155/2021/2322257>



## Review Article

# Short Assay Design for Micronucleus Detection in Human Lymphocytes

Guido Rincón and Claudia Sánchez

Applied Science, Antonio Nariño University, Bogotá, Colombia

Correspondence should be addressed to Guido Rincón; [grincon46@uan.edu.co](mailto:grincon46@uan.edu.co)

Received 22 June 2021; Accepted 25 August 2021; Published 13 September 2021

Academic Editor: Klaus Wimmers

Copyright © 2021 Guido Rincón and Claudia Sánchez. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

There has been a constant need to develop new and faster cytogenetic assays to measure the instability induced by genotoxic agents in the field of cytogenetic research, an example of which is the micronucleus assay. Micronuclei are fragments or complete chromosomes that remain in the cytoplasm during mitosis. With their high sensitivity and specificity detection, their presence can indicate environmental and occupational genotoxic effects. However, the prolonged periods of cell incubation this assay necessitates are costly and extensive. Hence, it is essential to develop an improved assay that can achieve standardization by being reproducible in practice. The standard protocol for the detection of micronuclei in lymphocytes uses a total assay time of 72 hours. Theoretically, it is possible to reduce the incubation period, and consequently, the total assay time, considering a lymphocyte, completes its mitosis in 24 hours. This study, after careful review of literature, proposes an experimental design to reduce the incubation period and demonstrates its usefulness in practice through the design of a collaborative trial.

## 1. Introduction

In 2011, the International Atomic Energy Agency (IAEA) recommended the use of four cytogenetic techniques to assess radiological emergencies and preparedness: dicentric analysis (DCA), micronucleus (MN) assay, fluorescent *in situ* hybridization (FISH), and premature condensation of chromosomes (PCC) [1]. In this study, we focused on the micronucleus assay. Micronuclei measure genotoxic damage from exposure to ionizing radiation by detecting chromosomal fragments. However, this technique requires long incubation periods and monitoring of *in vitro* cultures for more than 72 hours. Such a long wait for assay results does not help in critical situations of possible terrorist attacks or radiological emergencies. Hence, it is necessary to reduce the incubation period to be able to quantify the changes caused by exposure to radiation and DNA damage in the shortest possible time.

The International Agency for Research on Cancer (IARC) classifies ionizing radiation in humans as a cancer-

inducing agent. Studies with workers occupationally exposed to this type radiation [2, 3] demonstrated a significant association between low dose exposure and cancer development [4].

The use of MN assay to study micronuclei as a predictive marker, or for biomonitoring purposes, offers high sensitivity and specificity of diagnosis in genotoxic and cytotoxic damage [5], especially in medical personnel receiving frequent occupational radiation, such as intervention cardiologists, technologists, and radiologists [6–8]. The MN assay also predicts low radiation exposure [9] and its relationship with cancer induction. However, the incubation period is too long [10], and the correlation of variables has been a constant challenge for standardization the optimal operation of the technique. Additionally, reproducibility in normal clinical practice that leads to a rapid diagnosis is also a challenge that needs addressing [11].

During the incubation period, cytochalasin B (Cyt-B) is added to stop cytokinesis and achieve binucleated cells (BN), which express micronuclei in lymphocytes [12], and

complete their division every 24 hours [13, 14]. However, they can be lost during mitosis [12]. Hence, it is necessary to use novel or faster exposure techniques [15].

Some studies using organ cells, such as those of the liver, have proven the possibility of reducing the incubation periods of micronuclei [16] and describe the development of MN assay protocols that requires 48 hours of treatment with Cyt-B.

Other studies, too, have concluded the need to shorten the time it takes for MN assay completion, especially in the case of triage radiation biodosimetry, where a high number of possible victims need results as quickly as possible [17]. However, an interlaboratory comparison exercise is required to validate changes in the total time of the assay, e.g., the one performed by the RENEB (European Network of biological dosimetry) [18]. Alternatively, an analysis of blind samples in different laboratories [19] is needed, with the use of varied incubation periods, to obtain interlaboratory reproducibility. Modification of the protocol time has been tested in hematopoietic cells, too, highlighting the need for a deeper characterization of the sensitivities and cytostatic subtypes analyzed over time [20].

To summarize, current research to validate the adjustment in the shorter assay time still lags behind, since additional evidence is needed to prove that a shorter time can be applied to assays using human lymphocytes and that they have the same diagnostic predictive power. It is essential to note that lymphocytes are the main cells of the immune response that transmit heredity and have a high half-life. Therefore, additional research is necessary to validate an accorded standard operating procedure of the MN assay [11, 21] for human lymphocytes.

The standard micronucleus protocol uses full *ex vivo* blood and requires an incubation time of 44-72 hours, which can be minimized [22]. This is mentioned by a multiparametric study that concludes that due to time limitations, it is necessary to perform analysis in different laboratories, in order to have prolonged incubation times [23]. The standardized operating procedure (SOP) can be adjusted, but each change requires several rounds of validation, incurring large reagent and personnel costs (according to the protocol described for Fenech and evaluated internationally) [24].

Besides, experimental tests are a necessity, where different incubation periods are tested in collaboration with other laboratories and the predictive power of the test (MN); its efficacy and probability are demonstrated. Mitogenic stimulation during early and late incubation periods can also be studied in such experiments [25].

## 2. Theoretical Framework

The presence of micronuclei indicates lagging DNA or incomplete DNA synthesis, which can be caused due to exposure of cells to toxic agents such as ionizing radiation. The frequency of lagging or incomplete DNA is called micronuclei; its presentation indicates the adaptation of cells to toxic agents such as ionizing radiation and is important according to the theory of the human genome [26]. Among cells that express micronuclei are lymphocytes and are

radiosensitive since their differentiation involves several divisions ("law of Bergonié and Tribondeau," 1906). The standard protocol for the detection of micronuclei in lymphocytes currently uses an incubation period of 72 hours [24], and it is theoretically possible to decrease the incubation time considering a lymphocyte completes its mitosis in 24 hours.

To carry out this research, a minimum of three laboratories is needed to develop the modification of the incubation period and perform statistical analysis. Subsequently, joint research or standardization is required in the development of the technical proposal and validation of a short protocol of 48-56 hours, against the standard method of 72 hours. It is also necessary to explore ways in which the mitogenic response can be accelerated [11, 21] and verify the optimal laboratory conditions needed such as ISO 17025, 5725 calibration, testing, and the sterility conditions.

## 3. General Methodology

Validation studies (collaborative trials) are used to characterize and standardize methods between laboratories [27]. Here, we have designed a collaborative study between laboratories [28, 29], to demonstrate that the incubation period for lymphocytes in the standard operating procedure in the MN assay can be set at 24 hours, without altering the final count of micronuclei and its diagnostic power.

This type of collaborative study provides great strength to demonstrate if the variable time change works entirely, because it takes into account features like performance study, conduct, compliance, and behavior [30]. Additionally, the study

- (i) analyzes the reproducibility of the micronuclei score between times
- (ii) evaluates the effect of changing the standard incubation period with respect to the number of micronuclei found
- (iii) studies the role of the two incubation times in the final result by adding Cyt-B and the nuclear division index in cultures of delivered blind samples [31]

This collaborative study will begin by sending an invitation letter to laboratories that have published studies using the MN assay on human lymphocytes, those who have been consulted in indexed journal databases, and those who wish to participate [32]. After acceptance by a minimum of three or five laboratories according to Horwitz and Miller et al. [30, 33], a questionnaire will be sent to obtain basic information on the data available in each laboratory: address, laboratory protocol, incubation time, scoring criteria, incubation temperatures, centrifugation protocols, control variables, and quality control procedures.

**3.1. Ethical Considerations.** This study will be aimed at being risk-free. The privacy and confidentiality of the participating laboratories will be maintained with a code and number. Participating subjects will sign a consent authorizing the

process. The results of the study will be sent to each participating laboratory after the study analysis. There are no risks or benefits associated with handling samples and/or specimens for participating laboratories, and there will be no effects on the subjects participating in the research. The information obtained and the results generated will be shared with the participants of the laboratories.

**3.2. Validity.** This study will be aimed at determining if by blocking cytokinesis at 24 hours, lymphocytes will exhibit the same number of cultured micronuclei as those cultured for 44 hours. Therefore, the selected variable of the SOP MN to evaluate with the collaborative study is “incubation period” [31, 34].

Collaborative studies must be validated so that they can be professionally evaluated. The proposed protocol incorporates changes to the first international protocol described by Fenech [24].

Demonstration of the validity of the time change [35] should generate interest in organizations such as the International Atomic Energy Agency, Retrospective Biological Physical Dosimetry Network, and International Organization for Standardization (ISO 17099-19238). In addition, this study should assist in the analysis of biological effects in the event of nuclear and radiological emergencies [36–38].

To validate the proposed time change, the physical conditions of the variables must be guaranteed. These included centrifugation conditions and temperature so that the analysis and the count of cells that have completed their mitosis from start to finish are reproducible and that they express micronuclei in 24 and 44 hours, respectively (Figure 1) [31, 34].

This study will take into account the theories to improve the odds of cell cycle response and the conclusions of studies suggesting the need for faster techniques and diagnostics [11].

The reliability of the collaborative study design will be verified when similar results are obtained between the participating laboratories and similar results are produced in the same sample analyzed to determine the performance of each laboratory and establish comparisons between laboratories.

**3.3. Sampling.** For these collaborative trials, laboratories that meet the minimum requirements of a comparison study in accordance with ISO 5725 and who wish to participate voluntarily are identified, in addition to having experience in the analysis of micronuclei and studies of prevalence or incidence of micronuclei in peripheral blood to achieve validity of the results. The inclusion criteria include laboratories with experience of at least 3 years in cytogenetic techniques, specifically in micronuclei.

The exclusion criteria include laboratories that refuse to participate voluntarily.

**3.3.1. Number of Replicates.** For the purpose of design and statistical analysis, four test samples identical to each other but differing slightly in micronucleus count (e.g., <1%-5%)

will be used in each laboratory [30]. Each sample must be analyzed once.

### 3.4. Combination of Blinds and Replicas

**3.4.1. Blind Replica.** Identical blind replicas will be sent to each laboratory, or identical nonblind replicas can be used.

**3.4.2. Known Replicate.** For each laboratory, known replicates will be sent (2 or more analyses of test portions of the same sample) [30].

Blind and known samples are part of the individual analysis.

A nonprobabilistic sampling will be done (there is no previous data) for the first time and will take into account type I and II errors.

Type I error, also called alpha type error ( $\alpha$ ) or false positive, is the error that is committed when the investigator rejects the null hypothesis ( $H_0$ ) to be true in the experiment. It is equivalent to finding a false positive result, since the investigator concludes that there is a difference between the hypotheses when there is actually no difference. The error type II, beta error ( $\beta$ ) or false negative, is equivalent to not finding differences that exist.

**3.5. Data.** Initially, two samples will be sent; however, four blind samples can be used, taking into account the budget to demonstrate the proposed time change. Each laboratory performs the same number of experiments and applies the two techniques: cytokinesis block at 44 hours (process 1) and cytokinesis block at 24 hours (process 2). The data obtained are micronucleus counts. The results are expressed in the number of micronuclei per 1000 binucleated cells in both processes, taking into account the scoring criteria according to HUMN Project [39]. Valid data for each sample will be sent to the laboratory. Valid data are those that would be reported as a result of normal laboratory analysis (micronucleus count in each of the samples). The requirements of acceptance are that the results should not show more than 10% variation, taking into account the final count, the variability between laboratories, and the reference laboratory. Validation will be done by a reference laboratory invited to participate in American or European dosimetry networks.

**3.6. Analysis.** Three days after delivery of the samples, the results of each laboratory will be collected and the statistical analysis calculated if the

- (i) amount of micronuclei is less than the reference value of the standard MN assay
- (ii) number of micronuclei is equal to the reference value of the standard MN assay
- (iii) number of micronuclei is greater than the reference value of the standard MN assay

**3.6.1. Statistical Analysis.** The results of the valid data will be those reported as a result of the analysis of each laboratory.

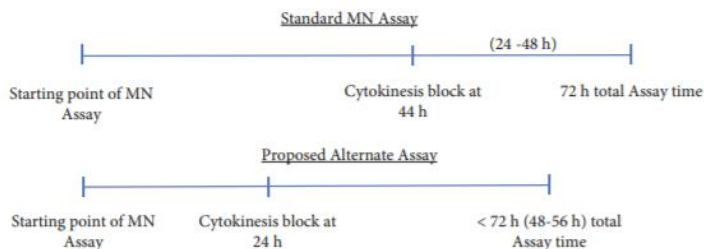


FIGURE 1: Scheme showing the beginning and the end of the original vs. proposed assay.

To verify that both experiments are the same (44 h of process 1 vs. 24 h of process 2), the hypotheses are first proposed:

- (i)  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$
- (ii)  $H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

The null hypothesis ( $H_0$ ) says that the mean of process 1 is equal to that of process 2.

The alternative hypothesis ( $H_a$ ) says that the mean of process 1 is different from that of process 2 (our objective is to not reject the null hypothesis). Verification of the hypotheses is done in two ways: parametric/nonparametric. Normality is verified taking into account the following:

- (i)  $H_0$ : data shows normal distribution
- (ii)  $H_a$ : data does not show normal distribution

The distribution of data will dictate the use of parametric or nonparametric tests.

If the distribution is normal, a parametric test such as the "Student *t*-test" is used to compare mean values. If the distribution is not normal, a nonparametric test such as the "Mann-Whitney *U* test" is used to compare median values. The normality of the variable "count" is then evaluated, and if it is met, the data is analyzed using parametric tests such as the *t*-test.

The test calculates the mean for each process. Its distribution must be 0 or very close, and it uses confidence intervals to show that both processes are equal. But if the difference has values far from 0, the difference is significant; i.e.,  $\mu_1 - \mu_2$  is different from  $\mu_2 - \mu_1$ .

The data does not always have a normal distribution. If this assumption is not fulfilled and median values are compared but not means using the Mann-Whitney *U* test, the hypothesis changes from comparing means to medians:

- (i)  $H_0 : Me_1 = Me_2$
- (ii)  $H_a : Me_1 \neq Me_2$

Box and whisker plots can be used to display the results, and the process should be repeated by the 3 or 5 laboratories. The graphics visually allow to understand the equalities or differences of the data according to the result of the statistical test. To prove that the micronucleus count is the same in

the 5 participating laboratories, ANOVA (Analysis of Variance) can be performed if the data is normal. In the case of data that is not normal, the Kruskal-Wallis test (KS) can be performed.

#### 4. Final Thoughts

The standard MN assay protocol requires a culture period of 72 hours for completion. Theoretically, it is possible to shorten the period to 48-56 hours if cytochalasin B is added 24 hours after the start of the culture, if the experimental conditions are maintained [11]. This is the time it takes for a hematopoietic cell to grow and divide [14] during which micronuclei appear. Reduction of the incubation period can lead to similar results as well, since there are enough lymphocytes that have completed their nuclear division and which can be detected.

The conditions of the proposed modification will be verified *in vitro* and compared with the standard protocol, which can be used as one of the most reliable, well-established, and feasible genotoxicity tests [39], being useful even as a valid marker for the prediction of cancer risk in humans. The design of such a shortened standardized operating procedure for micronucleus detection increases the response capacity to meet the care needs of massive or large-scale victims [19]. However, when monitoring populations, factors such as age, sex, body mass index, history of family cancer, and lifestyle (smoking habit, alcohol consumption, exposure to medications and diagnostic radiation, and physical activity) should be taken into account. Additionally, we must consider other seasonal variations, such as sampling time, sampling period, and different meteorological parameters that can influence the results obtained, considering that the human population is increasingly exposed to environmental factors that affect the frequency of biomarkers [40].

It also supports recent literature suggesting that, theoretically, the culture time can be reduced to obtain similar results (Fenech), considering there is loss of damaged cells during cell culture before Cyt-B addition [41].

Decreasing incubation time in the collaborative trial emphasizes the importance of a validation study to examine the experimental variables associated with micronucleus performance and frequency in human lymphocytes, improving the diagnostic value and reducing staff costs. Furthermore, a shorter test will improve the ability to respond to

emergencies, leaks, triage, and decision-making for the staff in charge.

The techniques proposed by IAEA need to be improved in response to large-scale related events such as leaks, accidents, and/or terrorist attacks using short incubation times. In the future, after a sufficient number of such collaborative trials are carried out, their results are likely to be significantly different from those published in the literature. For biodosimetry networks, such a collaborative work is a useful tool that ensures the standardization of techniques to be implemented in the future and enhances the diagnostic utility by proposing its use in inter-laboratory networks. This also leads to the optimization of resources, both inside and outside the experimental environment.

### Disclosure

The funder did not have any role in the design, analysis, or interpretation of the study.

### Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

### Authors' Contributions

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

### Acknowledgments

This work was supported by the North Department of Santander (grant number 753-2016). The authors thank Ana Luisa Muñoz for reviewing the manuscript.

### References

- [1] N. De Seguridad and D. Oiea, "Normas de seguridad del oiea y publicaciones conexas," 2021, <http://www-ns.iaea.org/standards/>.
- [2] Z. Sun, P. D. Inskip, J. Wang et al., "Solid cancer incidence among Chinese medical diagnostic x-ray workers, 1950-1995: Estimation of radiation-related risks," *International Journal of Cancer*, vol. 138, no. 12, pp. 2875-2883, 2016.
- [3] E. Cardis, M. Vrijheid, M. Blettner et al., "Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries," *British Medical Journal*, vol. 331, no. 7508, pp. 77-80, 2005.
- [4] D. B. Richardson, E. Cardis, R. D. Daniels et al., "Site-specific solid cancer mortality after exposure to ionizing radiation: a cohort study of workers (INWORKS)," *Epidemiology*, vol. 29, no. 1, pp. 31-40, 2018.
- [5] O. Torres-Bugarín and M. L. Ramos-Ibarra, "Utilidad de la prueba de micronúcleos y anormalidades nucleares en células exfoliadas de mucosa oral en la evaluación de daño genotóxico y citotóxico," *International Journal of Morphology*, vol. 31, no. 2, pp. 650-657, 2013.
- [6] A. E. Badel, J. S. Rico-Mesa, M. C. Gaviria, D. Arango-Isaza, and C. A. Hernández Chica, "Radiación ionizante: revisión de tema y recomendaciones para la práctica," *Revista Colombiana de Cardiología*, vol. 25, no. 3, pp. 222-229, 2018.
- [7] E. Vano, N. J. Kleiman, A. Duran, M. M. Rehani, D. Echeverri, and M. Cabrera, "Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel," *Radiation Research*, vol. 174, no. 4, pp. 490-495, 2010.
- [8] L. Hagmar, S. Bonassi, U. Strömberg et al., "Cancer predictive value of cytogenetic markers used in occupational health surveillance programs," *Recent results in cancer research. Fortschritte der Krebsforschung. Progres dans les recherches sur le cancer*, vol. 154, pp. 177-184, 1998.
- [9] S. Terzic, A. Milovanovic, J. Dotlic, B. Rakic, and M. Terzic, "New models for prediction of micronuclei formation in nuclear medicine department workers," *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, vol. 10, no. 1, 2015.
- [10] M. Fenech, N. Holland, E. Zeiger et al., "The HUMN and HUMN<sub>SL</sub> international collaboration projects on human micronucleus assays in lymphocytes and buccal cells-past, present and future," *Mutagenesis*, vol. 26, no. 1, pp. 239-245, 2011.
- [11] S. Knasmüller and M. Fenech, "The micronucleus assay in toxicology," *Royal Society of Chemistry*, 2019.
- [12] J. D. Tucker and R. J. Preston, "Chromosome aberrations, micronuclei, aneuploidy, sister chromatid exchanges, and cancer risk assessment," *Mutation Research/Reviews in Genetic Toxicology*, vol. 365, no. 1-3, pp. 147-159, 1996.
- [13] OECD Publishing, "Test No. 487: In Vitro Mammalian Cell Micronucleus Test," 2016, [https://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-487-in-vitro-mammalian-cell-micronucleus-test\\_9789264264861-en](https://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-487-in-vitro-mammalian-cell-micronucleus-test_9789264264861-en).
- [14] M. Del, C. Lagunas Cruz, A. V. Mendiola, and C. I. Soto, "ciclo celular: mecanismos de Regulación," *Vertientes. Revista Especializada en Ciencias de la Salud*, vol. 17, 2014.
- [15] M. Sproull and K. Camphausen, "State-of-the-art advances in radiation biodosimetry for mass casualty events involving radiation exposure," *Radiation Research*, vol. 186, no. 5, pp. 423-435, 2016.
- [16] M. Mišák, A. Nersesyan, C. Bolognesi, M. Kundi, F. Ferk, and S. Knasmueller, "Cytome micronucleus assays with a metabolically competent human derived liver cell line (Huh6): a promising approach for routine testing of chemicals?," *Environmental and Molecular Mutagenesis*, vol. 60, no. 2, pp. 134-144, 2019.
- [17] M. A. Rodrigues, L. A. Beaton-Green, R. C. Wilkins, and M. F. Fenech, "The potential for complete automated scoring of the cytokinesis block micronucleus cytome assay using imaging flow cytometry," *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, vol. 836, no. Part A, pp. 53-64, 2018.
- [18] J. Depuydt, A. Baeyens, S. Barnard et al., "RENEB intercomparison exercises analyzing micronuclei (cytokinesis-block micronucleus assay)," *International Journal of Radiation Biology*, vol. 93, no. 1, pp. 36-47, 2017.
- [19] N. Dainiak, J. Albanese, M. Kaushik et al., "Concepts of operations for a us dosimetry and biodosimetry network," in *Radiation Protection Dosimetry*, Oxford University Press, 2019.
- [20] H. Hintzsche, G. Montag, and H. Stopper, "Induction of micronuclei by four cytostatic compounds in human hematopoietic stem cells and human lymphoblastoid TK6 cells," *Scientific Reports*, vol. 8, no. 1, 2018.
- [21] M. Fenech, "CHAPTER 26: Ionising Radiation Exposure Biodosimetry Using the Lymphocyte Cytokinesis-block Micronucleus Cytome Assay," in *Issues in Toxicology*, Royal Society of Chemistry, 2019.



- [22] C. Bolognesi and M. Fenech, "Micronucleus assay in human cells: lymphocytes and buccal cells," *Methods in Molecular Biology*, vol. 1044, pp. 191–207, 2013.
- [23] A. Tichy, S. Kabacik, G. O'Brien et al., "The first in vivo multi-parametric comparison of different radiation exposure biomarkers in human blood," *PLoS One*, vol. 13, no. 2, article e0193412, 2018.
- [24] M. Fenech, "Cytokinesis-block micronucleus cytome assay," *Nature Protocols*, vol. 2, no. 5, pp. 1084–1104, 2007.
- [25] M. G. Clare, G. Lorenzon, L. C. Akhurst et al., "SFTG international collaborative study on in vitro micronucleus test: II. Using human lymphocytes," *Mutation Research*, vol. 607, no. 1, pp. 37–60, 2006.
- [26] C. J. Ye, S. Regan, G. Liu, S. Alemlara, and H. H. Heng, "Understanding aneuploidy in cancer through the lens of system inheritance, fuzzy inheritance and emergence of new genome systems," *Molecular Cytogenetics*, vol. 11, no. 1, 2018.
- [27] M. Bertil and U. Örnemark, *The fitness for purpose of analytical methods : a laboratory guide to method validation and related topics*, Eurachem, 2016.
- [28] J. Surrallés, A. Antoccia, A. Creus et al., "The effect of cytochalasin-B concentration on the frequency of micronuclei induced by four standard mutagens. Results from two laboratories," *Mutagenesis*, vol. 9, no. 4, pp. 347–353, 1994.
- [29] U. Kulka, M. Abend, E. Ainsbury et al., "RENEB – Running the European Network of biological dosimetry and physical retrospective dosimetry," *International Journal of Radiation Biology*, vol. 93, no. 1, pp. 2–14, 2017.
- [30] W. Horwitz, "International union of pure and applied chemistry analytical, applied and clinical chemistry divisions interdivisional working party on harmonization of quality assurance schemes for analytical laboratories\*? protocol for the design, conduct and interpret," 1995, <http://publications.iupac.org/pac/reports/year/1994/index.html>.
- [31] G. Köksal, D. C. Lloyd, J. Edwards, and S. Prosser, "The dependence the micronucleus yield in human lymphocytes on culture and cytokinesis blocking times," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 29, no. 3, pp. 209–212, 1989.
- [32] S. Bonassi, M. Fenech, C. Lando et al., "HUman MicroNucleus project: international database comparison for results with the cytokinesis-block micronucleus assay in human lymphocytes: I. Effect of laboratory protocol, scoring criteria, and host factors on the frequency of micronuclei," *Environmental and Molecular Mutagenesis*, vol. 37, no. 1, pp. 31–45, 2001.
- [33] J. Miller and J. P. C. d. M. Miller, *química-y-quimiometria*, Prentice Hall, 2002.
- [34] M. Silva, A. Carothers, A. Dias, J. Luis, and M. Boavida, "Dose dependence of radiation-induced micronuclei in cytokinesis-blocked human lymphocytes," *Mutation Research/Genetic Toxicology*, vol. 322, 1994.
- [35] E. Prada, R. Blazquez, G. Gutiérrez-Bassini et al., "Internal quality control vs external quality control," *Revista del Laboratorio Clínico*, vol. 9, no. 2, pp. 54–59, 2016.
- [36] G. I. Terzoudi, G. Pantelias, F. Darroudi et al., "Dose assessment intercomparisons within the RENEB network using G0-lymphocyte prematurely condensed chromosomes (PCC assay)," *International Journal of Radiation Biology*, vol. 93, no. 1, pp. 48–57, 2017.
- [37] O. Torres-Bugarín, N. Macriz Romero, M. L. Ramos Ibarra, A. Flores-García, P. Valdez Aburto, and M. G. Zavala-Cerna, "Genotoxic effect in autoimmune diseases evaluated by the micronucleus test assay: our experience and literature review," *BioMed Research International*, vol. 2015, Article ID 194031, 11 pages, 2015.
- [38] S. Sommer, I. Buraczewska, and M. Kruszewski, "Micronucleus assay: the state of art, and future directions," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 21, no. 4, 2020.
- [39] M. Fenech, W. P. Chang, M. Kirsch-Volders, N. Holland, S. Bonassi, and E. Zeiger, "HUMN project: detailed description of the scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures," *Mutation Research*, vol. 534, no. 1-2, pp. 65–75, 2003.
- [40] G. Gajski, M. Gerić, V. Orešćanin, and V. Garaj-Vrhovac, "Cytokinesis-block micronucleus cytome assay parameters in peripheral blood lymphocytes of the general population: contribution of age, sex, seasonal variations and lifestyle factors," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 148, pp. 561–570, 2018.
- [41] G. Speit, "Does the recommended lymphocyte cytokinesis-block micronucleus assay for human biomonitoring actually detect DNA damage induced by occupational and environmental exposure to genotoxic chemicals?," *Mutagenesis*, vol. 28, no. 4, pp. 375–380, 2013.



Universitat Autònoma de Barcelona

Departament de Genètica i de Microbiologia

Grup de Mutagènesi

### CERTIFICACION DE ESTANCIA

Ricard Marcos, Coordinador del Grupo de Mutagénesis de la Universidad Autónoma de Barcelona

HACE CONSTAR QUE

Guido Marcelo Rincón Arévalo, identificado con pasaporte: AO279314, ha realizado durante los meses de Septiembre y Octubre del año 2019 una estancia de investigación en nuestro Grupo. Las tareas desarrolladas durante su estancia, se pueden resumir en:

- Realización de técnicas encaminadas a demostrar el daño inducido en el material genético mediante el Ensayo de Micronúcleos, tanto en linfocitos de sangre periférica como en células de descamación de la mucosa bucal.
- Aplicabilidad del protocolo del ensayo de micronúcleos en sus tres fases: cultivo/preparación, tinción y observación microscópica, según el procedimiento operativo estandarizado (I, II, III) en el laboratorio.
- Realización del protocolo desde la instrucción (observador), hasta su aplicación real (observado).
- Acompañamiento en el seguimiento del protocolo del ensayo Cometa y verificación de fases para su desarrollo: visualización microscópica por fluorescencia, uso y manejo de datos computarizados.
- Asistencia en el uso/visualización de la microscopia confocal, en compañía con investigadores del grupo, y verificación de las imágenes microscópicas obtenidas.
- Acompañamiento con investigadores del grupo al citómetro de flujo, para realizar la separación de los distintos componentes celulares de la sangre.
- Estandarización y revisión de la técnica de muestreo para micronucleos que incluye: Criterios de inclusión (proyecto HUMN), Comparabilidad en el recuento, Reproducibilidad de los resultados.

El Grupo de Mutagénesis deja abierta la posibilidad de futuras colaboraciones entre la Universidad Antonio Nariño y la Universidad Autónoma de Barcelona, relacionadas con posibles proyectos de interés común, así como la posibilidad de realizar alguna colaboración en asesoría metodológica del estudio y/o participación en Inter comparaciones, de ser necesario.

Finalmente quiero mencionar que, del desarrollo de la estancia de Guido Marcelo Rincón, se certifica la operabilidad, disposición y conocimiento técnico para realizar el protocolo en un laboratorio certificado que cumpla con los estándares mínimos de calidad, cuente con los insumos necesarios y que se desee implementar dichas técnicas de biomonitorio.

Y para que así conste, lo firmo en Bellaterra, 28 de Octubre de 2019.

  
Ricard Marcos

**UAB**  
Universitat Autònoma de Barcelona  
Departament de Genètica  
i de Microbiologia

Edifici Cn - Campus de la UAB  
08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès) - Barcelona, Spain  
Tel.: 34 - 93 581 20 52 - 34 - 93 581 25 97- Fax: 34 - 93 581 23 87  
rmd@cc.uab.es  
www.uab.es

## 6 Conclusiones

- Según los hallazgos encontrados, es importante reconocer que las entrevistas posibilitaron en la narración revelar el sentir de los participantes, con lo que se evidencian elementos de malestar asociados con el incumplimiento de las condiciones laborales que deberían tener los trabajadores en cuanto a la modalidad prestacional por sus actividades asistenciales, dejando en evidencia más clara la precarización laboral en algunos lugares prestadores de salud.

Los relatos de los participantes fueron interpretados desde las medidas básicas en radiología y los principios básicos de radio protección, encontrando en su aplicación emociones como el miedo a equivocarse o cometer errores, asociados a la responsabilidad que lleva a la repetitividad de pruebas innecesarias, el uso de magnitudes mayores, o la prescripción de una prueba que puede generar un daño al paciente, al participante, o el ambiente, pues por muy pequeño que éste sea, la intervención no puede estar guiada por una emoción o intuición, debe estar orientada por la búsqueda de un análisis preciso, por razones orientadas al diagnóstico y justificaciones clínicas teniendo en cuenta todas las medidas y principios en radio protección.

La narración de los participantes se ancla al fenómeno riesgo y en las medidas de prevención aparecen dos apartados que no son aislados así: El autocuidado: Entendido desde lo ético y enfocado en el concepto: si me cuido, cuido al otro. En coherencia con el actuar, el participante entiende y expresa cómo lograr escenarios seguros, entornos de trabajo donde se pueda mitigar la exposición, conservar con responsabilidad la integridad del ser ya sea visto desde el entorno del paciente o desde el participante, y la seguridad al paciente: Elementos en el dialogo orientan a la seguridad del usuario interpretados desde no hacer daño, causar dolor o incapacidad a otro.

Los principios de radio protección como, la optimización y la limitación de dosis, se contemplan débilmente aplicados según las respuestas del grupo de participantes cuando los protocolos de intervención no se encuentran definidos, ni estandarizados, o los equipos emisores permiten programar su dosificación, compartiendo que cuando se manejan tecnologías programables se pueden encontrar desviaciones negativas en los procesos que conducen a exposiciones mayores para el paciente, el participante y el medio ambiente. Además, se enfrentan a situaciones complejas en sus funciones asignadas y la mayoría de veces las realizan solos, sin profesionales del área que puedan apoyar o rechazar su decisión, tal vez una segunda opinión permita el abordaje de uso más seguro de magnitudes relacionadas con exposición.

Desde la bioética, el principio de Beneficencia se encontró cuando el participante obra en función del mayor beneficio para el paciente y la No maleficencia cuando busca no producir daño y procura prevenirlo, aunque no es el objetivo principal de la investigación, se encuentran alternativas de continuar con otra investigación y que sugieren trabajar la relación usuario/participante, en relación con la seguridad al paciente.

- Se estableció el desarrollo de una herramienta para predecir el riesgo de exposición a radiaciones ionizantes en trabajadores del sector de la salud utilizando técnicas de *Machine Learning*, para ello fue necesario identificar las palabras clave para realizar la búsqueda del estado del arte y vigilancia tecnológica siguiendo los pasos de la metodología TRL, los cuales permitieron establecer los métodos (Regresión Logística, Árboles de Decisión, *Random Forest*) para realizar entrenamiento, pruebas y predicción del modelo.

La utilización de la Regresión Logística en procesos del sector salud fue útil para obtener códigos de aprendizaje basados en Regresión, considerando factores estadísticos y geométricos de predicción que permitieron modelar las características de entrada para el análisis predictivo.

Las predicciones realizadas con datos históricos empleando información individual del trabajador y de las IPS, generan utilidad preventiva en el sector de la salud, los cuales son alineados con normas internacionales para el control de la exposición y la protección de enfermedades, teniendo en cuenta que su uso requiere aplicar criterios asociados con los principios básicos de la bioética, evitando una desconexión al confiar ciegamente en la cantidad de información, sin descuidar los pasos del método científico y el manejo confidencial de los datos.

Los datos empleados y los resultados obtenidos, pertenecen a entornos reales de empresas del sector salud que fueron invitadas a participar y los resultados permitieron el diseño, escritura y sometimiento de artículo titulado: “Predicción del riesgo laboral por exposición a radiaciones ionizantes en el sector salud utilizando algoritmos de *Machine Learning*”, estos resultados contribuyen en mejorar la valoración del riesgo en seguridad y salud en el trabajo en empresas del sector, teniendo en cuenta las características de la actividad económica: uso de radiación ionizante para diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Los resultados obtenidos del trabajo en campo cualitativo, y que permitieron conocer la percepción del riesgo por exposición a radiaciones ionizantes estructuraron la escritura de tercer artículo: “Percepción del riesgo por exposición a radiaciones ionizantes: una mirada cualitativa”, sometido a revista del cuartil uno, que evidencia el sentir de un grupo de participantes que se exponen al uso constante de la

radiación ionizante y contribuyen con la valoración del riesgo desde la opinión de los trabajadores.

Para utilizar el modelo computacional creado, puede ser manejado en un entorno de desarrollo interactivo como *Spyder*, donde se ingresan los resultados de las mediciones mensuales, bimensuales o trimestrales expresados en mSv.

Un formato CSV contiene los datos con los resultados de las mediciones hechas según frecuencia de los resultados en los ambientes de exposición laboral y del trabajador ocupacionalmente expuesto, con columnas de los resultados individuales de medición y del ambiente laboral de los seis meses anteriores acumulados.

Estos conjuntos de valores (resultados de dosis absorbidas) utilizados en el modelo, tienen datos de los trabajadores que son obtenidos mes tras mes, los cuales son influyentes para pertenecer o no a una clase de riesgo. El resultado de la dosis absorbida y reportada del trabajador y del ambiente laboral, son dependientes de las actividades o situaciones particulares como: omisión o inadecuado uso de EPP, inadecuada calibración o control de calidad ineficiente de equipos emisores o fugas ambientales, sin importar el mes (periodo del año) del cual se obtiene la medición. El tiempo está contenido en la variable de entrada, (reporte con periodicidad mensual, bimensual o trimestral), el periodo del año es irrelevante. Cada input utilizado contiene implícito un periodo de separación por meses del año, es decir, las mediciones de cada mes son particulares e independientes y su resultado tiene incluido el periodo del año cuantificado.

Posteriormente para usar el código diseñado, el programa reconoce los datos obtenidos y es ejecutado. Los resultados visualizados en la consola, son analizados y reportados al encargado de SST y/o Medico Ocupacional para su interpretación y seguimiento laboral.

La implementación de estos modelos en la práctica clínica ayudan a proporcionar mejores servicios de orientación en salud y optimizar la toma de decisiones especializadas, teniendo en cuenta que toda esta información médica proviene de diferentes plataformas, personas y bases de datos que deben ser comprendidos, preparados, modelados y evaluados para la consecución del objetivo, por el contrario, una toma de decisión u orientación incorrecta provoca el escepticismo en el uso del aprendizaje automático, que puede llevar a los responsables de la formulación de políticas a evitar el uso de modelos predictivos en el sector de la salud. En esta investigación el algoritmo *Random Forest* demostró ser el mejor predictor, siendo un buen inicio para el control de riesgos por exposición a radiación ionizante desde la seguridad y salud en el trabajo. Este modelo computacional tiene como entrada los resultados de las mediciones ambientales que son

recolectados por las instituciones de salud y los resultados de las dosis absorbidas a los trabajadores según frecuencia de medición. Los resultados son utilizados por el algoritmo e incluyen los valores de medición que tienen que realizar las instituciones de salud donde se manipulan radiaciones ionizantes.

En futuras aplicaciones este modelo predictivo será útil cuando se requiera revisar la dosis de radiación absorbida, frente a posible afectación a la salud y procesos legales que impliquen el control y trazabilidad de las dosis recibidas, las cuales deben ser conservadas por más de 20 años después del cese laboral.

Se participó en la convocatoria para el apoyo a la presentación de Patentes vía nacional No. 857 de 2019, logrando calificar para el apoyo de la solicitud de patente a partir de la presente investigación, dicha solicitud se presentó bajo el nombre: “Sistema y método para la gestión integral del riesgo por exposición a radiaciones ionizantes”, ante la Superintendencia de Industria y Comercio. Como resultado de la investigación se publicó artículo Q2 que plantea el uso de técnica citogenética de micronúcleos con menor tiempo de incubación para evaluar el daño genotóxico inducido por exposición a la radiación ionizante.

## 7 Recomendaciones

Debido a la situación mantenida de salud pública actual y conociendo que la fase experimental para determinar la prevalencia de micronúcleos aún no ha sido desarrollada, es importante mencionar que los datos de soporte biológico (MNs en sangre periférica o mucosa bucal), serán nuevos inputs que van a permitir realizar un mejor entrenamiento del modelo.

El diseño de las preguntas derivadas del contenido elaborado por las entrevistas hechas a los participantes, serán insumo para la generación de auto reporte de condiciones de riesgo percibidas por el trabajador, los cuales mejoran la interpretación del resultado numérico obtenido de las mediciones dosimétricas o dosis absorbidas según frecuencia realizada.

Otros valores de analitos de laboratorio como recuento de Hematocrito (Hcto) y Volumen corpuscular medio (VCM), serán incluidos según la centralización de exámenes en un solo lugar y bajo el criterio informado de los participantes que permitirán hacer el seguimiento de los comportamientos asociados con protección personal y el control de la genotoxicidad.

Considerando la transferencia de tecnología y con base en los resultados de investigación, el diseño puede ser extendido a los actores claves descritos en el plan de negocio para la recopilación de datos en las EPS encargadas del muestreo de los valores dosimétricos, en las ARL para garantizar el cubrimiento normativo y la protección de sus asegurados y a las IPS para el cumplimiento normativo asociado a posibles demandas por incumplimiento de los estándares que obligan a proteger la salud y seguridad de sus trabajadores.

Esta investigación describe un método novedoso de aprendizaje automático para la categorización de trabajadores ocupacionalmente expuestos a riesgo por el uso de radiación ionizante, se espera que con estos resultados se contribuya a la mejora del bienestar de los profesionales involucrados en la práctica, así como una disminución de los costos que se puedan generar por enfermedades catastróficas y que tengan un origen laboral por su uso y adicionalmente el cumplimiento preventivo que deben realizar las instituciones de salud.

Los distintos análisis que se realizaron con el fin de conocer desde la percepción el sentir de un grupo de participantes, son resultados que permiten descubrir y hacer inferencia a ese grupo de trabajadores sobre el conocimiento del riesgo por exposición a radiación ionizante en el sector de la salud. Estos

resultados logran deducciones para ese grupo colaborador y para un grupo de sujetos que tenga las mismas características descritas. Las derivaciones del análisis y los resultados obtenidos, permitirán con trabajos futuros de predicción utilizar las mismas preguntas enfocadas en el riesgo, las cuales harán parte de una encuesta de condiciones individuales del trabajador para conocer una mayor aproximación real al riesgo por exposición. Estos resultados serán utilizados como factores predictores, los cuales van a mejorar el sistema computacional, y quedan incluidos en la encuesta que se realizara a los trabajadores expuestos según la frecuencia y periodicidad del monitoreo de análisis descrito en la institución de salud. De esta forma, servirá para comprender el riesgo real y percibido individualmente, que es construido por el sentir laboral de los participantes, su enfoque tiene en cuenta los factores que influyen en las percepciones, expectativas, comportamientos y participación de los responsables (involucrados) e interesados, cuyo fin logra una mejor comunicación del riesgo y fomenta la cultura en protección radiológica.

La investigación continuara con la búsqueda de información a través de los cinco capítulos que abordan los aspectos que van desde la historia natural de la enfermedad hasta las implicaciones sociales y culturales de la experiencia laboral.



## Bibliografía

- Aguirre Gas, H. (1991). Evaluación y garantía de la calidad de la atención médica. *Salud Pública de México*, 33(6), 623–629. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10633610>
- Altshuller, G. (1999). The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity. In *Technical Innovation Center, INC*.
- ARL-SURA. (2017). *Metodología ARL SURA para la identificación de peligros, evaluación y valoración de riesgos*.
- Badel, A. E., Rico-Mesa, J. S., Gaviria, M. C., Arango-Isaza, D., & Hernández Chica, C. A. (2018). Radiación ionizante: revisión de tema y recomendaciones para la práctica. *Revista Colombiana de Cardiología*, 25(3), 222–229. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2017.10.008>
- Barrientos, R., Cruz, N., Acosta, H., Rabatte, I., Gogeochea, M., Pavón, P., & Blázquez, S. (2009). Árboles de decisión como herramienta en el diagnóstico médico. *Revista Médica UV*, 9(2), 19–24.
- Battineni, G., Sagaro, G. G., Chinatalapudi, N., & Amenta, F. (2020). Applications of machine learning predictive models in the chronic disease diagnosis. *Journal of Personalized Medicine*, 10(21), 1–11. <https://doi.org/10.3390/jpm10020021>
- Bazyka, D., Pryszyzhnyuk, A., Gudzenko, N., Dyagil, I., Belyi, D., Chumak, V., & Buzunov, V. (2018). Epidemiology of Late Health Effects in Ukrainian Chernobyl Cleanup Workers. *Health Physics*, 115(1), 161–169. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000868>
- Beauchamp, T., & Childress, J. (2012). *Principles of Biomedical Ethics* (7th ed.). Oxford University Press.
- Bernard, M. (2018). The Key Definitions of Artificial Intelligence (AI) That Explain Its Importance. *Forbes*.
- Biau, G., & Fr, G. B. (2012). Analysis of a Random Forests Model. *Journal of Machine Learning Research*, 13, 1063–1095.
- Botta, N. A. (2010). *Teoría y modelización de los accidentes*.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2016.070603>
- Bullock, W., & Ignacio, J. (2006). A strategy for assessing and managing occupational exposures. *AIHA*.
- Buzaev, I. V., Plechev, V. V., Nikolaeva, I. E., & Galimova, R. M. (2016). Artificial intelligence: Neural network model as the multidisciplinary team member in clinical decision support to avoid medical mistakes. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, 2(3), 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2016.09.007>
- Caciari, T., Capozzella, A., Tomei, F., Nieto, H. A., Gioffrè, P. A., Valentini, V., Scala, B., Andreozzi, G., De Sio, S., Chighine, A., Tomei, G., & Ciarrocca, M. (2012).

- Professional exposure to ionizing radiations in health workers and white blood cells. *Annali Di Igiene: Medicina Preventiva e Di Comunita*, 24(6), 465–474.
- Castro-Volio, I. (2020). Indicadores citogenéticos para la identificación de exposición a radiación ionizante en humanos. *Acta Médica Costarricense*, 55(3).  
<https://doi.org/10.51481/amc.v55i3.797>
- Charris L, Henriquez C, Hernandez S, Jimeno L, Guillen O, & Moreno S. (2018). *Análisis comparativo de algoritmos de árboles de decisión en el procesamiento de datos biológicos | Investigación y desarrollo en TIC*.  
<https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/identic/article/view/3158>
- Cohen, B., & Hering, S. (1995). Occupational Air Sampling Strategies by Rock James C. In *Air Sampling Instruments* (8th ed.). ACGIH.
- Collett, G., Craenen, K., Young, W., Gilhooly, M., & Anderson, R. M. (2020). The psychological consequences of (perceived) ionizing radiation exposure: a review on its role in radiation-induced cognitive dysfunction. *International Journal of Radiation Biology*, 96(9), 1104–1118. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1793017>
- Córdova Wilmer. (2008, October 6). *TRIZ, la herramienta del pensamiento e innovación sistemática*. Contabilidad y Negocios.  
<https://www.redalyc.org/pdf/2816/281621751005.pdf>
- Cornfield, J., Gordon, T., & Smith, W. (1961). Quantal response curves for experimentally uncontrolled variables. *Bull Int Statist Inst*, 38(1), 97–115.
- DeJoy, D. M. (1988). Human Factors Model of Workplace Accident Causation. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 32(15), 958–962.  
<https://doi.org/10.1518/107118188786761910>
- Doupe, P., Faghmous, J., & Basu, S. (2019, July). *Machine Learning for Health Services Researchers | Elsevier Enhanced Reader*. Value in Health.  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1098301519301469?token=0DD97A1F45EB7B1702D55D74A44A008C6207AF2434F465D471C7262069F4388BDEDEAFCA5B02AC8A462B735B3CF1D883&originRegion=us-east-1&originCreation=20211029162803>
- EC. (2012). European Commission, Radiation Protection nº162, Criteria for Acceptability of Medical Radiological equipment used in diagnostic radiology, nuclear medicine and radiotherapy. In *Radiology*. <https://doi.org/10.2768/22561>
- Espino, C., & Martínez, X. (2017). *Análisis predictivo: técnicas y modelos utilizados y aplicaciones del mismo - herramientas Open Source que permiten su uso*. Universitat Oberta de Catalunya.
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115–118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>
- Estévez, R. (2018). *Dosimetría Radiológica*. Edifarm.  
[http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14606/1/Dosimetría radiológica.pdf](http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14606/1/Dosimetría%20radiológica.pdf)

- Faggioni, L., Paolicchi, F., Bastiani, L., Guido, D., & Caramella, D. (2017). Awareness of radiation protection and dose levels of imaging procedures among medical students, radiography students, and radiology residents at an academic hospital: Results of a comprehensive survey. *European Journal of Radiology*, *86*, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.10.033>
- FASECOLDA. (2016). *Sistema de Consulta de Información en Riesgos Laborales*. Sistema General de Riesgos Laborales [Base de Datos].
- Fátima Medina Merino, R., & Ismelda Ñique Chacón, C. (n.d.). *INTERFASES Pág. 165*. <https://www.kaggle.com/primaryobjects/voicegender>
- Fiuza, M. D., & Rodríguez, J. (2000). *La regresión logística: una herramienta versátil / Nefrología*.
- Gago, R. (2017, June). *Uso de algoritmos de aprendizaje automático aplicados a bases de datos genéticos*. <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/65426/6/rgagoTFM0617memoria.pdf>
- Garcés, L., & Giraldo, C. (2013). El cuidado de sí y de los otros en Foucault, principio orientador para la construcción de una bioética del cuidado. *Discusiones Filosóficas*, *22*(1), 187–201.
- Garzón, I. R., Alonso, M. L., & Martínez-Fiestas, M. (2013). El riesgo percibido por el trabajador de la construcción: ¿qué rol juega el oficio? *Revista de La Construcción*, *12*(3), 83–90. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2013000300010>
- Gil, P. R. (2012). Riesgos psicosociales en el trabajo y salud ocupacional. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, *29*(2), 237–241.
- Gong, E., Pauly, J. M., Wintermark, M., & Zaharchuk, G. (2018). Deep learning enables reduced gadolinium dose for contrast-enhanced brain MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, *48*(2), 330–340. <https://doi.org/10.1002/jmri.25970>
- González, R. (2007). El Test de Turing : Dos Mitos , Un Dogma. *Revista de Filosofía*, *63*(1), 37–53.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate Data Analysis: A Global Perspective - Joseph F. Hair, William C. Black, Barry J. Babin - Google Llibres*. 7th Edn. New Jersey: Pearson Education, Inc. [https://books.google.com.co/books/about/Multivariate\\_Data\\_Analysis.html?id=SLRP LgAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Multivariate_Data_Analysis.html?id=SLRP LgAACAAJ&redir_esc=y)
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2008). *The Elements of Statistical Learning* (Second Edition). Springer. <https://web.stanford.edu/~hastie/Papers/ESLII.pdf>
- Heinrich, H. (1931). *Industrial Accident Prevention, A Scientific Approach* (1st ed.). Mc Graw Hill.
- Hernández, C., Durán, A., & Cortés, M. C. (2020). Lesiones oculares y radiación ionizante. *Revista Colombiana de Cardiología*, *27*(1), 72–78.

<https://doi.org/10.1016/j.rccar.2019.09.004>

- Hernandez, K., Reyes, L., & Valladares, J. (2015). *Procedimientos Para La Disposición Final de los Diferentes Desechos Radiactivos Generados en el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Médico Quirúrgico y Oncológico del Instituto Salvadoreño del Seguro Social*. Universidad de el Salvador.
- Heydarheydari, S., Haghparast, A., & Eivazi, M. T. (2016). A Novel Biological Dosimetry Method for Monitoring Occupational Radiation Exposure in Diagnostic and Therapeutic Wards: From Radiation Dosimetry to Biological Effects. *Journal of Biomedical & Physics Engineering*, 6(1), 21–26.
- Hoyos, C. G. (1992). *A change in perspective: Safety psychology replaces the traditional field of accident research*. *German Journal of Psychology*, 16(1).  
<https://psycnet.apa.org/record/1992-37306-001>
- Hueso, M., Ibeas, J., Revuelta, I., Santos-Arteaga, F.-J., Soler, M. J., & Buades, J. M. (2019). Big data y ciencia de los datos para una nefrología personalizada: ¿estamos preparados para una “nefrología inteligente”? *NefroPlus*, 11(2), 1–10.
- IARC. (2000). Ionizing Radiation, Part 1: X- And Gamma ( $\gamma$ ) Radiation, and Neutrons. In *Iarc Monographs On The Evaluation Of Carcinogenic Risks To Humans* (Vol. 75).
- ICONTEC. (1995). Higiene y Seguridad: Guía para la clasificación, registro y estadística de accidentes del trabajo y para enfermedades profesionales. *Norma Técnica Colombia NTC 3701*, 3701.
- ICONTEC. (2010). GTC-45: Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. *Icontec*, 571, 1–38.
- ICRP. (2007). *Las Recomendaciones 2007 de las Comisión Internacional de Protección Radiológica* (Vol. 103).
- Ilevbare, I. M., Probert, D., & Phaal, R. (2013). A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. *Technovation*, 33(2–3), 30–37.  
<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003>
- INEN. (2018). Manual de Prevención del Cáncer Ocupacional. *Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas*, 1–58.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP 105). (2011). *Protección Radiológica en Medicina Editada por la Sociedad Argentina de Radioprotección con la autorización de la International Commission on Radiological Protection (ICRP)*. 33–63. [www.sar.radioproteccion.org.ar](http://www.sar.radioproteccion.org.ar)
- James Gareth, W. D., Hastie Trevor, & Tibshirani Robert. (2013). *An Introduction to Statistical Learning* (8th edn.). Springer.  
[https://www.ime.unicamp.br/~dias/Intoduction to Statistical Learning.pdf](https://www.ime.unicamp.br/~dias/Intoduction%20to%20Statistical%20Learning.pdf)
- Koh, H., & Tan, G. (2005). Data mining applications in healthcare. *Journal of Healthcare Information Management*, 19(2), 64–72.
- Kohli, M., Prevedello, L. M., Filice, R. W., & Geis, J. R. (2017). Implementing machine

- learning in radiology practice and research. *American Journal of Roentgenology*, 208(4), 754–760. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.17224>
- Kübler, E. (1997). *The Wheel of Life: A Memoir of Living and Dying*. Simon & Schuster; Scribner.
- Larrañaga, P. (2010). *Tema 7. Regresión Logística*.
- Lugo-Reyes, S. O., Maldonado-Colín, G., & Murata, C. (2014). Artificial intelligence to assist clinical diagnosis in medicine. *Revista Alergia México*, 61(2), 110–120.
- Malone, J., & Zölzer, F. (2016). Pragmatic ethical basis for radiation protection in diagnostic radiology. *British Journal of Radiology*, 89(1059). <https://doi.org/10.1259/bjr.20150713>
- Margulis, A. R., & Sunshine, J. H. (2000). Radiology at the turn of the millennium. In *Radiology* (Vol. 214, Issue 1, pp. 15–23). Radiological Society of North America Inc. <https://doi.org/10.1148/radiology.214.1.r00ja4515>
- Martinez, J. (2020). *Random Forest (Bosque Aleatorio): combinando árboles*. Machine Learning.
- Martínez M., M. (2014). La investigación cualitativa (síntesis conceptual). *Revista de Investigación En Psicología*, 9(1), 123. <https://doi.org/10.15381/rinvp.v9i1.4033>
- Medina. (2020). *Desarrollo de software para implementación de Machine Learning e Inteligencia Artificial*. Universidad Politécnica de Sinaloa.
- Medina, & Ñique, C. (2017). Bosques aleatorios como extensión de los árboles de clasificación con los programas R y Python. *Interfases*, 0(010), 165. <https://doi.org/10.26439/interfases2017.n10.1775>
- Mejía, C. R., Torres Riveros, G. S., Chacon, J. I., Morales Concha, L., Lopez, C. E., Taipe Guilln Ajahuana, C., & Verastegui Diaz, A. (2019). Incidentes laborales en trabajadores de catorce ciudades del Perú : Causas y posibles consecuencias. *Revista de La Asociacion Espanola de Especialistas En Medicina Del Trabajo*, 28(1), 20–27.
- Melgarejo, L. (1994). Sobre el concepto de percepción. *ALTERIDADES*, 4(8), 47–53.
- MinSalud, & INC. (2012). *Plan Decenal para el Control del Cáncer en Colombia 2012-2021*.
- MinTrabajo.Arg, MinEducación.Arg, INET, & OIT. (2014). Salud Y Seguridad (STT): Aportes para una cultura de prevención. In *Material de Apoyo a la Formación*.
- Mintz, Y., & Brodie, R. (2019). Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies*, 28(2), 73–81. <https://doi.org/10.1080/13645706.2019.1575882>
- Morabito, F. C., Campolo, M., Mammone, N., Versaci, M., Franceschetti, S., Tagliavini, F., Sofia, V., Fatuzzo, D., Gambardella, A., Labate, A., Mumoli, L., Tripodi, G. G., Gasparini, S., Cianci, V., Sueri, C., Ferlazzo, E., & Aguglia, U. (2016). Deep learning representation from electroencephalography of early-stage creutzfeldt-jakob disease

- and features for differentiation from rapidly progressive dementia. *International Journal of Neural Systems*, 26(0), 1–15. <https://doi.org/10.1142/S0129065716500398>
- Mosquera, R., Parra, L., Ledesma, A., & Bonilla, H. (2021). Predicción de la accidentalidad laboral en la industria de pulpa y papel usando algoritmos de clasificación. *Información Tecnológica*, 32(1), 133–142. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100133>
- Navarrete, Z. (2013). La universidad como espacio de Formación profesional y constructora de identidades. *Universidades*, 63(57), 5–16.
- Núñez. (2008). *Protección radiológica en Medicina Nuclear* (Vol. 1, p. 14). Comité de Tecnólogos de ALASBIMN.
- Núñez, A., Armengol de la Hoz, M. A., & Sánchez García, M. (2019). Big Data Analysis and Machine Learning in Intensive Care Units. *Medicina Intensiva (English Edition)*, 43(7), 416–426. <https://doi.org/10.1016/j.medine.2019.06.012>
- OIEA. (2016). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. *Oiea*, 178. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1578\\_S\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1578_S_web.pdf)
- OIEA. (2004). Optimización de la protección radiológica en el control de la exposición ocupacional. *Colección de Informes de Seguridad*, 21, 1–88.
- OIEA. (2007). Normas De Seguridad Del Oiea Y Publicaciones Conexas. *Organismo Internacional de Energía Atómica*.
- OIEA. (2010). Radiation Biology: A Handbook for Teachers and Students. In *Training Course Series* (Vol. 42). [https://doi.org/10.1002/1097-0142\(19850501\)55:9+<2051::AID-CNCR2820551404>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1097-0142(19850501)55:9+<2051::AID-CNCR2820551404>3.0.CO;2-Y)
- OIEA. (2016). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. In *Normas de Seguridad del OIEA para la protección de las personas y el medio ambiente: Requisitos de Seguridad Generales, Parte 3 (N°GSR Parte 3)*.
- OIEA. (2018). *Safety Standards for protecting people and the environment Specific Safety Guide No. SSG-46 Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation*.
- OIEA, & OMS. (2012). Bonn Call for Action. *The International Conference on Radiation Protection in Medicine*, 16.
- OIT. (1987). Protección de los trabajadores contra las radiaciones (radiaciones ionizantes). In *Repertorio de Recomendaciones Prácticas de la OIT*.
- OMS. (2006). *Constitución de la Organización Mundial de la Salud*.
- OMS. (2010). Entornos laborales saludables: Fundamentos y Modelo de la OMS. *Contextualización, Prácticas y Literatura de Apoyo*.
- OMS. (2016). *Ionizing radiation, health effects and protective measures*. Newsroom/Fact

Sheets.

- OSHA. (2016). Hazard Prevention and Control. In *Recommended Practices for Safety and Health Programs* (1st ed., p. 40). Occupational Safety and Health Administration.
- Pajic, J., Rakic, B., Jovicic, D., & Milovanovic, A. (2015). A cytogenetic study of hospital workers occupationally exposed to radionuclides in Serbia: premature centromere division as novel biomarker of exposure? *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *89*(3), 477–484. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1086-2>
- Papakonstantinou, D., Zanni, V., Nikitaki, Z., Vasileiou, C., Kousouris, K., & Georgakilas, A. G. (2021). Using Machine Learning Techniques for Asserting Cellular Damage Induced by High-LET Particle Radiation. *Radiation*, *1*(1), 45–64. <https://doi.org/10.3390/radiation1010005>
- Papp, C., Romano-Miller, M., Descalzo, A., Michelin, S., Molinari, A., Rossini, A., Plotkin, C., Bodino, G., Esperanza, G., Di Giorgio, M., & Touzet, R. (2014). Estudio RELID 2014 en Buenos Aires- Argentina. *Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica*, 13.
- Ponce, J., Torres, A., Quezada, F., Silva, A., Martínez, E., Casali, A., Scheihing, E., Túpac, Y., Torres, M., Ornelas, F., Hernández, J., Zavala, C., Vakhnia, N., & Pedreño, O. (2004). Introducción al Aprendizaje. In *Inteligencia Artificial* (1st ed., pp. 79–85). Proyecto LATIn.
- Poveda, B. J. F., & Plazas, M. C. (2020). Elements of radiation protection in intervention rooms. *Revista Colombiana de Cardiología*, *27*, 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.002>
- Prasarn, M. L. (2014). Commentary on: Intraoperative fluoroscopy, portable X-ray, and CT: Patient and operating room personnel radiation exposure in spinal surgery. *Spine Journal*, *14*(12), 2992–2994. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2014.07.006>
- Puerta, J. A., & Morales, J. (2020). Biological effects of ionising radiation. *Revista Colombiana de Cardiología*, *27*, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.005>
- Qian, Q. Z., Cao, X. K., Shen, F. H., & Wang, Q. (2016). Effects of ionising radiation on micronucleus formation and chromosomal aberrations in Chinese radiation workers. *Radiation Protection Dosimetry*, *168*(2), 197–203. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv290>
- Ramírez, W., & Rodríguez, Y. (2014). La Regresión Logística aplicada a un programa de salud en Medicina Veterinaria. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, *15*, 1–19. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63632727003.pdf>
- Rana, S., Kumar, R., Sultana, S., & Sharma, R. K. (2010). Radiation-induced biomarkers for the detection and assessment of absorbed radiation doses. *Journal of Pharmacy & BioAllied Sciences*, *2*(3), 189–196.
- Richardson, D. B., Cardis, E., Daniels, R. D., Gillies, M., O'Hagan, J. A., Hamra, G. B., Haylock, R., Laurier, D., Leuraud, K., Moissonnier, M., Schubauer-Berigan, M. K., Thierry-Chef, I., & Kesminiene, A. (2015). Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: Retrospective cohort study of workers in France, the United

- Kingdom, and the United States (INWORKS). *The BMJ*, 351(1), 1–7.  
<https://doi.org/10.1136/bmj.h5359>
- Rincón Guido. (n.d.). *Short Assay Design for Micronucleus Detection in Human Lymphocytes*. Retrieved September 13, 2021, from  
<https://www.hindawi.com/journals/bmri/2021/2322257/>
- Rodríguez, A., & Rodríguez, N. (2017). *Guía para la identificación de peligros, valoración de riesgos e implementación de controles para la modalidad de teletrabajo*.
- Romero, M. P., Chang, Y. M., Brunton, L. A., Parry, J., Prosser, A., Upton, P., Rees, E., Tearne, O., Arnold, M., Stevens, K., & Drewe, J. A. (2020). Decision tree machine learning applied to bovine tuberculosis risk factors to aid disease control decision making. *Preventive Veterinary Medicine*, 175, 104860.  
<https://doi.org/10.1016/J.PREVETMED.2019.104860>
- Ropolo, M., Balia, C., Roggeri, P., Lodi, V., Nucci, M. C., Violante, F. S., Silingardi, P., Colacci, A., & Bolognesi, C. (2012). The micronucleus assay as a biological dosimeter in hospital workers exposed to low doses of ionizing radiation. *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 747(1), 7–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2012.02.014>
- Rosas, A., Narciso, V., & Cuba, M. (2013). Atributos de la Atención Primaria de Salud (A.P.S): Una visión desde la Medicina Familiar. *Acta Médica Peruana*, 30(1), 42–47.
- Rossignol, N. (2015). Practices of incident reporting in a nuclear research center: A question of solidarity. *Safety Science*, 80, 170–177.  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.07.030>
- Roth, E. (2000). Revista Ciencia y Cultura. *Revista Ciencia y Cultura*, 8, 63–78.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-33232000000200007](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-33232000000200007)
- Sánchez C. (2019). Universidad Politécnica de Cartagena. *Repositorio.Upct.Es*.
- Sasaki, M. S., Tachibana, A., & Takeda, S. (2014). Cancer risk at low doses of ionizing radiation: Artificial neural networks inference from atomic bomb survivors. *Journal of Radiation Research*, 55(3), 391–406. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrt133>
- Scheer, D., Benighaus, C., Benighaus, L., Renn, O., Gold, S., Röder, B., & Böhl, G. F. (2014). The Distinction Between Risk and Hazard: Understanding and Use in Stakeholder Communication. *Risk Analysis*, 34(7), 1270–1285.  
<https://doi.org/10.1111/risa.12169>
- Schieber, C., Pölzl-Viol, C., Cantone, M. C., Ž Eleznic, N., Economides, S., Gschwind, R., Abelshausen, B., Savu, D., Lafage, S., Liutsko, L., Charron, S., Turcanu, C., & Geysmans, R. (2020). Engaging health professionals and patients in the medical field: Role of radiological protection culture and informed consent practices. *Radioprotection*, 55, S235–S242. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2020039>
- Silcox, C. (2020). La inteligencia artificial en el sector salud: Promesas y desafíos. In *La inteligencia artificial en el sector salud: Promesas y desafíos*. BID.



<https://doi.org/10.18235/0002845>

- Siurana Aparisi, J. C. (2010). Los principios de la bioética y el surgimiento de una bioética intercultural. *Veritas*, 22(22), 121–157. <https://doi.org/10.4067/s0718-92732010000100006>
- Slovic, P. (1992). Perception of Risk: Reflections on the Psychometric Paradigm. *Social Theories of Risk*, 117–152.
- Soffia, P., Ubeda, C., Miranda, P., & Rodríguez, J. L. (2017). Radioprotección al día en radiología diagnóstica: Conclusiones de la conferencia iberoamericana de protección radiológica en medicina (CIPRaM) 2016. *Revista Chilena de Radiología*, 23(1), 15–19. <https://doi.org/10.4067/S0717-93082017000100004>
- Solomon, I., Maharshak, N., Chechik, G., Leibovici, L., Lubetsky, A., Halkin, H., Ezra, D., & Ash, N. (2004). Applying an artificial neural network to warfarin maintenance dose prediction. *The Israel Medical Association Journal (IMAJ)*, 6(12), 732–735.
- Starkweather, J., & Kay, A. (2011). *Multinomial Logistic Regression* (pp. 1–6).
- Sun, Z., Inskip, P. D., Wang, J., Kwon, D., Zhao, Y., Zhang, L., Wang, Q., & Fan, S. (2016a). Solid cancer incidence among Chinese medical diagnostic x-ray workers, 1950-1995: Estimation of radiation-related risks. In *International Journal of Cancer* (Vol. 138, Issue 12, pp. 2875–2883). Wiley-Liss Inc. <https://doi.org/10.1002/ijc.30036>
- Sun, Z., Inskip, P. D., Wang, J., Kwon, D., Zhao, Y., Zhang, L., Wang, Q., & Fan, S. (2016b). Solid cancer incidence among Chinese medical diagnostic x-ray workers, 1950-1995: Estimation of radiation-related risks. In *International Journal of Cancer* (Vol. 138, Issue 12, pp. 2875–2883). Wiley-Liss Inc. <https://doi.org/10.1002/ijc.30036>
- Swaminathan, S., Qirko, K., Smith, T., Corcoran, E., Wysham, N. G., Bazaz, G., Kappel, G., & Gerber, A. N. (2017). A machine learning approach to triaging patients with chronic obstructive pulmonary disease. *PLoS ONE*, 12(11).
- Terzic, S., Milovanovic, A., Dotlic, J., Rakic, B., & Terzic, M. (2015). New models for prediction of micronuclei formation in nuclear medicine department workers. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s12995-015-0066-5>
- Torres-Bugarín, O., & Ramos-Ibarra, M. L. (2013). Utility micronucleus test and nuclear abnormalities in exfoliated cells of oral mucosa in the evaluation of genotoxic and cytotoxic damage. *International Journal of Morphology*, 31(2), 650–657. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022013000200050>
- Troncoso, C., & Amaya, A. (2017). Interview: A practical guide for qualitative data collection in health research. *Revista Facultad de Medicina*, 65(2), 329–332. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v65n2.60235>
- Tsapaki, V. (2020). Radiation dose optimization in diagnostic and interventional radiology: Current issues and future perspectives. *Physica Medica*, 79(September), 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.09.015>

- Ubeda, C., Nocetti, D., Inzulza, A., & Alarcón, R. (2018, May 11). *Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo*. *Revista Chilena de Radiología*.  
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchradiol/v24n1/0717-9308-rchradiol-24-01-00005.pdf>
- UNSCEAR. (2018). *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation*. United Nations.
- Uribe, C. F., Mathotaarachchi, S., Gaudet, V., Smith, K. C., Rosa-Neto, P., Bénard, F., Black, S. E., & Zukotynski, K. (2019). Machine learning in nuclear medicine: Introduction to Machine Learning. *Journal of Nuclear Medicine*, *60*(4), 451–458.  
<https://doi.org/10.2967/jnumed.118.223495>
- Vicente, R., Del Barrio, J., & Rodríguez, G. (2017). Radiología Médico-Legal. Un Dilema Ético para el Técnico en Radiología. *Acta Bioethica*, *23*(2), 245–251.
- Vinet, L., & Zhedanov, A. (2011). A “missing” family of classical orthogonal polynomials. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, *44*(8), 2–14.  
<https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Vivas, M. R., Herrera, H. S., Guyot, J. P., Santini Araujo, M. G., Dello Russo, B., & Castellini, J. (2018). Informe sobre la radio-exposición en el personal quirúrgico de Ortopedia y Traumatología. Principios, marco legal y análisis situacional en la Argentina. *Revista de La Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, *83*(3), 210. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2018.83.3.821>
- Yang, T., Gao, X., Sorooshian, S., & Li, X. (2016). Simulating California reservoir operation using the classification and regression-tree algorithm combined with a shuffled cross-validation scheme. *Water Resources Research*, *52*(3), 1626–1651.  
<https://doi.org/10.1002/2015WR017394>
- Zanca, F., Collard, C., Alexandre, N., Deprez, F., Salembier, J. P., Henry, M., Rombaut, E., & Massart, P. E. (2020). Patient exposure data and operator dose in coronary interventional procedures: Impact of body-mass index and procedure complexity. *Physica Medica*, *76*(May), 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.05.006>
- Zhong, F., Xing, J., Li, X., Liu, X., Fu, Z., Xiong, Z., Lu, D., Wu, X., Zhao, J., Tan, X., Li, F., Luo, X., Li, Z., Chen, K., Zheng, M., & Jiang, H. (2018). Artificial intelligence in drug design. *Science China (Life Sciences)*, *61*(10), 1191–1204.  
<https://doi.org/10.1007/s11427-018-9342-2>
- Zölzer, F. (2020). Ethics of Radiological Protection-recent developments. *Journal of Public Health (United Kingdom)*, *42*(1), 183–187. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdy069>
- Zukotynski, K., Gaudet, V., Uribe, C. F., Mathotaarachchi, S., Smith, K. C., Rosa-Neto, P., Bénard, F., & Black, S. E. (2020). Machine Learning in Nuclear Medicine: Part 2- Neural Networks and Clinical Aspects. *Journal of Nuclear Medicine : Official Publication, Society of Nuclear Medicine*, *62*(1), 22–29.  
<https://doi.org/10.2967/jnumed.119.231837>

## Referencias Jurídico-legales

- Decreto 0472 de 2015 [Ministerio del Trabajo]. Por el cual se reglamentan los criterios de graduación de las multas por infracción a las normas de Seguridad y Salud en el Trabajo y Riesgos Laborales, se señalan normas para la aplicación de la orden de clausura del lugar de trabajo o cierre definitivo de la empresa y paralización o prohibición inmediata de trabajos o tareas y se dictan otras disposiciones. 17 de marzo de 2015.
- Decreto 1072 de 2015 [Ministerio del Trabajo]. Por el cual se regula el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. 26 de mayo de 2015.
- Decreto 1295 de 1994 [Ministerio del Trabajo y Seguridad Social]. Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales. 22 de junio de 1994.
- Decreto 2090 de 2003 [Ministerio de la Protección Social]. Por el cual se definen las actividades de alto riesgo para la salud del trabajador y se modifican y señalan las condiciones, requisitos y beneficios del régimen de pensiones de los trabajadores que laboran en dichas actividades. 26 de julio de 2003. D.O. No. 45262
- Ley 797 de 2003 [Constitución Política de Colombia]. Por la cual se reforman algunas disposiciones del Sistema General de Pensiones previsto en la Ley 100 de 1993 y se adoptan disposiciones sobre los Regímenes Pensionales Exceptuados y Especiales. 29 de enero de 2003. D.O. No. 45079
- Resolución 0312 de 2019 [Ministerio del Trabajo]. Por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST. 13 de febrero de 2019.
- Resolución 0482 de 2018 [Ministerio de Salud y Protección Social]. Por la cual se reglamenta el uso de equipos generadores de radiación ionizante, su control de calidad, la prestación de servicios de protección radiológica y se dictan otras disposiciones. 22 de febrero de 2018.
- Resolución 1401 de 2007 [Ministerio de Protección Social]. Por la cual se reglamenta la investigación de incidentes y accidentes de trabajo. 14 de mayo de 2007.
- Resolución 18-1434 de 2002 [Ministerio de Minas y Energía]. Por la cual se adopta el Reglamento de Protección y Seguridad Radiológica. 05 de diciembre de 2002.
- Resolución 2346 de 2007 [Ministerio de Salud y Protección Social]. Por la cual se regula la práctica de evaluaciones médicas ocupacionales y el manejo y contenido de las historias clínicas ocupacionales. 11 de julio de 2007.
- Resolución 3100 de 2019 [Ministerio de Salud y Protección Social]. Por la cual se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y de habilitación de los servicios de salud y se adopta el Manual de Inscripción de Prestadores y Habilitación de Servicios de Salud. 25 de noviembre de 2019.
- Resolución 8439 de 1993 [Ministerio de Salud]. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. 4 de octubre de 1993

# Anexos

## Anexo 1: Formato de preguntas orientadoras

Preguntas para desarrollar en la entrevista sobre percepción del riesgo por radiaciones ionizantes en TOE

### CONOCIMIENTOS

¿Por su experiencia en el cargo que desempeña, que conoce a cerca de los riesgos laborales?

Tipos (físico, biológico), Clases de Riesgos, TOE, prima media, Riesgo V, Periodos de vacaciones.

¿Qué conocimientos tiene sobre Radiación ionizante?

Como se produce, se obtiene efectos estocásticos, determinísticos, afectación herencia, células.

¿Durante el tiempo en el servicio, ha presentado malestares o conoce sobre alguna alteración de salud que tenga relación con su desempeño laboral?

Alteraciones del tiroides, historiales clínicos, VCM, origen de cataratas, valores dosimétricos: ambientales/personales, resequedad en la piel.

¿Cuáles medidas de protección conoce?

Distancia de exposición, exposición directa/indirecta, blindaje (biombos, mampara), tiempos, telemando, colimación, EPP, amperaje.

### HABILIDAD

¿Cuánto tiempo lleva trabajando en el área de la salud y que cargos ha desempeñado?

Horas labor diarias/ anuales, promedio de intervenciones, frecuencia, más común.

¿Cuál ha sido su experiencia en el cargo que desempeña?

Tiempo en el área, cuales áreas, tipo de protección utilizadas, RX, Nuclear, "podría relatarme como lleva a cabo alguno de estos procedimientos y en cual área tiene mayor desempeño, o experiencia"

¿Qué formación tomo para el cargo que ocupa?

Escolaridad, comienzo empírico, etc.

¿La institución de salud IPS, realiza constantemente capacitaciones/actualizaciones?

Se hacen aparte, congresos, seminarios, está en educación continuada, capacitación constante.

### ERGONOMIA

¿Cuántos procedimientos, exámenes, realiza usted o desarrolla en promedio en su actividad laboral?

Jornal diario, relación horas/confort, tiempos/movimientos.

¿Qué dotación personal o laboral le ha brindado la IPS o la entidad de salud donde labora?

¿Qué características tienen los implementos de dotación?

Peso, material, frecuencia de uso.

### CALIDAD

¿Cuál es su opinión sobre los equipos que allí se encuentran?

Calidad del funcionamiento de los equipos, funcionalidad, confiabilidad, seguridad (Chernóbil)

¿Sobre las instalaciones?

Paredes plomadas, hormigón, blindajes, monitoreo, medidor Geiger.

**MANTENIMIENTO** ¿Qué conoce?

¿Qué acciones toma la entidad de salud frente a averías de equipos, o como las evitan?

Visitas periódicas de entes de control, certificación en radio protección: virtual/presencial?

¿Conoce los procesos de corrección y prevención de daños para estos equipos?

Correctivo/ preventivo, periodicidad.

¿Cada cuánto y de qué manera se realiza la limpieza a los equipos?

Lo realiza el técnico, tecnólogo, servicios generales.

**MANEJO DE EQUIPOS**

¿Puede nombrar los once ítems de formación que exige la Resolución 482 de 2018?

O sobre el programa de capacitación en protección y seguridad radiológica

¿Siempre que se va a utilizar un equipo, usted hace uso de los manuales con los que cada uno de los aparatos cuenta?

Instructivos de manejo, limpieza, precaución, aislamiento, demarcación

¿Sobre inverso cuadrado, que es como lo define?

**RELACIONES PERSONALES/INDIVIDUALES**

¿Qué acciones ha tomado la entidad con respecto a su bienestar?

Aplicación de la batería de riesgo psicosocial, acciones de bienestar, incentivos

¿Qué puede contarnos a cerca de horas extras, turnos nocturnos de labor en la entidad de salud?

Pago de recargos/ compensatorios/ritmo circadiano

¿Cómo considera que son las relaciones con el personal de salud (compañeros)?

Lenguaje diferente (jerga)

¿En su experiencia que sabe sobre AT?

¿Ha tenido? ¿Ha ocurrido en su labor? ¿Exposiciones frecuentes? ¿Fugas?

**INFRAESTRUCTURA**

¿Qué conoce a cerca de los sitios de cuarentena?

Sitios de aislamiento, PGIRSH, manejo de sustancias químicas, biológicas

¿Existen sitios de cuarentena para el aislamiento y tratamiento de emisiones de radiación?

Escapes, fugas, segregación, manejo de lodo, Cobalto, Gadolinio.

**MANEJO DE RESIDUOS**

¿Qué acciones debe desarrollar posterior a la toma de un registro clínico?

Descontaminación, desecho de residuos, exposición a fluidos biológicos

## Anexo 2: Consentimiento informado para los participantes

### Consentimiento Informado para participantes en la investigación

El propósito de esta ficha de consentimiento es proveer a los **participantes** en esta investigación una clara explicación de la naturaleza de la misma, así como de su rol en ella como participantes.

La presente investigación es conducida por Guido Marcelo Rincón Arévalo, estudiante del doctorado en ciencia aplicada de la Universidad Antonio Nariño.

Si usted accede a participar en este estudio, se le pedirá responder preguntas en **unas entrevistas que se realizarán según su tiempo y/o espacio**. Esto tomará aproximadamente 60 minutos de su tiempo. Lo que conversemos durante estas sesiones se grabará, de modo que el investigador pueda transcribir después las ideas al pie de la letra de lo que usted haya expresado.

La participación en este estudio es estrictamente voluntaria. La información que se recoja será confidencial y no se usará para ningún otro propósito fuera de los de esta investigación. Sus respuestas al cuestionario y a la entrevista serán codificadas usando un número de identificación y nombres ficticios para personalizar los relatos, por lo tanto, serán anónimas. Una vez transcritas las entrevistas (archivos), con las grabaciones se destruirán.

Si tiene alguna duda sobre este estudio, puede hacer preguntas en cualquier momento durante su participación en él. Igualmente, puede retirarse de la investigación en cualquier momento sin que eso lo perjudique en ninguna forma. Si alguna de las preguntas durante la entrevista le parece incómoda, tiene usted el derecho de hacérselo saber al investigador o de no responderlas.

Desde ya le agradecemos su participación.

---

Acepto participar voluntariamente en esta investigación, conducida por: \_\_\_\_\_ . He sido informado (a) de que la meta de este estudio es obtener mediante entrevistas conocimientos, habilidades, ergonomía, calidad, mantenimiento y manejo de equipos, relaciones personales, infraestructura y manejo de desechos en el servicio asistencial en labores asociadas con el uso de radiación ionizante.

Me han indicado también que tendré que responder cuestionarios y preguntas en una entrevista, lo cual tomará aproximadamente 60 minutos.

Reconozco que la información que yo provea en el curso de esta investigación es estrictamente confidencial y no será usada para ningún otro propósito fuera de los objetivos de este estudio sin mi consentimiento. He sido informado de que puedo hacer preguntas sobre el proyecto en cualquier momento y que puedo retirarme del mismo cuando así lo decida, sin que esto acarree perjuicio alguno para mi persona. De tener preguntas sobre mi participación en este estudio, puedo contactar a \_\_\_\_\_ al teléfono \_\_\_\_\_.

Entiendo que una copia de esta ficha de consentimiento me será entregada, y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando éste haya concluido. Para esto, puedo contactar a \_\_\_\_\_ al teléfono anteriormente mencionado.

---

Nombre del Participante

Firma del Participante

Fecha

(en letras)

Resolución 8430 de 1993

Ministerio de Salud

Colombia

Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud

(Investigación sin riesgo)