



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE  
VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE ZONAS EN LA UNIDAD DE  
MEDICINA NUCLEAR CONVENCIONAL DEL HOSPITAL  
CARLOS ANDRADE MARÍN IESS-QUITO”**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título:

**BIOFÍSICO**

**AUTOR: EDISON OSWALDO CARRILLO VALLEJO**

Riobamba – Ecuador

2015

© 2015, Edison Oswaldo Carrillo Vallejo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA**  
**CARRERA DE BIOFÍSICA**

El Tribunal de Tesis certifica que el trabajo de investigación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE ZONAS EN LA UNIDAD DE MEDICINA NUCLEAR CONVENCIONAL DEL HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARÍN IESS-QUITO”, de responsabilidad del señor egresado Edison Oswaldo Carrillo Vallejo, ha sido prolijamente revisado por los miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación

MSc. Nadia González. ....  
**DIRECTORA DE TESIS**

MgSc. Freddy Benalcázar. ....  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

“Yo, Edison Oswaldo Carrillo Vallejo soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

---

EDISON OSWALDO CARRILLO VALLEJO

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a Dios por ser la concepción más pura y sagrada que puedo poseer y a mis padres que con su largo trabajo y sus ejemplares consejos me permitieron desarrollarme como hombre y como profesional, ellos han sido para mí el modelo a seguir. Todos los resultados obtenidos al concluir el mismo simbolizarán el grato amor, aprecio y cariño que les tengo.

*Edison*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas las personas que con su trabajo permitieron culminar exitosamente esta investigación. De manera especial reconozco la labor de mi Directora de Tesis MSc. Nadia Gonzáles, del Codirector MgSc. Freddy Benalcázar y del personal de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del Hospital Carlos Andrade Marín.

*Edison*

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ALARA</b>	Tan bajo como sea razonablemente alcanzable ( <i>As Low As Reasonably Achievable</i> )
<b>ALI</b>	Límite Anual de Incorporación ( <i>Annual Limit of Incorporation</i> )
<b>Bq</b>	Becquerel
<b>CNSN</b>	Centro Nacional de Seguridad Nuclear de la República de Cuba
<b>CPM</b>	Cuentas por minuto o IPM ( <i>Impulsos por minuto</i> )
<b>CPS</b>	Cuentas por segundo o IPS ( <i>Impulsos por segundo</i> )
<b>CT</b>	Tomografía computarizada ( <i>Computed Tomography</i> )
<b>GE</b>	General Electric
<b>HCAM</b>	Hospital Carlos Andrade Marín
<b>ICRP</b>	Comisión Internacional de Protección Radiológica ( <i>International Commission on Radiological Protection</i> )
<b>ICRU</b>	Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación ( <i>International Commission on Radiation Units &amp; Measurements</i> )
<b>IESS</b>	Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social
<b>mCi</b>	mili Curie
<b>mR</b>	mili Roentgen
<b>OIEA</b>	Organismo Internacional de Energía Atómica, en inglés se conoce como ( <i>International Atomic Energy Agency - IAEA</i> )
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>OPR</b>	Oficial de Protección Radiológica
<b>POE</b>	Personal Ocupacionalmente Expuesto
<b>SCAN</b>	Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares

<b>SPECT</b>	Tomografía computarizada por emisión de fotón único ( <i>single photon emission computed tomography</i> )
<b>Sv</b>	Sievert
<b>UNSCEAR</b>	Comité Científico de las Naciones Unidas para el estudio de los Efectos de la Radiación Atómica ( <i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i> )
<b>TLD</b>	Dosímetro Termoluminiscente ( <i>Thermo Luminescent Dosimeter</i> )
<b>TM</b>	Tecnólogo Médico

## CONTENIDO

RESUMEN .....	xviii
SUMMARY .....	xix
INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES .....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO.....	5
JUSTIFICACIÓN .....	6
OBJETIVOS .....	8
Objetivo General .....	8
Objetivos Específicos.....	8
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.....	9
1.1 Revisión Bibliográfica de Protección Radiológica .....	9
1.2 Protección Radiológica en Medicina Nuclear .....	11
1.2.1 Principios Fundamentales de la Protección Radiológica .....	12
1.2.2 Aspectos Biológicos de la Protección Radiológica.....	14
1.3 Protección Radiológica en Seguridad y Diseño de la Instalación.....	17
1.3.1 Clasificación del personal en una instalación de Medicina Nuclear .....	17
1.3.2 Clasificación de las Áreas en una instalación de Medicina Nuclear .....	18
1.3.3 Señalización .....	19
1.3.4 Restricción y Límites .....	22
1.4 Programa de Monitoreo .....	24
1.4.1 Indicadores.....	25
1.4.2 Equipo de Medición.....	26
CAPÍTULO II DISEÑO DEL PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE ZONAS .....	30
2.1 Análisis de los resultados previo la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas de las variables: tasa de dosis ambiental y niveles de contaminación superficial antes de comenzar la práctica y después de concluirla.....	31
2.2 Diseño del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.....	46
2.2.1 Infraestructura .....	47
2.2.2 Población.....	55
2.2.3 Monitoreo de Vigilancia Radiológica de Zonas.....	56

2.2.4	Inventario de fuentes radiactivas abiertas .....	57
CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE ZONAS .....		
		59
3.1	Implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas .....	59
3.1.1	Infraestructura .....	60
3.1.2	Población.....	71
3.1.3	Monitoreo de las variables estudiadas después de la implementación Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas .....	76
3.1.4	Medidas y recomendaciones de Protección Radiológica .....	89
3.1.5	Inventario de fuentes radiactivas abiertas .....	89
CONCLUSIONES .....		91
RECOMENDACIONES.....		92
GLOSARIO .....		93
BIBLIOGRAFÍA .....		98
<b>Anexo A</b> .....		102
<b>Anexo B</b> .....		117
<b>Anexo C</b> .....		121
<b>Anexo D</b> .....		123
<b>Anexo E</b> .....		125

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1- 1:</b>	Acción directa de la radiación con la cadena de ADN (IZQUIERDA). Acción indirecta de la radiación con la cadena de ADN (DERECHA) .....	17
<b>Figura 1- 2:</b>	Letrero empleado para definir las áreas con radiación ionizante usando la normativa nacional .....	20
<b>Figura 1- 3:</b>	Señalética Internacional utilizada para delimitar áreas .....	21
<b>Figura 1- 4:</b>	Equipo de monitoreo INSPECTOR empleado para la investigación.....	27
<b>Figura 1- 5:</b>	La figura muestra una fuente uniforme de <sup>99m</sup> Tc sobre y de igual área al de ventanilla de detección del monitor, esta fuente se obtuvo con una técnica de frotis que distribuye de manera homogénea el material radiactivo sobre papel absorbente en toda la superficie .....	28
<b>Figura 2-1:</b>	Imágenes de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional durante el desarrollo del diagnóstico del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas .....	38
<b>Figura 2-2:</b>	Estado de la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional durante el desarrollo del diagnóstico del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas .....	42
<b>Figura 2-3:</b>	Fraccionamiento de dosis para pacientes.....	44
<b>Figura 2-4:</b>	Recepción del material radiactivo.....	44
<b>Figura 2-5:</b>	Administración del tratamiento para cáncer de tiroides empleando <sup>131</sup> I .....	45
<b>Figura 2-6:</b>	Transporte de pacientes luego del tratamiento para cáncer de tiroides empleando <sup>131</sup> I.....	46
<b>Figura 2-7:</b>	En 1 se describe el tipo de área, en 2 se muestra el trébol de radiación de color magenta, 3 indica el tipo de zona radiológica y riesgos existentes, 4 es para denotar el fondo de color amarillo y 5 la ubicación del sello institucional.....	53
<b>Figura 2-8:</b>	Letrero para restringir el ingreso a mujeres embarazadas (IZQUIERDA) , letrero de áreas restringidas (DERECHA).....	53

<b>Figura 2-9:</b>	Letreros a utilizar para clasificar zonas radiológicas en la Unidad de Medicina Nuclear según la normativa internacional. El primer letrero se utiliza para definir zonas vigiladas, el segundo y tercer letrero se utilizan para definir zonas controladas, el cuarto y quinto letrero se utilizan para definir zonas de acceso prohibido.....	54
<b>Figura 3-1:</b>	Áreas de la planta de diagnóstico de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional luego de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.....	64
<b>Figura 3-2:</b>	Estado de la bodega de decaimiento después de la implementación del Programa de Vigilancia.....	66
<b>Figura 3-3:</b>	Señalización empleada para el ingreso en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.....	67
<b>Figura 3-4:</b>	Señalética empleada para las zonas vigiladas con riesgo de irradiación. Cada señalética indica el tipo de zona que representa, su clasificación y el riesgo existente.....	68
<b>Figura 3-5:</b>	Señalética empleada para cuarto de inyección (IZQUIERDA), cuarto caliente (MEDIO) y banda de esfuerzo (DERECHA).....	68
<b>Figura 3-6:</b>	Señalética empleada en los servicios higiénicos para mujeres (IZQUIERDA) y en los servicios higiénicos para varones (DERECHA).....	69
<b>Figura 3-7:</b>	Señalética empleada para las salas de exploración: Gammacámara 1, Gammacámara 2, Gammacámara 3 y sala de espera, respectivamente .....	69
<b>Figura 3-8:</b>	Señalización empleada en los sitios de ingreso a la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.....	70
<b>Figura 3-9:</b>	Señalización empleada en las salas de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear: sala de decaimiento de desechos (IZQUIERDA) y sala de decaimiento de fuentes (DERECHA).....	70
<b>Figura 3-10:</b>	Reunión con el personal administrativo de la Unidad de Medicina Nuclear para programar capacitación (ARRIBA). Capacitación del personal de la Unidad de Medicina Nuclear sobre Protección Radiológica y regeneración celular (ABAJO).....	71

<b>Figura 3-11:</b>	La figura muestra la manera de trabajar del POE después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas durante el fraccionamiento y preparación de las dosis de los pacientes.....	73
<b>Figura 3-12:</b>	La figura muestra el protocolo de recepción del material radiactivo después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.....	73
<b>Figura 3-13:</b>	Las figuras muestran el protocolo de administración de las dosis de <sup>131</sup> I después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.....	74
<b>Figura 3-14:</b>	Las figuras muestran el transporte de las dosis <sup>131</sup> I luego de la implementación del programa de vigilancia.....	75
<b>Figura 3-15:</b>	Limpieza programada de la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1- 1:</b>	Límites de dosis para público establecidos por la Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR parte 3 (INTERIM).....	13
<b>Tabla 1- 2:</b>	Límites de dosis para POE establecidos por la Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR parte 3 (INTERIM).....	13
<b>Tabla 1- 3:</b>	Tabla de efectos probables por exposición a dosis agudas.....	14
<b>Tabla 1- 4:</b>	Tabla de efectos de la irradiación total del organismo.....	15
<b>Tabla 1- 5:</b>	Dosis aproximada que recibe el feto debido a estudios en Medicina Nuclear. Se realiza una comparación de dosis inmediata y a los 9 meses por la administración de radiofármacos.....	16
<b>Tabla 1- 6:</b>	Límite de dosis anual en dedos del POE que se registran durante la realización de ciertos procedimientos dentro de Medicina Nuclear.....	22
<b>Tabla 1- 7:</b>	Límite de dosis en relación al ambiente natural como del lugar de trabajo.....	22
<b>Tabla 1-8:</b>	Restricción de dosis propuesta para familiares y personas próximas a pacientes con tratamiento de <sup>131</sup> I.....	23
<b>Tabla 1- 9:</b>	Límites máximos de contaminación para trabajar con <sup>131</sup> I o <sup>99m</sup> Tc.....	23
<b>Tabla 1- 10:</b>	Límites de contaminación que generan los pacientes con dosis de 1000 MBq por tratamiento con <sup>131</sup> I.....	24
<b>Tabla 1- 11:</b>	Límites derivados de contaminación en relación con la clase de radiotoxicidad.....	24
<b>Tabla 1- 12:</b>	Especificaciones técnicas del equipo de medición Inspector.....	27
<b>Tabla 2-1:</b>	Tratamiento estadístico de los valores de tasa de dosis ambiental previo a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas antes de comenzar la manipulación del material radiactivo.....	32
<b>Tabla 2-2:</b>	Tratamiento estadístico de los valores de tasa de dosis ambiental previo a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas luego de concluir con la manipulación del material radiactivo.....	33

<b>Tabla 2-3:</b>	Tratamiento estadístico de los niveles de contaminación superficial obtenidos previa la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas cuando se ha culminado con la práctica.....	35
<b>Tabla 2-4:</b>	Tipos de fuentes abiertas que pueden importarse para el trabajo en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.....	57
<b>Tabla 3- 1:</b>	Tratamiento estadístico de los valores de tasa de dosis ambiental Posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas antes de la manipulación del material radiactivo.....	77
<b>Tabla 3-2:</b>	Tratamiento estadístico de los valores de tasa de dosis ambiental posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas luego de la manipulación del material radiactivo.....	78
<b>Tabla 3-3:</b>	Tratamiento estadístico de los niveles de contaminación superficial en el cuarto caliente obtenidos posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas cuando se ha culminado con la práctica.....	80
<b>Tabla 3-4:</b>	Inventario de Fuentes Abiertas de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.....	90

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1- 1:</b>	Símbolo para representar fuentes de radiaciones ionizantes.....	19
<b>Gráfica 2-1:</b>	Diseño inicial de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. Se resaltan las áreas donde se encontraron mayor cantidad de problemas: Sala de espera de pacientes color rojo, el laboratorio – cuarto caliente color amarillo, sala donde se realiza la prueba de esfuerzo color verde y el cuarto de inyección color violeta.....	37
<b>Gráfica 2-2:</b>	Diseño de la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. Se resaltan las secciones de esta área: ingreso de bodega color verde, sala de decaimiento de desechos color marrón y sala de decaimiento de fuentes color amarillo.....	40
<b>Gráfica 2-3:</b>	Esquema del Programa de Vigilancia Radiológica.....	47
<b>Gráfica 2-4:</b>	Diseño de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. En la derecha se encuentra la planta de diagnóstico y tratamiento mientras que a la izquierda se encuentra la bodega de decaimiento.....	48
<b>Gráfica 3-1:</b>	Diseño de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional posterior a la implementación de los cambios en la infraestructura. Se resaltan las áreas que cambiaron: Sala de espera de pacientes con dosis color naranja, sala de espera de pacientes sin dosis color gris, el laboratorio – cuarto caliente color amarillo, cuarto de inyección color verde y oficina de protección radiológica color violeta en planta de diagnóstico. Sala de ingreso color marrón, sala de decaimiento de desechos color azul y sala de decaimiento de fuentes color rojo.....	63
<b>Gráfica 3-2:</b>	Relación entre los niveles promedio de tasa de dosis ambiental previa a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas con el límite máximo para el público.....	82
<b>Gráfica 3-3:</b>	Relación entre los niveles promedio de tasa de dosis ambiental posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas con el límite máximo para el público.....	83

<b>Gráfica 3-4:</b>	Relación entre los niveles promedio de tasa de dosis ambiental previa a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas con el límite máximo para el POE.....	84
<b>Gráfica 3-5:</b>	Relación entre los niveles promedio de tasa de dosis ambiental posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas con el límite máximo para el POE.....	85
<b>Gráfica 3-6:</b>	Relación de los niveles de contaminación superficial en el cuarto caliente antes y después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.....	86
<b>Gráfica 3-7:</b>	Relación de los niveles de contaminación superficial en el cuarto de inyección antes y después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.....	87

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo fundamental el diseño y la implementación de un Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del Hospital Carlos Andrade Marín. El diagnóstico de la aplicación de normas y criterios de Protección Radiológica determinó la escasez de registros, protocolos y la inaplicabilidad de procedimientos previamente establecidos en dicho campo. Esto fue el punto de partida para el diseño del Programa tomando en consideración el análisis de: la infraestructura, el POE y público, el monitoreo ambiental y la vigilancia radiológica de cada zona, el inventario de las fuentes radiactivas abiertas y la creación de un protocolo de manejo de desechos radiactivos. Como parte de la implementación se organizaron y clasificaron las áreas utilizando señalización establecida bajo los reglamentos nacionales e internacionales. Se capacitó al POE en temas de Protección Radiológica y protocolos de trabajo en cada zona, se realizó el monitoreo de control de los niveles de tasa de dosis ambiental y contaminación superficial; además, se contabilizó la cantidad de fuentes radiactivas abiertas que se encontraban en la instalación y se aplicó el protocolo de manejo de desechos. Una vez implementado el Programa se midieron las variables de tasa de dosis ambiental y niveles de contaminación superficial en las diferentes zonas controladas. Se pudo constatar la efectividad del Programa en base al resultado del tratamiento estadístico de los valores de las variables analizadas, obteniéndose una reducción considerable de las mismas. Finalmente se implementaron las principales medidas y recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos en el Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional, formando parte de las políticas de actuación de cada uno de los actores principales que intervienen en el desarrollo de las diferentes prácticas.

## SUMMARY

The present work had as a fundamental target the design and the implementation of a Radiation Monitoring Program of Areas in the Unit of Conventional Nuclear Medicine of the Hospital Carlos Andrade Marin. The diagnosis of the application of standards and criteria of Radiological Protection determined the scarcity of records, protocols and the irrelevancy of procedures previously established in the above mentioned field. This was the starting point for the design of the Program taking into consideration the analysis of the infrastructure, the Occupationally Exposed Personnel (OEP) and public, the environmental monitoring and the radiological surveillance of every area, the inventory of the open radioactive sources and the creation of a management protocol of radioactive wastes. The areas were organized and classified as a part of the implementation using signaling established under the national and international regulations. The OEP was trained on issues of Radiation Protection and work protocols in each zone, and it was made the monitoring control of the levels of ambient dose rate and surface contamination, also the amount of open radioactive sources that was recorded in the installation was accounted, and it was applied the waste management protocol. As soon as the Program was carried out the variables of ambient dose rate and levels of surface contamination were measured in the different controlled areas. It was possible to state the effectiveness of the Program based on the result of the statistical treatment of the values of the analyzed variables resulting in a considerable reduction of the same. Finally the main measures and recommendations derived from the results obtained in the Radiation Monitoring Program of Areas in the Unit of Conventional Nuclear were executed, being part of the action policies of each of the key actors involved in the development of different practices.



## INTRODUCCIÓN

La Protección Radiológica es una disciplina de carácter científico – técnica que tiene como principal objetivo la protección de las personas y del medio ambiente contra los efectos nocivos que pueden resultar de la exposición a radiaciones ionizantes. Debido al uso incontrolado de las radiaciones ionizantes durante las primeras etapas de su desarrollo, se constató una serie de patologías que presentaban las personas que estaban expuestas; esto se obtuvo como resultado de las investigaciones realizadas sobre los efectos de la radiación ionizante luego del descubrimiento de los rayos X.

Lesiones cutáneas, la presencia de cataratas, entre otros fueron los diagnósticos atribuibles a la exposición a la radiación ionizante. A este tipo de efectos se atribuyó el nombre de *deterministas*<sup>1</sup>, debido a que su presencia se manifestará al recibir dosis superiores a cierto valor umbral, que es característico de cada tipo de efecto.

Pero no solo puede presentar este tipo de efecto, existe otro tipo al que se denomina *estocástico*<sup>2</sup>; en la mayoría de estudios realizados a poblaciones que han estado expuestas a altas dosis de radiación ionizantes se constata la incidencia de diferentes neoplasias (tumores), en la que el efecto estocástico puede producir un daño en el individuo que solo se podrá constatar luego de un largo período de tiempo. (CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (CSN), 2001)

Luego de conocer el potencial daño de la radiación ionizante, entidades internacionales como: el Organismo Mundial de la Salud (OMS), el Comité Internacional de Protección Radiológica (ICRP), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR) y nacionales como: la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nuclear (SCAN) han trabajado por regular y controlar su uso con la finalidad de asegurar y brindar mejoras en temas de protección a los individuos que se encuentren expuestos a la radiación ionizante sin interferir con los beneficios que la misma otorga, especialmente enfocando al campo de la salud.

---

<sup>1</sup> Efecto determinista: involucra altas dosis de radiación ionizante sobre porciones grandes del cuerpo, se caracterizan por tener un valor umbral, si no se supera ese valor no se observan efectos y tendrán un corto período de latencia y una severidad en función de la dosis. Estos pueden categorizarse en efectos tempranos o tardíos. (Núñez, Efectos Biológicos de las Radiaciones, 2008)

<sup>2</sup> Efecto estocástico: es un efecto estadístico en naturaleza, se puede predecir la proporción de una población dada de personas expuestas que será afectada, pero imposible predecir con exactitud que individuo sucumbirá. No existe un valor umbral de dosis de radiación ionizante y se expresa luego de un largo periodo de latencia. (Núñez, Efectos Biológicos de las Radiaciones, 2008)

Por lo que la presente investigación persiguió como objetivo el diseñar e implementar un Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas donde se evaluó el estado del área a controlar, se buscó mejorar las técnicas utilizadas y se efectuaron los procedimientos que no se han practicado en lo que respecta a Protección Radiológica en Medicina Nuclear Convencional. Es decir, al implementar mejoras en el campo de la radioprotección se disminuyeron los niveles de exposición que afectaba la Protección Radiológica del Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE), del paciente y del público que ingresaba a la Unidad de Medicina Nuclear Convencional; además de disminuir los niveles de contaminación superficial en lo que respecta a la manipulación de fuentes radiactivas.

La investigación se estructuró en base a tres capítulos: en el primer capítulo se describe las bases teóricas. Se recopiló información y material científico de distintos autores e instituciones internacionales que realizan investigaciones en el tema de Protección Radiológica.

Con la información obtenida se identificó los parámetros y reglamentos que deben ser aplicados en una instalación de Medicina Nuclear como parte del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

En el segundo capítulo se detalla el diagnóstico realizado en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional, de forma que se conoció el estado de la instalación y el diseño del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas. En el diseño se examinó los cambios que disminuyeron los niveles de tasa de dosis ambiental y niveles de contaminación superficial durante el desarrollo de la práctica.

Finalmente en el tercer capítulo se describió el proceso de la implementación y los resultados obtenidos. En este capítulo se mostraron los resultados del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas que determinaron el aporte de la investigación a la Protección Radiológica dentro de la instalación de Medicina Nuclear Convencional del HCAM.

## ANTECEDENTES

Se han desarrollado varios estudios en el campo de la Protección Radiológica dentro del ámbito de la salud. Muchos de esos estudios consideran los temas de Seguridad Radiológica en instalaciones como Radioterapia, PET-CT, Imagenología y Medicina Nuclear, siendo el último de principal interés para esta investigación.

Entre las publicaciones realizadas en este campo se mencionan autores y/o entidades como el Centro Nacional de Seguridad Nuclear de la República de Cuba (CNSN) que publicó “LA GUÍA DE SEGURIDAD PARA LA PRÁCTICA DE MEDICINA NUCLEAR” elaborado en enero del 2011; en este documento se establecen las reglas y normas a seguir para la práctica de Medicina Nuclear. Esta guía se presentó durante el Foro Iberoamericano de Organismos Radiológicos y Nucleares. (Centro Nacional de Seguridad Nuclear, 2011)

La TM. Núñez Margarita realizó una investigación sobre Protección Radiológica en Medicina Nuclear en la Escuela Universitaria de Tecnología Médica en Uruguay - Montevideo (UdelaR) en corporación con el Comité de Tecnólogos de la Asociación Latinoamericana de Sociedades de Biología y Medicina Nuclear (ALASBIMN) en el año 2008 (Núñez, Protección radiológica en Medicina Nuclear, 2008). Ella publicó la guía de Protección Radiológica en Medicina Nuclear que detalla los parámetros de control en una instalación de este tipo y describió las unidades a valorar, los procedimientos a seguir en casos normales o emergentes y los límites de dosis para el trabajo diario.

La Sociedad Española de Protección Radiológica con sede en Madrid editó un Manual General de Protección Radiológica el cual fue presentado el 16 de octubre del 2002, en este documento se informan las recomendaciones y los procedimientos a seguir en lo que respecta a Seguridad Radiológica Hospitalaria. Se emplea este trabajo para seguir las directrices de la aplicación de la normativa básica relativa a la protección de pacientes, trabajadores expuestos y público (Sociedad Española de Protección Radiológica, 2002).

Otro aporte se obtiene de las presentaciones y conferencias de Protección Radiológica para instalaciones de Medicina Nuclear realizadas por la OIEA. En estos trabajos se describe la estructura de una instalación de este tipo, características de la población involucrada y se menciona el equipamiento dentro de la Unidad de Medicina Nuclear. (International Atomic Energy Agency, 2013).

Existen además dos manuales de Protección Radiológica realizados en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del Hospital Carlos Andrade Marín (HCAM). Dichos trabajos son: “MANUAL DE USO Y CONTABILIDAD DE MATERIAL RADIATIVO Y PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA”, elaborado en la ciudad de Quito en agosto de 2005. Y el “MANUAL DE PROCEDIMIENTOS EN SITUACIONES NORMALES Y DE EMERGENCIA” diseñado en agosto de 2011 en la ciudad de Quito.

Ambos manuales fueron diseñados por el Oficial de Protección Radiológica vigente durante los períodos mencionados y se encuentran aprobados por la Dirección del Hospital y la autoridad reguladora SCAN. Todos los trabajos e investigaciones mencionadas representan las bases teóricas que permitieron consolidar el diseño del Programa de Vigilancia Radiológica para esta investigación.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO

Las investigaciones mencionadas anteriormente, en conjunto con los estatutos y reglamentos de los organismos de control sobre Protección Radiológica permiten plantear la solución al problema científico que se presenta: “¿Cómo diseñar e implementar un Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en una Unidad de Medicina Nuclear Convencional como parte de un sistema de monitoreo radiológico?”

Esta interrogante debe complementarse con la información de actividades que involucren el uso y exposición a radiación ionizante como: preparación de dosis para los pacientes con finalidad de diagnóstico o tratamiento, transporte de radiofármacos fuera del laboratorio - cuarto caliente, administración de dosis a los pacientes, traslado de pacientes con radiofármacos incorporados, exposición debido a la gestión para eliminar desechos radiactivos, entrega y salida de fuentes radiactivas de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional, procedimientos en caso de emergencias (incidentes / accidentes).

Al obtener respuestas del modo de operar en los puntos mencionados, se podrá determinar las causas que genera (si es el caso) niveles de exposición elevados y contaminación superficial dentro de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. También se podrán establecer los procedimientos adecuados para reducir los niveles de exposición y contaminación superficial, todo esto garantizando el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales de Protección Radiológica durante la práctica. (Tubiana & Hanson, Radiomedicina para todos, 1995)

## JUSTIFICACIÓN

La Unidad de Medicina Nuclear Convencional del Hospital Carlos Andrade Marín brinda los servicios de diagnóstico y tratamiento a sus afiliados y a la comunidad mediante el empleo de fuentes radiactivas abiertas. Por la gran demanda de pacientes que solicitan este tipo de atención, la Unidad de Medicina Nuclear Convencional debe garantizar continuar con su funcionamiento cumpliendo a cabalidad los requisitos establecidos por la ley.

Por lo tanto la Unidad de Medicina Nuclear Convencional debe renovar la Licencia de Operación Institucional establecida por la autoridad reguladora SCAN para continuar brindando sus servicios. Como uno de los principales parámetros para la renovación de este permiso se exige el diseño y la implementación de un Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas. La finalidad de este programa es constatar que el ambiente de trabajo del POE esté dentro de los límites establecidos, asegurando de esta forma la seguridad ocupacional y de manera colateral verificando si la Unidad de Medicina Nuclear Convencional cumple con las normas de radioprotección para los pacientes y el público que ingrese a la instalación.

Al verificar la carencia de este tipo de documento y la necesidad de cumplir con este requisito para obtener los permisos de funcionamiento, la Unidad de Medicina Nuclear Convencional requería que se realice una investigación que permita diseñar e implementar un Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas para esta instalación. De manera que se refuercen los conceptos de Protección Radiológica durante la jornada laboral y así se pueda evaluar si los protocolos establecidos son los apropiados y se están aplicando adecuadamente por el personal de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. Este trabajo se constituye como tarea fundamental en materia de Protección Radiológica para POE, pacientes, público y el medio ambiente.

Cabe decir que la OMS en colaboración con la OIEA han emitido reglamentos y normas en el tema de Protección Radiológica dentro del marco de la cobertura de diagnóstico y del tratamiento, encaminado a la relación de costo-beneficio, en la que se espera obtener mayores resultados del uso de la radiación ionizante comparando con las consecuencias peligrosas que genera la misma. (OMS & OIEA, 1972)

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICPR) en su publicación N° 60, actualizó la situación de la Radiobiología y el marco conceptual de la Protección Radiológica determinando:

- Cada exposición a las radiaciones ionizantes puede tener efectos negativos en la salud humana, ya que no es posible evitar por completo el efecto carcinógeno de estos agentes.
- No se debe adoptar ninguna práctica que entrañe una exposición a las radiaciones ionizantes a menos que los beneficios para los individuos expuestos o la sociedad en general compensen los efectos nocivos.
- La exposición profesional no debe exceder un nivel de dosis de 20mSv anuales promediado por un período de 5 años, es decir 100mSv en 5 años y para miembros de público en 1 año no se debe recibir más de 1 mSv incluyendo el riesgo de los accidentes.
- Toda Protección Radiológica establece que se debe mantener los niveles de irradiación externa lo más baja posible. La Protección Radiológica es un problema cuando hay un déficit de cultura profesional. (Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, 1979)

Por lo que establecer e implementar un Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas que permita registrar los niveles de tasa dosis ambiental y niveles de contaminación superficial en situaciones normales, así como la toma de decisiones oportunas ante la ocurrencia de una emergencia radiológica, se torna impostergable en cualquier Unidad de Medicina Nuclear.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar e implementar un Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del Hospital Carlos Andrade Marín IESS– QUITO.

### **Objetivos Específicos**

- Estudiar el estado del arte en el tema objeto de la investigación.
- Diseñar un Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas que permita evaluar las tasas de dosis y los niveles de contaminación que existen en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del HCAM.
- Implementar el Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas diseñado que permita la evaluación de las tasas de dosis y los niveles de contaminación que existen en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del HCAM.
- Elaborar medidas y recomendaciones de Protección Radiológica para disminuir tanto como sea posible la dosis a la que se exponen el Personal Ocupacionalmente Expuesto y el público en general dentro de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del HCAM.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realiza una breve revisión de la temática de Protección Radiológica con un enfoque a la Medicina Nuclear, además de presentar un esquema del problema científico que se va a tratar y una revisión conceptual del programa de monitoreo e indicadores a emplearse para realizar esta investigación.

### 1.1 Revisión Bibliográfica de Protección Radiológica

El descubrimiento de las propiedades básicas de los Rayos X fue realizado por Wilhem Conrad Roentgen, él realizó muchos experimentos con rayos catódicos. En uno de sus experimentos se percató de un fenómeno que no supo explicar, la fluorescencia de cristales de platino cianuro de bario un 8 de noviembre de 1895.

Luego de esta observación se percató que este fenómeno singular dio origen al estudio de un nuevo tipo de rayos que se conocería como **Rayos X**<sup>3</sup>, ya con un mayor conocimiento de este tipo de rayos se realiza la primera placa radiográfica el 20 de noviembre de 1895 (Buzzi A. , 2009).

Aunque luego de varios descubrimientos obtenidos con la radiación ionizante, se determinó el potencial daño de los mismos; no obstante la disciplina de Protección Radiológica nace en la década de los 50 como consecuencia del desarrollo de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en los campos de la industria, medicina e investigación.

Es por esto que entidades como UNSCEAR que fue establecido por la Asamblea General con resolución N°913 un 3 de diciembre de 1955, se ha encargado de realizar amplios estudios de las fuentes de radiación ionizante y los efectos en la salud de los seres humanos y el medio ambiente.

Este comité examina y evalúa los indicios que pueda haber de los efectos de la radiación ionizante en grupos que están expuestos a la misma, como ejemplo se menciona los desastres nucleares de las bombas lanzadas en Japón, el accidente de Chernóbil, incluso se examina

---

<sup>3</sup> Rayos X: Este nombre resulta por la nomenclatura algebraica de lo desconocido. (Buzzi A. , 2009)

los avances registrados en el conocimiento de los mecanismos biológicos en los que se determina los daños a la salud de seres humanos o en la biota no humana.

Es por esto que se constituyó en colaboración con otras entidades internacionales normas, leyes y reglamentaciones para la Protección Radiológica de la población en general y de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes (Naciones Unidas, 2012).

El 26 de octubre de 1971 con la reunión en Ginebra del Comité Mixto OIEA y OMS de expertos en el uso de la radiación ionizante, se examinó las ventajas en medicina de su uso y también del uso de isótopos radiactivos y los riesgos inherentes del abuso o empleo indebido de las mismas.

Aquí el Dr. Dieterich principal miembro que expuso en esta reunión, manifestó que se debería informar sobre la manera más eficaz de sacar partido del uso de las radiaciones ionizante en medicina, para las actividades en lo que involucra medicina preventiva y asistencia médica; además de establecer programas para mostrar el empleo de las radiaciones ionizantes dentro de medicina a planes de acción sanitaria, todo esto encaminado a examinar las situaciones en varios países (OMS & OIEA, 1972).

Dentro del campo de la salud UNSCEAR comparó las estimaciones de los períodos de 1985-1990 y 1991-1996, y concluyó que mientras la población mundial aumento solo el 10%, la dosis efectiva por persona en el mundo debida a la exposición médica de pacientes aumento 35% y la dosis colectiva aumento 50%. También se estimó que en el año 2011 se realizaron unos 2000 millones de procedimientos médicos y que Medicina Nuclear de este total tiene unos 32 millones de exploraciones médicas. Considerando la gran aplicación de las radiaciones ionizantes, se debe velar por la PROTECCION RADIOLÓGICA EN MEDICINA para garantizar la seguridad de pacientes, trabajadores y público en general (UNSCEAR , 2011).

En Ecuador la incorporación de un estatuto de Protección Radiológica está establecido en el Registro Oficial emitido por el Consejo Supremo de Gobierno sobre establecer el Reglamento de Seguridad Radiológica en 1979. Si bien antes de este reglamento no se contaba con ninguna documentación legal que permitiese regular y establecer el buen uso de las radiaciones ionizantes dentro de las siguientes disposiciones: Código de Salud – art. 33-44, Convenio N° 115 Gobierno Nacional – Organización Nacional Internacional de Trabajo (OIT), Ley de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica N°3306, Tratado de Salvaguardias Nucleares suscrito en México en 1974 y la ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental – Decreto Supremo N° 374.

El decreto está estructurado con las recomendaciones internacionales del OIEA y la Comisión Internacional de Protección Radiológica, en la que constan sugerencias del Ministerio de Salud Pública, de Trabajo, de Bienestar Social, el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), las Sociedades Ecuatorianas de Radiología, Biología, Medicina Nuclear, Oncología y ciencias afines. Aunque oficialmente este Reglamento es expedido por Decreto Supremo N°3306 el 8 de marzo de 1979 y publicado en el Registro Oficial N°798 el 23 de marzo del mismo año. Este decreto se emplea como reglas a seguir sobre el tema de la Protección Radiológica, que incluye parámetros de control para las instalaciones, para el personal y público en general (SCAN, 2010).

## **1.2 Protección Radiológica en Medicina Nuclear**

Existen varias publicaciones de Protección Radiológica orientada a Medicina Nuclear pero es importante conocer la normativa de la publicación N° 105 del ICRP, la cual clasifica tres niveles de justificación para una práctica radiológica en medicina:

- El primero, determina que el uso apropiado de la radiación en medicina es aceptado ya que es más beneficioso que dañino para la sociedad.
- El segundo, determina que para un procedimiento específico con un objetivo concreto es definido y justificado, aquí se juzga si el procedimiento radiológico mejorará el diagnóstico o el tratamiento, o proporcionará la información necesaria acerca de los individuos expuestos.
- El tercero, determina que la aplicación del procedimiento a un paciente individual deberá estar justificado, es decir, se debería dictaminarse que la aplicación particular es más beneficiosa que dañina para el paciente individual. En consecuencia todas las exposiciones médicas individuales deberían ser justificados por adelantado, teniendo en cuenta los objetivos específicos de la exposición y las características del individuo involucrado (ICPR-105, Protección Radiológica en Medicina, 2011).

También mencionar los 14 módulos redactados por la OIEA sobre: principios de radioprotección, efectos biológicos, física de las radiaciones, seguridad de fuente, protección ocupacional, exposición médica, optimización de la exposición médica en diagnóstico y terapia, aseguramiento de la calidad, desechos radiactivos, exposición potencial, protección del público y otros referente a las unidades de Medicina Nuclear, que describen de manera general una unidad de Medicina Nuclear desde su infraestructura, población involucrada y actividades que se realiza en la misma, con lo cual se puede establecer una base histórica del

tema de seguridad radiológica para este tipo de unidades. (International Atomic Energy Agency, 2013)

### ***1.2.1 Principios Fundamentales de la Protección Radiológica***

El sistema de protección desarrollado se basa en el uso de:

- a. Modelos anatómicos y fisiológicos de la persona de referencia para evaluar las dosis de radiación.
- b. Diferentes estudios a nivel molecular y celular.
- c. Estudios de animales de experimentación.
- d. Estudios epidemiológicos.

Gracias a estos estudios se ha obtenido información sobre la dosis comprometida por unidad incorporada de diferentes radionúclidos para exposiciones internas y dosis por unidades de kerma en aire para exposiciones externas de personal ocupacionalmente expuesto, pacientes y público. También ya se conoce los umbrales efectivos para efectos deterministas, es así que con dosis anuales que se acercan a 100mSv casi siempre justifican la introducción de acciones protectoras.

Pero debido a la naturaleza probabilista de los efectos estocásticos se hace imposible concluir una distinción entre “seguro” y “peligroso”. Esto crea dificultades de explicación del control de los riesgos de la radiación. Es por esto que se obtiene un sistema de protección establecida por la ICRP (ICPR-103, 2007) que establece 3 principios fundamentales de protección:

- Justificación de la práctica.
- Optimización de la Protección Radiológica.
- Limitación de la Dosis.

**PRINCIPIO DE JUSTIFICACIÓN DE LA PRÁCTICA.-** toda práctica donde se incorpore la exposición a radiación ionizante debe producir más beneficio que daño. Esto implica que toda decisión en la cual se introduzca una nueva fuente de radiación, se reduzca una exposición existente o el riesgo potencial de esta exposición y debería producir suficiente beneficio individual o social como para compensar el detrimento que causa esa decisión.

**OPTIMIZACIÓN DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.-** la probabilidad de recibir exposiciones, el número de personas expuestas y la magnitud de las dosis individuales deben

mantenerse tan bajos como sea razonablemente alcanzable, teniendo en cuenta factores económicos y sociales. El nivel de protección debería ser el mejor, maximizando el margen de beneficio en relación al daño. Deben existir restricciones de las dosis y niveles de referencia.

**LÍMITACIÓN DE LA DOSIS.-** los límites de dosis reglamentarios son establecidos por la autoridad reguladora, teniendo en consideración las recomendaciones internacionales aplicadas a trabajadores y miembros del público en situaciones de exposición planificada. (IAEA, 2011). Ver tabla 1-1 y tabla 1-2.

**Tabla 1-1:** Límites de dosis para público establecidos por la Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR parte 3 (INTERIM)

<i>LÍMITES DE DOSIS PARA PÚBLICO</i>			
LÍMITE DE DOSIS EFECTIVA	LÍMITE DE DOSIS EQUIVALENTE		
Cuerpo Entero	Cristalino	Órganos Internos y Piel <sup>4</sup>	Extremidades
1 mSv/año	15 mSv/año	50 mSv/año	50 mSv/año

**Fuente:** Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2011)

**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

**Tabla 1-2:** Límites de dosis para POE establecidos por la Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR parte 3 (INTERIM)

<i>LÍMITES DE DOSIS PARA POE</i>			
LÍMITE DE DOSIS EFECTIVA	LÍMITE DE DOSIS EQUIVALENTE		
Cuerpo Entero	Cristalino	Órganos Internos y Piel	Extremidades
20 mSv/año (dosis efectiva máxima de 50 mSv/año en cualquier año sin sobrepasar los 100 mSv en 5 años) <sup>5</sup>	20 mSv/año (límite de 100 mSv en 5 años)	500 mSv/año	500 mSv/año

**Fuente:** Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2011)

**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

<sup>4</sup> Piel: Promediado en un área de 1 cm<sup>2</sup> de piel, independientemente del área expuesta. El límite de extremidades considera: manos, pies, antebrazos y tobillos.

<sup>5</sup> Para trabajadoras embarazadas se debe cumplir con el límite de dosis máximo de 2mSv anuales en la superficie del abdomen. Para aprendices y estudiantes el límite es de 6mSv/año.

### 1.2.2 Aspectos Biológicos de la Protección Radiológica

El principal enfoque de la Protección Radiológica es disminuir los efectos nocivos que causa la radiación en la salud humana. Cuando la radiación ionizante entrega su energía a una entidad biológica provoca varios efectos y su severidad dependerá de la dosis absorbida por el organismo. La mayoría de los efectos pueden agruparse en dos categorías generales:

- Efectos Deterministas
- Efectos Estocásticos

**EFFECTOS DETERMINISTAS.**- este efecto implica altas dosis de radiación sobre grandes porciones del cuerpo. Aquí se caracteriza valores umbrales, por debajo de estos no se observa ningún efecto, un corto período de latencia y la severidad del efecto depende de la dosis absorbida. Los efectos deterministas se clasifican en:

*Efectos tempranos.*- aparecen dentro del primer año de la exposición, se relacionan con la cantidad de células muertas, la reparación del daño producido y la tasa de recambio de la línea celular irradiada. Para alterar este tipo de efectos se suele **fraccionar la dosis**<sup>6</sup>, debido a que los tejidos soportan dosis más grandes si ésta es fraccionada. Ver tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Tabla de efectos tempranos por dosis agudas

<b>EFEECTO PROBABLE</b>	<b>DOSIS AGUDAS</b>
Ninguna lesión evidente	0 - 0.25 Sv
Posibles alteraciones en la sangre, pero ninguna lesión grave	0.25 - 0.5 Sv
Alteraciones de las células sanguíneas, alguna lesión leve	0.5 - 1 Sv
Lesión y posibles daños graves	1 - 2 Sv
Certeza de lesión con probabilidad de defunción	2 - 4 Sv
Cincuenta por ciento de mortalidad	4 Sv
Probablemente mortal	6 Sv

**Fuente:** Organismo Internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency, 2013)

**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

<sup>6</sup> Fraccionar la dosis: se define como repartir la cantidad total de radiación absorbida administrada en varios períodos de tiempo.

*Efectos tardíos*.- suceden luego del año de recibir la dosis, se relacionan con el daño inicial generado por la dosis y el deterioro debido a los mecanismo de reparación; estos efectos son proporcionales a la dosis total recibida. (Núñez, Efectos Biológicos de las Radiaciones , 2008). Algunos efectos tardíos se presentan en la tabla 1-4.

**Tabla 1-4:** Tabla de efectos tardíos de la irradiación total del organismo

<b>DOSIS LIGERA</b>	0-0.25 Sv	Ningún efecto clínico detectable, probablemente ningún efecto diferido
	0.50 Sv	Ligeros cambios pasajeros en la sangre, ningún otro efecto clínicamente detectable. Posibles efectos diferidos, pero muy improbables efectos graves en un individuo medio
<b>DOSIS MODERADA</b>	1 Sv	Náuseas y fatiga con posibles vómitos por encima de 1.25 Sv. Alteraciones sanguíneas marcadas con restablecimiento diferido, probable acortamiento de la vida
	2 Sv	Náuseas y vómitos en las primeras 24 horas. A continuación un periodo latente de una semana, caída del cabello, pérdida del apetito, debilidad general y otros síntomas como irritación de garganta y diarrea, posible fallecimiento en un tiempo de 2-6 semanas de una pequeña fracción de los individuos irradiados. Restablecimiento probable de no existir complicaciones a causa de un deterioro de salud o infecciones
<b>DOSIS SEMI MORTAL</b>	4 Sv	Náuseas y vómitos entre 1 a 2 horas. Tras un periodo latente de una semana, caída del cabello, pérdida del apetito y debilidad general con fiebre. Inflamación grave de boca y garganta en la tercera semana. Síntomas tales como palidez, diarrea, epíxtasis y rápida extenuación hacia la 4a. semana. Algunas defunciones se presentan a las 2 a 6 semanas. Mortalidad probable de 50%.
<b>DOSIS MORTAL</b>	6 Sv	Náuseas y vómitos entre 1 a 2 horas. Corto periodo latente a partir de la náusea inicial. Diarrea, vómitos, inflamación de boca y garganta hacia el final de la primera semana. Fiebre, rápida extenuación y fallecimiento incluso en la 2a. semana. Finalmente, fallecimiento probable de todos los individuos irradiados.

**Fuente:** Organismo Internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency, 2013)  
**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

**EFFECTOS ESTOCÁSTICOS**.- se presentan a niveles bajos de exposición, el daño será estadístico por naturaleza; es posible predecir la proporción de individuos afectados de una población dada, pero imposible predecir con exactitud que individuo sucumbirá. En estos tipos de efectos los más preponderantes son: cáncer cuando hay una mutación de células somáticas del individuo o individuos expuestos y efectos heredables cuando la mutación es de las células germinales. La principal característica de los efectos estocásticos es la inexistencia de dosis umbral demostrable, aquí el daño se presenta como un pequeño incremento en la incidencia normal o espontánea y se expresa el efecto luego de un largo periodo de latencia. (Núñez, Efectos Biológicos de las Radiaciones , 2008)

*Efectos Genéticos.*- son las alteraciones genotípicas hereditarias como resultado de mutaciones de genes o cromosomas de células germinales haploides. Estos efectos muestran una relación *dosis – efecto* incierto y solo se puede definir como el riesgo asociado a la dosis. (Núñez, Protección radiológica en Medicina Nuclear, 2008). Ver Tabla 1-5.

**Tabla 1-5:** Dosis aproximada que recibe el feto debido a estudios en Medicina Nuclear. Se puede suponer efectos genéticos por la administración de radiofármacos

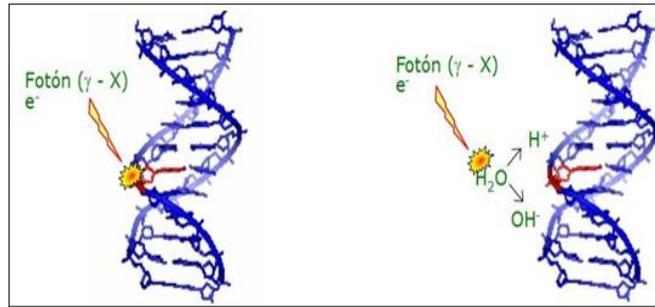
<i>PROCEDIMIENTO</i>	ACTIVIDAD ADMINISTRADA (MBq)	DOSIS ABSORBIDA INMEDIATA (mGy)	DOSIS ABSORBIDA A LOS 9 MESES (mGy)
Gammagrafía Ósea	750	4.7	1.8
Gammagrafía de pulmón V/P	240	0.9	0.9
Gammagrafía Hepática (Coloide)	300	0.6	1.1
Gammagrafía de Tiroides	400	4.4	3.7
Gammagrafía Renal Dinámica Dtpa	750	9.0	3.5
Gammagrafía de Glóbulos Rojos	930	6.0	2.5
<sup>123</sup> I Captación Tiroidea	30	0.6	0.3
<sup>131</sup> I Captación Tiroidea	0.55	0.04	0.15

**Fuente:** Organismo Internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency, 2013)

**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

*Cáncer.*- El carcinoma producto de la exposición a radiación ionizante puede presentarse cuando existe una alteración de las moléculas de ADN que le permiten a la célula crecer anormalmente, perder su función original y reproducirse incontroladamente.

Si el ADN es modificado y la célula no lo repara o existe una mala reparación se puede producir daños irreversibles. Los daños en los procesos celulares son catastróficos como: impedir la reproducción de la célula o provocar una división celular sin control que podría generar lo que conocemos como cáncer. Ver figura 1-1.



**Figura 1-1:** Acción directa de la radiación con la cadena de ADN (IZQUIERDA). Acción indirecta de la radiación con la cadena de ADN (DERECHA).

**Fuente:** Grupo de Innovación Docente (Álvarez, 2007)

### 1.3 Protección Radiológica en Seguridad y Diseño de la Instalación

Es fundamental delimitar las áreas radiológicas y establecer las normas de Protección Radiológica en una instalación de Medicina Nuclear, tomando en cuenta que para cada unidad se debe implementar mejoras de su estado actual. Como regla general siempre se debe identificar las áreas que se puede encontrar dentro de esta instalación, definiendo los riesgos posibles de irradiación externa y/o contaminación interna y externa debido a las fuentes de radiación. Especialmente enfocados a los radionucléidos más empleados como  $^{131}\text{I}$  o  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , emisores beta y/o gamma que se encuentran en las siguientes áreas:

- Laboratorio y cuarto caliente
- Sala de administración de monodosis.
- Áreas de adquisición de la imagen.
- Sala de recuperación o espera de pacientes con radiofármaco incorporado.
- Baños para pacientes a los que se les haya administrado el radiofármaco.
- Bodega de decaimiento o almacén de residuos.

#### 1.3.1 Clasificación del personal en una instalación de Medicina Nuclear

Se debe conocer la categoría del personal que existe en este tipo de áreas. Por razones de seguridad, vigilancia y control radiológico, las personas que trabajan en instalaciones con riesgo radiológico se clasifican en función de las condiciones en que realizan su trabajo. La clasificación considera a:

- Personal ocupacionalmente expuesto.
- Miembros del público.

**PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO.**- son personas que, por las circunstancias en que desarrollan su trabajo, ya sea de modo habitual u ocasional, están sometidas a un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes susceptibles de entrañar dosis superiores a alguno de los límites de dosis para miembros del público. De acuerdo con la publicación N° 105 de la ICRP se puede considerar de categoría A<sup>7</sup>, a los trabajadores que fraccionan el material radiactivo para aplicar a los pacientes de Medicina Nuclear.

**MIEMBROS DEL PÚBLICO.**- aquellos trabajadores no expuestos, los trabajadores expuestos fuera de su horario de trabajo, los usuarios de las instalaciones sanitarias que no estén siendo atendidos como pacientes con fines de diagnóstico o terapéutico y cualquier otro individuo de la población. (Sociedad Española de Protección Radiológica, 2002). En esta clasificación no se contempla a los pacientes, debido que su finalidad es recibir un diagnóstico o tratamiento empleando este tipo de procedimientos. Pero en Unidades de Medicina Nuclear se orienta a seguir los protocolos establecidos en las publicaciones sobre los procedimientos de radioprotección en Medicina Nuclear redactados por la ICRP y/o el OIEA.

### ***1.3.2 Clasificación de las Áreas en una instalación de Medicina Nuclear***

La clasificación se realiza de acuerdo con la evaluación de las dosis anuales previstas en las áreas de trabajo, el riesgo de contaminación y la probabilidad y magnitud de exposiciones potenciales. Se identificará todos los lugares de trabajo donde exista la probabilidad de recibir dosis superiores a los límites de dosis establecidos para los miembros del público. Esta clasificación comprende:

**ZONA VIGILADA.**- corresponden Áreas donde existe la probabilidad de recibir dosis superiores a los límites de dosis del público, siendo muy improbable recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año o dosis equivalentes superiores a los 3/10 de los límites de dosis equivalente para piel, cristalino y extremidades.

**ZONA CONTROLADA.**- lugares donde existe la probabilidad de recibir dosis efectivas superiores a los 3/10 de los límites para piel, cristalino y extremidades. Se deben establecer procedimientos de trabajo con el fin de disminuir la exposición a la radiación ionizante y para prevenir contaminación radiactiva. Para zonas controladas hay una clasificación más restrictiva la cual es:

---

<sup>7</sup> Categoría A: pertenecen a esta categoría los trabajadores que puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades. (Sociedad Española de Protección Radiológica, 2002)

*Zonas de Permanencia Limitada:* Lugar donde existe riesgo de recibir dosis superiores a los límites de dosis si se permanece en ella durante toda la jornada laboral completa (50 semanas/año, 5 días/semana y 8 horas/día)

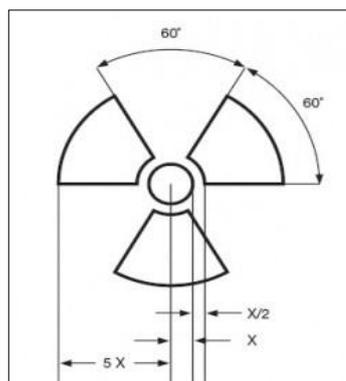
*Zonas de permanencia Reglamentada:* Área donde existe riesgo de recibir dosis superiores a cualquiera de los límites de dosis en cortos períodos de tiempo, se necesitan disposiciones especiales para la optimización del trabajo.

*Zonas de acceso Prohibido:* Zona donde existe el riesgo de recibir dosis superiores a los límites en una exposición única. (Sociedad Española de Protección Radiológica, 2002)

Se recomienda clasificar áreas en una unidad de Medicina Nuclear de la siguiente manera. *ZONA VIGILADA* (bodega o lugar de almacén de residuos radiactivos), *ZONA DE PERMANENCIA LIMITADA* (habitaciones de pacientes en tratamiento metabólico), *ZONA CONTROLADA* (laboratorio - cuarto caliente, áreas de administración de dosis, sala de espera y baños para pacientes inyectados y áreas de circulación). Esta recomendación puede variar en relación al estado estructural y de equipamientos que se dispongan.

### 1.3.3 Señalización

La normativa nacional como se establece en la ley de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (Comisión Ecuatoria de Energía Atómica, 1979) consta del trébol de radiación color magenta dentro del fondo amarillo indicando el nombre del área y una descripción del tipo de riesgo (ver gráfica 1-1).



**Gráfica 1-1:** Símbolo para representar fuentes de radiaciones ionizantes

**Fuente:** Organismo Internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency, 2013)

En la figura 1-2 se puede ver un ejemplo del tipo de señalética empleado en la norma nacional (Comisión Ecuatoria de Energía Atómica, 1979).



**Figura 1-2:** Letrero empleado para definir las áreas con radiación ionizante usando la normativa nacional

**Fuente:** (Comisión Ecuatoria de Energía Atómica, 1979)

La normativa internacional se basa en la Norma UNE 73-302:1991, este documento describe el tipo de señalización a utilizar para definir zonas radiológicas o lugares que emplean radiación ionizante. El tipo de señalética a utilizar varía en relación al tipo de área que se define, ya que corresponde a un tipo de señalética estándar internacional. El riesgo de irradiación vendrá señalado mediante su símbolo internacional: un “trébol” enmarcado por una orla rectangular del mismo color.

- Si existe solamente riesgo de radiación externa y el riesgo de contaminación sea despreciable, el “trébol” tendrá puntas radiales en los extremos.
- Si existe riesgo de contaminación y el riesgo de radiación externa es despreciable, el “trébol” estará sobre un campo punteado.
- Si existen ambos riesgos, el “trébol” tendrá las puntas radiales en los extremos y estará sobre el campo punteado.

Además, en la parte superior de la señal, una leyenda indicará el tipo de zona, y en la inferior el tipo de riesgo, los colores de los “tréboles” indicarán la clasificación de la zona. (Sociedad Española de Graduados en Radiología, 2013). Los colores de los “tréboles” indicarán la clasificación de la zona, en orden creciente al riesgo asociado éstos son:

- |                |      |                                    |
|----------------|------|------------------------------------|
| • Gris azulado | para | Zona Vigilada                      |
| • Verde        | para | Zona Controlada                    |
| • Amarillo     | para | Zona de Permanencia Limitada       |
| • Naranja      | para | Zona de Permanencia Reglamentada y |
| • Rojo         | para | Zona de Acceso Prohibido.          |

La figura 1-3 indica la señalética a utilizar en las distintas áreas delimitadas en la sección anterior:

	RIESGO DE IRRADIACIÓN	RIESGO DE IRRADIACIÓN	RIESGO DE CONTAMINACIÓN	RIESGO DE IRRADIACIÓN Y CONTAMINACIÓN
<b>Zona vigilada</b> 1mSv/a <Dosis>6 mSv/a (ó 3/10 límite Trabajadores Expuestos)				
<b>Zona controlada</b> Dosis > 6 mSv/a (ó 3/10 límite de dosis de Trabajador Expuesto)				
<b>Zona de permanencia limitada</b> Dosis anual > Límites de dosis de Trabajador Expuesto				
<b>Zona de permanencia reglamentada</b> Dosis periodos cortos > Límites de dosis de Trabajador Expuesto				
<b>Zona de Acceso prohibido</b> Dosis única de exposición > límite de dosis de Trabajador Expuesto				

**Figura 1-3:** Señalética Internacional utilizada para delimitar áreas

Fuente: (Sociedad Española de Graduados en Radiología, 2013)

### 1.3.4 Restricción y Límites

Como norma de protección se debe conocer las restricciones y límites de dosis establecidos en las Normas Básicas de Seguridad establecidos por el OIEA, estos límites de dosis se aplican a la suma de dosis de exposiciones externas dentro de un periodo de tiempo determinado; cabe recalcar que para POE no debe sobrepasar por ningún motivo un nivel de dosis efectiva mayor a los 50 mSv en un año (ver tabla 1-1 y tabla 1-2). Para el POE se conocen otros límites debido a la práctica, por ejemplo el límite de dosis anual de dedos para niveles de actividad estándar. Ver tabla 1-6.

**Tabla 1-6:** Límite de dosis anual en dedos del POE que se registran durante la realización de ciertos procedimientos dentro de Medicina Nuclear

PROCEDIMIENTO	DOSIS MEDIA		DOSIS MÁXIMA	
	<i>Sin Blindaje</i>	<i>Con Blindaje</i>	<i>Sin Blindaje</i>	<i>Con Blindaje</i>
Elusión <sup>8</sup>	50 mSv	50 mSv	180 mSv	180 mSv
Administración <sup>9</sup>	110 mSv	90 mSv	420 mSv	420 mSv
Inyección <sup>10</sup>	450 mSv	80 mSv	2600 mSv	330 mSv

**Fuente:** Organismos Internacional de Energía Atómica (OIEA, 2009)

**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

La tabla 1-7 presenta valores de restricción de tasa de dosis en relación al ambiente generado por el ambiente, el área de trabajo o de contención de fuentes en la unidad de Medicina Nuclear y el nivel generado por la contaminación de emisores beta o gamma.

**Tabla 1-7:** Límite de dosis en relación al ambiente natural como del lugar de trabajo

LUGAR	RESTRICCIÓN
Fondo natural	0,2 – 0,5 $\mu$ Sv/h
Lugar de trabajo y/o almacenamiento de fuentes	10 $\mu$ Sv/h
Lugar contaminado por emisores beta y gamma	10 $\mu$ Sv/h o 1 mR/h

**Fuente:** Organismos Internacional de Energía Atómica (OIEA, 2009)

**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

<sup>8</sup> Elusión: se define para trabajar con actividad de 30 GBq/d de <sup>99m</sup>Tc en un total de 200 días.

<sup>9</sup> Administración: se define para trabajar con actividad de 3 GBq/d de <sup>99m</sup>Tc en un total de 200 días.

<sup>10</sup> Inyección: se define para la inyección de 8 pacientes/día y trabajar con dosis de 400 MBq/paciente utilizando <sup>99m</sup>Tc en un total de 200 días. (OIEA, 2009)

Para familiares o personas que estén próximas a pacientes que tienen incorporado dosis por tratamiento de  $^{131}\text{I}$  se aplica la siguiente restricción. Ver tabla 1-8.

**Tabla 1-8:** Restricción de dosis propuesta para familiares y personas próximas a pacientes con tratamiento de  $^{131}\text{I}$

<b>GRUPO DE PERSONAS</b>	<b>RESTRICCIÓN DE DOSIS</b>
Niños	1 mSv/año
Adultos hasta 60 años	3 mSv/año
Adultos mayores a 60 años	15 mSv/año

**Fuente:** Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, 2009)

**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

La contaminación también considera límites, pero siempre se busca llegar a los niveles más bajos tendiendo preferentemente al nivel cero. Se entiende entonces que la contaminación será la presencia de una sustancia radiactiva sobre una superficie en cantidades mayores a los  $0,4 \text{ Bq/cm}^2$  al hablar de emisores de tipo beta, gamma o de alfa de baja toxicidad.

Otro método para determinar la presencia de contaminación será la medición directa, si la indicación del equipo de medición supera tres veces la desviación estándar de la medición de fondo, entonces se considerará la superficie contaminada. En estos casos se tratará de realizar la descontaminación.

De comprobarse que los niveles de contaminación superan los indicados en la tabla 1-9 que se muestra a continuación, entonces el procedimiento de descontaminación será obligatorio. (OIEA, Normas Básicas Internacionales de Seguridad., 2011)

**Tabla 1-9:** Límites máximos de contaminación para trabajar con  $^{131}\text{I}$  o  $^{99\text{m}}\text{Tc}$

<b>SUPERFICIE</b>	<b>NIVEL DE CONTAMINACIÓN</b>	
	Para $^{131}\text{I}$	Para $^{99\text{m}}\text{Tc}$
Superficies y equipos en el área controlada	20 Bq/cm <sup>2</sup>	200 Bq/cm <sup>2</sup>
Áreas vigiladas y acceso público	3 Bq/cm <sup>2</sup>	30 Bq/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** (OIEA, Normas Básicas Internacionales de Seguridad., 2011)

**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

Existe un límite de contaminación debido a las excreciones generadas por el paciente como: orina, sudor, respiración, saliva; dichos pacientes han sido administrados dosis de 1000 MBq en los casos de tratamiento con  $^{131}\text{I}$ . Ver la tabla 1-10 en relación a esa restricción.

**Tabla 1-10:** Límites de contaminación que generan los pacientes con dosis de 1000 MBq por tratamiento con <sup>131</sup>I.

EXCRECIÓN	CONTAMINACIÓN	ZONA	CONTAMINACIÓN
Saliva	<2 MBq/g	Utensilios	2 kBq
Transpiración	<20 Bq/cm <sup>2</sup>	Superficies	10 Bq/cm <sup>2</sup>
Respiración	<100 Bq/l	Aire	1 Bq/l
Orina	<500 kBq/ml	Sanitarios	2 kBq/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA, 2009)

**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

Finalmente se presenta en la tabla 1-11 los límites derivados para la contaminación de superficies en función a la clase de radio toxicidad que se manejan en las distintas zonas radiológicas y en la superficie del cuerpo del POE en relación a esta clase.

**Tabla 1-11:** Límites derivados de contaminación en relación con la clase de radio toxicidad

CLASE DE RADIO TOXICIDAD <sup>11</sup>	ZONA		CUERPO
	<i>Controlada</i>	<i>Vigilada</i>	
<b>A</b>	30 Bq/cm <sup>2</sup>	3 Bq/cm <sup>2</sup>	3 Bq/cm <sup>2</sup>
<b>B</b>	300 Bq/cm <sup>2</sup>	30 Bq/cm <sup>2</sup>	30 Bq/cm <sup>2</sup>
<b>C</b>	3000 Bq/cm <sup>2</sup>	300 Bq/cm <sup>2</sup>	300 Bq/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA, 2009)

**Realizado por:** (Tesisista - Edison Carrillo)

#### 1.4 Programa de Monitoreo

Se considera como monitoreo a la medición de las características y la calidad de desempeño de un sistema, subsistemas o un proceso con el objetivo de implementar ajustes o cambios de acuerdo a un análisis previo para resultados y cambios del entorno. Existen dos tendencias sobre el significado y el alcance de lo que corresponde al sistema de monitoreo:

<sup>11</sup> Clase de radio toxicidad: se clasifica en función del tipo de radioisótopo a utilizar. (Nuclear C. N., 2011)

*Primera Tendencia:* se enfoca en determinar una coincidencia entre lo que se planificó y lo que ocurrió. Se asume que dados ciertos cambios se obtendrán resultados determinados, en este caso se realiza un monitoreo que corresponde al análisis sistemático del proceso de implementación y el criterio de valoración. Aquí es donde se conoce la menor o mayor coincidencia entre lo que se planificó y lo que ocurre; este foco de atención verifica si se ha cumplido lo planificado y sugerir los cambios para reducir las discrepancias del uno con el otro.

*Segunda Tendencia:* se enfoca en las acciones de seguimiento, este busca verificar la validez de las hipótesis, retroalimentar las mismas y consecuentemente tomar decisiones estratégicas y operativas fundamentadas sobre una base empírica. De esta manera el programa de monitoreo se transforma en un proceso de producción y gestión de conocimientos empíricos y una fuente de aprendizaje que contribuye a una mayor pertinencia y efectividad. (Otto Valle, 2005)

#### **1.4.1 Indicadores**

Los indicadores se consideran como la información utilizada para dar seguimiento y ajustar las acciones de un sistema, subsistema o proceso para consolidar el objetivo del monitoreo, este indicador se emplea como unidad de medida para evaluar las variables y constatar los cambios que se han efectuado.

Los indicadores tienen una función descriptiva que consiste en aportar información sobre el estado actual del sistema y una función valorativa, la cual consiste en añadir a la información descriptiva un juicio de valor de la manera más objetiva del desempeño para luego poder tomar decisiones para consolidar el ciclo del monitoreo. Para considerarse un “buen indicador” debe cumplir los siguientes requisitos: debe ser medible, preciso, consistente, sensible.

- *Medible:* un indicador debe ser medible en términos cuantitativos o cualitativos, esto con el fin de poder realizar una comparación entre la situación medida y la situación esperada.
- *Preciso:* un indicador debe estar definido en forma precisa; es decir, no permite interpretaciones o dudas sobre el tipo de dato a recoger.
- *Consistente:* un indicador es consistente si se mantiene con el paso del tiempo. Si el indicador otorga una medida confiable de los cambios en una

condición de interés, entonces es importante que los efectos observados se deban a los cambios reales en la condición y no del indicador.

- *Sensible*: es esencial la sensibilidad del indicador ya que cambiará proporcionalmente y en la misma dirección que los cambios en la condición o concepto que se está midiendo. (Otto Valle, 2005)

#### **1.4.2 Equipo de Medición**

El equipo que se utilizará para el desarrollo del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas es el monitor de radiación marca RADIATION ALERT modelo INSPECTOR, el cual tienen fecha de calibración: 12 de Mayo del 2015, el mismo permite cuantificar niveles de tasa de dosis y contaminación. Este instrumento de seguridad ha sido optimizado para detectar radiación ionizante de baja energía, permite captar lecturas de radiación alfa, beta, rayos X y gamma. Los usos que brinda este equipo son:

- Detección y medición de la contaminación superficial.
- Vigilancia de contaminación ambiental.
- Vigilancia de exposición durante el manejo de radionucléidos.
- Detección de los gases nobles y otros radionucléidos hipoenérgicos.

Cuando el equipo esta encendido se enciende una luz roja de conteo que destella cada vez que se detecte un impulso, la ventanilla del detector es muy sensible ya que detecta cambios en los niveles de radiación. Los selectores de modalidad permite seleccionar entre distintas escalas como:

- *mR/h o  $\mu\text{Sv/h}$*  para limitar tasa de exposición o tasa de dosis correspondientemente, en la modalidad mR/h el rango de medición va desde 0.001 a 100, mientras en la modalidad  $\mu\text{Sv/h}$  el rango de medición va desde 0.01 a 1000.
- *CPM o CPS* para indicar el nivel actual de radiación en impulsos por minuto desde 0 a 300000, aunque hay ocasiones donde la lectura es tan elevada que se debe multiplicar X1000 el valor obtenido para conocer el nivel completo. Si se desea en el Sistema Internacional (SI) puede ser de 0 hasta 5000 en impulsos por segundo. La cantidad de cuentas por minuto se representa con las siglas CPM y la cantidad de cuentas por segundo con las siglas CPS.
- La visualización indica el total acumulado de impulsos desde 1 a 9999000, aunque hay ocasiones donde la lectura es tan elevada que se debe multiplicar X1000 el valor obtenido para conocer el nivel completo de radiación. Ver Figura 1-4. (INSPECTOR, 1998)



**Figura 1-4:** Equipo de monitoreo INSPECTOR empleado para la investigación.

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

La ventanilla de detección mide 5cm de diámetro. El equipo se calibró el 12 de mayo del 2015. La puesta en marcha del detector permite al equipo una verificación del sistema que dura aproximadamente 6 segundos. Después de la verificación, el nivel de radiación se exhibe en la modalidad seleccionada y el tiempo de respuesta para validar la respuesta estadística tarda un lapso de 30 segundos emitiendo un breve bip para dar el conteo. Las especificaciones técnicas de este equipo se describen en la tabla 1-12.

**Tabla 1-12:** Especificaciones técnicas del equipo de medición ambiental Inspector

<b>ESPECIFICACIONES DEL DETECTOR</b>	
<b>Detector</b>	Tubo Geiger – Müller con halógeno. Diámetro efectivo de 45 mm Densidad de ventanilla de mica de 1.5 a 2 mg/cm <sup>2</sup> .
<b>Gamma Operacional</b>	mR/h: 0.001 a 100 μSv/h: 0.01 a 1000 CPM: 0 a 300000 CPS: 0 a 5000 Total: 1 a 9999000 impulsos
<b>Eficiencia 4p</b>	Sr-(y) 90: aprox. 38%; C-14: aprox. 5.3%; P-32: aprox. 33%; Co-57: aprox. 0.3% en contacto.
<b>Precisión</b>	mR/h: 15% hasta 50mR/h 20% de 50mR/h a 100mR/h IPM: 15% hasta 130000 IPM 20% de 130000 IPM a 3 00000 IPM.
<b>Visualización</b>	Una visualización de cristal líquido (LCD) de 4 dígitos incluyendo indicadores de modalidad.
<b>Dimensiones</b>	150 * 80 * 30 mm 5.9” * 3.2” * 1.2”
<b>Temporizador</b>	Puede programar períodos de muestreo de 1 a 10 minutos en incrementos de un minuto, de 10 a 50 minutos de incrementos de 10 minutos, y en 1 a 24 horas en incrementos de 1 hora.
<b>Peso</b>	272 gramos incluyendo la pila.
<b>Anti saturación</b>	La lectura se mantiene en plena escala en campos de hasta 100 veces la lectura máxima.
<b>Gamma-Temperaturas</b>	-10° a +50° C , 14 a 122°F

**Fuente:** Manual de Operación del Equipo (INSPECTOR, 1998)

**Realizado por:** (Tesis - Edison Carrillo)

Este equipo de monitoreo no tiene la escala de Bq/cm<sup>2</sup>, por lo tanto es indispensable realizar un ajuste de medición y así poder evaluar el nivel de contaminación superficial en las zonas a monitorear. Para esto se debe:

- Determinar el diámetro de ventanilla del detector Geiger y calcular su área.
- Obtener una fuente uniforme que tenga las mismas dimensiones que la ventanilla del detector, se ha de emplear <sup>99m</sup>Tc de preferencia. Ver figura 1-5.
- Conocer el total de cuentas por minuto (CPM) registrado por el equipo.
- Registrar los datos:

Actividad de la fuente: 1.1 mCi

Diámetro de la ventanilla: 5 cm.

Área de la ventanilla: 78.54 cm<sup>2</sup>



**Figura 1-5:** La figura muestra una fuente uniforme de <sup>99m</sup>Tc sobre y de igual área al de ventanilla de detección del monitor, esta fuente se obtuvo con una técnica de frotis que distribuye de manera homogénea el material radiactivo sobre papel absorbente en toda la superficie.

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

- Aproximación:

$$\text{Área específica } (Ae) = \frac{\text{Actividad } (A)}{\text{Área de ventanilla } (Ar)} \quad (1.1)$$

$$Ae = \frac{1.1 \text{ mCi}}{78.54 \text{ cm}^2}$$

$$Ae = 0.014 \text{ mCi/cm}^2$$

$$\text{Factor de conversión } (f) = \frac{\text{Área específica } (Ae)}{\# \text{ de Cuentas por minuto } (CPM)} \quad (1.2)$$

$$f = \frac{0.014 \text{ mCi/cm}^2}{200000 \text{ CPM}}$$

$$f = 7 * 10^{-8} \text{ mCi/cm}^2 \text{ CPM}$$

Si

$$1 \text{ mCi} = 3.7 * 10^7 \text{ Bq}$$

Transformando:

$$f = 7 * 10^{-8} \text{ mCi/cm}^2 \text{ CPM} * 3.7 * 10^7 \text{ Bq/1mCi}$$

$$f = 2.58 \text{ Bq/cm}^2 \text{ CPM} \quad (1.3)$$

Con el factor “f” se puede realizar el monitoreo de contaminación en unidades de CPM para luego transformar a unidades de Bq/cm<sup>2</sup>. Se debe considerar que esta es una aproximación ya que no se cuenta con un detector propio para la medición pero se tiene un aproximado aceptable que permite dar una valoración de los niveles a tratar dentro de la unidad y permite cuantificar lecturas de tasa de dosis y niveles de contaminación.

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO DEL PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE ZONAS**

En el capítulo se presenta los elementos que conforman el Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas haciendo un análisis fundamentalmente en dos de ellos: el diagnóstico y el estudio del proceso o diseño del programa. Los demás elementos que conforman dicho programa se presentan en el manual de procedimientos de Protección Radiológica en casos normales y de emergencia (anexo E).

El Programa Vigilancia Radiológica de Zonas contará con los siguientes elementos:

- Misión
- Visión
- Diagnóstico
- Estudio del proceso
- Objetivos
- Organigrama administrativo
- Evaluación de la unidad
- Protocolos de trabajo en situaciones normales y de riesgo

El diagnóstico de la situación del estado de la Protección Radiológica previo a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas empezó el primero de marzo de 2015, fecha en la cual se comienza a desarrollar la tesis.

Para el diagnóstico se analizaron los elementos: clasificación y señalización de zonas radiológicas, monitoreos radiológicos, capacitación de los POEs, organización del trabajo, protocolos operacionales, entre otros.

A continuación se muestran los problemas detectados por cada uno de los elementos estudiados, teniendo en cuenta las dos variables medidas: tasa de dosis ambiental y control de la contaminación superficial.

## **2.1 Análisis de los resultados previo la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas de las variables: tasa de dosis ambiental y niveles de contaminación superficial antes de comenzar la práctica y después de concluirla**

Por las diferentes actividades que se realizaban en cada área se midió la tasa de dosis ambiental en diez áreas y los niveles de contaminación superficial en dos áreas dentro de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional; estas mediciones se realizaron a una hora fija antes y después de manipular el material radiactivo.

En las tablas 1 y 2 del anexo A se encuentran los datos diarios de la variable medida tasa de dosis ambiental, mientras que la tabla 2-1 y la tabla 2-2 indican los resultados del tratamiento estadístico de las mediciones.

**Tabla 2-1:** Tratamiento estadístico de los valores de tasa de dosis ambiental previo a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas antes de comenzar la manipulación del material radiactivo

<b>Datos</b>	Cuarto caliente	Cuarto de inyección	Sala de Exploración #1	Sala de espera	Banda de esfuerzo	Baños de mujeres	Baños de varones	Primer consultorio médico	Segundo consultorio médico	Protección Radiológica
<i>Media</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	4.61	1.04	0.95	1.81	0.64	0.50	0.48	0.33	0.33	0.35
<i>Número de datos</i> “N”	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
<i>Valor Min</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.74	0.18	0.14	0.26	0.25	0.31	0.30	0.27	0.29	0.29
<i>Valor Max</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	16.18	7.23	8.51	25.12	10.09	1.04	1.79	0.41	0.40	0.48
<i>Desviación Estándar</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	3.27	1.54	1.51	4.31	1.37	0.17	0.23	0.03	0.02	0.04
<i>Moda</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	4.32	0.39	0.35	0.44	0.29	0.44	0.49	0.31	0.30	0.35
<i>Coefficiente de Variación</i>	71%	148%	158%	238%	214%	34%	49%	9%	8%	12%

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Realizado por:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Tabla 2-2:** Tratamiento estadístico de los valores de tasa de dosis ambiental previo a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas luego de concluir con la manipulación del material radiactivo

<b>Datos</b>	Cuarto caliente	Cuarto de inyección	Sala de Exploración #1	Sala de espera	Banda de esfuerzo	Baños de mujeres	Baños de varones	Primer consultorio médico	Segundo consultorio médico	Protección Radiológica
<i>Media</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	5.03	0.97	0.63	1.43	0.47	0.62	0.78	0.39	0.40	0.42
<i>Número de datos</i> “N”	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
<i>Valor Min</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.43	0.25	0.12	0.12	0.21	0.32	0.37	0.32	0.31	0.33
<i>Valor Max</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	14.16	7.64	5.49	8.24	0.87	1.30	2.35	0.49	0.49	0.61
<i>Desviación Estándar</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	3.10	1.17	0.85	2.08	0.15	0.25	0.44	0.05	0.05	0.06
<i>Moda</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	8.22	0.34	0.49	0.49	0.35	0.53	0.42	0.38	0.42	0.47
<i>Coefficiente de Variación</i>	62%	121%	135%	145%	33%	41%	56%	13%	12%	14%

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Realizado por:** (Tesis - Edison Carrillo)

Observando los resultados de la tabla 2-1 y tabla 2-2 para la variable de tasa de dosis ambiental, los valores más altos obtenidos se encuentran en las zonas de: *cuarto caliente* y *sala de espera*.

Se determinó que el nivel máximo de tasa de dosis ambiental permitido en el lapso de una hora para que los POEs cumplan con límite de dosis anual de 20 mSv es 11.23  $\mu\text{Sv/h}$ ; lo que significa que en las áreas reportadas no se sobrepasa el nivel mencionado pero las lecturas indican la existencia del riesgo de irradiación externa. Esto se debe a las actividades que se realizan en cada estación y por la proximidad de éstas dos áreas.

Por otro lado, las áreas que presentan mayor dispersión de los valores de radiación son: cuarto caliente, cuarto de inyección, sala de exploración, sala de espera y banda de esfuerzo. Este comportamiento puede estar dado por:

- No se clasificaba el material contaminado empleado en la práctica.
- Las jeringas contaminadas utilizadas se dejaban en sitios diversos y no en el contenedor de los desechos radiactivos. Igual situación pasaba en las demás áreas, lo que daba como consecuencia que los niveles de tasa de dosis ambiental aumentarían.
- De forma general en cada estación de trabajo de las diferentes áreas no se contaba con los materiales adecuados para el manejo de los desechos radiactivos.
- Se constató que el POE encargado del transporte del material radiactivo (o radiofármacos) desde el cuarto caliente al cuarto de inyección se irradiaba más debido al tiempo empleado para el transporte.
- El lugar donde se encuentra el cuarto de inyección está adyacente a una sala de exploración, pues la división entre ambas áreas se basa en una pared de vidrio templado que no cumple los requerimientos de blindaje.

Del mismo modo en la tabla 5 del anexo A se encuentran los datos diarios de los niveles de contaminación superficial, mientras que en la tabla 2-3 se muestra el resultado del tratamiento estadístico de los valores de las mediciones de los niveles de contaminación superficial antes de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

**Tabla 2-3:** Tratamiento estadístico de los niveles de contaminación superficial obtenidos previa la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas cuando se ha culminado con la práctica.

Datos	Cuarto caliente						Cuarto de inyección			
	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Bandeja (Bq/cm <sup>2</sup> )	Microondas (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>131</sup> I (Bq/cm <sup>2</sup> )	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Silla (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )
<i>Media</i>	18150,36	132376,19	6285,07	3359,16	14880,80	97539,74	666,41	642,36	629,20	593,08
<i>Número de datos</i>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<i>Valor Min</i>	2128,50	2174,94	1150,68	1161,00	1150,68	1419,00	472,14	479,88	345,72	472,14
<i>Valor Max</i>	337593,00	1972410,00	114939,00	9816,90	433182,00	1022970,00	1042,32	923,64	964,92	758,52
<i>Desviación Estándar</i>	55793,96	379521,66	17790,80	1816,55	68170,94	263677,90	138,88	127,04	152,16	83,34
<i>Coefficiente de Variación</i>	307%	287%	283%	54%	458%	270%	21%	20%	24%	14%

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Realizado por:** (Tesis - Edison Carrillo)

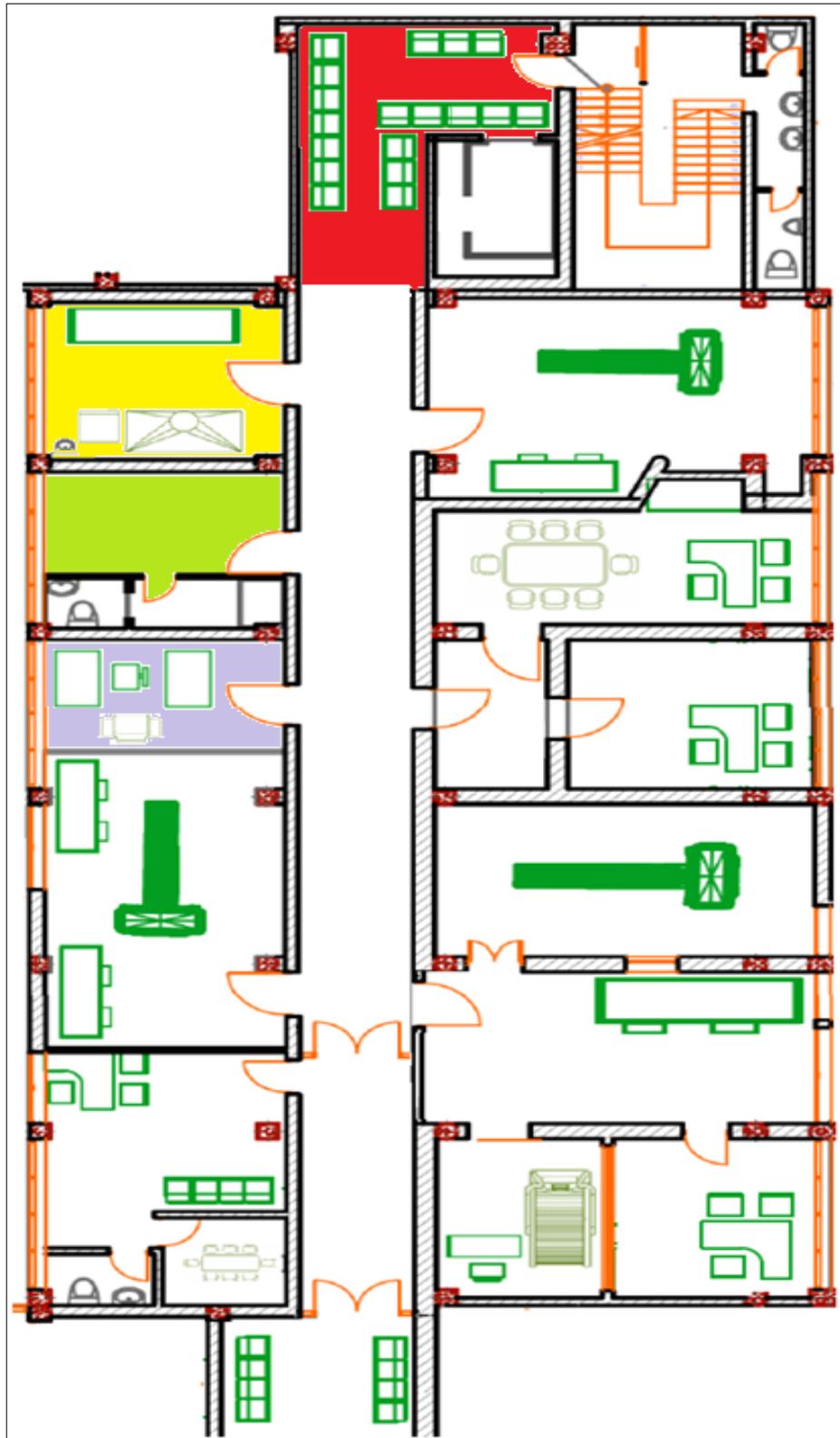
Como dato de interés se refiere que en la fecha de realización del presente diagnóstico no se pudieron constatar registros de mediciones de niveles de contaminación superficial, por lo que el análisis se realizó teniendo en cuenta los valores obtenidos en esta etapa.

Observando los resultados de la tabla 2-3 para la variable de niveles de contaminación superficial, los valores más altos obtenidos están dentro del cuarto caliente y corresponden a los sitios de: mesón y los basureros de  $^{131}\text{I}$  y  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , lo que significa que estos sitios tienen más riesgo de contaminación.

Por otro lado, los sitios que presentan mayor dispersión de los valores de contaminación son: piso, mesón, bandeja y los basureros de  $^{131}\text{I}$  y  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ; este comportamiento puede deberse a que:

- Se vertían gotas de material radiactivo de forma descontrolada durante la práctica en la superficie.
- La superficie de trabajo no era la más adecuada para la realización de la práctica.
- No se realizaba la descontaminación en esos sitios después de finalizar la práctica y en el comienzo de la práctica del siguiente día se mantenían las mismas condiciones de contaminación.

A continuación se presenta el esquema de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. La gráfica 2-1 muestra el diseño de la Planta de Diagnóstico de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del Hospital Carlos Andrade Marín previo la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.



**Gráfica 2-1:** Diseño inicial de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. Se resaltan las áreas donde se encontraron mayor cantidad de problemas: Sala de espera de pacientes color rojo, el laboratorio – cuarto caliente color amarillo, sala donde se realiza la prueba de esfuerzo color verde y el cuarto de inyección color violeta.

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

Como agregado en la figura 2-1 se muestran fotografías de las áreas con mayor cantidad de problemas durante el desarrollo del diagnóstico del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.



**Figura 2-1:** Imágenes de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional durante el desarrollo del diagnóstico del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

En la figura 2-1 la imagen A muestra el estado del cuarto de inyección. En la cual se puede observar la pared de vidrio en el lado izquierdo de esta imagen, la cual no atenúa la radiación ionizante generada durante la administración del material radiactivo al paciente.

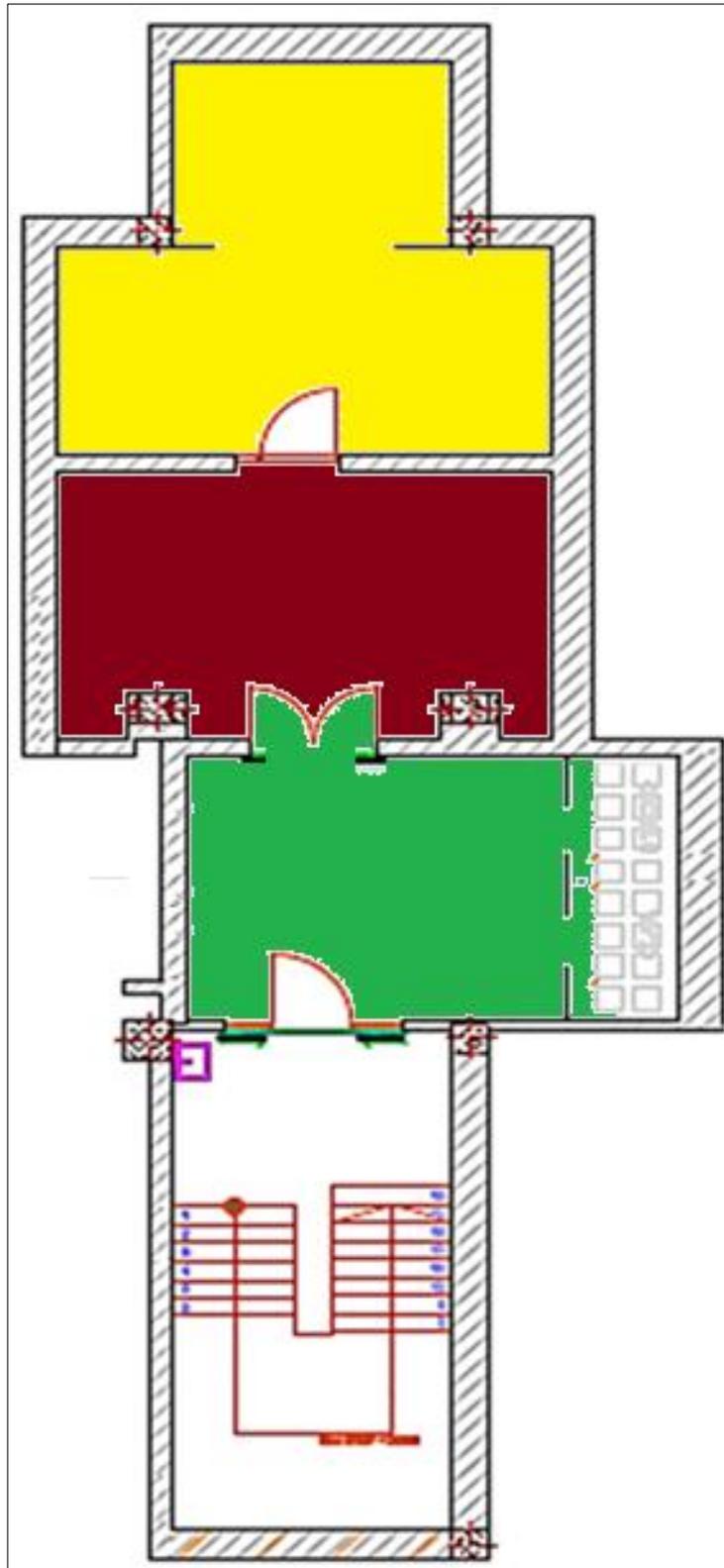
En la imagen B se muestra la estación de prueba de esfuerzo en donde se encuentra el equipo para estudios de rastreo tiroideo. En esta área no se realizaba ningún procedimiento, pues el equipo de rastreo no funcionaba adecuadamente ya que había cumplido con su tiempo de vida útil.

Las imágenes C y D muestran el cuarto caliente; en C se aprecia a la campana de flujo laminar además de dos mamparas plomadas empleadas como blindaje para la protección contra la radiación ionizante que escapada de las fuentes almacenadas en el interior de la campana.

En D se muestra el sitio empleado para realizar el fraccionamiento de las dosis; como se puede notar en la figura el castillo de trabajo se construyó sobre un mesón que no cumplía con los requisitos necesarios para ser una superficie de trabajo con material radiactivo adecuado durante los procedimientos que se realizan en la misma.

En la imagen E se puede apreciar la sala de espera de pacientes; como se puede observar, los pacientes comparten la misma área se encuentren o no administrados material radiactivo.

Asimismo, la gráfica 2-2 muestra el diseño de la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del Hospital Carlos Andrade Marín durante la realización del diagnóstico del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas. Esta área consta de tres divisiones: sala de ingreso, sala de decaimiento de desechos y la sala de decaimiento de fuentes.



**Gráfica 2-2:** Diseño de la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. Se resaltan las secciones de esta área: ingreso de bodega color verde, sala de decaimiento de desechos color marrón y sala de decaimiento de fuentes color amarillo.

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

El diagnóstico para esta área determinó que la desorganización de cada sección fue el principal problema pero individualmente el análisis mostró que:

En el lugar de ingreso a la bodega de decaimiento:

- Existían equipos en desuso que debían haber salido de la Unidad por el espacio que ocupan.
- Debido a la falta de anaqueles, no se disponía de un sitio para el almacenamiento de materiales de descontaminación y otros.
- Se buscaba utilizar este lugar para realizar el monitoreo de salida de desechos y fuentes decaídas hacía el área sanitaria del hospital.

En la sala de decaimiento de desechos:

- Se encontró equipos en desuso que debían ser enviados al área de mantenimiento del hospital, además de existir gran cantidad de basura en este lugar.
- Este lugar no se venía ocupando como área de desechos radiactivos, si no se empleaba como bodega general.
- Solo los contenedores de desechos comunes se almacenaban en esta área.

En la sala de decaimiento de fuentes:

- En este lugar se almacenaban las fuentes a decaer y los desechos contaminados por radioisótopos procedentes de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.
- No se realizaba la clasificación de los desechos según el tipo de contaminante; es decir, no se clasificaba los desechos contaminados por  $^{131}\text{I}$  y los desechos contaminados por  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ .
- No existían registros de la cantidad de fuentes que ingresaban ni del manejo de los mismos.
- Existía gran presencia de humedad en esta área.

Las siguientes imágenes de la figura 2-2 respaldan el diagnóstico en que se encontraba la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.



**Figura 2-2:** Estado de la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional durante el desarrollo del diagnóstico del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

Las imágenes muestran que en A y B (lugar de ingreso) se encontraba almacenados en fundas los estudios pasados e informes antiguos, además de equipos para el transporte y otros equipos deteriorados.

En las imágenes C y D se muestran la sala de decaimiento de desechos. Cabe mencionar que no se estaba utilizando esta área para dicha función, solo se encontraba una gran cantidad de desperdicios comunes en su interior.

Y las imágenes de E y F muestran la sala de decaimiento de fuentes. Como se puede observar, en este lugar se almacenaban en conjunto los desechos radiactivos y las fuentes decaídas, además se puede apreciar la cantidad de contenedores presentes en esta área.

Pero no solamente se analizó el estado de la instalación, además se valoró los procedimientos de Protección Radiológica aplicados por el personal de Medicina Nuclear Convencional, durante esta fase de análisis se encontraron varios problemas que radicaban en el no cumplimiento del procedimiento a seguir.

A continuación se citarán algunos problemas encontrados por el no cumplimiento o la falta de los protocolos de Protección Radiológica utilizados en Medicina Nuclear Convencional.

*Problemas con los procedimientos de trabajo del POE dentro del cuarto caliente:* se lograron determinar varios problemas debido al no cumplimiento de: protocolo de vestimenta, procedimiento para el fraccionamiento de la dosis, procedimiento de descontaminación y procedimiento para eliminación de desechos radiactivos dentro del cuarto caliente. Detallando cada problema se puede decir:

- Se estaba empleando la campana de flujo laminar como lugar de almacenamiento de las fuentes de  $^{131}\text{I}$  y generadores de  $\text{Mo-}^{99\text{m}}\text{Tc}$ , en lugar de emplear esta área como estación para fraccionar las dosis.
- Se estaba utilizando una mesa de madera forrada con plástico para construir el castillo y realizar el fraccionamiento de las dosis.
- Debido a que no se realizaban monitoreos de la superficie de trabajo no se conocían los niveles de contaminación que existía en el castillo para fraccionamiento y en los materiales para blindaje que se empleaban durante esta actividad.
- Como no se trabajaba en el castillo para fraccionar las dosis, existía frecuentemente contaminación en el piso de la zona de fraccionamiento.
- Por recomendación del OIEA se debe colocar las fuentes de  $^{131}\text{I}$  en un contenedor a bajas temperaturas para reducir la volatilidad del mismo, procedimiento que no se lo había implementado.

En la figura 2-3 se muestra cómo era la manera de trabajar del POE en el cuarto caliente; se puede observar la vestimenta de ingreso que utiliza el POE para ingresar a esta área. Además el sitio utilizado para la preparación de la dosis demostró no ser el sitio apropiado para esta práctica y existía el riesgo de irradiación externa y contaminación superficial en este sitio.



**Figura 2-3:** Fraccionamiento de dosis para pacientes.

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

*Problemas con el procedimiento para la recepción del material radiactivo:* un problema que se encontró fue la falta de coordinación con el proveedor del material radiactivo, debido a que el mismo ingresaba con el material sin un horario específico, esto no permitía al personal de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional habilitar el área de ingreso ocasionando errores como el que se muestra en la figura 2-4.



**Figura 2-4:** Recepción del material radiactivo.

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

La figura 2-4 muestra el problema que se ocasionó durante la recepción del material radiactivo. Nótese en la figura el lugar donde se encontraba el material radiactivo, de lo que se puede deducir que debido a la falta de un protocolo de recepción existió una exposición del público y de los pacientes por la cercanía de estas fuentes con los mismos.

*Problemas con el procedimiento de administración de la dosis de  $^{131}\text{I}$ :* la administración de las dosis de  $^{131}\text{I}$  a los pacientes con diagnóstico de cáncer de tiroides, es una de las principales actividades que se realizan en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

Pero se determinó que el protocolo que se utilizaba presentaba estos errores:

- a. Se colocaba las dosis de los pacientes sobre el mesón donde se realizaba el fraccionamiento.
- b. Era necesario el ingreso del paciente al cuarto caliente para administrarle la dosis de radiofármaco para su tratamiento.
- c. Como recomendación del OIEA el personal se encarga de administrar al paciente el radiofármaco para evitar algún derrame durante la ingesta, este procedimiento no se lo realizaba ocasionando errores en la práctica.

En la figura 2-5 se muestra cómo se administraba el  $^{131}\text{I}$  a los pacientes. Se puede observar el ingreso de pacientes al área controlada.



**Figura 2-5:** Administración del tratamiento para cáncer de tiroides empleando  $^{131}\text{I}$ .

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

*Problemas con el procedimiento de transporte de pacientes tratados con  $^{131}\text{I}$ :* posterior a la administración de las dosis de  $^{131}\text{I}$  a los pacientes, se debía trasladar a los mismos a sus habitaciones con el fin de que permanezcan en el Hospital tres días hasta que se produzca el decaimiento radiactivo de los radiofármacos administrados para que se pueda otorgar el alta radiológica.

El problema se identificó al conocer la ruta que utilizaba el paciente hasta llegar a su habitación. Es importante mencionar que la Unidad de Medicina Nuclear Convencional se encuentra en la planta baja del primer bloque del Hospital Carlos Andrade Marín, mientras que las habitaciones de terapia metabólica (habitaciones para pacientes administrados  $^{131}\text{I}$ ) se

encuentran en el tercer piso del segundo bloque, lo que implica el traslado de los pacientes por casi todo el hospital.

En la figura 2-6 se muestra el transporte de pacientes luego de la administración de  $^{131}\text{I}$ . Se puede observar una parte de la trayectoria que seguían los pacientes tratados con el material radiactivo.



**Figura 2-6:** Transporte de pacientes luego del tratamiento para cáncer de tiroides empleando  $^{131}\text{I}$ .

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

## 2.2 Diseño del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas

Para solucionar la diversidad de problemas encontrados en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional objeto de estudio a partir del diagnóstico presentado en el epígrafe anterior, se propone el estudio del diseño, elemento que forma parte del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

Se realiza un esquema del diseño del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas, donde se identifican los cuatro bloques fundamentales a saber: infraestructura, población, el monitoreo de vigilancia ambiental y de contaminación de superficies y el inventario de las fuentes radiactivas abiertas. La gráfica 2-3 muestra un organigrama de la forma en que se relacionan los componentes del Programa De Vigilancia Radiológica de Zonas.



**Gráfica 2-3:** Esquema del Programa de Vigilancia Radiológica

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

### 2.2.1 *Infraestructura*

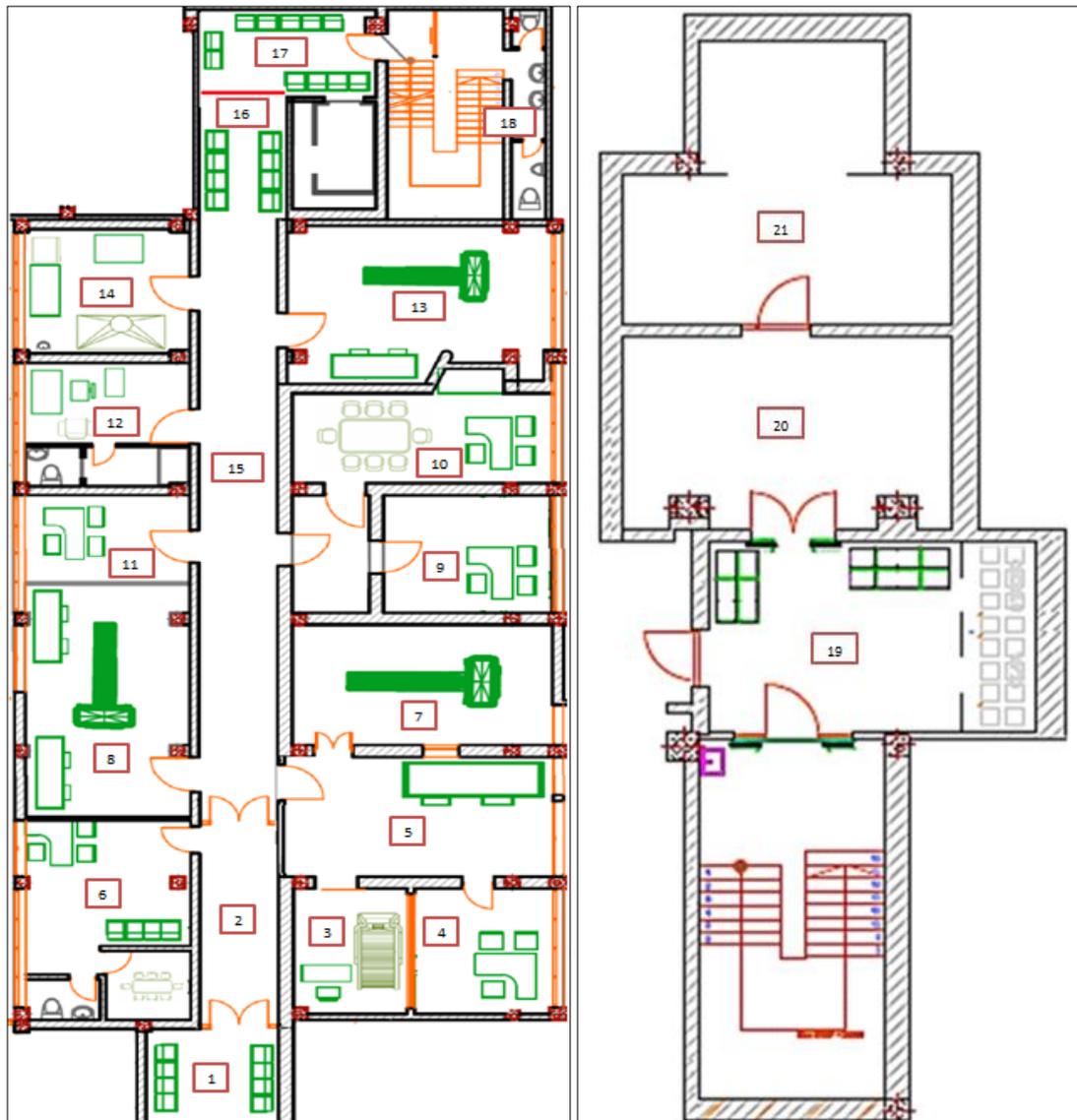
La Unidad de Medicina Nuclear Convencional dispondrá de una infraestructura que consta de un piso destinado para diagnóstico que consta de las siguientes áreas:

- Sala de ingreso (1)
- Entrada (2)
- Banda de esfuerzo (3)
- Jefatura (4)
- Sala de control (5)
- Secretaría (6)
- Gammacámara N° 1 (7)
- Gammacámara N° 2 (8)
- Consultorio médico N° 1 (9)
- Consultorio médico N° 2 (10)
- Oficina de Protección Radiológica (11)
- Cuarto de inyección (12)
- Gammacámara N° 3 (13)
- Cuarto caliente (14)
- Corredor (15)
- Sala de espera pacientes tratados (16)
- Sala de espera pacientes no tratados (17)
- Baño de pacientes (18)

Además la Unidad consta de una zona el almacenamiento y contención de fuentes en desuso llamada bodega de decaimiento, la misma tiene 3 secciones las cuales son:

- Ingreso a bodega de decaimiento (19)
- Sala de decaimiento de desechos (20)
- Sala de decaimiento de fuentes (21)

Estas áreas se esquematizan en el plano de la gráfica 2-4.



**Gráfica 2-4:** Diseño de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. En la derecha se encuentra la planta de diagnóstico y tratamiento mientras que a la izquierda se encuentra la bodega de decaimiento.

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

Se conoce además que una Unidad de Medicina Nuclear consta de: zonas públicas, controladas y vigiladas según lo establecido en la *Sección 1.3.2*.

Para clasificar cada estación según el tipo de zona radiológica al que pertenece se considerará: los registros obtenidos durante el diagnóstico y las actividades que se realizan dentro de la misma. Esta clasificación forma parte del diseño del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en lo que corresponde a la infraestructura.

A continuación se realizará una descripción de las actividades que se realizan en cada área de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional objeto de estudio.

- **ÁREAS DE ACCESO PÚBLICO:** están destinadas para el tránsito de público y pacientes que no han sido tratados; estas áreas trabajan bajo niveles de tasa de dosis ambiental que no superen el límite de 1mSv/año.

Las actividades que se desarrollan en estos lugares no involucran exposiciones que sobrepasan el nivel mencionado además de garantizar la inexistencia de riesgos de contaminación. Las áreas designadas como de acceso público en la unidad de Medicina Nuclear Convencional son: ENTRADA y SECRETARÍA.

ENTRADA.- esta zona también se considera como sala de espera para ingreso, permite que pacientes y público esperen antes de ingresar a la Unidad.

SECRETARÍA.- en esta zona se realizan los procesos administrativos de la unidad (pedidos, oficios, estadísticas, etc.), además de las actividades que involucran la participación de pacientes no tratados y/o público como la entrega de estudios realizados, turnos para diagnósticos y consultas administrativas.

- **ÁREAS VIGILADAS:** estas zonas trabajan bajo niveles de tasa de dosis ambiental menores a 6mSv/año, el riesgo de exposición se genera por el tránsito de pacientes tratados o el traslado de las dosis dentro de la instalación. Las actividades que desarrollan en estas áreas no producen riesgos de contaminación (excepto por la presencia de un incidente o caso fortuito).

Las áreas designadas como zonas vigiladas son: OFICINA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, CONSULTORIOS MÉDICOS, JEFATURA Y SALA DE CONTROL.

OFICINA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.- esta zona se emplea para las actividades que realizan el Físico Médico y el Oficial de Protección Radiológica, desde la parte administrativa y disposiciones organizativas.

CONSULTORIOS MÉDICOS.- esta zona se emplea para dar atención (consultas) a los pacientes que ingresan a la unidad, además de ser lugares donde el personal médico trabaja para emitir los informes de los estudios realizados.

JEFATURA.- esta área esta designada para el jefe de la unidad, aquí el jefe de la unidad realiza las decisiones administrativas y de planificación que se llevaran a cabo en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional, además de actividades y/o asesoría que involucran la participación del personal de la unidad.

SALA DE CONTROL.- esta área contiene las consolas del equipo SPECT CT marca General Electric (GE) modelo INFINIA, aquí se procesa de manera remota la imagen y se da paso a la impresión del estudio.

- **ÁREAS CONTROLADAS:** estas zonas trabajan con niveles de tasa de dosis ambiental mayores a 6mSv/año, el riesgo de exposición ambiental se genera por la presencia de fuentes abiertas o pacientes tratados. Las áreas designadas como zonas controladas son: LABORATORIO – CUARTO CALIENTE, CUARTO DE INYECCIÓN, GAMMACÁMARAS, BANDA DE ESFUERZO, SALA DE ESPERA PACIENTES TRATADOS, BAÑO DE PACIENTES Y CORREDOR.

LABORATORIO – CUARTO CALIENTE.- esta zona se emplea para las actividades de medición y contención de las fuentes abiertas, es el lugar donde se fraccionan las dosis para los pacientes. Existe un alto riesgo de irradiación externa e interna además de un elevado riesgo de contaminación por la manipulación de las fuentes abiertas por lo que solo el POE tiene permitido el ingreso a esta área.

CUARTO DE INYECCIÓN.- esta zona se utiliza para la administración del material radiactivo al paciente y la inyección de medicamentos o kit fríos cuando el protocolo clínico lo requiere. Esta zona tiene un alto riesgo de irradiación externa al momento de la inyección de las dosis al paciente y existe riesgo de contaminación en caso de presentarse algún accidente o incidente durante esta actividad.

GAMMACÁMARAS: también llamadas salas de exploración. Aquí se encuentran los equipos para realizar los estudios de diagnóstico. Como ya se mencionó solo la gammacámara INFINIA se encuentra funcionando, por lo que solamente esta sala de exploración se analizará dentro de la

investigación. Estas zonas presentan riesgo de irradiación externa debido a la exposición que genera el paciente tratado, no existe riesgo de contaminación a excepción de presentarse algún accidente o incidente, especialmente durante el estudio de corazón con esfuerzo farmacológico.

**BANDA DE ESFUERZO.**- esta zona se emplea para realizar los estudios de corazón mediante la aplicación de esfuerzo físico, el área tiene una caminadora que aumenta la frecuencia cardíaca. La inyección de la dosis se realiza in situ, cuando la frecuencia cardíaca iguala o supera un valor límite de 80%, en ese momento se administra la dosis. En esta área existe riesgo de irradiación externa y contaminación que puede presentarse durante esta actividad.

**SALA DE ESPERA DE PACIENTES TRATADOS.**- esta zona se emplea para que el paciente que tiene incorporado el material radiactivo espere hasta que se realice el rastreo o hasta que culmine el procedimiento. Esta área presenta un alto riesgo de irradiación externa debido a la presencia de los pacientes tratados, mientras que el riesgo de contaminación dependerá de si existe un accidente o incidente en el área.

**BAÑO DE PACIENTES TRATADOS.**- esta zona se utiliza para que los pacientes que tengan incorporado el material radiactivo realicen sus necesidades biológicas. Existen instalaciones para pacientes varones y para mujeres. En ocasiones las instalaciones están contaminadas debido al uso de los mismos por parte de los pacientes que tienen material radiactivo incorporado, esto genera un alto riesgo de irradiación externa y contaminación.

**CORREDOR.**- esta área se emplea para la circulación de pacientes que tengan incorporado el material radiactivo, en esta área existe riesgo de irradiación externa durante la estadía del paciente en esta área.

- **ÁREAS DE ACCESO PROHIBIDO:** estas zonas trabajan con niveles de tasa de dosis ambiental mayores a 6mSv/año, el riesgo de exposición ambiental se genera por la presencia de fuentes en decaimiento. Las áreas designadas como zonas de acceso prohibido son: **BODEGA DE CONTENEDORES, SALA DE DECAIMIENTO DE DESECHOS Y SALA DE DECAIMIENTO DE FUENTES.** Debido al equipamiento y el blindaje que dispone esta área se decide considerarla como área de acceso prohibido por el alto riesgo de irradiación externa e interna que

existe. Un gran problema es el déficit de contenedores apropiados para desechos y la estadía de las fuentes que ingresan a decaimiento. Se restringe el ingreso del POE a estas zonas a menos que se realice alguna actividad específica autorizada, la cual deberá ser realizada en el menor tiempo posible.

BODEGA DE CONTENEDORES.- esta área se emplea para el almacenamiento de algunos materiales de limpieza y descontaminación, además de guardar archivos o estudios antiguos. Existe riesgo de irradiación externa por la cercanía a las salas de decaimiento.

SALA DE DECAIMIENTO DE DESECHOS.- esta zona se utiliza para la contención de los desechos contaminados. Se clasificó los desechos en base a dos categorías:

- Tipo de radioisótopo:  $^{131}\text{I}$  o  $^{99\text{m}}\text{Tc}$
- Clase de desecho: viales, jeringas o desechos comunes como: guates, papeles, mandiles u otros materiales contaminados

El monitoreo de contaminación no es factible debido a que el nivel de radiación de fondo no permite delimitar correctamente los puntos críticos de contaminación. El nivel de radiación de fondo se continuará midiendo el primer día de cada mes como se acostumbra hacerlo para valorar el nivel de radiación de fondo y evitar la exposición innecesaria del POE.

SALA DE DECAIMIENTO DE FUENTES.- esta zona se utiliza para la contención de las fuentes de  $^{131}\text{I}$  y de los generadores de  $\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$  que fueron empleados en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. Existe un alto riesgo de irradiación externa e interna por la presencia de las fuentes y es alta la probabilidad de contaminación cuando se manipulan las mismas.

Al culminar esta descripción se conoce el tipo de trabajo que se realiza en cada una de las estaciones, esto permite clasificar cada área en correspondencia a la zona radiológica a la que pertenezca basándose en lo que se establece en las normativas nacional e internacional (*ver sección 1.3.3*).

Por medio de esta clasificación se evaluó la señalización que es otro parámetro del diseño del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en lo que corresponde a la infraestructura esto debido a que la señalética permite identificar cada área. Como se detalló en el capítulo 1 se diseñó un formato de señalética que se emplea para clasificar cada estación. La figura 2-7 muestra el tipo de señalética que se diseñó para la instalación y así cumplir con el reglamento nacional.



**Figura 2-7:** En 1 se describe el tipo de área, en 2 se muestra el trébol de radiación de color magenta, 3 indica el tipo de zona radiológica y riesgos existentes, 4 es para denotar el fondo de color amarillo y 5 la ubicación del sello institucional.

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

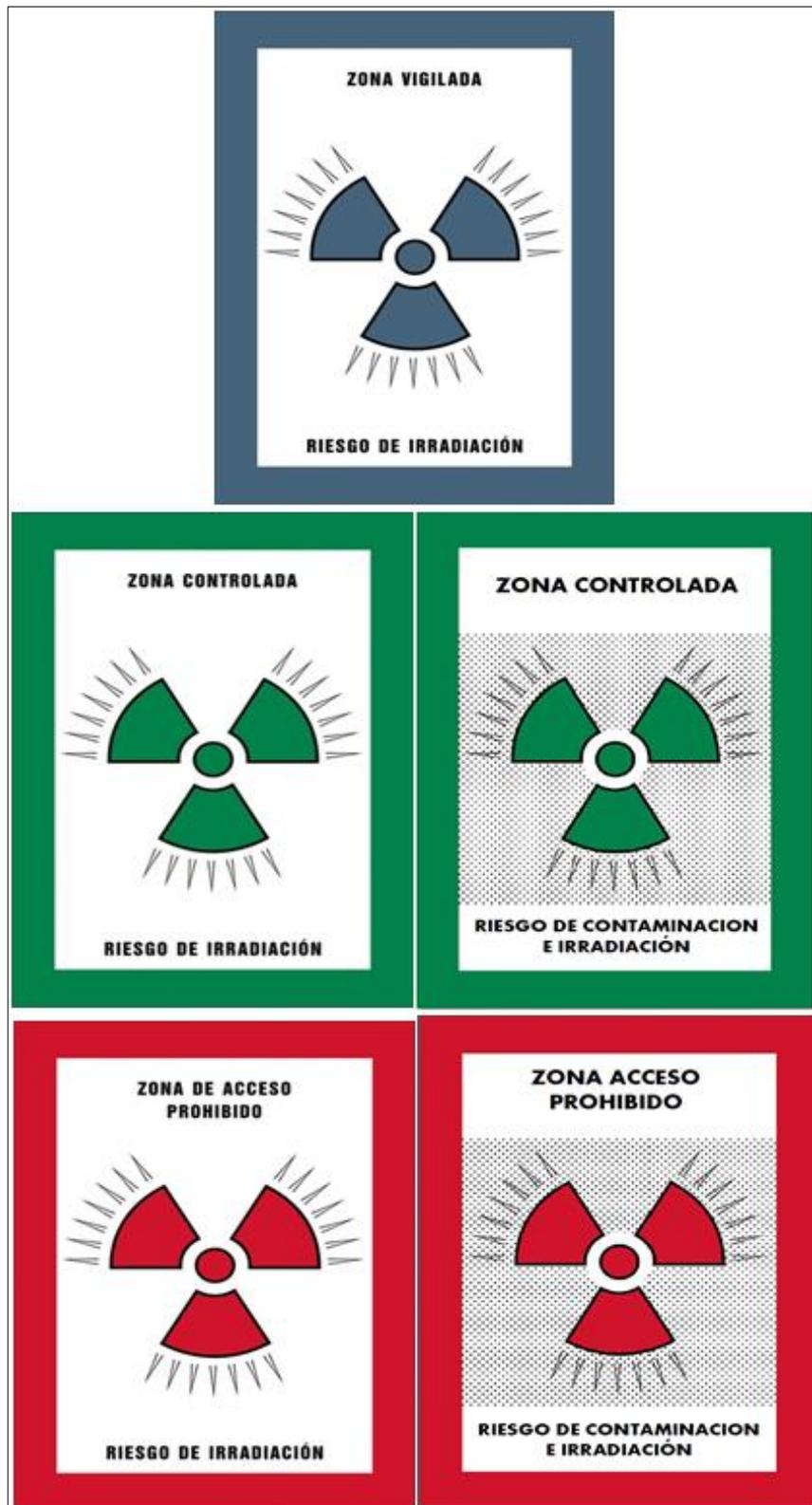
Según lo que menciona la normativa nacional se debe complementar la señalización con letreros de advertencia adicionales, este tipo de señalética complementaria se ubicará en zonas controladas y en las rutas de ingreso a la Unidad de Medicina Nuclear Convencional (ver figura 2-8).



**Figura 2-8:** Letrero para restringir el ingreso a mujeres embarazadas (IZQUIERDA), letrero de áreas restringidas (DERECHA).

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

Para culminar con el diseño de la señalización se incorporó el modelo de señalética según la recomendación internacional. En la figura 2-9 se muestran los diseños a utilizar.



**Figura 2-9:** Letreros a utilizar para clasificar zonas radiológicas en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional según la normativa internacional. El primer letrero se utiliza para definir zonas vigiladas, el segundo y tercer letrero se utilizan para definir zonas controladas, el cuarto y quinto letrero se utilizan para definir zonas de acceso prohibido

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

### **2.2.2 Población**

Como parte del diseño del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas se diseñó una capacitación de Protección Radiológica para el POE de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. Donde se contemplaron los siguientes temas:

- Protección Radiológica en una instalación de Medicina Nuclear.
- Seguridad Radiológica del personal.
- Protección Radiológica para el público.
- Protección Radiológica durante la manipulación de fuentes abiertas.
- Y otros.

Esto debido a que el POE es el principal encargado de desarrollar las actividades dentro de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional y son los responsables de brindar información y hacer cumplir las normas de Protección Radiológica a los pacientes y al público.

A continuación se indica cómo se delimitaron las características de cada tipo de población:

**PACIENTES.-** Se consideran pacientes a todas las personas que deban realizarse algún estudio o procedimiento que se brinda en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. Dichos pacientes deberán portar la prescripción médica del especialista que solicite la realización de este procedimiento.

Cada paciente recibirá una dosis de material radiactivo en correspondencia con el estudio o procedimiento a realizarse.

**POE.-** Se considera Personal Ocupacionalmente Expuesto al grupo de personas que trabajan en instalaciones radiactivas médicas y tienen acreditación o licencia de operación para trabajar en este tipo de instalaciones.

En la Unidad de Medicina Nuclear Convencional se encuentran trabajando 8 POEs, de los cuales: 5 son licenciados en radiología, 2 son médicos nucleares y 1 es físico médico.

**PÚBLICO.-** Se considera público a todas las personas que no sean pacientes ni POE. El público representa a: familiares o personas que asisten a los pacientes y trabajadores del hospital que no tengan licencia de operación u personal que ingresan con la debida autorización a la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

### 2.2.3 Monitoreo de Vigilancia Radiológica de Zonas

Para la realización del monitoreo de vigilancia radiológica de zonas se tuvo en cuenta las características técnicas del equipamiento disponible en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional y las condiciones mínimas necesarias para la realización del mismo.

Se empleó el monitor de radiación de marca RADIATION ALERT modelo INSPECTOR, con número de serie 15779 calibrado el 12 de Mayo del 2015. Este equipo permitió medir los indicadores de tasa de dosis y niveles de contaminación detallados anteriormente. Las especificaciones técnicas del equipo se encuentra detallado en el capítulo anterior (*ver sección 1.4.2*).

Se establecieron condiciones mínimas necesarias para la realización del monitoreo antes de iniciar cualquier práctica que involucrara la manipulación de fuentes abiertas de radiaciones ionizantes y después de concluir cualquiera de las mismas, teniendo en cuenta las variables de tasa de dosis ambiental y niveles de contaminación superficial, a saber:

- Lecturas de tasa de dosis antes de iniciar la preparación de las dosis (fraccionamiento) en el cuarto caliente.
- Lecturas de tasa de dosis antes de la administración de las dosis a los pacientes.
- Lecturas de tasa de dosis previo el ingreso de pacientes a las salas de exploración.
- Lecturas de tasa de dosis en lugares de tránsito y estadía de pacientes administrados el radiofármaco.
- Lecturas de tasa de dosis después de la preparación de las dosis en el cuarto caliente.
- Lecturas de tasa de dosis después de la administración de las dosis a los pacientes.
- Lecturas de tasa de dosis luego de la salida de pacientes de las salas de exploración.
- Lecturas de contaminación superficial en zonas determinadas en el cuarto caliente y cuarto de inyección.
- Lecturas de tasa de dosis durante el transporte de pacientes de terapia de I<sup>131</sup>

El método de medición para obtener los valores de niveles de contaminación se lo realizó a una distancia no mayor a 5cm del área a monitorear. Y el equipo se encontraba en la escala de cuentas por minuto. Se definió con antelación los puntos donde es frecuente la presencia de contaminación y se registró la lectura más alta del área monitoreada. Mientras que para el monitoreo de tasa de dosis se ubicó el monitor a una distancia de 1 metro del sitio designado como punto de referencia con el equipo en la escala de  $\mu\text{Sv/h}$ . El monitoreo de áreas no incluyó a la salas de exploración 2 y 3 debido a que estas estaciones no son utilizadas por encontrarse los equipos que ahí reposan sin funcionar.

#### 2.2.4 Inventario de fuentes radiactivas abiertas

La Unidad de Medicina Nuclear Convencional tiene permisos para emplear 6 tipos de radioisótopos en los servicios de diagnóstico y tratamiento (ver tabla 2-4).

**Tabla 2-4:** Tipos de fuentes abiertas que pueden importarse para el trabajo en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional

FUENTE	TIEMPO DE SEMI DESINTEGRACIÓN	ACTIVIDAD AUTORIZADA	ACTIVIDAD PRÁCTICA	USO
Tecnecio ( $^{99m}\text{Tc}$ )	2.02 horas	2000 mCi	30 mCi	Diagnóstico
Yodo ( $^{131}\text{I}$ )	8.04 días	2000 mCi	250 mCi	Diagnóstico y Tratamiento
Indio ( $^{111}\text{In}$ )	2.83 días	50 mCi	10 mCi	Diagnóstico
Fósforo ( $^{32}\text{P}$ )	14.28 días	50 mCi	15 mCi	Tratamiento
Samario ( $^{153}\text{Sm}$ )	1.95 días	50 mCi	30 mCi	Tratamiento
Galio ( $^{67}\text{Ga}$ )	3.26 días	50 mCi	10 mCi	Diagnóstico

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

**Realizado por:** (Tesista - Edison Carrillo)

Actualmente se trabaja con fuentes de  $^{131}\text{I}$  y con generadores de  $\text{Mo-}^{99m}\text{Tc}$ . El ingreso de estas fuentes es semanal y cumple con la siguiente normativa: la actividad semanal solicitada de  $^{131}\text{I}$  es 1 Ci<sup>12</sup> y la actividad semanal solicitada del generador de  $\text{Mo-}^{99m}\text{Tc}$  es de 1.5 Ci. Como parte del diseño del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas se deberá llevar el inventario de las fuentes abiertas que se emplea en la Unidad. Este inventario permite conocer y estructurar los procedimientos a seguir, además de valorar el equipamiento e infraestructura en base al tipo y cantidad de fuentes radiactivas a utilizar.

Se realizó el inventario de fuentes no selladas que se encuentran en la bodega de decaimiento, debido a que en este sitio se encuentra la mayor cantidad de fuentes que ingresan a la Unidad. Todo el personal de la Unidad participó en esta planificación realizando tareas específicas y colaborando en la organización del área, esta actividad involucró 3 criterios:

---

<sup>12</sup> Ci: Representa las siglas de Curie que es la unidad de actividad en honor a los físicos químicos Pierre y Marie Curie. Representa la cantidad de material en la que se desintegran  $3,7 \cdot 10^{10}$  átomos por segundo o  $3,7 \cdot 10^{10}$  desintegraciones nucleares por segundo.

1. Protección del personal involucrado: en este punto se reglamentó la vestimenta que utiliza el personal, la misma que consta de 2 pares de guantes de látex, mascarilla, collarín y faldón plomado y externamente un mandil hospitalario (mandil quirúrgico) y se estableció el tiempo de trabajo y las actividades a realizar.
2. Identificación de las fuentes que no estén decaídas: esta actividad se permitió conocer la cantidad de fuentes existente dentro de bodega. El Oficial de Protección Radiológica aprobó la salida de las fuentes que se encuentren decaídas por considerarlas desecho común, siempre que cumplan con el límite de tasa de dosis a 1 metro; es decir, que no supere  $1\mu\text{Sv/h}$ . Se pudo también aplicar la regla de dejar decaer el tiempo necesario para obtener las 10 vidas medias de ese radioisótopo y así considerarla apta para su salida.
3. Definición y delimitación de áreas para clasificar las fuentes no decaídas: cuando ya se conoció la cantidad de fuentes que debían permanecer en bodega para su decaimiento se definió sectores para ubicar las fuentes que ingresarán a esta zona, además se estructuraron registros para mantener el inventario de ingreso de fuentes a esta área.

### **CAPÍTULO III**

## **IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE ZONAS**

En este capítulo se presenta la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas teniendo como bases lo estudiado en el capítulo 2. Se presentan por cada uno de los componentes del programa, el resultado de la implementación en cuanto a: infraestructura, población, inventario de fuentes radiactivas abiertas y el monitoreo según las variables estudiadas, ellas son: tasa de dosis ambiental y niveles de contaminación superficial.

### **3.1 Implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas**

La implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas inició el día lunes primero de junio de 2015 (ver anexo C), con la autorización del Jefe de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. Pero días antes de iniciar la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas se realizó una conferencia con el personal de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional para explicar sobre los cambios y adecuaciones que se implementarían según lo estudiado en la etapa de diseño.

El tiempo empleado para la implementación de todos los cambios fue de aproximadamente dos semanas, lapso en el cual se realizó pequeños ajustes de algunos cambios que se habían implementado a medida que se iba identificando inconvenientes en los mismos. Culminado la etapa de implementación se realizó la capacitación del personal de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional para el adiestramiento en:

- Los protocolos de trabajo diseñados en el manual de procedimientos de Protección Radiológica en situaciones normales y emergencia (ver anexo E).
- Protección Radiológica personal.
- Protección Radiológica del público y de los pacientes.
- Seguridad Radiológica en Medicina Nuclear.
- Sistema de registros a utilizar en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

Al culminar la capacitación el personal de la Unidad conocía el objetivo de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas, “disminuir lo más razonablemente posible los niveles de tasa de dosis del ambiente y los niveles de

contaminación superficial” por medio de cambios propuestos según el diseño planteado en el capítulo 2.

Finalmente, se continuó con el monitoreo de las áreas de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional, posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas con el fin de verificar la continuidad de la implementación de los cambios planteados y valorar la disminución de los niveles de tasa de dosis ambiental y de contaminación superficial.

A continuación se realiza una descripción detallada de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional indicando las actividades realizadas y los resultados obtenidos según el diseño presentado en el capítulo anterior.

### ***3.1.1 Infraestructura***

Como se valoró en la fase de diagnóstico la inapropiada organización y la inadecuada distribución de las áreas de trabajo, permitió determinar la necesidad de organizar los espacios físicos disponibles de manera que se pueda llevar un mejor control de los ambientes de trabajo.

A continuación se describen los cambios realizados en las distintas áreas durante la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas. Las primeras áreas intervenidas fueron cuarto de inyección y cuarto de esfuerzo. Los cambios que se implementaron fueron:

- En lo que respecta al cuarto de esfuerzo, el Jefe de la Unidad tomó la decisión de dar de baja al equipo de rastreo tiroideo que se encontraba en esta área.
- Por las características de la infraestructura del cuarto de esfuerzo se decidió trasladar los equipos del cuarto de inyección y habilitar esta área como el nuevo lugar para administrar las dosis.
- El área que se desocupó se utilizó para habilitar la Oficina de Protección Radiológica.
- Se presentó la sugerencia de colocar una exclusiva blindada que conecte el cuarto caliente con el nuevo cuarto de inyección, debido a que la exclusiva permitiría un mejor traslado del material radiactivo fraccionado entre ambos cuartos.

Los cambios que se implementaron en la sala de espera de pacientes fueron:

- La división de la sala de espera tratando de asilar en dos salas: una para pacientes aplicados el radiofármaco y otra para pacientes que no tienen incorporado dicha sustancia. Es importante mencionar que el espacio físico no permite habilitar de mejor manera un área mejor estructurada.
- Se utilizó la sala de espera externa a la Unidad de Medicina Nuclear Convencional para evitar la aglomeración de pacientes dentro de la instalación, informando al paciente el motivo por el cual se restringe temporalmente su ingreso.

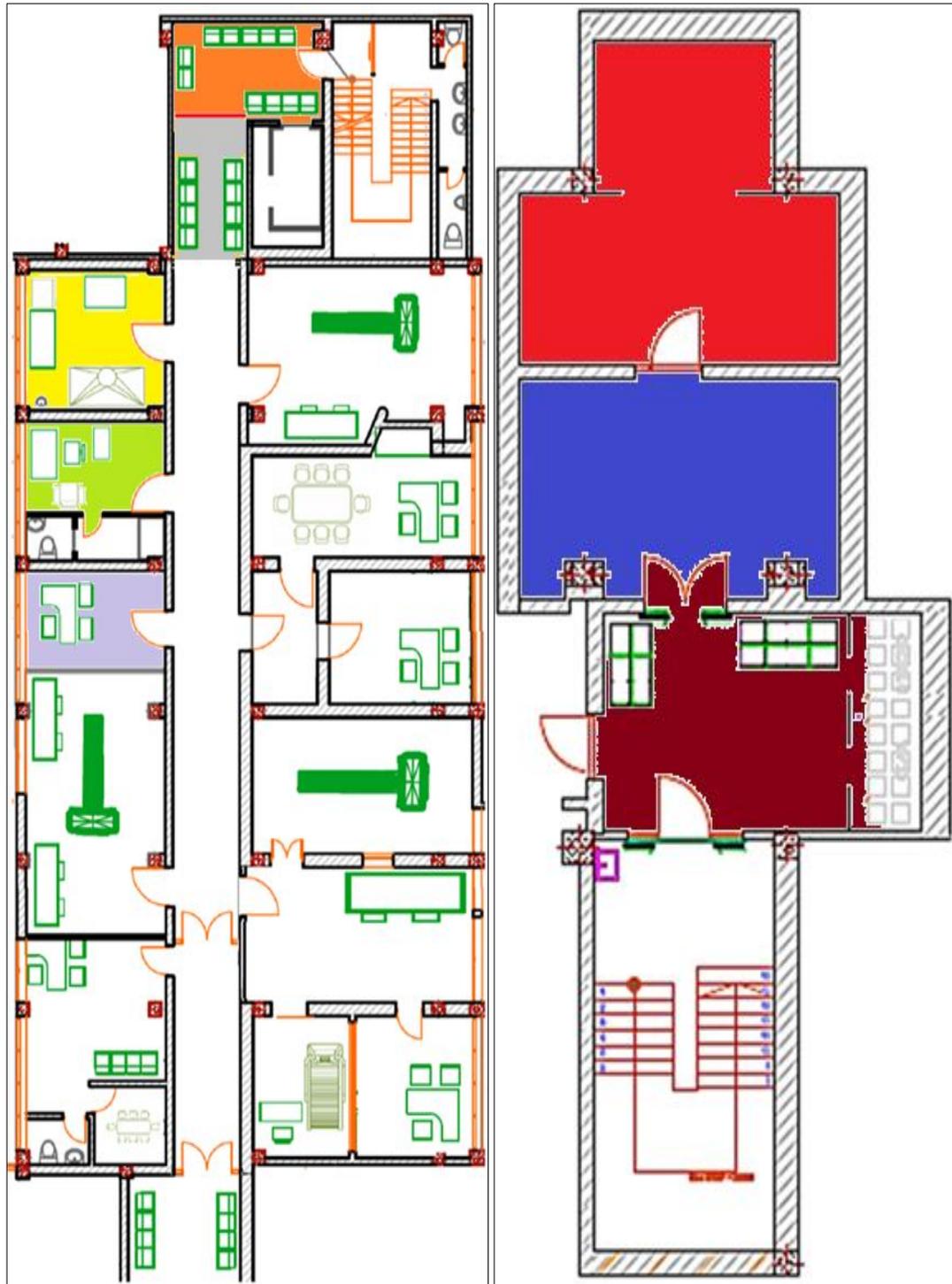
Un área de gran importancia que se intervino fue el laboratorio – cuarto caliente, los cambios implementados fueron:

- Se logró habilitar la campana de flujo laminar para emplearla como el lugar donde se colocará un castillo plomado y contenedores para el procedimiento de fraccionamiento de la dosis.
- Debido a que no existe contenedores blindados para almacenar las fuentes radiactivas de  $^{131}\text{I}$  y el generador de  $\text{Mo-}^{99\text{m}}\text{Tc}$  se optó por emplear un contenedor plomado para el generador de  $\text{Mo-}^{99\text{m}}\text{Tc}$  y colocarlo sobre una mesa de trabajo en un punto que evite una exposición directa, además de mejorar el blindaje externo de este contenedor para brindar seguridad al POE; esto considerando que el generador no emite gases, de esta manera solo se debe garantizar un lugar apropiado y el blindaje correcto.
- Se optó por almacenar las fuentes de  $^{131}\text{I}$  en la nevera que se encuentra en el cuarto caliente y blindar externamente el mismo mediante el uso de mamparas plomadas acogiendo la recomendación establecida por el OIEA.
- Se logró habilitar y clasificar contenedores plomados que fueron utilizados para el almacenamiento de jeringas, viales o equipo corto punzante contaminado con material radiactivo.
- Por último, se instruyó al POE sobre la manera de utilizar adecuadamente los registros diseñados para esta área y así trabajar según los criterios de los protocolos de trabajo redactados en el manual de Protección Radiológica en situaciones normales y de emergencia de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional (ver anexo E).

Además se implementaron cambios en la bodega de decaimiento. Se intervino en los espacios correspondientes a: ingreso, sala de decaimiento de desechos, sala de decaimiento de fuentes. Las actividades realizadas fueron:

- Se procedió a dar de baja todos los equipos antiguos o deteriorados que no se empleaban.
- Se realizó la limpieza del área con la vigilancia respectiva. De este modo se eliminó todos los equipos inservibles, permitiendo incrementar el área de contención en toda la bodega de decaimiento.
- Se aisló las salas de decaimiento del lugar de ingreso, de esta manera esa zona ahora se emplea para el almacenamiento de algunos materiales específicos para descontaminación, contenedores empleados en las actividades diarias y un equipo específico, comprobando que los niveles de tasa de dosis ambiental sean bajos.
- Se verificó el estado de las puertas, rejas y candados empleados para la seguridad. Como regla se estableció que luego de realizar cualquier actividad con determinada acción en estas áreas se debe cerrar completamente estas zonas para evitar el robo o pérdida de fuentes y garantizar la Protección Radiológica en esta área.
- Se habilitó la sala de decaimiento de desechos y se clasificaron contenedores para cada tipo de desecho. La clasificación de desechos contempla: el tipo de radioisótopo empleado ( $^{131}\text{I}$  o  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) y la clase de desecho generado (viales, jeringas o desechos comunes).
- En sala de decaimiento de fuentes se realizó el inventario de todas las fuentes que se encontraban en esta zona, además de retirar todos los contenedores de desechos y trasladarlos a la sala correspondiente.
- En sala de decaimiento de fuentes se delimitó secciones para organizar de mejor manera el almacenamiento de las fuentes radiactivas que ingresan a esta área.
- Se capacitó a todo el personal acerca de la Protección Radiológica que se debe tener dentro de esta área y se entregaron los formatos de registros diseñados para cada sala.

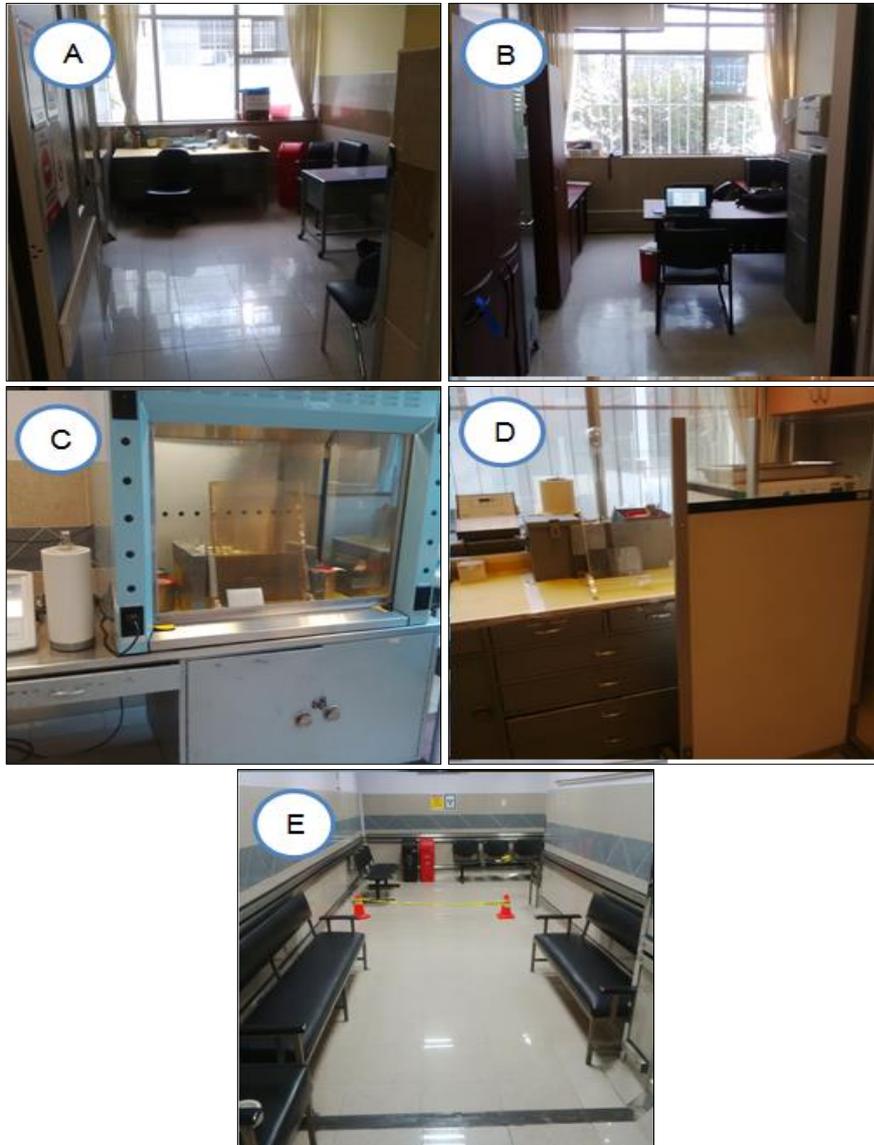
Finalmente, se colocaron todas las señalizaciones establecidas en el capítulo 2, de esta manera se completó la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en lo que respecta a la infraestructura. Los resultados obtenidos luego de la implementación se evidencian a continuación. La gráfica 3-1 muestra el diseño de la planta de diagnóstico y de bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional luego de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.



**Gráfica 0-1:** Diseño de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional posterior a la implementación de los cambios en la infraestructura. Se resaltan las áreas que cambiaron: Sala de espera de pacientes con dosis color naranja, sala de espera de pacientes sin dosis color gris, el laboratorio – cuarto caliente color amarillo, cuarto de inyección color verde, oficina de Protección Radiológica color violeta en la planta de diagnóstico. Sala de ingreso color marrón, sala de decaimiento de desechos color azul y sala de decaimiento de fuentes color rojo.

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

Las siguientes imágenes muestran algunas áreas de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas:



**Figura 3-1:** Áreas de la planta de diagnóstico de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional luego de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.  
**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

En la figura 3-1 se muestra el resultado obtenido luego de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en las áreas de Medicina Nuclear Convencional. La imagen A muestra el nuevo espacio físico adecuado para el cuarto de inyección con la finalidad de que permanezca adyacente al cuarto caliente y así acortar la trayectoria durante el traslado de la dosis de un cuarto hacia el otro.

Se constató que el POE encargado del transporte de los radiofármacos fraccionados desde el cuarto caliente al cuarto de inyección se irradia en menor cantidad debido a que la distancia y el tiempo empleado para esta actividad disminuyeron.

La imagen B muestra la oficina de Protección Radiológica que se habilitó. Este lugar no constaba dentro del diseño antiguo de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional, esta oficina se empleó para que el Oficial de Seguridad Radiológica pueda desarrollar sus actividades y sea lugar de almacenamiento de los registros que se implementaron y los archivos y demás documentos que se necesitan para cualquier evaluación, como por ejemplo los registros dosimétricos y copias de licencias personales del POE.

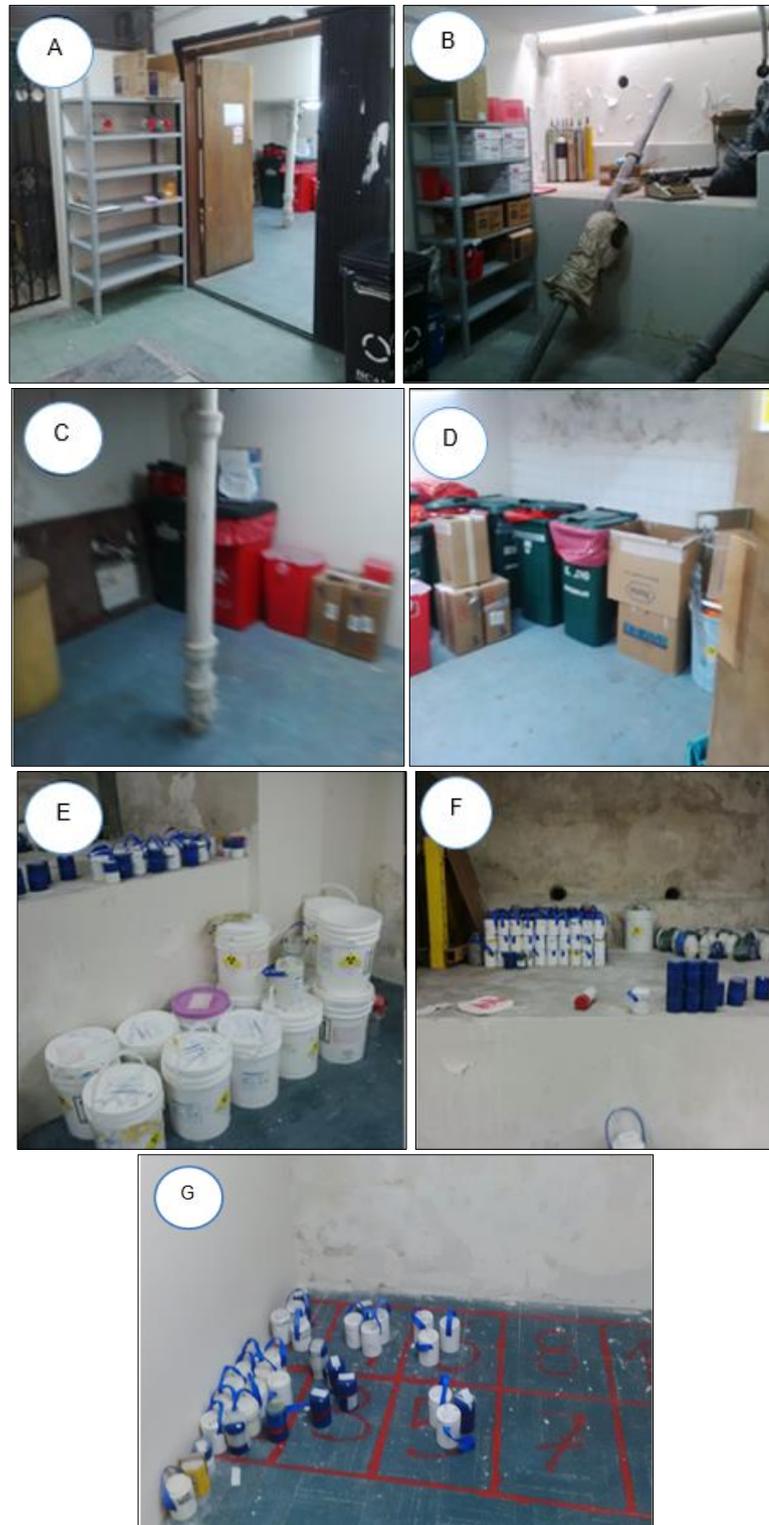
Las imágenes C y D representan la nueva estructura del cuarto caliente. La imagen C demuestra el cambio implementado que se logró habilitando la campana de flujo laminar y la construcción del castillo en su interior, de esta manera se realizó el fraccionamiento de las dosis para los pacientes en este sitio. Al trabajar en este sitio se logró limitar los sitios de contaminación superficial generados durante la práctica, contando con un lugar con una superficie que facilita la descontaminación. Además ayuda a la extracción de gases durante la manipulación del  $^{131}\text{I}$ .

Por otra parte la imagen D muestra el lugar donde se encuentran las fuentes radiactivas con los respectivos blindajes. Para el generador de  $\text{Mo-}^{99\text{m}}\text{Tc}$  se empleó un contenedor blindado y externamente se utiliza un vidrio plomado con grosor de 2 cm. Además las fuentes de  $^{131}\text{I}$  son almacenados en la nevera en sus respectivos contenedores y externamente se colocaron las mamparas plomadas.

En E se encuentran dos áreas: la sala de espera para pacientes con dosis de radiofármacos incorporados y otra área para pacientes sin dosis incorporada. Con esto se logró disminuir considerablemente la exposición del público que asistía al paciente. Actualmente se controla la cantidad de pacientes que ingresan a esta área y se evita exposiciones injustificadas.

También se implementaron cambios en el área de contención como se muestra en la figura 3-2. Como se mencionó en el capítulo 2 la bodega de decaimiento se emplea para el almacenamiento temporal de: desechos corto punzantes, desechos comunes, equipos, materiales o vestimenta que estén contaminados con material radiactivo y de fuentes que ingresan a decaimiento. El almacenamiento dentro de estas áreas blindadas permite el decaimiento del material radiactivo para que la actividad disminuya hasta un límite donde se pueda tomar las respectivas acciones en cada caso.

Por ser un lugar donde se almacenan las fuentes radiactivas y conociendo que no se dispone de los contenedores blindados apropiados para el almacenamiento de este tipo de materiales se optó por nombrar a bodega de decaimiento como zona radiológica de acceso restringido.



**Figura 0-2:** Estado de la bodega de decaimiento después de la implementación del Programa de Vigilancia.

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

La figura 3-2 muestra el resultado obtenido luego de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

Luego de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas se obtuvo cambios en el área de ingreso a bodega donde se empezó a almacenar estudios y varios materiales de descontaminación en estantes. En C y D se muestran la sala de decaimiento de desechos; aquí se habilitó y clasificó los desechos como se programó en el diseño.

En E, F y G se muestran la sala de decaimiento de fuentes, se logró distribuir de forma adecuada las fuentes que ingresaban, las fuentes que continuaban en decaimiento y los contenedores de plomo. Adicional se colocó una señal para identificar la semana de ingreso a la sala de decaimiento, cada número en la figura representa una semana y en total existe 12 semanas para cumplir con el tiempo promedio de 10 vidas medias del  $^{131}\text{I}$ .

Otros resultados obtenidos de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en lo que corresponde a la sección de la infraestructura es la clasificación y señalización de las diferentes áreas de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional. Como se planificó en el diseño se colocaron letreros según las especificaciones ya establecidas.

Esta señalética se ubicó en las puertas de ingreso o sitios de fácil visibilidad en toda la instalación, que permitan brindar información de las áreas de la Unidad, estos cambios se aprecian en las siguientes figuras. La figura 3-3 muestra la señalización que se implementó en la puerta de ingreso a la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.



**Figura 0-3:** Señalización empleada para el ingreso a la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

La señalización empleada en las zonas vigiladas se aprecia en la figura 3-4.



**Figura 0-4:** Señalética empleada para las zonas vigiladas con riesgo de irradiación. Cada señalética indica el tipo de zona que representa, su clasificación y el riesgo existente.

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

Las siguientes figuras indican la señalización empleada en las zonas controladas:



**Figura 0-5:** Señalética empleada para cuarto de inyección (IZQUIERDA), cuarto caliente (MEDIO) y banda de esfuerzo (DERECHA).

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

La señalética de la figura 3-5 indica el riesgo de irradiación existente; se emplearon mayor cantidad de letreros de advertencia debido a que son áreas con lecturas elevadas.



**Figura 0-6:** Señalética empleada en los servicios higiénicos para mujeres (IZQUIERDA) y en los servicios higiénicos para varones (DERECHA).

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

La señalética de la figura 3-6 indica la presencia del riesgo de irradiación.



**Figura 0-7:** Señalética empleada para las salas de exploración: Gammacámara 1, Gammacámara 2, Gammacámara 3 y sala de espera, respectivamente.

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

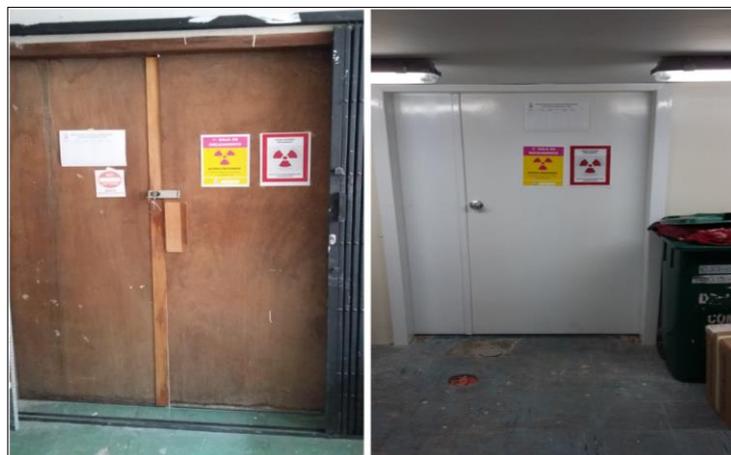
La señalización mostrada en la figura 3-7 indica que en estas áreas existe riesgo de irradiación. La figura 3-8 muestra la señalética usada para el ingreso a la bodega de decaimiento.



**Figura 0-8:** Señalización empleada en los sitios de ingreso a la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

La figura 3-9 muestra la señalización empleada en las salas de decaimiento.



**Figura 3-9:** Señalización empleada en las salas de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional: sala de decaimiento de desechos (IZQUIERDA) y sala de decaimiento de fuentes (DERECHA).

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

La señalización de la figura 3-9 indica que en estas áreas existe riesgo de irradiación y contaminación.

### 3.1.2 Población

La población que interviene en esta investigación se la clasifica dentro de cualquiera de estos tres grupos: POE, paciente o público.

Como parte del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas un principal parámetro tomado en consideración fue la formación en temas de Protección Radiológica de la población; pero se enfatizó en el adiestramiento del POE sobre el Manual de Procedimientos de Protección Radiológica en casos normales y de emergencia que se diseñó para la Unidad de Medicina Nuclear Convencional (ver anexo E).

Los días 22, 23 y 24 de junio de 2015 fueron los días seleccionados para esta capacitación (ver anexo D).

Adicional se llevaron a cabo reuniones con el personal técnico y administrativo de la Unidad para conocer los cambios inmediatos logrados y de otros temas que involucra a la Protección Radiológica (ver figura 3-10).

Debido al aporte que se brindó con este tipo de actividades, el jefe de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional decidió que se dé continuidad al mismo por lo menos una vez al año.



**Figura 0-10:** Reunión con el personal administrativo de la Unidad de Medicina Nuclear para programar capacitación (ARRIBA). Capacitación del personal de la Unidad de Medicina Nuclear sobre Protección Radiológica y regeneración celular (ABAJO).

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

Al culminar con la capacitación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas, el personal adquirió conocimientos sobre los procedimientos de trabajo diseñados y que se hacen constar en el Manual de Procedimientos de Protección Radiológica en situaciones normales y de emergencia (anexo E) y la puesta en práctica de los mismos. Los cambios obtenidos son:

- Se trabajó en el laboratorio – cuarto caliente empleando los nuevos procedimientos diseñados en el manual.
- Se estableció el uso obligatorio de los procedimientos para: el transporte de las dosis de  $^{131}\text{I}$  y la administración de las mismas a pacientes que padecen de cáncer de tiroides.
- Se empezó a generar registros de: recepción de material radiactivo, inventario de desechos radiactivos, inventario de fuentes decaídas, registros de pacientes tratados con  $^{131}\text{I}$ , entre otros (ver anexo E).
- Se generaron registros del monitoreo de áreas, monitoreo de contaminación.
- Se empezó a realizar la descontaminación diaria de cada zona donde existían altos riesgos de contaminación superficial.
- El personal empezó a entregar información a los pacientes y al público en lo que respecta a las normas de Protección Radiológica que deben conocerse.

Los resultados obtenidos permitieron constatar la correcta aplicación de los procedimientos diseñados posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

Cabe aclarar que para obtener la correcta aplicación de los procedimientos establecidos en el Manual de Procedimientos de Protección Radiológica en situaciones normales y de emergencia (anexo E) fue necesario realizar ciertas modificaciones a algunos protocolos, con el fin de que se ajusten a la situación real que se presenta dentro de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

Finalmente se entregó el manual diseñado redactado en el anexo E, para su revisión por parte del Oficial de Seguridad Radiológica responsable. Las siguientes figuras muestran los resultados obtenidos luego de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en lo que respecta a la población.



**Figura 0-11:** La figura muestra la manera de trabajar del POE después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas durante el fraccionamiento y preparación de las dosis de los pacientes.

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

La figura 3-11 muestra la manera de trabajar del POE después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas. En la imagen se muestra el sitio donde se realizó la preparación de la dosis de cada paciente y la vestimenta empleada para esta actividad.

Se demostró la disminución de los valores de las lecturas de tasa de dosis ambiental y de contaminación. De esta manera se disminuye la probabilidad de irradiación externa e interna y se disminuyen los niveles de contaminación superficial, además de facilitar la descontaminación de esta zona.



**Figura 0-12:** La figura muestra el protocolo de recepción del material radiactivo después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

La Figura 3-12 muestra el resultado de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en lo referente a la recepción del material radiactivo. Aquí se observa que el material ingresa a una zona controlada y solo el POE autorizado puede aproximarse a manipularlo.

Se designó al cuarto caliente como lugar donde ingresarán las fuentes hasta su apertura y se procuró utilizar la ruta más corta para el ingreso del material radiactivo, garantizando que en la trayectoria durante el ingreso no haya la presencia de público y de pacientes. Con las medidas implementadas se logró evitar la exposición injustificada del público y de los pacientes.



**Figura 0-13:** Las figuras muestran el protocolo de administración de las dosis de  $^{131}\text{I}$  después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.  
**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

La figura 3-13 muestra el protocolo a seguir durante la administración de  $^{131}\text{I}$  a los pacientes para el tratamiento de cáncer de tiroides. En las figuras de la parte superior se puede observar como el POE brindó la asistencia durante la administración oral de la dosis por parte del paciente. Cabe mencionar que se emplearon mamparas plomadas para dar protección al POE al momento de la administración del radiofármaco.

Estas mamparas cumplen dos funciones: ser un blindaje de protección entre el paciente al que se le administra la dosis y el POE y permite verificar la correcta ingesta de la dosis para determinar la ocurrencia o no de una contaminación superficial.



**Figura 0-14:** Las figuras muestran el transporte de las dosis  $^{131}\text{I}$  luego de la implementación del programa de vigilancia

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

La figura 3-14 muestra el protocolo utilizado para el transporte de las dosis de  $^{131}\text{I}$ . En las imágenes se puede ver como el POE transportó las dosis de  $^{131}\text{I}$  empleando un transporte que garantizaba el blindaje para cada dosis que permitió transportar de manera segura todas las dosis hacia las habitaciones de los pacientes para tratamiento de cáncer de tiroides.

Se debe mencionar que el Físico Médico evaluó la eficiencia del blindaje diseñado para el transporte y se determinó que la tasa de dosis que se genera al medir a 1 m del exterior de cada contenedor no sobrepasa los  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ . Evaluando el resultado de la implementación lograda con este protocolo se puede decir que se logró disminuir considerablemente los niveles de irradiación externa para el público como para el POE en comparación con los altos niveles de exposición que se registraban empleando el anterior protocolo.

### ***3.1.3 Monitoreo de las variables estudiadas después de la implementación Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas***

El monitoreo realizado en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional consta de dos partes:

1. Monitoreo de los niveles de tasa de dosis ambiental.
2. Monitoreo de los niveles de contaminación superficial.

Dicho monitoreo se basó principalmente en los registros obtenidos de las variables estudiadas durante la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas. Del mismo modo que en la etapa de diagnóstico, se midió la tasa de dosis ambiental en diez áreas y los niveles de contaminación superficial en dos áreas, y en cada área a una hora fija antes y después de la manipulación del material radiactivo. En la tablas 3 y la tabla 4 del anexo A se encuentran los registros diarios de los monitoreos realizados con respecto a la variable de tasa de dosis ambiental, mientras la tabla 3-1 y la tabla 3-2 son los resultados del tratamiento estadístico de los datos medidos de la variable estudiada que a continuación se muestran.

**Tabla 0-1:** Tratamiento estadístico de los valores de tasa de dosis ambiental posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas antes de la manipulación del material radiactivo.

<b>Datos</b>	Cuarto caliente	Cuarto de inyección	Sala de Exploración #1	Sala de espera	Banda de esfuerzo	Baños de mujeres	Baños de varones	Primer consultorio médico	Segundo consultorio médico	Protección Radiológica
<i>Media</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	2,11	0,36	0,35	0,24	0,26	0,33	0,41	0,22	0,23	0,25
<i>Número de datos</i> "N"	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
<i>Valor Min</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0,63	0,13	0,10	0,13	0,14	0,16	0,15	0,11	0,13	0,12
<i>Valor Max</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	3,97	1,70	5,04	0,56	0,57	1,22	1,34	0,46	0,40	0,50
<i>Desviación Estándar</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0,83	0,35	0,82	0,09	0,09	0,19	0,21	0,08	0,07	0,10
<i>Moda</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1,78	0,26	0,29	0,25	0,28	0,23	0,45	0,19	0,18	0,20
<i>Coefficiente de Variación</i>	39%	98%	232%	37%	35%	57%	53%	36%	31%	39%

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Realizado por:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Tabla 0-2:** Tratamiento estadístico de los valores de tasa de dosis ambiental posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas luego de la manipulación del material radiactivo.

Datos	Cuarto caliente	Cuarto de inyección	Sala de Exploración #1	Sala de espera	Banda de esfuerzo	Baños de mujeres	Baños de varones	Primer consultorio médico	Segundo consultorio médico	Protección Radiológica
<i>Media</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	3,93	0,72	0,42	0,77	0,27	0,52	0,60	0,26	0,23	0,25
<i>Número de datos</i> "N"	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
<i>Valor Min</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1,25	0,26	0,10	0,24	0,11	0,22	0,23	0,14	0,13	0,10
<i>Valor Max</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	5,75	3,87	2,17	3,63	0,44	2,21	3,56	0,46	0,40	0,49
<i>Desviación Estándar</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0,98	0,69	0,36	0,76	0,11	0,42	0,70	0,08	0,07	0,10
<i>Moda</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	4,02	0,38	0,24	0,38	0,35	0,25	0,34	0,30	0,19	0,31
<i>Coefficiente de Variación</i>	25%	97%	85%	100%	42%	80%	116%	32%	32%	40%

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Realizado por:** (Tesis - Edison Carrillo)

Observando los resultados de las tablas 3-1 y 3-2 después de implementado el Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas para la variable tasa de dosis ambiental, el valor más alto obtenido en relación al nivel permitido 11,23  $\mu\text{Sv/h}$  para POE (tomando como referencia 20 mSv al año) son sólo los reportados en el cuarto caliente con un valor de 3.93  $\mu\text{Sv/h}$  y comparado con los valores medidos de la tasa de dosis ambiental de la tabla 2-2 del capítulo 2 en el diagnóstico, los mismos disminuye en un 22%. Solo se reporta en el cuarto caliente niveles significativos de tasa de dosis ambiental.

Por otro lado las zonas que presentan mayor dispersión de los valores de radiación en la medición de la tasa de dosis ambiental después de implementado el Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas son: cuarto de inyección, sala de exploración, sala de espera y baño de varones.

Comparando estas áreas con respecto a los valores obtenidos en el diagnóstico antes de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas, se obtuvo que ha disminuido un 53%, 86% y 138% ,respectivamente, no obteniéndose valores significativos en la banda de esfuerzo y en el cuarto caliente después de implementado el programa. Como elemento adicional se observó que después de la implementación del programa, en el baño de varones obtuvo un grado de variabilidad de 116% de tasa de dosis ambiental respecto al valor obtenido en el diagnóstico pues se detectó que los mismos pacientes luego de utilizar el baño no realizaban la descarga apropiada del agua.

Como se aprecia en los resultados presentados, los valores obtenidos de tasa de dosis ambiental después de implementado el Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas y comparado con aquellos obtenidos en el proceso de diagnóstico disminuyen significativamente.

Este tratamiento estadístico también se lo realizó con los niveles de contaminación superficial. En la tabla 6 del anexo A se encuentran los registros diarios de los niveles de contaminación superficial, mientras que en la tabla 3-3 se muestran los resultados del tratamiento estadístico de valores de las mediciones de los niveles de contaminación superficial luego de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

**Tabla 0-3:** Tratamiento estadístico de los niveles de contaminación superficial en el cuarto caliente obtenidos posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas cuando se ha culminado con la práctica

Datos	Cuarto caliente					
	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Bandeja (Bq/cm <sup>2</sup> )	Microondas (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>131</sup> I (Bq/cm <sup>2</sup> )
<i>Media</i>	2391.73	2182.16	1903.30	2013.06	2663.44	2493.61
<i>Número de datos “N”</i>	35	35	35	35	35	35
<i>Valor Min</i>	425.70	443.76	428.28	443.76	1297.74	528.90
<i>Valor Max</i>	24030.12	6720.90	4081.56	4953.60	4927.80	8338.56
<i>Desviación Estándar</i>	3954.17	1235.99	841.11	1071.13	702.35	1556.48
<i>Moda</i>	165%	57%	44%	53%	26%	62%

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

Se determinó realizar sólo el monitoreo de los niveles de contaminación después de implementar el Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en el cuarto caliente puesto que los resultados obtenidos en el cuarto de inyecciones en el proceso de diagnóstico fueron poco significativos.

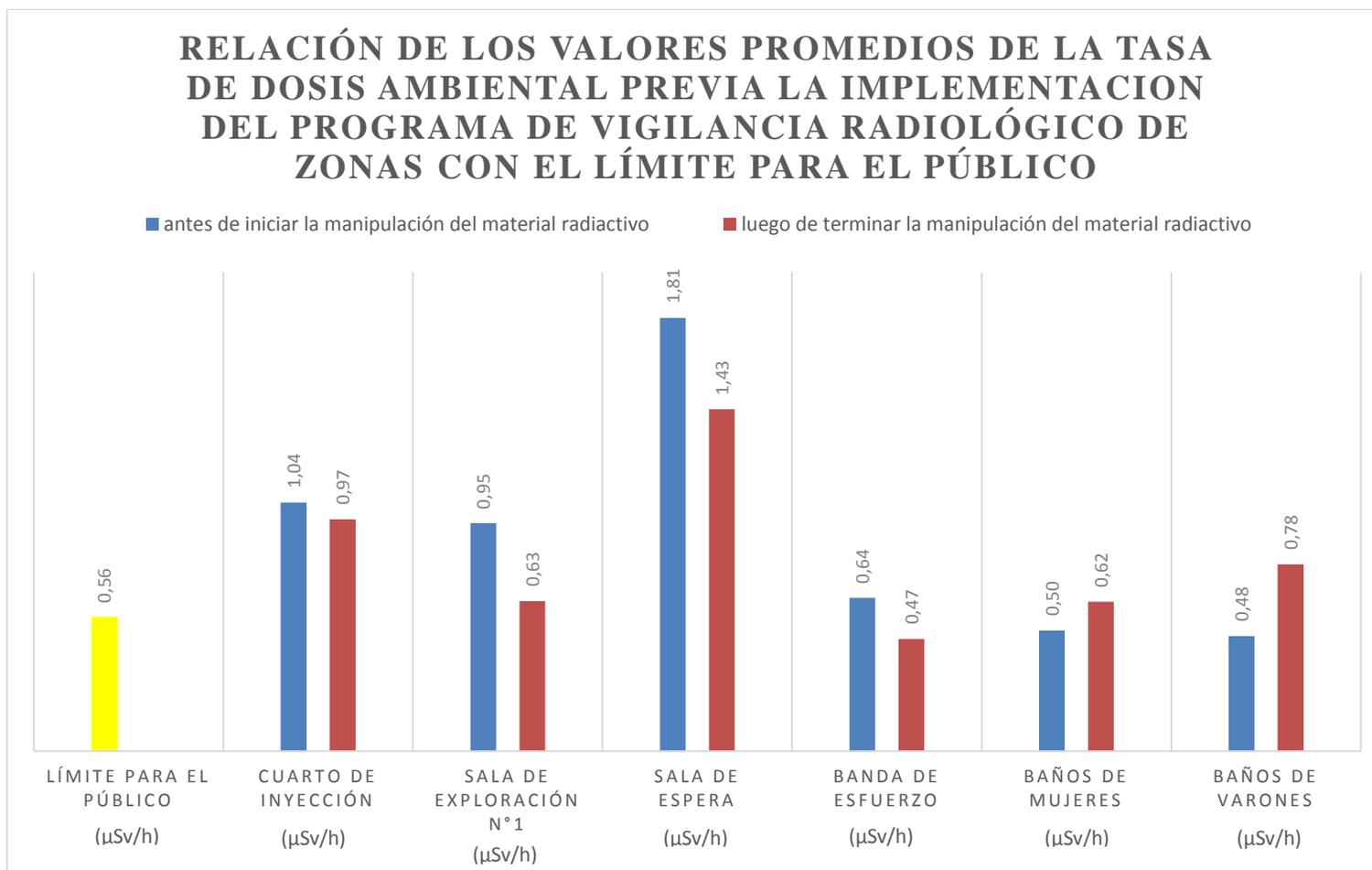
Observando los resultados de la tabla 3-3 para los niveles de contaminación superficial, los valores más altos obtenidos fueron en: piso, mesón y basureros de <sup>131</sup>I y <sup>99m</sup>Tc y comparados con el diagnóstico realizado antes de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas los valores de niveles de contaminación han disminuido en: 660%, 5967%, 3817% y 460%, respectivamente, lo que demuestra la efectividad de la implementación del programa.

Por otro lado, las áreas que presentan mayor dispersión de los valores de niveles de contaminación son: piso, mesón, bandeja, basureros de <sup>131</sup>I y <sup>99m</sup>Tc y comparados con el diagnóstico realizado disminuyen en: 86%, 404%, 543%, 271% y 1162%, respectivamente.

Este comportamiento se debe a:

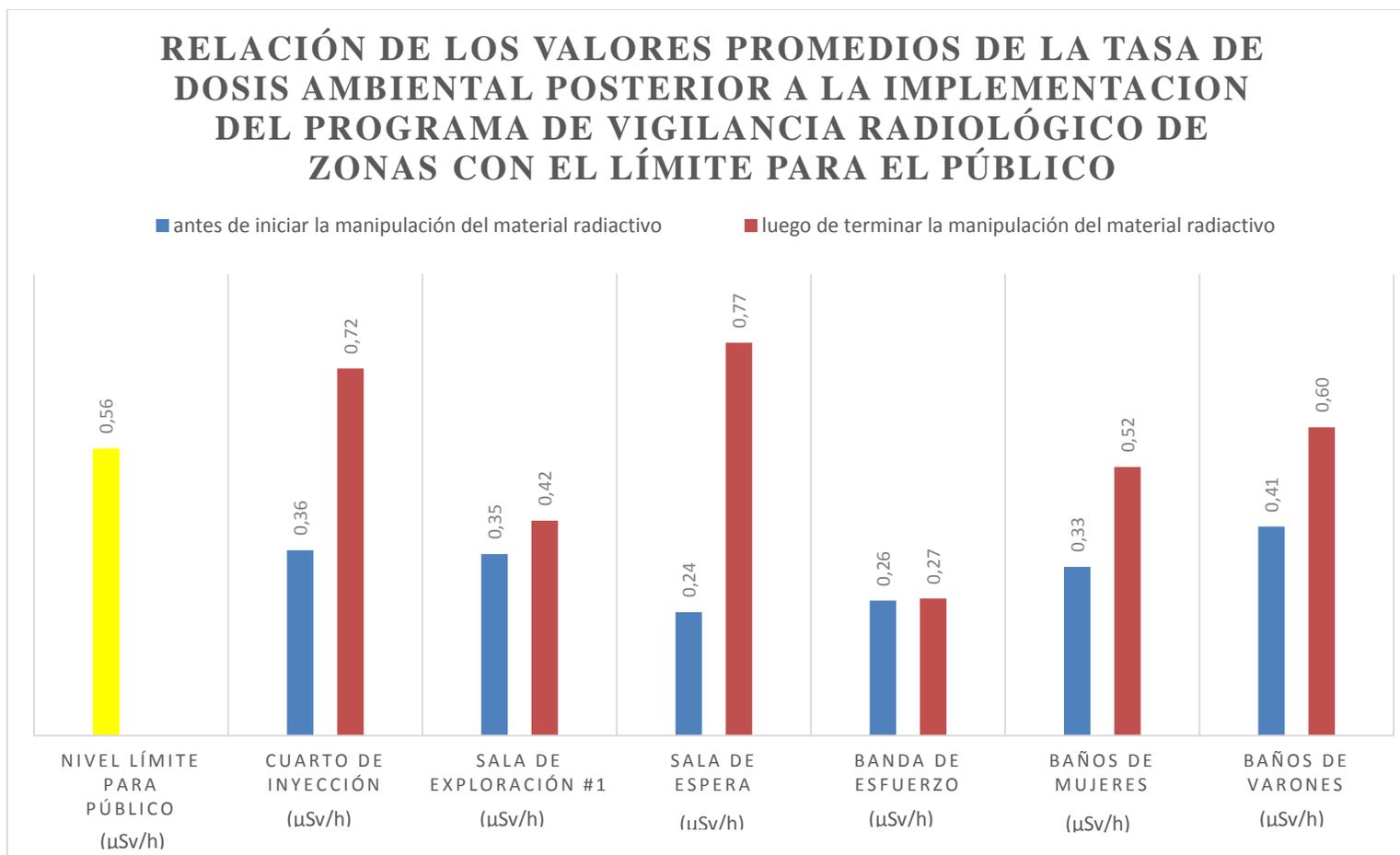
- Errores humanos durante el desarrollo de la práctica.
- Déficit de materiales adecuados para la descontaminación durante la realización de la práctica.
- Descontaminación insuficiente en correspondencia con el nivel de actividad.

A continuación las siguientes gráficas muestran la relación de los valores obtenidos relacionándolos con el límite máximo para POE y para público. Cabe mencionar que el nivel máximo de tasa de dosis ambiental permitido en el lapso de una hora para que el público se encuentre dentro del límite de dosis anual de 1 mSv es 0.56  $\mu\text{Sv/h}$  trabajando con el valor de 1780 horas laborables en un año.



**Gráfica 0-2:** Relación entre los niveles promedio de tasa de dosis ambiental previa la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas con el límite máximo para el público.

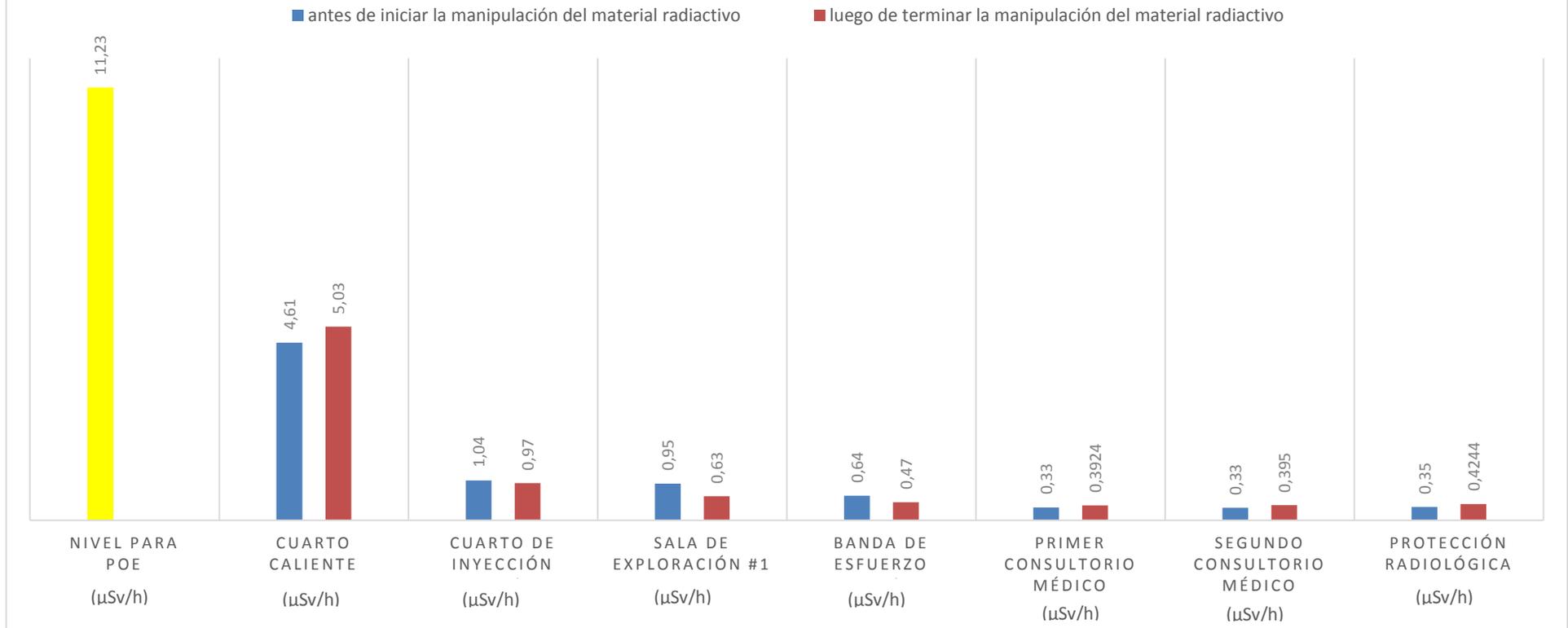
**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)



**Gráfica 0-3:** Relación entre los niveles promedio de tasa de dosis ambiental posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas con el límite máximo para el público.

Fuente: (Tesis - Edison Carrillo)

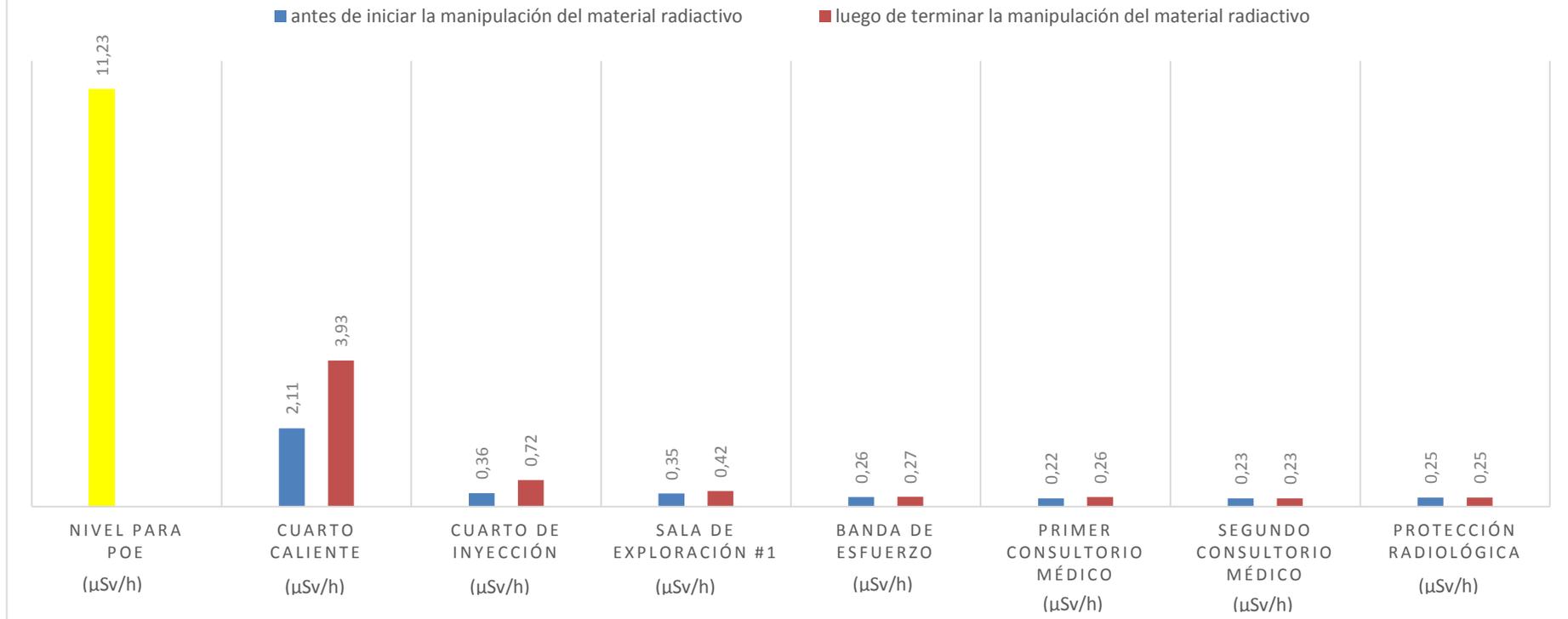
## RELACIÓN DE LOS VALORES PROMEDIOS DE LA TASA DE DOSIS AMBIENTAL PREVIA LA IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICO DE ZONAS CON EL LÍMITE PARA EL POE



**Gráfica 0-4:** Relación entre los niveles promedio de tasa de dosis ambiental previa la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas con el límite máximo para el POE.

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

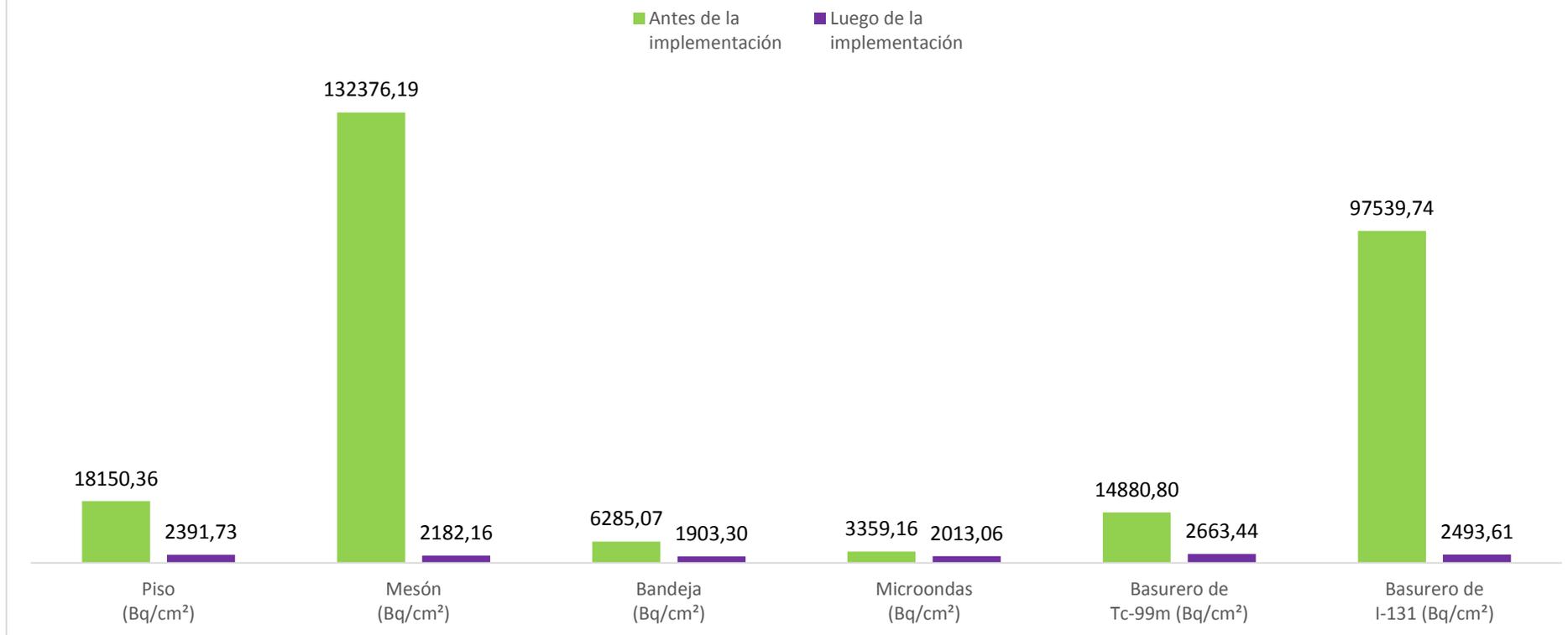
## RELACIÓN DE LOS VALORES PROMEDIOS DE LA TASA DE DOSIS AMBIENTAL POSTERIOR A LA IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICO DE ZONAS CON EL LÍMITE PARA EL POE



**Gráfica 0-5:** Relación entre los niveles promedio de tasa de dosis ambiental posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas con el límite máximo para el POE.

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)

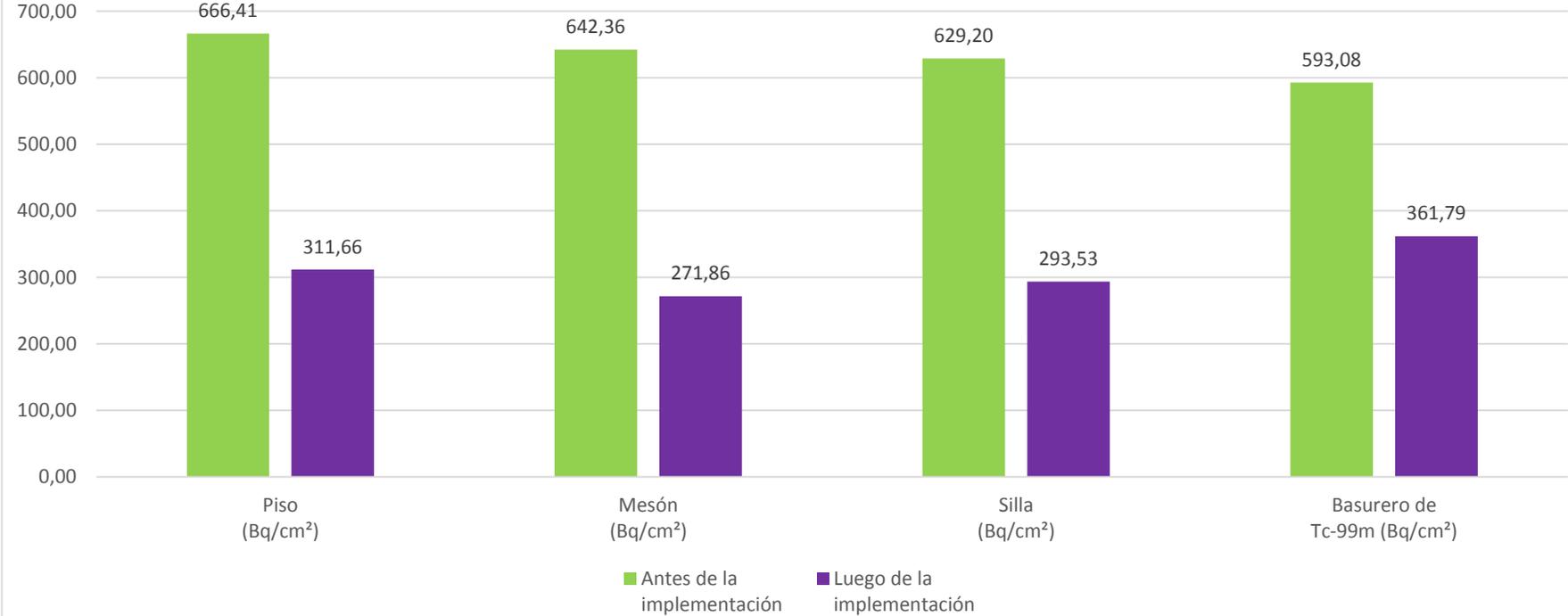
## NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN EL CUARTO CALIENTE ANTES Y DESPUES DE LA IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE ZONAS



**Gráfica 0-6:** Relación de los niveles de contaminación superficial en el cuarto caliente antes y después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

## NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN EL CUARTO DE INYECCIÓN ANTES Y DESPUES DE LA IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE ZONAS



**Gráfica 0-7:** Relación de los niveles de contaminación superficial en el cuarto de inyección antes y después de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas

**Fuente:** (Tesisista - Edison Carrillo)

Realizando un análisis de los resultados obtenidos en las gráficas se logró determinar que:

- En la gráfica 3-2 se muestra que los niveles de tasa de dosis ambiental en cada área sobrepasa considerablemente el límite de exposición para el público antes de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.
- En la gráfica 3-3 se muestra que los niveles de tasa de dosis ambiental se disminuyen considerablemente antes de iniciar la jornada y que algunos de los valores al terminar la jornada continúan excediendo el límite de exposición para el público, pero respecto de que luego de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.
- La gráfica 3-4 y la gráfica 3-5 se muestra que los niveles de tasa de dosis ambiental en cada área no sobrepasan el límite de exposición para el POE, pero comparando el estado previo a la implementación con el estado posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas, se logró disminuir los niveles de exposición en todas las áreas.
- Las gráficas 3-6 y 3-7 indican la disminución de los niveles de contaminación superficial en los sitios donde se realizaba el monitoreo tanto para el cuarto caliente como para el cuarto de inyección posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

Con este análisis se logra conocer los resultados y comparar el aporte que obtenido luego de la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en la Unidad objeto de estudio.

### **3.1.4 Medidas y recomendaciones de Protección Radiológica**

Las medidas y recomendaciones de Protección Radiológica para disminuir tanto como sea posible la dosis a la que se exponen el Personal Ocupacionalmente Expuesto y el público en general dentro de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del HCAM son:

- Dentro del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas se debe realizar revisiones periódicas del mismo, con el objetivo de mantener los objetivos alcanzados y disminuir tanto como sea posible los niveles de tasa de dosis ambiental y contaminación superficial.
- Mantener con regularidad un stock de insumos necesarios para cada una de las prácticas desarrolladas dentro de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional de modo tal que garantice los niveles óptimos de seguridad radiológica en el desarrollo de las prácticas.
- Garantizar el equipamiento adecuado para el Oficial de Protección Radiológica regularizando con esto diferentes tipos de monitoreos de las variables de medición
- Garantizar una capacitación de los POEs de forma periódica de los diferentes cambios que se produzcan dentro del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.
- Para el desarrollo de nuevas prácticas deberá velarse por el cumplimiento de las normas y de los procedimientos operacionales establecidos en materia de seguridad radiológica debidamente aprobados dentro del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.
- Implementar como parte del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas un sistema de auditoría externa cuyos resultados sirvan para el mejoramiento continuo de las condiciones de seguridad radiológica dentro de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

### **3.1.5 Inventario de fuentes radiactivas abiertas**

Como parte de las actividades programadas para la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas se realizó en la bodega de decaimiento una limpieza (ver figura 3-15) donde se contabilizaron 180 contenedores con fuentes de  $^{131}\text{I}$ , generadores de  $\text{Mo-}^{99\text{m}}\text{Tc}$  y tachos vacíos, de los cuales sólo 26 contenedores contenían fuentes que tenían actividad radiactiva.



**Figura 0-15:** Limpieza programada de la bodega de decaimiento de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

Con la eliminación de los contenedores vacíos y de las fuentes decaídas se logró limitar zonas donde se pueda clasificar y almacenar cada fuente según el tipo de radioisótopo y llevar de manera más eficiente y documentada la cantidad de fuentes que ingresan a decaimiento.

Como se mencionó en la sección 2.1.4, la Unidad utiliza fuentes de  $^{131}\text{I}$  y generadores de  $\text{Mo-}^{99\text{m}}\text{Tc}$  para brindar los servicios de diagnóstico y tratamiento. La tabla 3-4 indica la cantidad de fuentes radiactivas que se encontraron en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

**Tabla 3-4:** Inventario de fuentes abiertas de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

Radioisótopo	Promedio de Fuentes Ingreso Semanal	Ubicación	Cantidad Total De Fuentes
$^{131}\text{I}$	3	Cuarto Caliente	3
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	Cuarto Caliente	1
$^{131}\text{I}$	3	Bodega de Decaimiento	12
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	Bodega de Decaimiento	14

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Realizado por:** (Tesis - Edison Carrillo)

Finalmente se logró conocer que mensualmente ingresarán: 4 generadores de  $\text{Mo-Tc}^{99\text{m}}$  y 12 fuentes de  $\text{I}^{131}$ . De esta manera se puede programar fechas de eliminación de las fuentes que se encuentran decaídas.

## CONCLUSIONES

1. El estudio bibliográfico es la base fundamental para del diseño del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas. La revisión de conceptos, recomendaciones, postulados, etc., establecidos por autores y entidades nacionales e internacionales permitieron determinar los parámetros de análisis para realizar esta investigación.
2. El diagnóstico inicial del sistema de Protección Radiológica de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional del Hospital Carlos Andrade Marín determinó la inexistencia de un Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.
3. Sobre las normativas internacionales, las bases teóricas de las recomendaciones del OIEA, las recomendaciones de la Autoridad Reguladora Nacional, las características del Hospital y de la propia Unidad de Medicina Nuclear Convencional, se realizó el diseño del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas como parte integral del funcionamiento de las diferentes prácticas, que involucró los elementos de: infraestructura, población, monitoreo de vigilancia radiológica de zonas e inventario de fuentes radiactivas abiertas.
4. La implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas arrojó los siguientes resultados:
  - Se midió la tasa de dosis ambiental en las áreas de: cuarto caliente, cuarto de inyección, sala de espera de pacientes, sala de exploración, banda de esfuerzo, baños de pacientes, consultorios médicos y oficina de Protección Radiológica.
  - Se midió los niveles de contaminación superficial en las áreas de: cuarto caliente y cuarto de inyección.
  - Los resultados de las mediciones de tasa de dosis ambiental evidencian que aún cuando se reportan niveles por debajo de los recomendados por el OIEA para los POE se logran disminuir en un 22% respecto de los valores obtenidos en el diagnóstico.
  - Con respecto a los niveles de contaminación superficial en el cuarto caliente se reporta una disminución en alrededor de un sesentavo del nivel más alto respecto de los valores obtenidos en el diagnóstico.
5. Se implementaron las principales medidas y recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos en el Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en la Unidad de Medicina Nuclear Convencional, formando parte de las políticas de

actuación de cada uno de los actores principales que intervienen en el desarrollo de las diferentes prácticas.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda emplear este trabajo como guía para implementar un Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas en instalaciones de Medicina Nuclear. Además, las directrices de este programa permitirán realizar evaluaciones en temas de protección radiológica.
2. Revisar periódicamente el contenido de dicho programa para adecuar en todas sus partes en correspondencia con el futuro de las nuevas prácticas dentro de la Unidad de Medicina Nuclear Convencional.

## GLOSARIO

1. **ABSORBENTE:** Material que atenúa la radiación que incide sobre él.
2. **ABSORCIÓN:** Proceso por el cual la radiación entrega parte o toda su energía al material que atraviesa.
3. **ACCIDENTE RADIOLÓGICO:** es todo suceso imprevisto, incluyendo errores de accionamiento, fallos en el equipo u otros percances, capaces de producir una sobreexposición, en la que se superan los límites máximos fijados por la reglamentación vigente; cuyas consecuencias o posibles consecuencias pueden resultar en daños materiales y/o generación de efectos determinísticos y/o estocásticos sobre la salud de las personas.
4. **ACTIVIDAD:** Número de transformación nucleares que tienen lugar un material en un intervalo determinado de tiempo.
5. **ÁREA DE ALTA RADIACIÓN:** Lugar en la que el nivel de radiación es tal que la mayor parte del cuerpo humano puede recibir en una hora una dosis debida a exposición externa mayor de cien milirem (100 mrem/h).
6. **ÁREA DE RADIACIÓN:** Lugar en la que el nivel de radiación es tal que la mayor parte del cuerpo humano puede recibir en una hora una dosis mayor a cinco milirem (5mrem/h) o en una semana de trabajo de 40 horas una dosis mayor a 100mrem/h.
7. **ÁREA RESTRINGIDA:** Un área definida en la cual la exposición ocupacional del personal a la radiación está bajo la supervisión de un Oficial de Seguridad Radiológica.
8. **BECQUERELIO:** Unidad de medida de la actividad de un material radiactivo y se representa con el símbolo (Bq), es equivalente a una desintegración por segundo.
9. **CAPA HEMIRREDUCTORA:** Espesor de un determinado material que se interpone para reducir a la mitad del valor original la intensidad de un haz de radiación.

- 10. CONTAMINACION RADIATIVA:** Presencia no deseada de sustancias radiactivas en el entorno. Ésta contaminación puede proceder de radioisótopos naturales o artificiales.
- 11. CURIE:** Unidad de medida de radiactividad. Un Curie (1Ci), es la cantidad de material radiactivo que se desintegra a razón de  $3,7 \cdot 10^{10}$  desintegraciones por segundo (dps), se suele utilizar el milicurie (mCi) equivalente a  $3,7 \cdot 10^7$  dps.
- 12. DAÑO DERIVADO DEL TRABAJO:** lesión física, muerte o afectación a la salud de las personas o deterioro de los bienes o el ambiente con motivo o en ocasión del trabajo.
- 13. DESINTEGRACIÓN NUCLEAR:** Transformación nuclear espontánea caracterizada por la emisión de energía y/o masa del núcleo.
- 14. DOSIS ABSORBIDA:** Energía cedida por la radiación ionizante a la unidad de masa del material irradiado.
- 15. DOSIS AMBIENTAL:** Cantidad de radiación presente en el ambiente de un determinado espacio físico.
- 16. DOSIS EQUIVALENTE:** Dosis definida en términos del efecto biológico producido. Es igual a la dosis absorbida multiplicada por un factor de calidad. Este factor de calidad se define de modo que una misma dosis equivalente de diferentes radiaciones produzcan el mismo efecto biológico. Magnitud  $H_{T,R}$  definida por la expresión:
- $$H_{T,R} = D_{T,R} * w_R$$
- Donde:  $D_{T,R}$  es la dosis absorbida debido a la radiación tipo R promediada sobre un tejido u órgano T y  $w_R$  es el factor de ponderación de la radiación correspondiente a la radiación de tipo R.
- 17. DOSIS EQUIVALENTE AMBIENTAL:** Magnitud  $H^*(d)$ , en un punto de un campo de radiación, definida como la dosis equivalente que sería producida por el correspondiente campo alineado y expandido en la esfera de la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (ICRU) a una profundidad d, sobre el radio orientado en dirección opuesta a la del campo alineado. Para una radiación muy penetrante se recomienda una profundidad  $d= 10\text{mm}$ .
- 18. DOSÍMETRO:** Instrumento que permite evaluar una dosis absorbida, medir una exposición o cualquier otra magnitud radiológica.

- 19. DOSIS MÁXIMA PERMITIDA:** Es la mayor dosis que puede recibir una persona en un período de tiempo específico.
- 20. EXPOSICIÓN:** Magnitud física que caracteriza la ionización producida en el aire por la radiación X o gamma.
- 21. IMPACTO AMBIENTAL:** Cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o beneficioso, total o parcialmente resultante de las actividades, productos o servicios de una organización.
- 22. INCIDENTE RADIOLÓGICO:** Se considera incidente a aquel suceso durante el cual es probable que se supere las dosis recibidas normalmente.
- 23. LICENCIATARIO:** Es la persona a quien la autoridad reguladora ha otorgado licencia para trabajar con máquinas y/o fuentes de radiación. En Ecuador la entidad de control es la SCAN.
- 24. MATERIAL RADIATIVO:** Material sólido, líquido o gaseoso que emite radiación espontáneamente.
- 25. MONITOREO:** Apreciación de los niveles de radiación ionizante en un lugar con fines de protección radiológica.
- 26. OFICIAL DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA:** persona reconocida por la autoridad de control como responsable de la aplicación de las normas de seguridad radiológica de una institución o laboratorio. Debe constar con la autorización correspondiente de la entidad de control para desempeñar su función en el lugar en cuestión.
- 27. PELIGRO:** Fuente potencial de daño en términos de lesión o enfermedad a personas, a la propiedad, al entorno del lugar de trabajo, o a una combinación de estos.
- 28. PERÍODO DE DESINTEGRACIÓN:** Tiempo requerido para que una substancia radiactiva pierda el 50% de su actividad inicial.
- 29. RADIACIÓN:** Es toda la energía que se propaga en forma de ondas o partículas a través del espacio.

- 30. RADIACIÓN DE ESCAPE:** Radiación proveniente del interior de la cubierta protectora del tubo o fuente que no forma parte del haz útil.
- 31. RADIACIÓN DISPERSA:** Radiación originalmente presente en el haz primario que, al interactuar con la materia se desvía y deja de formar parte del haz primario.
- 32. RADIACIÓN IONIZANTE:** Radiación electromagnética o corpuscular capaz de producir directa o indirectamente iones al atravesar la materia. A los efectos de la protección radiológica es la radiación capaz de producir pares de iones en materia(s) biológica(s).
- 33. RADIATIVIDAD:** Propiedad de ciertos nucleídos de emitir espontáneamente radiación.
- 34. RESTRICCIÓN DE DOSIS:** Restricción relativa a la fuente, aplicada a la dosis individual causada por la fuente para optimizar la protección y seguridad. Para la exposición ocupacional la restricción de dosis representa al valor de dosis individual relacionado con la fuente, para limitar la gama de opciones consideradas en el proceso de optimización.
- 35. ROENTGEN:** Unidad de exposición igual a  $2.58 \cdot 10^{-4}$  Coulombio por kilogramo (C/kg) de aire.
- 36. SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO:** Actividad orientada a crear condiciones, capacidades y cultura para que el trabajador y su organización puedan desarrollar la actividad eficientemente, evitando sucesos que puedan originar daños derivados del trabajo. Ausencia de riesgo inaceptable.
- 37. TASA DE DOSIS:** Relación entre el incremento que la dosis y el intervalo de tiempo en que se ha producido dicho incremento.
- 38. VIGILANCIA RADIOLÓGICA:** este término describe las mediciones relacionadas con la evaluación o el control de la exposición a la radiación y a los materiales radiactivos. Aunque las mediciones desempeñen un papel importante en cualquier Programa de Protección Radiológica, la vigilancia radiológica es más que una medición simple; requiere interpretación y evaluación.

La justificación principal para realizar una medición debe, por lo tanto, encontrarse en la manera en que ayude a lograr y demostrar una protección adecuada, incluida la implantación de la optimización de la protección.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, I. (24 de Mayo de 2007). *Grupo de Innovación Docente* . Obtenido de Informativo:  
[http://www.catedu.es/ctamagazine/index.php?option=com\\_content&view=article&id=81&catid=94:artlos-del-mes-archivo](http://www.catedu.es/ctamagazine/index.php?option=com_content&view=article&id=81&catid=94:artlos-del-mes-archivo)
- Atómica, C. E. (08 de Agosto de 1979). Obtenido de  
<http://190.152.98.92/PORTALSCANSeguridadradiologica.pdf>
- Buzzi , A. (2009). *Historia\_Radiologia. El descubrimiento de los Rayos X*. Recuperado el 2015 de Junio de 29, de Sociedad Argentina de Radiología:  
[http://www.sar.org.ar/web/docs/dayrad/hisotria\\_radiologia.pdf](http://www.sar.org.ar/web/docs/dayrad/hisotria_radiologia.pdf)
- Buzzi, P. D. (2009). *Sociedad Argentina de Radiología*. Recuperado el 2015 de Junio de 29, de [http://www.sar.org.ar/web/docs/dayrad/hisotria\\_radiologia.pdf](http://www.sar.org.ar/web/docs/dayrad/hisotria_radiologia.pdf)
- Centro Nacional de Dosimetría. (2013). *cnd. Criterios recomendados de asignación de dosímetros personales*. . Recuperado el 20 de julio de 2015, de Centro Nacional de Dosimetría: <https://www.cnd.es/cnd/dosimper31.php?mlb=no&md=si>
- Centro Nacional de Seguridad Nuclear. (2011). *Guia de Seguridad para la practica de Medicina Nuclear*. Habana: Reverté.
- Comisión Ecuatoria de Energia Atómica. (08 de Agosto de 1979). Obtenido de  
<http://190.152.98.92/PORTALSCANSeguridadradiologica.pdf>
- Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica. (08 de Agosto de 1979). *IAEA Safety Standards*. Obtenido de Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p1531interim\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p1531interim_web.pdf)
- CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (CSN). (26 de Julio de 2001). *REGLAMENTO SOBRE PROTECCION SANITARIA CONTRA LAS RADIACIONES IONIZANTES*. Recuperado el 20 de Junio de 2015, de CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (CSN): <https://www.csn.es/documents/10182/896582/Real%20Decreto%20783-2001,%20de%206%20de%20julio,%20por%20el%20que%20se%20aprueba%20el%20Reglamento%20sobre%20protecci%C3%B3n%20sanitaria%20contra%20radiaciones%20ionizantes>

- Geoffrey, S. (15 de Julio de 2009). *SPECT-CT Scan*. Obtenido de Inside Radiology:  
[http://www.insideradiology.com.au/pages/view.php?T\\_id=17#.VakPnfl\\_Oko](http://www.insideradiology.com.au/pages/view.php?T_id=17#.VakPnfl_Oko)
- IAEA. (2011). *IAEA PUBLICATIONS*. Obtenido de COLECCIÓN DE NORMAS DE SEGURIDAD N° GSR (part 3) INTERIM : [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p1531interim\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p1531interim_web.pdf)
- ICPR-103. (2007). *Recomendaciones de la Comisión Internacioanl de Proteccion Radiológica*. Madrid: Senda.
- ICPR-105. (2011). *Proteccion Radiologica en Medicina*. Buenos Aires: VCR impresores SA.
- ICPR-105. (2011). *Proteccion Radiologica en Medicina 2011*. Buenos Aires: VCR impresores SA.
- ICRP103. (2007). *Las Recomendaciones de la Comisión Internacioanl de Proteccion Radiológica*. Madrid: Senda.
- ICRP105. (2011). *Proteccion Radiologica en Medicina 2011*. Buenos Aires: VCR impresores SA.
- INSPECTOR. (1998). *User Manual*. New York : RADIATION ALERT.
- International Atomic Energy Agency. (04 de Abril de 2013). *01 Efectos Biológicos. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN MEDICINA NUCLEAR*. Obtenido de Radiation Protection of Patients (RPOP):  
<https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/AdditionalResources/Training/training-material-es/Nuclear-medicine.htm>
- Naciones Unidas. (21 - 25 de Mayo de 2012). *UNSCEAR*. Nueva York: NU . Recuperado el 01 de Julio de 2015
- Nuclear, C. d. (2008). *CSN*. Recuperado el 20 de Junio de 2015, de  
<https://www.csn.es/documents/10182/896582/Real%20Decreto%20783-2001,%20de%206%20de%20julio,%20por%20el%20que%20se%20aprueba%20el%20Reglamento%20sobre%20protecci%C3%B3n%20sanitaria%20contra%20radiaciones%20ionizantes>
- Nuclear, C. d. (2008). *CSN*. Recuperado el 20 de Junio de 2015, de  
[http://www.csn.es/descarga/2008\\_Primer\\_D\\_5.pdf](http://www.csn.es/descarga/2008_Primer_D_5.pdf)

- Nuclear, C. N. (2011). *Guía de Seguridad para la práctica de Medicina Nuclear*. RG-MINJUS 13267, (págs. 1-26). Habana.
- Nuclear, C. N. (2011). *Protección Radiológica*. En *Guía de Seguridad para de práctica de Medicina Nuclear* (pág. Cuba). La Habana: Resolución 40/11.
- Núñez, M. (2008). *Efectos Biológicos de las Radiaciones*. Montevideo: UdelaR.
- Núñez, M. (2008). *Efectos Biológicos de las Radiaciones*. Montevideo : UdelaR.
- Núñez, M. (2008). *Protección Radiológica*. Montevideo: UdelaR.
- Núñez, M. (2008). *Protección radiológica en Medicina Nuclear*. Montevideo, Uruguay: UdelaR.
- OIEA. (16 de Octubre de 2001). *Proteccion Radiologica*. Obtenido de Manual Gene: <http://www.sepr.es/html/recursosdescargables/Manual%20PR%20medio%20hospitalario.pdf>
- OIEA. (2009). *Exposicion Ocupacional*. Madrid: Reverte.
- OIEA. (2009). *Exposicion Ocupacional*. En *Protección del Trabajador*. Madrid.
- OIEA. (04 de Abril de 2010). *PROTECCION RADIOLOGICA EN MEDICINA NUCLEAR. Efectos Biologicos*, 105. Madrid. Obtenido de <https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/AdditionalResources/Training/training-material-es/Nuclear-medicine.htm>
- OIEA. (2011). *Nº GSR*. Obtenido de [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public---ed\\_protect---protrav---safeworkdocuments/publication/wcms\\_171678.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public---ed_protect---protrav---safeworkdocuments/publication/wcms_171678.pdf)
- OIEA. (2011). *Normas Básicas Internacionales de Seguridad*. En *Protección Radiológica y Seguridad de las Fuentes de Radiación*. Viena.
- OIEA y OMS. (1972). *Uso de Radiaciones Ionizantes y de Isotopos Radiactivos en Medicina*. Ginebra: Switzerland.
- OMS, & OIEA. (1972). *Uso de Radiaciones Ionizantes y de Isotopos Radiactivos en Medicina*. Ginebra: Switzerland.
- Otto Valle, O. R. (01 de dic de 2005). *Organizacion de Estados Iberoamericanos*. Obtenido de Informativo: <http://www.oei.es/idie/mONITOREOEINDICADORES.pdf>

- R., V. (2005). Helath Physics. En *Medial Helath Physics: A review* (pág. USA). Volume 88. Number 6.
- Radiología, S. E. (15 de Abril de 2013). *Informativo*. Obtenido de [http://www.segra-radiologia.com/es/008\\_radioproteccion\\_personal\\_expuesto.php](http://www.segra-radiologia.com/es/008_radioproteccion_personal_expuesto.php)
- Radiologica, S. E. (16 de Octubre de 2002). *Informativo*. Obtenido de <http://www.sepr.es/html/recursos/descargables/Manual%20PR%20medio%20hospitalario.pdf>
- SALUD, O. P. (24-28 de Noviembre de 1969). *OMS*. Obtenido de <http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789127242770.pdf?sequence=1>
- SCAN. (8 de Agosto de 2010). *SCAN. REGLAMENTO DE SEGURIDAD RADIOLOGICA*. Recuperado el 1 de Julio de 2015, de Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares: <http://190.152.98.92/PORTAL/SCAN/Seguridadradiologica.pdf>
- SCAN. (s.f.). *Seguridad Radiológica SCAN*. Recuperado el 1 de Julio de 2015, de VERTIC: [http://www.vertic.org/media/National%20Legislation/Ecuador/EC\\_Decreto\\_Seguridadradiologica.pdf](http://www.vertic.org/media/National%20Legislation/Ecuador/EC_Decreto_Seguridadradiologica.pdf)
- Sociedad Argentina de Radioprotección. (2011). Radioproteccion. En *Proteccion Radiológica en Medicina* (pág. Argentina). ICPR Publicacion 105.
- Sociedad Española de Graduados en Radiología. (15 de Abril de 2013). *Radioprotección Personal Expuesto*. Obtenido de segra: [http://www.segra-radiologia.com/es/008\\_radioproteccion\\_personal\\_expuesto.php](http://www.segra-radiologia.com/es/008_radioproteccion_personal_expuesto.php)
- Sociedad Española de Protección Radiológica. (16 de Octubre de 2002). *MANUAL GENERAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA*. Obtenido de S.E.P.R: <http://www.sepr.es/html/recursos/descargables/Manual%20PR%20medio%20hospitalario.pdf>
- Tubiana , M., & Hanson, G. (1995). *Radiomedicina para todos*. 3.
- Tubiana, M. (1995). *El descubrimiento de la radiactividad*. España: Volumen 3.
- UNSCEAR . (2011). *Sources and Effects of Ionising Radiation*. New York: United Nations.

**REGISTROS DIARIOS  
DEL MONITOREO  
REALIZADO**

**Tabla 1:** Registros del monitoreo diario de los niveles de tasa de dosis ambiental obtenidos previo la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas “antes de la manipulación del material radiactivo”.

DÍA	Cuarto caliente (μSv/h)	Cuarto de inyección (μSv/h)	Sala de exploración #1 (μSv/h)	Sala de espera (μSv/h)	Banda de esfuerzo (μSv/h)	Baños de mujeres (μSv/h)	Baños de varones (μSv/h)	Primer consultorio médico (μSv/h)	Segundo consultorio médico (μSv/h)	Protección Radiológica (μSv/h)
1	13,58	0,40	0,35	0,44	0,44	0,44	0,49	0,35	0,35	0,47
2	6,65	0,44	0,26	0,63	0,69	0,63	0,50	0,31	0,34	0,34
3	2,80	0,37	0,33	0,32	0,29	0,33	0,38	0,27	0,29	0,35
4	7,03	0,33	0,34	0,31	0,37	0,37	0,38	0,31	0,33	0,35
5	4,32	0,38	0,29	0,35	0,36	0,44	0,41	0,37	0,39	0,41
6	1,68	0,39	0,35	0,41	0,31	0,40	0,53	0,36	0,30	0,41
7	4,63	0,31	0,38	0,34	0,31	0,33	0,42	0,37	0,30	0,37
8	4,44	0,29	0,36	0,35	0,29	0,54	0,59	0,32	0,31	0,36
9	4,32	0,28	0,41	0,36	0,29	0,35	0,35	0,35	0,32	0,32
10	7,84	0,29	0,23	0,40	0,37	0,61	0,33	0,33	0,30	0,38
11	3,81	0,25	0,83	0,31	0,35	0,32	0,75	0,31	0,30	0,32
12	4,35	0,33	0,76	0,36	0,32	0,54	0,36	0,37	0,35	0,37
13	6,31	6,49	0,71	0,66	0,76	0,47	0,34	0,34	0,35	0,31
14	4,72	0,67	0,52	12,04	0,59	0,66	0,37	0,31	0,30	0,41
15	1,18	0,44	3,07	0,93	0,47	0,42	0,44	0,33	0,31	0,32
16	2,96	0,49	0,44	0,43	0,51	0,46	0,53	0,41	0,40	0,48

DÍA	Cuarto caliente (μSv/h)	Cuarto de inyección (μSv/h)	Sala de exploración #1 (μSv/h)	Sala de espera (μSv/h)	Banda de esfuerzo (μSv/h)	Baños de mujeres (μSv/h)	Baños de varones (μSv/h)	Primer consultorio médico (μSv/h)	Segundo consultorio médico (μSv/h)	Protección Radiológica (μSv/h)
17	16,18	0,51	1,59	0,33	0,38	0,37	0,49	0,38	0,33	0,37
18	4,27	0,44	0,25	0,44	0,44	0,49	0,46	0,31	0,34	0,33
19	0,88	0,28	0,48	0,26	0,30	0,35	0,49	0,38	0,35	0,34
20	8,48	0,45	0,41	0,48	0,38	0,39	0,43	0,32	0,36	0,38
21	11,57	0,38	0,33	0,45	0,38	0,35	0,36	0,38	0,33	0,35
22	0,84	0,28	0,68	0,28	0,62	0,38	0,37	0,35	0,32	0,30
23	1,49	0,39	0,31	0,37	0,37	0,49	0,49	0,31	0,32	0,38
24	1,91	0,32	0,18	0,41	0,31	0,51	0,48	0,27	0,35	0,43
25	3,24	0,34	0,19	0,34	0,29	0,34	0,40	0,31	0,36	0,34
26	1,67	0,39	0,29	0,68	0,30	0,31	0,45	0,30	0,32	0,29
27	1,42	0,26	0,14	0,40	0,29	0,36	0,32	0,36	0,33	0,30
28	4,25	0,39	0,28	8,54	0,31	0,45	0,44	0,36	0,37	0,36
29	0,81	0,35	0,29	0,36	0,30	0,32	0,30	0,32	0,32	0,33
30	0,74	0,18	0,35	0,27	0,25	0,36	0,32	0,33	0,34	0,30
31	4,44	0,47	0,38	0,61	0,32	0,64	0,37	0,30	0,29	0,31
32	1,50	0,62	0,52	0,71	0,59	0,64	0,32	0,35	0,33	0,34
33	3,09	3,04	0,77	0,68	0,68	0,60	0,42	0,33	0,31	0,32

DÍA	Cuarto caliente (μSv/h)	Cuarto de inyección (μSv/h)	Sala de exploración #1 (μSv/h)	Sala de espera (μSv/h)	Banda de esfuerzo (μSv/h)	Baños de mujeres (μSv/h)	Baños de varones (μSv/h)	Primer consultorio médico (μSv/h)	Segundo consultorio médico (μSv/h)	Protección Radiológica (μSv/h)
34	2,64	0,66	0,81	0,92	0,56	0,52	0,34	0,31	0,35	0,30
35	7,89	0,74	3,93	0,61	0,61	0,53	0,38	0,30	0,31	0,31
36	1,85	0,73	0,49	0,55	0,47	1,04	0,30	0,32	0,35	0,35
37	8,24	3,54	0,67	1,16	0,50	0,94	0,55	0,33	0,32	0,33
38	8,11	0,77	0,79	0,87	0,70	0,72	0,42	0,35	0,31	0,36
39	4,50	1,27	8,51	11,87	0,61	0,77	0,51	0,30	0,30	0,37
40	7,26	5,18	5,67	25,12	0,67	0,57	0,49	0,35	0,34	0,38
41	1,77	0,56	1,17	7,58	0,55	0,64	0,48	0,33	0,34	0,32
42	6,35	1,75	0,56	0,59	0,53	1,04	0,46	0,34	0,30	0,35
43	6,94	7,23	0,73	3,51	0,78	0,52	0,40	0,35	0,32	0,30
44	4,59	1,57	0,61	0,48	0,46	0,59	0,51	0,36	0,33	0,36
45	5,76	1,69	3,39	0,53	10,09	0,45	1,08	0,33	0,30	0,34
46	3,28	0,47	0,42	0,44	0,44	0,32	1,79	0,30	0,31	0,37
47	1,38	2,98	0,37	0,33	0,41	0,49	0,85	0,31	0,34	0,36
48	4,10	0,42	1,50	0,59	0,48	0,51	0,54	0,31	0,32	0,35
49	5,58	0,56	0,45	0,50	0,51	0,44	0,40	0,32	0,30	0,32
50	2,95	0,55	0,49	0,58	0,40	0,47	0,47	0,36	0,31	0,35

Fuente: (Tesis - Edison Carrillo)

Realizado por: (Tesis - Edison Carrillo)

**Tabla 2:** Registros del monitoreo diario de los niveles de tasa de dosis ambiental obtenidos previo la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas “al terminar la manipulación del material radiactivo”.

DÍA	Cuarto caliente (μSv/h)	Cuarto de inyección (μSv/h)	Sala de exploración #1 (μSv/h)	Sala de espera (μSv/h)	Banda de esfuerzo (μSv/h)	Baños de mujeres (μSv/h)	Baños de varones (μSv/h)	Primer consultorio médico (μSv/h)	Segundo consultorio médico (μSv/h)	Protección Radiológica (μSv/h)
1	10,55	2,60	0,44	0,84	0,35	0,40	0,43	0,38	0,42	0,52
2	8,94	1,10	0,26	1,30	0,41	1,30	0,54	0,37	0,37	0,33
3	6,94	0,34	0,26	0,48	0,30	0,44	0,42	0,32	0,31	0,38
4	9,08	0,44	0,35	0,43	0,40	0,43	0,42	0,32	0,34	0,44
5	6,87	2,40	0,28	0,52	0,47	0,41	1,28	0,40	0,42	0,61
6	14,16	0,37	0,49	0,61	0,31	0,53	0,86	0,38	0,31	0,43
7	8,13	0,58	0,55	8,13	0,60	0,39	0,53	0,38	0,35	0,40
8	8,22	0,34	0,62	8,22	0,58	0,41	0,80	0,44	0,42	0,47
9	8,24	0,31	0,49	8,24	0,45	0,74	0,37	0,42	0,33	0,35
10	4,52	0,57	0,29	0,61	0,31	0,37	0,61	0,34	0,32	0,42
11	4,71	0,47	0,97	0,35	0,26	0,35	1,35	0,34	0,36	0,42
12	5,70	0,49	0,53	3,68	0,34	0,35	0,54	0,39	0,41	0,43
13	4,67	1,04	0,76	2,08	0,58	0,79	0,42	0,38	0,42	0,35
14	3,52	0,73	0,89	6,83	0,65	0,63	0,62	0,35	0,34	0,44
15	2,27	0,52	0,49	1,43	0,87	0,71	0,72	0,43	0,39	0,42
16	2,38	1,48	0,29	0,42	0,50	0,44	0,63	0,46	0,49	0,57
17	3,19	0,62	0,43	0,47	0,35	0,67	0,61	0,45	0,46	0,59
18	2,99	0,44	0,23	0,49	0,35	0,57	0,65	0,38	0,41	0,40
19	0,84	0,26	0,45	0,49	0,31	0,43	0,68	0,49	0,46	0,39

DÍA	Cuarto caliente (μSv/h)	Cuarto de inyección (μSv/h)	Sala de exploración #1 (μSv/h)	Sala de espera (μSv/h)	Banda de esfuerzo (μSv/h)	Baños de mujeres (μSv/h)	Baños de varones (μSv/h)	Primer consultorio médico (μSv/h)	Segundo consultorio médico (μSv/h)	Protección Radiológica (μSv/h)
20	6,38	0,47	0,39	0,52	0,36	0,36	0,55	0,48	0,45	0,41
21	10,35	0,36	0,35	0,49	0,39	0,46	0,44	0,48	0,44	0,44
22	0,77	0,28	0,45	0,35	0,61	0,45	0,89	0,38	0,36	0,34
23	0,43	0,46	0,32	0,39	0,36	0,55	0,52	0,37	0,38	0,45
24	2,04	0,31	0,12	0,49	0,30	0,53	0,53	0,32	0,36	0,46
25	5,61	1,31	0,32	0,38	0,28	0,36	0,55	0,32	0,41	0,39
26	1,28	0,42	0,25	1,56	0,36	0,70	0,53	0,33	0,34	0,38
27	2,12	1,11	0,22	0,38	0,30	0,42	0,39	0,40	0,36	0,37
28	2,14	0,29	0,19	0,33	0,50	0,32	0,80	0,39	0,42	0,45
29	0,93	0,25	0,25	0,12	0,22	0,57	0,42	0,34	0,35	0,37
30	2,96	0,34	0,49	0,34	0,21	0,34	1,29	0,35	0,40	0,45
31	8,22	0,56	0,55	1,93	0,34	0,76	0,46	0,37	0,33	0,35
32	2,28	7,64	0,61	0,77	0,67	0,65	1,19	0,47	0,40	0,39
33	6,00	0,81	0,40	0,40	0,70	0,78	0,53	0,34	0,35	0,36
34	3,82	2,52	0,56	0,77	0,68	0,58	0,70	0,42	0,39	0,43
35	2,79	0,73	0,58	0,61	0,55	0,59	0,50	0,32	0,43	0,47
36	2,31	0,62	0,56	0,57	0,78	1,16	0,72	0,37	0,37	0,48
37	4,04	2,81	3,54	1,73	0,49	0,98	0,68	0,38	0,36	0,40
38	8,34	1,12	0,89	0,96	0,69	1,20	0,71	0,41	0,39	0,47
39	3,41	0,77	0,69	0,84	0,69	0,89	0,79	0,40	0,37	0,40

DÍA	Cuarto caliente (μSv/h)	Cuarto de inyección (μSv/h)	Sala de exploración #1 (μSv/h)	Sala de espera (μSv/h)	Banda de esfuerzo (μSv/h)	Baños de mujeres (μSv/h)	Baños de varones (μSv/h)	Primer consultorio médico (μSv/h)	Segundo consultorio médico (μSv/h)	Protección Radiológica (μSv/h)
40	3,63	0,71	0,52	1,42	0,58	0,72	1,18	0,36	0,38	0,39
41	2,46	0,56	0,53	0,62	0,59	0,82	1,74	0,36	0,43	0,34
42	6,05	0,70	5,49	0,48	0,55	1,23	0,76	0,37	0,48	0,38
43	8,44	0,69	0,63	0,47	0,55	0,59	0,51	0,38	0,49	0,37
44	5,29	0,49	0,57	0,67	0,50	0,79	2,35	0,37	0,44	0,47
45	6,65	0,54	0,44	0,59	0,44	0,53	1,32	0,40	0,45	0,48
46	2,02	0,59	0,44	0,52	0,39	0,44	2,30	0,47	0,46	0,39
47	4,90	0,39	0,32	0,83	0,37	0,53	1,19	0,46	0,43	0,41
48	4,38	1,58	0,35	1,06	0,46	0,68	0,69	0,43	0,38	0,47
49	10,95	1,46	0,49	0,78	0,52	0,70	0,57	0,48	0,37	0,48
50	4,54	2,47	0,76	4,40	0,62	1,18	0,76	0,48	0,45	0,42

**Fuente:** (Tesista - Edison Carrillo)  
**Realizado por:** (Tesista - Edison Carrillo)

**Tabla 3:** Registros del monitoreo diario de los niveles de tasa de dosis ambiental obtenidos posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas “antes de la manipulación del material radiactivo”.

DÍA	Cuarto caliente (μSv/h)	Cuarto de inyección (μSv/h)	Sala de exploración #1 (μSv/h)	Sala de espera (μSv/h)	Banda de esfuerzo (μSv/h)	Baños de mujeres (μSv/h)	Baños de varones (μSv/h)	Primer consultorio médico (μSv/h)	Segundo consultorio médico (μSv/h)	Protección Radiológica (μSv/h)
1	1,33	0,47	0,29	0,25	0,41	0,46	0,46	0,34	0,32	0,26
2	2,59	0,43	0,34	0,19	0,28	1,22	0,76	0,35	0,34	0,35
3	2,85	0,41	0,29	0,47	0,33	0,49	0,45	0,46	0,31	0,38
4	1,78	0,28	0,35	0,33	0,33	0,42	0,43	0,33	0,32	0,42
5	2,04	0,46	5,04	0,56	0,28	0,33	0,33	0,26	0,27	0,45
6	1,08	0,20	0,20	0,20	0,15	0,20	0,50	0,20	0,20	0,30
7	1,82	0,30	0,20	0,25	0,29	0,40	0,45	0,40	0,40	0,20
8	1,78	1,70	0,21	0,20	0,20	0,20	0,38	0,22	0,18	0,30
9	3,00	1,05	0,10	0,26	0,36	0,23	0,34	0,30	0,27	0,50
10	1,97	0,30	0,22	0,33	0,23	0,17	0,25	0,15	0,16	0,12
11	2,03	1,53	0,19	0,16	0,15	0,35	0,42	0,26	0,25	0,24
12	3,01	0,36	0,19	0,26	0,32	0,23	0,33	0,11	0,19	0,36
13	2,57	0,29	0,11	0,17	0,25	0,19	0,30	0,19	0,17	0,24
14	2,01	0,26	0,35	0,16	0,19	0,19	0,26	0,19	0,18	0,20
15	3,47	0,20	0,10	0,17	0,21	0,25	0,32	0,28	0,21	0,21
16	1,38	0,26	0,33	0,21	0,17	0,32	1,34	0,16	0,15	0,20
17	3,84	0,13	0,29	0,24	0,18	0,39	0,28	0,14	0,25	0,15

DÍA	Cuarto caliente (μSv/h)	Cuarto de inyección (μSv/h)	Sala de exploración #1 (μSv/h)	Sala de espera (μSv/h)	Banda de esfuerzo (μSv/h)	Baños de mujeres (μSv/h)	Baños de varones (μSv/h)	Primer consultorio médico (μSv/h)	Segundo consultorio médico (μSv/h)	Protección Radiológica (μSv/h)
18	3,97	0,19	0,12	0,17	0,34	0,23	0,25	0,21	0,26	0,28
19	3,22	0,13	0,18	0,37	0,18	0,16	0,15	0,22	0,18	0,15
20	1,06	0,19	0,19	0,13	0,15	0,26	0,26	0,17	0,20	0,30
21	1,53	0,18	0,21	0,28	0,23	0,28	0,27	0,26	0,17	0,12
22	1,47	0,26	0,10	0,25	0,39	0,28	0,34	0,19	0,13	0,20
23	1,09	0,14	0,17	0,16	0,14	0,54	0,74	0,28	0,25	0,18
24	0,63	0,13	0,29	0,19	0,57	0,36	0,38	0,22	0,26	0,13
25	2,28	0,19	0,15	0,21	0,16	0,28	0,32	0,18	0,15	0,23
26	1,64	0,25	0,11	0,26	0,19	0,39	0,41	0,13	0,19	0,13
27	3,01	0,14	0,15	0,13	0,29	0,23	0,33	0,20	0,40	0,24
28	1,18	0,46	0,10	0,22	0,23	0,19	0,50	0,11	0,18	0,36
29	2,11	0,26	0,29	0,20	0,28	0,19	0,45	0,19	0,27	0,24
30	2,64	0,36	0,34	0,25	0,20	0,23	0,38	0,19	0,16	0,20
31	1,46	0,21	0,29	0,20	0,36	0,40	0,26	0,28	0,25	0,21
32	1,52	0,35	0,35	0,26	0,23	0,28	0,27	0,16	0,19	0,20
33	2,34	0,19	0,14	0,29	0,28	0,28	0,34	0,14	0,17	0,15
34	1,62	0,18	0,22	0,19	0,33	0,54	0,74	0,22	0,18	0,28
35	2,53	0,21	0,19	0,25	0,33	0,36	0,27	0,18	0,17	0,18

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Realizado por:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Tabla 4:** Registros del monitoreo diario de los niveles de tasa de dosis ambiental obtenidos posterior a la implementación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas “al terminar la manipulación del material radiactivo”.

DÍA	Cuarto caliente (μSv/h)	Cuarto de inyección (μSv/h)	Sala de exploración #1 (μSv/h)	Sala de espera (μSv/h)	Banda de esfuerzo (μSv/h)	Baños de mujeres (μSv/h)	Baños de varones (μSv/h)	Primer consultorio médico (μSv/h)	Segundo consultorio médico (μSv/h)	Protección Radiológica (μSv/h)
1	1,55	0,54	0,40	0,59	0,52	0,65	0,55	0,36	0,40	0,35
2	5,29	0,47	0,33	0,43	0,32	1,89	0,55	0,42	0,35	0,26
3	4,34	0,56	0,61	1,71	0,37	0,78	0,78	0,34	0,32	0,31
4	2,38	0,43	0,79	0,78	0,35	0,81	0,83	0,31	0,35	0,37
5	4,08	0,57	0,48	1,44	0,44	0,57	0,52	0,46	0,36	0,33
6	4,50	0,52	0,24	0,32	0,20	0,40	0,30	0,23	0,24	0,15
7	3,00	1,10	0,41	0,42	0,35	0,54	0,54	0,30	0,20	0,24
8	3,15	2,07	0,38	0,34	0,15	0,44	0,54	0,24	0,23	0,15
9	4,79	1,50	0,20	0,42	0,44	0,35	0,45	0,28	0,40	0,49
10	4,02	0,51	0,34	0,39	0,35	0,45	0,37	0,14	0,17	0,11
11	3,43	3,87	0,49	0,24	0,14	2,21	0,26	0,30	0,22	0,31
12	4,27	1,34	2,17	2,29	0,18	0,26	0,45	0,18	0,18	0,10
13	3,96	0,50	0,14	0,45	0,26	0,49	0,69	0,20	0,18	0,25
14	2,94	0,38	0,69	0,33	0,21	0,25	0,28	0,17	0,22	0,21
15	5,18	0,32	0,21	0,52	0,19	0,28	3,56	0,30	0,19	0,26
16	4,43	0,38	0,24	0,38	0,26	0,41	0,52	0,17	0,18	0,19
17	5,04	0,26	0,25	0,37	0,19	0,25	0,26	0,16	0,13	0,17
18	4,22	0,35	0,23	0,47	0,23	0,43	0,34	0,19	0,22	0,49
19	4,69	1,30	0,45	3,63	0,16	0,26	0,34	0,24	0,19	0,17
20	3,24	0,37	0,22	0,60	0,22	0,22	0,27	0,19	0,23	0,12

DÍA	Cuarto caliente (μSv/h)	Cuarto de inyección (μSv/h)	Sala de exploración #1 (μSv/h)	Sala de espera (μSv/h)	Banda de esfuerzo (μSv/h)	Baños de mujeres (μSv/h)	Baños de varones (μSv/h)	Primer consultorio médico (μSv/h)	Segundo consultorio médico (μSv/h)	Protección Radiológica (μSv/h)
21	4,95	0,35	0,10	0,37	0,11	0,28	0,58	0,25	0,21	0,21
22	3,76	0,47	0,56	1,82	0,32	0,41	3,09	0,17	0,16	0,19
23	4,31	0,28	0,11	0,29	0,20	0,38	0,45	0,15	0,19	0,21
24	1,25	1,34	0,19	0,62	0,13	0,37	0,67	0,19	0,19	0,18
25	4,14	0,42	0,14	0,34	0,43	0,29	0,48	0,19	0,21	0,21
26	4,02	0,76	0,24	0,41	0,11	0,24	0,30	0,18	0,13	0,17
27	4,91	0,27	0,26	0,30	0,34	0,35	0,34	0,31	0,13	0,31
28	5,75	0,57	0,26	0,35	0,33	0,81	0,31	0,42	0,22	0,37
29	3,08	0,35	0,40	2,36	0,20	0,57	0,46	0,34	0,19	0,33
30	4,03	0,52	0,53	0,50	0,13	0,37	0,23	0,31	0,23	0,15
31	3,69	0,38	0,58	0,38	0,20	0,41	0,30	0,36	0,21	0,24
32	3,69	0,94	0,79	1,62	0,35	0,25	0,31	0,23	0,16	0,15
33	3,54	0,37	0,48	0,62	0,15	0,78	0,52	0,30	0,19	0,31
34	3,42	0,28	0,34	0,32	0,44	0,43	0,26	0,24	0,24	0,35
35	4,59	0,42	0,41	0,38	0,38	0,44	0,34	0,28	0,26	0,29

**Fuente:** (Tesis - Edison Carrillo)  
**Realizado por:** (Tesis - Edison Carrillo)

**Tabla 5:** Registros del monitoreo diario de los niveles de contaminación superficial obtenidos “previa la implementación” del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

DÍA	CUARTO CALIENTE						CUARTO DE INYECCIÓN			
	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Bandeja (Bq/cm <sup>2</sup> )	Microondas (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>131</sup> I (Bq/cm <sup>2</sup> )	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Silla (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )
1	3008,28	155083,80	14370,60	1290,00	1150,68	1971,12	815,28	531,48	892,68	546,96
2	2430,36	13854,60	2190,42	1161,00	1522,20	1754,40	789,48	541,80	964,92	608,88
3	2881,86	12752,94	3008,28	1222,92	1573,8	1586,7	758,52	546,96	908,16	572,76
4	2791,56	903000	2791,56	3999	1883,4	706920	593,4	531,48	345,72	670,8
5	4414,38	2649,66	2649,66	4953,6	4927,8	1419	603,72	583,08	500,52	510,84
6	4326,66	2541,3	2541,3	4326,66	4656,9	4437,6	490,2	541,8	541,8	567,6
7	4515	6024,3	2329,74	2546,46	2997,96	907128	696,6	572,76	655,32	516
8	4489,2	4894,26	2371,02	5092,92	4695,6	2636,76	645	516	722,4	510,84
9	4726,56	6207,48	2941,2	3168,24	3039,24	1475,76	712,08	577,92	660,48	696,6
10	9961,38	6720,9	2100,12	1475,76	2515,5	1723,44	1042,32	549,54	518,58	546,96
11	12987,72	3008,28	2546,46	6142,98	4726,56	2151,72	792,06	789,48	701,76	691,44
12	79593	135579	114939	4398,9	433182	90042	887,52	565,02	544,38	694,02
13	7494,9	7053,72	1444,8	3173,4	2812,2	3413,34	709,5	784,32	686,28	714,66
14	6978,9	7371,06	3413,34	2561,94	3999	1444,8	500,52	526,32	472,14	526,32
15	2355,54	6037,2	2721,9	3423,66	2755,44	2033,04	606,3	516	830,76	758,52
16	2128,5	12706,5	2662,56	3199,2	2386,5	2897,34	678,54	585,66	768,84	699,18
17	9933	91590	6837	4649,16	44634	825600	766,26	660,48	846,24	748,2
18	5433,48	5312,22	1150,68	2198,16	2915,4	1922,1	472,14	879,78	371,52	557,28
19	2180,1	3490,74	1357,08	2515,5	3271,44	2143,98	510,84	655,32	482,46	706,92
20	3059,88	7598,1	1842,12	1519,62	2262,66	4698,18	523,74	528,9	490,2	588,24
21	3307,56	4984,56	2151,72	1689,9	2479,38	2355,54	660,48	601,14	603,72	688,86

DÍA	CUARTO CALIENTE						CUARTO DE INYECCIÓN			
	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Bandeja (Bq/cm <sup>2</sup> )	Microondas (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>131</sup> I (Bq/cm <sup>2</sup> )	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Silla (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )
22	5660,52	713112	4984,56	4651,74	3173,4	1022970	521,16	516	539,22	521,16
23	3114,06	4708,5	1648,62	2549,04	1630,56	2218,8	541,8	508,26	601,14	485,04
24	7254,96	5405,1	3513,96	3178,56	2463,9	2229,12	593,4	521,16	663,06	603,72
25	4533,06	2174,94	2014,98	3206,94	2257,5	2915,4	660,48	812,7	900,42	665,64
26	9435,06	5067,12	3862,26	4442,76	3547,5	2360,7	516	479,88	546,96	474,72
27	113961,18	1972410	9881,4	9816,9	10926,3	167725,8	732,72	539,22	688,86	572,76
28	9687,9	6821,52	2458,74	1548	3121,8	3999	802,38	694,02	510,84	516
29	7061,46	5129,04	2113,02	2193	4656,9	4695,6	714,66	714,66	523,74	577,92
30	2636,76	6044,94	4244,1	2007,24	2997,96	1785,36	972,66	595,98	546,96	513,42
31	9509,88	3779,7	2358,12	3431,4	2631,6	3410,76	516	544,38	593,4	485,04
32	3147,6	107340,9	4981,98	2074,32	1558,32	55470	531,48	802,38	657,9	663,06
33	4053,18	3137,28	3049,56	4326,66	2946,36	1723,44	835,92	843,66	490,2	544,38
34	4834,92	2863,8	4703,34	2507,76	2569,68	2174,94	546,96	774	477,3	528,9
35	3694,56	11274,6	2283,3	1480,92	2889,6	2693,52	655,32	768,84	513,42	678,54
36	7378,8	10172,94	2587,74	2394,24	2412,3	3413,34	528,9	846,24	722,4	562,44
37	337593	1019874	7048,56	2071,74	1883,4	42570	510,84	699,18	835,92	588,24
38	3999	3483	4416,96	7249,8	2244,6	2033,04	696,6	755,94	490,2	510,84
39	4734,3	2629,02	4669,8	5936,58	4592,4	2897,34	737,88	768,84	701,76	472,14
40	4726,56	11158,5	2221,38	4589,82	2340,06	4548,54	786,9	923,64	655,32	637,26

Fuente: (Tesis - Edison Carrillo)  
Realizado por: (Tesis - Edison Carrillo)

**Tabla 6:** Registros del monitoreo diario de los niveles de contaminación superficial obtenidos “posterior a la implementación” del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas.

DÍA	CUARTO CALIENTE						CUARTO DE INYECCIÓN			
	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Bandeja (Bq/cm <sup>2</sup> )	Microondas (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>131</sup> I (Bq/cm <sup>2</sup> )	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Silla (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )
1	6929,88	3529,44	3132,12	3470,10	2781,24	2654,82	825,60	541,80	632,10	595,98
2	3147,60	4146,06	2659,98	2590,32	2332,32	3890,64	696,60	572,76	655,32	516,00
3	2763,18	2629,02	4081,56	2763,18	2688,36	2755,44	645,00	516,00	722,40	510,84
4	2590,32	3126,96	2639,34	2507,76	2827,68	2536,14	601,14	652,74	675,96	632,10
5	2275,56	3870,00	2791,56	3999,00	1883,40	2967,00	516,00	624,36	660,48	572,76
6	1834,38	2649,66	2649,66	4953,60	4927,80	2451,00	583,08	557,28	642,42	588,24
7	2546,46	2541,30	2541,30	4326,66	4656,90	4437,60	528,90	557,28	663,06	732,72
8	1999,50	1824,06	1669,26	1862,76	2404,56	3240,48	681,12	590,82	549,54	611,46
9	1909,20	1723,44	1777,62	2064,00	2541,30	4308,60	647,58	608,88	639,84	531,48
10	1991,76	1728,60	1767,30	1984,02	2159,46	8338,56	688,86	714,66	565,02	559,86
11	2221,38	6720,90	2100,12	1475,76	2515,50	1723,44	714,66	608,88	521,16	513,42
12	24030,12	3008,28	2546,46	2530,98	2164,62	2151,72	394,74	363,78	363,78	332,82
13	2193,00	2141,40	2451,00	1818,90	2399,40	2322,00	384,42	379,26	330,24	335,40
14	2438,10	2667,72	2218,80	2146,56	2639,34	3413,34	387,00	358,62	288,96	361,20
15	2334,90	2985,06	2404,56	2561,94	2943,78	3263,70	366,36	286,38	260,58	546,96
16	2355,54	2425,20	1947,90	1875,66	2647,08	2549,04	405,06	252,84	255,42	485,04
17	2128,50	2386,50	2146,56	2167,20	2386,50	2897,34	250,26	193,50	214,14	523,74
18	1935,00	2154,30	1563,48	2288,46	2739,96	4902,00	183,18	134,16	237,36	503,10
19	1916,94	2056,26	1855,02	1996,92	2812,20	2378,76	139,32	64,50	165,12	260,58
20	2123,34	1563,48	1651,20	1878,24	2265,24	1733,76	144,48	46,44	175,44	288,96
21	1597,02	1274,52	1687,32	1462,86	1733,76	1870,50	147,06	56,76	144,48	242,52

DÍA	CUARTO CALIENTE						CUARTO DE INYECCIÓN			
	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Bandeja (Bq/cm <sup>2</sup> )	Microondas (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>131</sup> I (Bq/cm <sup>2</sup> )	Piso (Bq/cm <sup>2</sup> )	Mesón (Bq/cm <sup>2</sup> )	Silla (Bq/cm <sup>2</sup> )	Basurero de <sup>99m</sup> Tc (Bq/cm <sup>2</sup> )
22	1589,28	913,32	1839,54	1168,74	1488,66	941,70	87,72	61,92	100,62	224,46
23	1612,50	1233,24	1759,56	1024,26	1297,74	1065,54	72,24	43,86	51,60	172,86
24	528,90	2211,06	1349,34	2561,94	2709,00	1522,20	69,66	38,70	56,76	224,46
25	755,94	2425,20	2205,90	1875,66	3000,54	2549,04	77,40	61,92	72,24	178,02
26	838,50	2515,50	2404,56	2425,20	2799,30	2716,74	74,82	69,66	79,98	136,74
27	903,00	2193,00	1677,00	2069,16	2528,40	3612,00	69,66	69,66	59,34	129,00
28	531,48	1958,22	2440,68	1682,16	3121,80	2541,30	74,82	64,50	54,18	162,54
29	632,10	2200,74	1873,08	2051,10	2665,14	2164,62	51,60	59,34	67,08	131,58
30	425,70	735,30	495,36	495,36	2311,68	528,90	64,50	72,24	61,92	185,76
31	448,92	719,82	479,88	456,66	3152,76	534,06	72,24	67,08	56,76	203,82
32	464,40	737,88	497,94	477,30	2156,88	539,22	74,82	64,50	59,34	165,12
33	562,44	459,24	428,28	443,76	3199,20	583,08	67,08	56,76	74,82	152,22
34	552,12	443,76	446,34	552,12	3194,04	585,66	59,34	54,18	51,60	180,60
35	603,72	477,30	436,02	448,92	3145,02	606,30	61,92	49,02	64,50	170,28

Fuente: (Tesista - Edison Carrillo)  
Realizado por: (Tesista - Edison Carrillo)

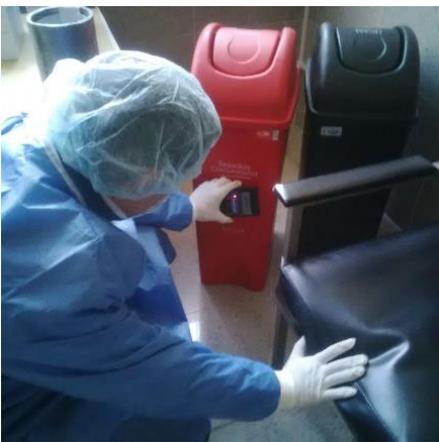
**REGISTRO  
FOTOGRAFÍCO DEL  
MONITOREO  
REALIZADO**

Las imágenes muestran la manera como se realizaba el monitoreo en:

- **CUARTO CALIENTE**



- **CUARTO DE INYECCIÓN**



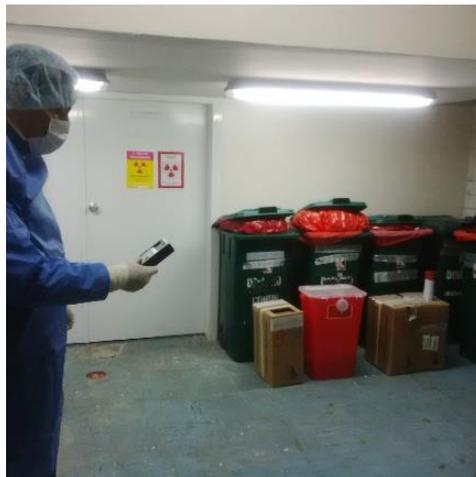
- ***SALA DE EXPLORACIÓN***



- ***BANDA DE ESFUERZO***



- ***BODEGA DE DECAIMIENTO***



**OFICIO DE VALIDACIÓN DE  
LA IMPLEMENTACIÓN DEL  
PROGRAMA DE VIGILANCIA  
RADIOLÓGICA DE ZONAS**



**INSTITUTO ECUATORIANO DE SEGURIDAD SOCIAL**  
**HOSPITAL "CARLOS ANDRADE MARIN"**  
**UNIDAD DE MEDICINA NUCLEAR**  
Ayacucho y 18 de Septiembre – Teléfono 2944200 ext. 13-41

Quito DM, 13 de Agosto del 2015

**CERTIFICADO**

Mediante el presente certifico que el Sr. Edison Oswaldo Carrillo Vallejo de C.I. 060418025-7, empezó la implementación del programa de vigilancia radiológica el PRIMERO DE JUNIO DEL 2015 dentro de la Unidad de Medicina Nuclear. Parámetro que está enmarcado dentro del tema de tesis: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE ZONAS EN LA UNIDAD DE MEDICINA NUCLEAR CONVENCIONAL DEL HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARÍN IESS – QUITO".

Es todo cuanto puedo afirmar en honor a la verdad, por tanto el interesado puede hacer uso del presente como a bien tuviere.

Atentamente,

Lic. Marcos Maldonado G.

**JEFE DE LA UNIDAD DE MEDICINA NUCLEAR**  
**HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARÍN**

SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR  
HOSPITAL  
CARLOS ANDRADE MARIN

**IESS**

**Anexo D**

**OFICIO EN LA QUE SE  
COMUNICA AL POE LA  
CAPACITACIÓN SOBRE EL  
PROGRAMA DE VIGILANCIA  
RADIOLÓGICA DE ZONAS**



## INSTITUTO ECUATORIANO DE SEGURIDAD SOCIAL

HOSPITAL "CARLOS ANDRADE MARIN"

Quito DM, 15 de Junio del 2015

### CAPACITACIÓN

Se comunica al personal de la Unidad de Medicina Nuclear que los días 22, 23 y 24 de Junio se realizará la capacitación del Programa de Vigilancia Radiológica de Zonas encabezado por el Biof. Edison Carrillo. Los temas a tratar son:

- Protección Radiológica en la instalación
- Seguridad Radiológica del personal
- Protocolos de Trabajo en cada instalación
- Inducción sobre los registros a implementar

Este acto es de carácter obligatorio.

Atentamente,

Lic. Marcos Maldonado G.

**JEFE DE LA UNIDAD DE MEDICINA NUCLEAR  
HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARIN**

**MANUAL DE PROTECCIÓN  
RADIOLÓGICA EN CASOS  
NORMALES Y DE  
EMERGENCIA DE LA UNIDAD  
DE MEDICINA NUCLEAR**