

Universidad de Costa Rica
Facultad de Medicina
Escuela de Tecnologías en Salud

Propuesta de guía para el manejo, control de calidad y disposición final de fuentes radioactivas selladas empleadas en el control de calidad en los servicios de Medicina Nuclear del Hospital San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica en el segundo semestre de 2015.

Tesis para optar por el grado de licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Víctor Alonso Cambronero Soto
Gerardo Antonio Fonseca Sáenz

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica, 2016

“Esta tesis fue aceptada por el Tribunal Evaluador de Trabajos finales de la Escuela de Tecnologías en salud de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica”

Dr. Horacio Chamizo García.
Director de la Escuela de Tecnologías en Salud.

Lic. Ricardo Calderón Navarro.
Miembro del tribunal evaluador de la escuela de Tecnologías en Salud.

MSc. Erick Mora Ramírez.
Director de Tesis.

Dra. Ana Verónica Hidalgo Salas.
Lectora de la Tesis.

Lic. Marlon Vargas Rubí.
Lector de la Tesis.

Víctor Alonso Cambroner Soto.
Candidato

Gerardo Antonio Fonseca Sáenz.
Candidato.

San José, 19 de febrero 2016.

Doctor Horacio Chamizo García.

Director.

Escuela Tecnologías en Salud.

Universidad de Costa Rica.

Le comunico que he leído el proyecto definitivo de tesis presentado por los estudiantes Víctor Alonso Cambroner Soto, carné universitario A21049, y Gerardo Antonio Fonseca Sáenz, carné universitario A11394 denominado “Propuesta de guía para el manejo, control de calidad y disposición final de fuentes radioactivas selladas empleadas en el control de calidad en los departamentos de medicina nuclear de los Hospitales San Juan de Dios y Clínica Bíblica en el primer semestre del año 2015”. La investigación es un importante aporte para los departamentos de medicina nuclear y la escuela de tecnologías en salud de la Universidad de Costa Rica.

Doy fe de que se han corregido y agregado todas las recomendaciones sugeridas por el tribunal examinador.

Atentamente,

M. Sc. Erick Mora Ramírez

Director de Tesis.

Cédula: 109650255.

Correo electrónico: erick.mora.ramirez@gmail.com

Dedicatoria

A mi madre, María de los Ángeles Sáenz Valverde.

A mi padre, Gerardo Antonio Fonseca Montoya.

Este logro no es mío, es de ustedes.

A mi motor personal, mi hijo Daniel, que con su existencia me da las fuerzas para luchar el día a día.

Gerardo Antonio Fonseca Sáenz

A mi esposa Marianela Gutiérrez Lobo y a mis padres Olga Soto Cambronero y Víctor Cambronero Hernández que con su sacrificio, dedicación y amor constante no han permitido desfallecer en mí la esperanza de ser cada día mejor. Esta tesis y cada uno de los logros que acuñe a lo largo de mi vida, llevan sus nombres.

Víctor Alonso Cambronero Soto

Reconocimientos.

A nuestro tutor Erick por la enorme paciencia, perseverancia, tiempo y dedicación que ha tenido en este proyecto.

A nuestros lectores Verónica y Marlon por el apoyo brindado.

A Dios porque sin ÉL, nada de esto hubiese sido posible.

A mi compañero y amigo Gerardo porque sin su empuje, tenacidad y esfuerzo aún no habría dado el paso que faltaba para terminar mi licenciatura.

Víctor Alonso Cambronero Soto

A Dios por darnos la posibilidad de que esto sucediera.

A mi hermana Andrea y mi pareja Gabriela, sin su apoyo en mi vida esto no sería una meta alcanzada.

A nuestro equipo asesor, nuestro director Erick, por su imprescindible y enorme aporte, nuestros lectores Verónica y Marlon, por su valioso apoyo.

A mi compañero y amigo Víctor quien me acuerpó desde el inicio y nunca dejó desfallecer el proyecto.

Gerardo Antonio Fonseca Sáenz

Tabla de contenidos

Tabla de contenido de ilustraciones	viii
Tabla de contenido de cuadros.	x
Tabla de contenido de gráficos.	x
Acrónimos o Abreviaturas	xi
Resumen	xiii
Ficha bibliográfica	xv
Introducción	1
Capítulo 1: Objeto de la investigación.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Objetivo General.	6
1.3. Objetivos Específicos:	6
1.4. Justificación.	7
Capítulo 2: Marco teórico	9
2.1. Medicina nuclear	10
2.2. Protección radiológica	11
2.2.1. Concepto de optimización de calidad.	11
2.3. Control de calidad	13
2.4. Factores humanos	14
2.5. Restricciones de dosis relacionadas con las fuentes.....	14
2.6. Cultura de seguridad.....	15
2.6.1. Seguridad de las fuentes.....	15
2.6.2. Defensa en profundidad	16
2.7. Manejo de desechos radioactivos	17
2.9. Legislación costarricense sobre desechos radioactivos	20
Capítulo XVIII De los desechos radiactivos.....	20
2.10. Guías de seguridad en protección radiológica.....	21
2.11. Funciones de titulares de licencias y titulares registrados en relación con el almacenamiento y disposición final de materiales radiactivos.	21
2.12. Protocolos de disposición final de material radioactivo en otros países.....	23

2.12.1. España:.....	23
2.12.2. Argentina:.....	25
2.12.3. Chile:.....	25
2.12.4. Manejo de residuos radiactivos en otros países del mundo:.....	25
Capítulo 3: Metodología.....	27
3.1. Descripción general de la estrategia.	28
3.2. Definición de los procesos de recolección de la información.	28
3.3. Descripción de la metodología en la experiencia investigativa.	28
3.4. Población de interés.....	29
3.5. Objeto de estudio.	29
3.6. Unidades de análisis	29
3.7. Definición de los procesos	30
3.8. Consideraciones éticas.	31
3.9. Cuadro de Operacionalización de la metodología.	31
Capítulo 4: Actualidad nacional: hospitales San Juan de Dios Y Clínica Bíblica.....	34
4.1. Organigrama de los servicios de medicina nuclear	35
4.1.1. SMN, Hospital San Juan de Dios.....	35
4.1.2. SMN, Hospital Clínica Bíblica.....	36
4.2. Inventario de fuentes selladas.....	37
4.3. Procedimientos actuales de manejo, control de calidad y disposición final de fuentes selladas.	43
4.3.1. Procedimientos de manejo.....	43
4.3.2. Procedimientos de control de calidad.....	52
4.3.3. Procedimientos de disposición final.	52
4.4. Encuesta al personal ocupacionalmente expuesto.....	53
Capítulo 5: Propuesta de guía.....	63
5.1. Introducción.	64
5.2. Objetivos.....	65
Objetivo general.....	65

Objetivos específicos	65
5.3. Transporte y desalmacenaje.	65
5.4. Inventario.	69
5.5. Manejo y almacenaje.	70
5.5.1 Maniobras en caso de ruptura de la fuente:	71
5.6. Uso de fuentes.	73
5.6.1. Control de calidad a los equipos de medicina nuclear	73
5.6.2. Pruebas de control de calidad de la gammacámara	74
5.6.3 Pruebas de control de calidad para la sonda de captación.....	79
5.6.4 Pruebas de control de calidad para la sonda de detección intraoperatoria	82
5.6.5. Pruebas de control de calidad para la verificación del activímetro.....	84
5.7. Controles de calidad a las fuentes.	85
5.7.1 Certificados de fábrica.....	86
5.7.2 Inspección visual	87
5.7.3 Hisopado.....	87
5.7.4 Hisopado inicial al embalaje de las fuentes.	89
5.9. Disposición final.	95
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones	99
Conclusiones:	100
Recomendaciones:	101
Bibliografía.....	103
Anexos:.....	108

Tabla de contenido de ilustraciones.

Figura # 1. Vista superior del llamado “Fortín” del servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios.....	44
Figura # 2. Vista superior del “Fortín” del servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios.....	44
Figura # 3. Vista lateral del “Fortín” del servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios.....	45
Figura # 4. Fuentes de cesio 137 y europio 152 que se encuentran en el “Fortín” del servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios.....	45
Figura # 5. Fuente de europio 152 sin rotular. Servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios.....	46
Figura # 6. Fuentes de cesio 137 y europio 152 que se encuentran en la bodega de decaimiento interno. Servicio de medicina nuclear.....	46
Figura # 7. Fuentes de cesio 137 y europio 152 que se encuentran en la bodega de decaimiento interno. Servicio de medicina nuclear. Hospital Clínica Bíblica.....	47
Figura # 8. Fuente plana de cobalto 57. Servicio de medicina nuclear. Hospital San Juan de Dios.....	47
Figura # 9. Fuente plana de cobalto 57. Servicio de medicina nuclear. Hospital San Juan de Dios.....	48
Figura # 10. Fuente plana de cobalto 57. Servicio de medicina nuclear. Hospital Clínica Bíblica.....	48
Figura # 11. Fuente plana de cobalto 57. Servicio de medicina nuclear. Hospital Clínica Bíblica.....	49
Figura # 12. Fuentes de cesio-137, cobalto-57 y bario-133 resguardadas en la campana de flujo laminar. Servicio de medicina nuclear. Hospital San Juan de Dios.....	50
Figura # 13. Fuentes de cesio-137, cobalto-57 y bario-133 resguardadas en la campana de flujo laminar. Servicio de medicina nuclear. Hospital San Juan de Dios.....	50

Figura # 14. Contenedor plomado donde se resguardan las fuentes de cesio-137, cobalto-57 y bario-133. Servicio de medicina nuclear. Hospital Clínica Bíblica.....	51
Figura # 15. Contenedor plomado donde se resguardan las fuentes de cesio-137, cobalto-57 y bario-133. Servicio de medicina nuclear. Hospital Clínica Bíblica.....	51
Figura # 16. Fuentes de cesio-137, cobalto-57 y bario-133 resguardadas en contenedor plomado dentro de la radiofarmacia. Servicio de medicina nuclear. Hospital Clínica Bíblica.....	52

Tabla de contenido de cuadros.

Cuadro # 1. Estado actualizado de las fuentes que se utiliza en el servicio de medicina nuclear, HSJD.....	37
Cuadro # 2. Estado actualizado de las fuentes que se utiliza en el servicio de medicina nuclear, Hospital Clínica Bíblica.....	41
Cuadro # 3. Ejemplo de inventario.....	69
Cuadro # 4. Lugares de almacenaje de fuentes selladas.....	71
Cuadro # 5. Cronograma.....	105

Tabla de contenido de gráficos.

Gráfico # 1. Situación general por género de los servicios encuestados.....	53
Gráfico # 2. Edad de los profesionales en salud que laboran en los servicios de medicina nuclear.....	54
Gráfico # 3. Alma mater de los profesionales que laboran en los servicios de medicina nuclear y Hospital Clínica Bíblica.....	55
Gráfico # 4. Años de laborar para el servicio de medicina nuclear.....	56
Gráfico # 5. Conocimiento de los lineamientos internacionales para el manejo, transporte, control de calidad y disposición final de fuentes selladas.....	57
Gráfico # 6. Conocimiento de normas del Ministerio de Salud Costarricense acerca del manejo, transporte, control de calidad y disposición final de las fuentes selladas.....	58
Gráfico # 7. Conocimiento del reglamento sobre fuentes selladas del servicio de medicina nuclear del Hospital.....	59
Gráfico # 8. Lineamiento más importante por incluir en el manual sobre fuentes selladas.....	60
Gráfico # 9. Cómo ayudaría un manual referente a fuentes selladas al servicio de medicina nuclear.....	61

Acrónimos o Abreviaturas

BSS: Seguridad basada en el comportamiento, por sus siglas en inglés.

CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina.

Co: Cobalto. El cobalto es un metal duro, ferromagnético, de color blanco azulado. Normalmente se encuentra junto con níquel, y ambos suelen formar parte de los meteoritos de hierro. El Co-57, un radioisótopo de cobalto, periodo de semidesintegración de 271,79 días.

Cs: Cesio. Elemento químico de número atómico 55 y masa atómica 132,91; es un metal alcalino de color blanco plateado y blando, sus isótopos radiactivos se emplean en investigaciones medicinales e industriales.

Gw: Gigavatio. Equivalente a mil millones de vatios. Vatio es la potencia eléctrica producida por la diferencia de potencial de 1 vatio y una corriente eléctrica de 1 amperio.

HSJD: Hospital San Juan de Dios

HCB: Hospital Clínica Bíblica

Ir: Iridio. El iridio es un elemento químico de número atómico 77. Se trata de un metal de transición, del grupo del platino, duro, frágil, pesado, de color blanco plateado.

NBS: Normas Básicas Internacionales de Seguridad.

OIEA: Organización Internacional de Energía Atómica.

PET: Tomografía por Emisión de Positrones, por sus siglas en inglés.

PNGRR: Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos de Argentina.

QC: Control de Calidad, por sus siglas en Inglés.

Ra: Radio. Elemento químico número atómico 88; es un metal alcalinotérreo, de color blanco plateado, que desprende cierta radiación y se oscurece en presencia del aire por desintegración espontánea y muy lenta de sus núcleos atómicos; se utiliza en relojería, medicina, etc.

RPR: Responsable de Protección Radiológica. Encargado de velar porque los lineamientos de seguridad y protección radiológica se cumplan en los servicios donde se utilizan elementos radioactivos.

SMN: Servicio de Medicina Nuclear

Sr: Estroncio. Elemento químico de número atómico 38, masa atómica 87,62 y símbolo *Sr*; es un metal alcalino de color plateado, dúctil, maleable y reactivo, que se oxida al contacto con el aire.

Resumen

La medicina nuclear se ha convertido en una de las herramientas diagnósticas y terapéuticas más utilizadas en la actualidad para el tratamiento de múltiples enfermedades.

Se ha realizado cientos de investigaciones científicas para comprobar los beneficios, contraindicaciones, peligros y seguridad radiológica de los estudios elaborados con radioisótopos de alta dosis, pero poco se ha discutido y escrito acerca de las fuentes selladas que se utilizan para el control de calidad de los equipos de medicina nuclear. La poca actividad de las fuentes selladas (comparada con las usadas en radioterapia), la falta de interés científico y la ausencia de accidentes radiológicos causados por dichas fuentes son los motivos principales para que los servicios de medicina nuclear de los Hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica cuenten con poca o nula información específica sobre el manejo, control de calidad y disposición final de las fuentes selladas.

Los objetivos de este trabajo final de graduación giran en torno a la elaboración de una guía sobre el manejo, control de calidad y disposición final de las fuentes selladas. Para lograr los objetivos planteados, se recurrió a diversas fuentes bibliográficas, entre ellas, manuales de procedimientos de los servicios de medicina nuclear, reglamentación en medicina nuclear del Ministerio de Salud de Costa Rica y bibliografía internacional (libros, revistas, artículos publicados en la web).

De la investigación se concluye que la elaboración de una guía para el manejo, control de calidad y disposición final de fuentes radioactivas selladas empleadas en el control de calidad en los servicios de Medicina Nuclear de los Hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica es un elemento primordial para la seguridad radiológica de todos los profesionales en salud que laboran en esos centros y debe formar parte de los programas de garantía de calidad de estas instalaciones.

Abstract

Nuclear medicine has become one of the diagnostic and therapeutic tools used today for the treatment of multiple diseases. Hundreds of scientific studies have been conducted to prove the benefits, contraindications, hazards and radiation safety studies with high dose radioisotope, but little has been discussed and written about the sealed sources used for quality control nuclear medicine equipment. The low activity sealed sources (compared with those used in radiotherapy), lack of scientific interest and the absence of radiological accidents caused by these sources are the main reasons for the nuclear medicine departments of Hospitals and San Juan de Dios Hospital Clinical Biblical not have and / or have little specific information on management, quality control and disposal of sealed sources. The objectives of the final graduation revolve around the development of a guide on management, quality control and disposal of sealed sources. To achieve the objectives, in various literature sources it was used, including operating procedures of nuclear medicine departments, Regulatory nuclear medicine of the Ministry of Health of Costa Rica and bibliography International (books, magazines, articles published on the web). The investigation concluded that the development of a guide for handling, quality control and final disposal of radioactive sources sealed employed in quality control in the departments of Nuclear Medicine of the Hospital San Juan de Dios and Hospital Clinical Biblical is an element paramount for radiation safety of all health professionals who work in these facilities and the safety of these facilities.

Ficha bibliográfica

Fonseca Sáenz, Gerardo Antonio y Cambronero Soto, Víctor Alonso. (2016). Propuesta de guía para el manejo, control de calidad y disposición final de fuentes radioactivas selladas empleadas en el control de calidad en los servicios de Medicina Nuclear de los Hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica en el segundo semestre de 2015. Tesis de licenciatura en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica, Escuela de Tecnologías en Salud. Facultad de Medicina. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Equipo asesor: M. Sc. Erick Mora Ramírez (director), Lic. Ana Verónica Hidalgo Salas (lectora) y Lic. Marlon Vargas Rubí (lector).

Palabras claves: Fuentes selladas, manejo de fuentes selladas, disposición final, desecho, medicina nuclear, pruebas de control de calidad.

Introducción

La medicina nuclear diagnóstica implica el uso de trazadores radioactivos para obtener imágenes o medir la función global o local de un órgano. El trazador radiactivo (radiofármaco) se administra al paciente por vía intravenosa, vía oral o por otras vías, según el órgano y su función por examinar. “La captación del trazador, su cinética y excreción se estudian con gamma cámara, cámara de tomografía por emisión de positrones (PET) u otros instrumentos, tales como un simple detector de radiación estática. En la terapia con fuentes radiactivas abiertas se incluyen el tratamiento de la tiroides (hipertiroidismo y cáncer de tiroides) con yodo radiactivo, el tratamiento paliativo del dolor de las metástasis óseas con rastreadores óseos radiactivos, y otros. Se están llevando a cabo numerosas investigaciones con el fin de desarrollar nuevos radiofármacos para tratar diferentes tipos de tumores” (OIEA, 2013).

El campo de acción de la Medicina Nuclear al diagnosticar y tratar múltiples patologías es muy extenso y se debe realizar todos los procedimientos y controles necesarios para garantizar un adecuado uso de los radiofármacos, que si se utilizan de manera inadecuada podrían traer efectos no deseados hacia el paciente, los profesionales, el público e incluso el medio ambiente.

“Debe tenerse en cuenta que las radiaciones además de hacer posible procedimientos de diagnóstico y tratamiento altamente beneficiosos, pueden también dar lugar a efectos negativos para la salud de los pacientes” (Borrás, 1997).

De extrema importancia para garantizar la calidad en los procesos diarios en un servicio de Medicina Nuclear son los controles realizados a los equipos, para los cuales se utiliza fuentes radioactivas selladas, las cuales serán el eje central del presente estudio.

Cuando las fuentes radioactivas se manejan en condiciones de seguridad y se protegen adecuadamente, los riesgos que corren los trabajadores y el público en general se mantiene a niveles aceptablemente bajos.

“Una fuente vulnerable, es una fuente radiactiva, cuyo control es inadecuado para garantizar su seguridad tecnológica y física a largo plazo, por lo que no se puede

prever los efectos que podrían ocasionar con ella personas no autorizadas” (OIEA, 2013).

El propósito de la investigación consiste en la elaboración de una guía en la que se ofrecerá recomendaciones y orientación sobre cómo cumplir con los procesos adecuados en relación con las fuentes radiactivas selladas, las mejores prácticas internacionales que existen en el tema y las formas más seguras de proceder a su disposición.

El objetivo principal será el de recabar información importante, incluyendo los organismos nacionales e internacionales, que brindan alguna información pertinente sobre el uso, control de calidad y dispensa de las fuentes selladas.

Además, se pretende clasificar las fuentes radiactivas utilizadas en los Hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica, con el fin de elaborar un inventario de estas. Se observará la manera en que se manipulan esas fuentes y se brindará información novedosa y práctica, que permita mejorar los procesos de manejo, almacenamiento, uso, control y disposición final.

Este último punto es de gran importancia para la investigación y brindará un aporte al campo de la salud, al mejorar los procesos actuales, o en caso de no existir, al crear los protocolos.

Capítulo 1:

Objeto de la

investigación

1.1. Planteamiento del problema

La falta de controles en el manejo de las fuentes radioactivas selladas, que diariamente se utilizan en los procesos de control de calidad, en los servicios de Medicina Nuclear de nuestro país, representa un vacío normativo, desde el punto de vista de protección radiológica. Esta situación se evidencia por la falta de un manual de procedimientos que estandarice la labor, o en algunos casos, por la práctica en sí misma, tarea que podría considerarse como algo rutinario y de poca trascendencia, lo que ha motivado nuestro interés, con el fin de dar solución a una labor que no puede ser sometida únicamente a la pericia del Imagenólogo de un servicio de Medicina Nuclear.

La excelencia en cualquier disciplina de la vida, y sobre todo en cualquier acción referida al campo de la salud, entiende la obtención consistente y repetida de controles de calidad bien elaborados, estandarizados y avocados a la detección de anomalías que puedan ser corregidas, sin perjuicio de la calidad de las imágenes y mucho menos de la salud de los operadores o clientes.

El importante proceso de control de calidad, que verifica la ausencia de fugas en los recipientes que albergan los isótopos radiactivos, tener su correcta rotulación, llevar un adecuado inventario y almacenamiento de estas fuentes, entre otras responsabilidades, ha sido sometido únicamente al escrutinio cuidadoso y bien intencionado de los Imagenólogos que lo realizan, sin mediar en este campo una guía que determine cuáles son los pasos por seguir, los rangos de tolerancia existentes o los mecanismos que deberían ser usados, a la hora de realizar los controles.

De acuerdo con lo anterior, es de suma importancia contar con una guía estandarizada que describa paso a paso la realización de las pruebas de calidad a las fuentes radioactivas selladas, pues de esta manera se controla la calidad del servicio y la atención al paciente, se definan responsabilidades en caso de fallas, y se estimula el crecimiento continuo del personal, además de dotar a los Imagenólogos de reglas claras, consistentes y que planteen procedimientos que se puedan realizar y que establezcan los niveles de tolerancia para cada prueba ejecutada.

La prevención es la base para evitar accidentes, por esta razón, el hecho de que nunca se haya presentado alguna situación negativa, ya sea con la manipulación, el extravío o almacenamiento de las fuentes radioactivas selladas, invita a estandarizar el conocimiento y la práctica sobre los profesionales que realizan dicho proceso, no solo con el fin de evitar accidentes, sino con la intención de transmitir el conocimiento a los futuros Imagenólogos, que en algún momento deban realizar el mencionado procedimiento.

Durante el ejercicio de la profesión, sobre todo en la práctica hospitalaria y en las recientes visitas a los servicios de Medicina Nuclear, para la obtención de datos generales, relativos a las fuentes radioactivas selladas, se ha visualizado que en los servicios, no hay protocolos para el manejo, control de calidad y disposición final de las fuentes radioactivas selladas, que se utilizan para realizar las pruebas de control de calidad.

Además, no se cuenta con la existencia de un documento teórico-práctico que lo respalde.

Se planteará los aspectos técnicos, de procedimientos y de calidad que deben conformar una guía de manejo, control de calidad y disposición final de las fuentes radioactivas selladas, que se utilizan para realizar las pruebas de control de calidad en dichos servicios, de conformidad con los lineamientos establecidos a nivel internacional, en aras de generar la máxima seguridad al paciente y personal ocupacionalmente expuesto y al ambiente.

Por todo lo anterior, surge la siguiente inquietud: ¿Cuál es el manejo que tienen las fuentes usadas en control de calidad en los servicios de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica?

1.2. Objetivo General.

Elaborar una guía con protocolos de manejo, control de calidad y disposición final de fuentes selladas usadas en los servicios de Medicina Nuclear.

1.3. Objetivos Específicos:

1. Determinar las prácticas empleadas en el manejo, control de calidad y disposición final de las fuentes selladas de control de calidad en los servicios de Medicina Nuclear de los Hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica.
2. Establecer si las prácticas empleadas en el manejo, control de calidad y disposición de fuentes selladas de control de calidad están acordes con recomendaciones brindadas por organizaciones internacionales y autoridades reguladoras internacionales y nacionales.

1.4. Justificación.

En todo servicio en que se cuente con fuentes radioactivas, se debe establecer procedimientos estructurados de calidad, en los que se especifique cuáles son las fuentes existentes, se definan las características físicas, fechas de expiración de cada una y se establezca los parámetros de actuación durante una emergencia para minimizar los riesgos, esto con el fin de alcanzar los controles correctos, brindar el servicio adecuado a los pacientes y procurar que todo el engranaje de la institución marche de la mejor manera.

Es de vital importancia que los servicios de Medicina Nuclear, servicios especializados en diagnóstico y tratamiento, cuenten con guías bien establecidas para la realización de los controles a las fuentes radioactivas selladas, pues así se asegura la calidad y la seguridad, tanto del paciente como del trabajador.

La existencia de una guía de procesos para estas fuentes selladas es de suma importancia, pues en estos momentos no se cuenta con lineamientos que dicten su uso, almacenamiento y disposición. La misión del Imagenólogo siempre debe estar orientada hacia la práctica responsable en la utilización de las fuentes radioactivas, por lo que el estudio propuesto es de interés para la profesión.

Por lo tanto, la elaboración de una guía nos permitirá aportar un mecanismo de control, de cada uno de los aspectos y pasos que componen el proceso de verificación de estas fuentes y así, limitar al máximo posibles errores por su uso no adecuado.

Estas fuentes selladas a pesar de ser de baja tasa de radiación, siguen siendo materiales radioactivos y deben tener un registro de su existencia, forman parte de un inventario, se les deben realizar controles de calidad y cumplir con todas las medidas de seguridad para protegerlas de un posible accidente por hurto o extravío; su manejo, almacenamiento y disposición final, deben seguir y cumplir con los parámetros internacionales establecidos para este tipo de fuentes.

Se espera brindar un nuevo aporte al ejercicio de la profesión al crear material con información pertinente al uso y manejo de estas fuentes.

Al no existir una normativa a nivel nacional que regule el manejo de este tipo de fuente, la investigación tiene una relevancia justificada en la mejora de métodos y procesos, homogenizando la realización de las pruebas, brindando los pasos correctos en la aplicación del control de calidad, inventariando el número de fuentes en uso y desuso, evitando que el robo o su manipulación indebida pase desapercibido y brindando a los profesionales la garantía de contar con un documento que ante cualquier eventualidad respalde su *modus operandi*.

Capítulo 2:

Marco teórico

La medicina nuclear es una rama de la medicina que utiliza pequeñas cantidades de materiales radiactivos para el diagnóstico y tratamiento de ciertas patologías con gran efectividad. Al ser un servicio donde se manipulan fuentes emisoras de radiación ionizante se debe tener un especial cuidado y trabajar con amplios márgenes de seguridad para evitar el daño celular que pueden producir las mismas fuentes radiactivas que se utilizan para curar y diagnosticar.

Las fuentes selladas de baja dosis se utilizan para el control de calidad de los equipos utilizados en los departamentos de medicina nuclear, y son específicamente estas la base de nuestra investigación.

2.1. Medicina nuclear

La elevada importancia que ha venido tomando la medicina nuclear dentro de las pruebas diagnósticas y los tratamientos terapéuticos en la última década, ha hecho que innumerables foros de especialistas y personal relacionado al campo de la medicina hayan fijado su interés no solo en la eficacia, rapidez y alta efectividad de los procedimientos que se realizan, sino también en la seguridad que debe brindarse al manipular las dosis de material radiactivo con el que se trabaja en los mencionados servicios.

La medicina nuclear es un área especializada que utiliza cantidades muy pequeñas de sustancias radioactivas para examinar la función y estructura de un órgano. “Hace exámenes de diagnóstico que producen imágenes de la anatomía y del funcionamiento del organismo; y para ello emplea técnicas seguras y con un alto índice costo/beneficio. El trazador radiactivo (radiofármaco) se administra al paciente por vía intravenosa, vía oral o por otras vías, según el órgano y la función del mismo a examinar” (OIEA, 2013).

Este radiofármaco, cuya actividad radiactiva puede causar daño al tejido celular de los pacientes, a los trabajadores del servicio o a las personas en general, debe ser suministrado, almacenado, manipulado y dispensado exclusivamente por personal bien capacitado para tal oficio.

“Las Normas Básicas de Seguridad del OIEA (BSS) establecen que la principal responsabilidad de la protección radiológica, incluida la protección del paciente, le corresponde al titular inscrito en registro o titular de licencia. Este deberá garantizar que la responsabilidad de la protección total del paciente se le asigne a un médico (generalmente un especialista en medicina nuclear). Asimismo, deberá garantizar que tanto el personal médico como el personal sanitario estén debidamente capacitados y protegidos, y que solo personal autorizado utilice el material radioactivo” (OIEA, 2011).

Un punto vital de nuestra investigación es la seguridad que debe tenerse al manejar y disponer de las fuentes radiactivas mediante los conceptos básicos y ampliamente estudiados de la protección radiológica.

2.2. Protección radiológica

Según la (OIEA, Marco gubernamental jurídico y regulador para la seguridad., 2011) la responsabilidad de la protección radiológica concierne a todos los miembros del sistema administrativo en un hospital, desde la autoridad que emplea a las personas hasta la persona que lleva a cabo el examen radiológico. En cualquier instalación en la que se utilice radiación, la responsabilidad de la protección radiológica debe estar clara y formalmente definida.

2.2.1. Concepto de optimización de calidad.

La optimización de la protección en medicina nuclear consiste en asegurar que la exposición de los pacientes sea la mínima necesaria para lograr el objetivo del diagnóstico, para lo cual es necesario alcanzar un equilibrio entre la exposición de los pacientes -y por lo tanto el riesgo de la radiación- y la exactitud del diagnóstico. Este principio requiere que el especialista encargado de prescribir la dosis radiactiva por ser administrada a cada paciente en particular, conozca y entienda los riesgos de la exposición a la radiación ionizante y trate a toda costa de reducir los efectos adversos causados por la administración de los radiofármacos, intentando reducir al máximo posible los efectos adversos.

“La relación entre la actividad del radiofármaco y la sensibilidad diagnóstica dependen en gran medida del tipo de examen. También es importante saber si el diagnóstico se basa en la información cuantitativa o en la evaluación visual. Tanto en una simple medición de captación como en el diagnóstico por imagen, la actividad que se necesita dependerá del tipo de equipo que se utilice y de la constitución corporal, de las características metabólicas y del estado de salud del paciente concreto” (OIEA, 2009).

La optimización, en términos generales, también quiere decir optimizar las técnicas de exploración con el fin de lograr la mejor calidad de imagen posible con el equipo disponible. La calidad de la imagen depende tanto de factores técnicos como de aquellos relacionados con el paciente, entre ellos la edad, el tamaño y la patología. Entre los factores técnicos se incluye las propiedades de los equipos utilizados, el protocolo de exploración, el procesamiento de las imágenes, el ruido de la imagen, la resolución espacial y la radiación dispersa. “Para asegurar el mejor uso posible de los recursos disponibles, se deben optimizar los diversos factores técnicos de la exploración de medicina nuclear, para cada tipo de examen” (OIEA, 2009).

Es de vital importancia que los equipos usados para la administración, detección y terapéutica relacionados al uso de los servicios de medicina nuclear, se encuentren en perfectas condiciones, con calibraciones constantes, contratos de mantenimiento periódicos e inspecciones diarias que permitan detectar la más mínima variación con el fin de ofrecer a los pacientes y al personal operacionalmente expuesto, las condiciones de seguridad óptimas que eviten exposiciones innecesarias.

La capacitación constante de los encargados de prescribir las dosis y de administrarlas, debe ser uno de los criterios prioritarios dentro de cualquier servicio de medicina nuclear, pues aunque se cuente con equipos de alta calidad y perfectamente calibrados, el desconocimiento o negligencia en su uso puede ser altamente perjudicial.

El proceso de optimización de las medidas de protección y seguridad puede abarcar desde análisis cualitativos de naturaleza intuitiva hasta análisis cuantitativos apoyados en técnicas de ayuda para la toma de decisiones, pero deberá permitir el

considerar de manera coherente todos los factores de interés con el fin de contribuir al logro del siguiente objetivo:

“Determinar las medidas de protección y seguridad optimizadas para las circunstancias reinantes, cuenta habida de las opciones existentes en materia de protección y seguridad así como de la naturaleza, magnitud y probabilidad de las exposiciones y establecer criterios, basados en los resultados de la optimización, para la restricción de la magnitud de las exposiciones y de su probabilidad mediante medidas de prevención de accidentes y de atenuación de sus consecuencias” (OIEA, 1997).

2.3. Control de calidad

Un programa de garantía de calidad involucra acciones como la aceptación de responsabilidades en cuanto al cumplimiento de las normas de control de calidad; el mantenimiento preventivo de equipos y su calibración; la educación continua del personal de la planta radiológica; la aceptación de las especificaciones y evaluación de equipos y productos y la reingeniería de sus procesos.

“El objetivo del control de calidad (QC) es mantener el buen desempeño de los equipos, independientemente de su antigüedad. El control de calidad comienza con la prueba de aceptación inicial, que consiste en un protocolo de control de calidad para evaluar si el equipo cumple con las especificaciones” (OIEA, 2009).

Un programa de Garantía de Calidad es un instrumento de gestión que engloba una serie de normas y procedimientos que aseguran la obtención de imágenes de alta calidad con el mínimo de radiación hacia el paciente y el personal médico.

“Se deben realizar las mediciones normales de control de calidad a intervalos periódicos o después de las reparaciones, las actualizaciones por parte del fabricante, o los cambios de componentes importantes. Estas mediciones se deben especificar, realizar, registrar y evaluar cuidadosamente, ya que son esenciales para mantener un rendimiento estable durante toda la vida útil del equipo” (OIEA, 2009).

La labor de obtener imágenes de calidad no solo depende del tecnólogo o de las condiciones técnicas del equipo involucrado en su obtención, sino también requiere de la colaboración del paciente cuando se está realizando el examen. Por lo tanto es

importante que el paciente siga algunas recomendaciones como no respirar o hacerlo profundamente según sea el caso, además puede ser necesario, dependiendo del estudio por realizar, que realice una preparación previa al procedimiento.

2.4. Factores humanos

Según (OIEA, 1997), deberá preverse lo necesario para reducir en todo lo posible la influencia de errores humanos a los accidentes y otros sucesos que pudieran originar exposiciones, velando porque: a) todo el personal del que dependan la protección y seguridad posea la capacitación y cualificación adecuadas para tener plena noción de su responsabilidad y pueda desempeñar sus funciones con el discernimiento debido y con arreglo a los procedimientos definidos; b) al diseñar el equipo y los procedimientos para las operaciones, se sigan, según corresponda, principios ergonómicos sólidos, de forma que se facilite la explotación o utilización segura del equipo, sea mínima la posibilidad de errores operacionales que originen accidentes, y se reduzca la posibilidad de una falsa interpretación de las indicaciones de existencia de condiciones normales o anormales; c) se cuente con el equipo, los sistemas de seguridad y los requisitos de procedimiento apropiados y se adopten otras disposiciones necesarias para:

Reducir, en lo factible, la posibilidad de un error humano que origine la exposición inadvertida o no intencionada de alguna persona.

Disponer de medios para detectar los errores humanos y corregirlos o compensarlos.
Facilitar la intervención en caso de fallo de los sistemas de seguridad o de otras medidas protectoras.

2.5. Restricciones de dosis relacionadas con las fuentes

Salvo en el caso de la exposición médica, la optimización de las medidas de protección y seguridad relativas a una fuente determinada adscrita a una práctica deberá someterse a restricciones de dosis relacionadas con la fuente que:

No excedan los valores pertinentes establecidos o aceptados por la autoridad reguladora para tal fuente, ni valores a causa de los cuales se pueda rebasar los límites de dosis” (AIEA I. A., 1996). “Para cualquier fuente (incluidas las instalaciones

de gestión de desechos radiactivos) que pueda emitir sustancias radiactivas al medio ambiente, de que el efecto acumulativo de cada emisión anual de la fuente se restringe de forma que sea improbable que la dosis efectiva en un año cualquiera a un miembro del público, incluidas las personas distantes de la fuente y las personas de generaciones futuras, rebase cualquier límite de dosis aplicable, teniendo en cuenta las emisiones acumuladas y las exposiciones que se prevea causarán todas las demás fuentes y prácticas pertinentes sometidas a control” (OIEA, 1997) .

2.6. Cultura de seguridad

Según la (OIEA, 1997), se deberá fomentar y mantener una cultura de la seguridad para estimular, ante la protección y seguridad, una actitud interrogante y deseosa de aprender, y desincentivar la complacencia, para lo cual deberá velarse porque:

- a) Se establezca principios rectores y procedimientos que estipulen claramente que la protección y la seguridad son asuntos de la más alta prioridad.
- b) Los problemas que afecten a la protección y seguridad sean detectados y corregidos rápidamente, de manera que esté en consonancia con su importancia.
- c) Se precise claramente la responsabilidad de cada individuo, incluso la de los situados a nivel directivo superior, en materia de protección y seguridad, y cada individuo tenga la capacitación y cualificación adecuadas.
- d) Se defina claras estructuras jerárquicas para las decisiones en materia de protección y seguridad.
- e) Se adopte disposiciones organizativas y se establezca cauces de comunicación cuyo resultado sea la circulación expedita de la información sobre la protección y seguridad en los diversos niveles de la entidad del titular registrado o el titular licenciado, así como entre dichos niveles.

2.6.1. Seguridad de las fuentes

Las fuentes selladas, salvo que hayan sido rotas o que tengan fugas, solo ofrecen un riesgo de exposición a radiaciones externas. Ahora bien, las fuentes selladas rotas o con fugas, al igual que los materiales radiactivos no sellados, pueden causar la

contaminación del medio ambiente y la ingesta de materiales radiactivos en el organismo humano. “Hasta el decenio de 1950, por lo general sólo había disponibles radionucleidos de origen natural, sobre todo Ra 226. Desde entonces, se ha generalizado la utilización de radionucleidos producidos artificialmente en instalaciones nucleares y aceleradores de partículas, entre ellos Co 60, Sr 90, Cs 137 e Ir 192” (OIEA, 2011).

“Las fuentes se deberán guardar en condiciones de seguridad que impidan su robo o deterioro y que eviten a toda persona jurídica no autorizada, realizar alguna de las acciones especificadas en las ‘Obligaciones Generales’ relativas a las prácticas, estipuladas por las Normas BSS” (NACIÓN, 2009).

El almacenamiento de la fuente deberá:

- Poseer protección contra condiciones ambientales.
- Utilizarse solamente para materiales radiactivos.
- Tener suficiente blindaje.
- Ser resistente al fuego.
- Cerradura para prevenir usos no autorizados y robos.
- Señales de prevención.
- Blindado a $<2 \mu\text{Sv/h}$ a 1m (áreas permanentemente ocupadas) como alternativa. $<20 \mu\text{Sv/h}$ a 1 m (áreas ocupadas temporalmente).
- Registros de inventario

(Undécimo Informe sobre el estado de la nación, Costa Rica, 2009)

2.6.2. Defensa en profundidad

Deberá aplicarse a las fuentes un sistema de barreras múltiples (defensa en profundidad) de dispositivos/mecanismos de protección y seguridad, que esté en consonancia con la magnitud y la probabilidad de las exposiciones potenciales de que se trate, de modo que un fallo en una barrera sea compensado o corregido en las barreras siguientes, con el fin de:

- (a) Prevenir los accidentes que pueden causar exposición.

- (b) Atenuar las consecuencias de cualquier accidente de ese género que efectivamente ocurra.
- (c) Restablecer el estado de seguridad de las fuentes tras un accidente de tal género.

(Undécimo Informe sobre el estado de la nación, Costa Rica, 2009).

2.7. Manejo de desechos radioactivos

Los desechos radiactivos por su peligrosidad no pueden ser tratados como desechos comunes y deben seguir un protocolo bien establecido para procurar que la posibilidad de daño producido por los mismos sea mínima a la hora de prescindir de ellos. La dispensa efectiva puede realizarse de varias formas, tomando en cuenta su semiperiodo de vida media, la actividad a la hora de declararse en desuso, entre otros.

“Dispensa: Eliminación por el organismo regulador de todo control reglamentario ulterior respecto de materiales radiactivos o de objetos radiactivos utilizados en prácticas autorizadas” (OIEA, 1997).

“Las fuentes, inclusive sustancias, materiales y objetos, adscritas a prácticas notificadas o autorizadas podrán ser liberadas del cumplimiento en lo sucesivo de los requisitos prescritos por las Normas siempre que se ajusten a los niveles de dispensa aprobados por la autoridad reguladora” (OIEA, 1997).

“Disposición final: Colocación de desechos en una instalación apropiada sin intención de recuperarlos. La disposición final también puede comprender el vertido directo de efluentes al medio ambiente, dentro de los límites autorizados, con su posterior dispersión” (OIEA, 1997).

“Entidad generadora de desechos: Entidad explotadora de una instalación o actividad que genera desechos” (OIEA, 1997).

“Exclusión: exclusión deliberada de una determinada clase de exposición del ámbito de un instrumento de control reglamentario, sobre la base de que no se considera factible su control mediante el instrumento de reglamentación en cuestión. Una exposición de este tipo recibe el nombre de exposición excluida” (OIEA, 1997).

“Exención: Determinación por parte de un autoridad regulador de que una fuente o práctica no necesita estar sometida a alguno o ninguno de los aspectos del control

reglamentario sobre la base de que la exposición (incluida la exposición potencial) debida a la fuente o práctica es demasiado pequeña para justificar la aplicación de aquellos aspectos, o de que ésta es la mejor opción de protección independientemente del nivel real de las dosis o los riesgos” (OIEA, 1997).

2.8. Uso de concepto de dispensa según NBS

Las NBS (Normas Básicas Internacionales de Seguridad) también se valen del concepto de dispensa. En tanto que la exención se utiliza como parte de un proceso para determinar a priori el carácter y el alcance del sistema de registro o concesión de licencias a una práctica, la dispensa —según el lenguaje de las NBS— quiere decir exención a posteriori, es decir, exención, desde dentro del sistema, de las fuentes que, por una u otra razón, están sometidas al control regulativo y no deberían continuar estándolo. Por tanto, en el glosario de las NBS se define dispensa como: "Liberación de materias u objetos radiactivos, adscritos a prácticas autorizadas, de la aplicación de todo control ulterior por parte de la autoridad reguladora." Además, las NBS señalan que la dispensa está sujeta a niveles de dispensa, que son "Valores, establecidos por la Autoridad Reguladora y expresados en forma de concentración de la actividad y/o actividad total; cuando las fuentes de radiación satisfacen esos valores u otros más bajos, pueden ser liberadas del control regulador" (OIEA, Boletín del OIEA, 2000).

Aunque la intención de las NBS era limitar el concepto de dispensa a una exención administrativa desde dentro del sistema, la propia palabra no ayudó a transmitir la idea prevista. La palabra *clearance* tiene diferentes significados en inglés sin traducción directa a otros idiomas. En las ediciones en otros idiomas de las NBS, por ejemplo, se tradujo como *liberation* en francés y como 'dispensa' en español. No es extraño que ello condujera a diferentes interpretaciones del concepto y a cierta confusión. Un uso distinto del término *clearance* se refiere a la liberación de materiales radiactivos al medio ambiente. Mientras que algunos de los desechos generados por las prácticas exigirán aislamiento en una instalación adecuada, otros pueden ser candidatos a la liberación al medio ambiente. "En general, las emisiones controladas

de materiales radiactivos procedentes de las prácticas aprobadas se rigen por una autorización. Dichas autorizaciones pueden estar sujetas a condiciones que incluyan, por ejemplo, en el caso de descargas de efluentes, los requisitos de vigilancia ambiental, evaluación retrospectiva de las dosis del grupo crítico, y otros” (OIEA, 1991).

Cuanto más bajas sean las dosis evaluadas para los miembros del público, probablemente menos estrictos serán los requisitos. Sería sensato definir algún punto en este espectro en que no existan tales requisitos. Este punto define un concepto de *clearance* sutilmente distinto: es la liberación de materiales, cuyo nivel de actividad es suficientemente bajo como para que no sea necesaria ninguna forma de intervención de regulación después de la liberación para verificar que el público está bien protegido (OIEA, 1998).

“Esta intervención regulativa podría ser un requisito para la vigilancia del medio ambiente o, en el caso del material sólido, la especificación del destino del material liberado o el uso a que debe destinarse. Los criterios de dosis elaborados para exención/dispensa podrían igualmente aplicarse a este concepto análogo de “dispensa” (OIEA, 1998).

Los materiales, para los cuales no se prevé un uso futuro con niveles de actividad superiores a los niveles de dispensa, serían considerados desechos radiactivos; por otra parte, si los niveles de actividad de estos materiales están en los niveles de dispensa o por debajo de estos, no serían considerados radiactivos a los efectos de la regulación. Dentro de este acertijo de conceptos, que parecen equivalentes pero que son sutilmente distintos, se han elaborado, y se siguen elaborando, niveles de dispensa para diversos materiales. En la Unión Europea, el Grupo del Artículo 31 formuló recomendaciones sobre los niveles de dispensa en relación con una serie de importantes radionucleidos presentes en metales procedentes del desmantelamiento de instalaciones nucleares. “El OIEA ha elaborado niveles de dispensa para la liberación de materiales radiactivos provenientes de la medicina, la industria y las investigaciones y también está elaborando niveles de dispensa de aplicación general para cualquier material sólido. De esa manera, los niveles de dispensa para los radio

nucleídos más importantes se pueden encontrar en una serie de materiales diferentes” (Organization, 2002).

2.9. Legislación costarricense sobre desechos radioactivos

Capítulo XVIII De los desechos radiactivos.

La legislación costarricense no regula de forma específica la dispensa de las fuentes selladas, pero en algunos breves capítulos hace referencia a las fuentes radiactivas como un todo, obviamente de forma equivocada.

Capítulo XVIII De los desechos radiactivos.

Artículo 84-En las instalaciones donde se empiecen fuentes o material radiactivo, debe existir un lugar especialmente diseñado para el almacenamiento temporal de desechos radiactivos, debidamente autorizado por la autoridad competente.

Artículo 85-La autoridad competente autorizará, en cada caso, cualquier eliminación, así como los procedimientos y límites derivados de eliminación de desechos radiactivos al medio ambiente o de aquellos elementos que puedan ser considerados como tales.

Artículo 86-Sin la autorización citada en el artículo 85 de este Reglamento, queda prohibida la eliminación, por cualquier vía o método, de cualquier desecho radiactivo al medio ambiente, sean estos sólidos, líquidos o gaseosos. Asimismo, queda prohibido desechar o eliminar por cualquier vía o método los envases o embalajes que hayan contenido material radiactivo de cualquier especie o forma física.

Artículo 87-Todo desecho sólido o líquido proveniente de cualquier práctica, sea de carácter industrial, médico o de investigación, deberá almacenarse en un depósito previamente autorizado para ello y confinado en recipientes especialmente diseñados y autorizados por la autoridad competente para ese fin.

Artículo 88-Quedan exentas del cumplimiento de los preceptos señalados en los artículos 84, 85, 86 y 87 de este reglamento, las excreciones de personas sometidas a diagnóstico y terapia con materiales radiactivos.

Artículo 89 -Queda prohibido el ingreso al territorio nacional de cualquier material o fuente en calidad de desecho radiactivo o que a juicio de la autoridad competente, pueda tener tal categoría.

Artículo 90- Para el caso de los desechos radiactivos de tipo gaseoso o aerotransportado, las instalaciones deberán disponer de los sistemas de filtros adecuados para retenerlos y cumplir con los límites derivados de descargas autorizados por la autoridad competente.

Artículo 91-En las instalaciones del Tipo IV¹ definidas en el artículo 8 de este Reglamento, en donde se empleen fuentes o material radiactivo, será responsabilidad del titular de la licencia de la instalación, a través del responsable de la protección radiológica remitir a la autoridad competente, un informe escrito de como desechara las fuentes gastadas o en desuso para su disposición final”. (Ministerio de Salud, 1995)

2.10. Guías de seguridad en protección radiológica.

Las guías de seguridad ofrecen recomendaciones y orientación sobre cómo cumplir los requisitos de seguridad, lo que indica un consenso internacional en el sentido de que es necesario adoptar las medidas recomendadas (u otras medidas equivalentes). “Las guías de seguridad contienen ejemplos de buenas prácticas internacionales y dan cuenta cada vez más de las mejores prácticas que existen para ayudar a los usuarios que tratan de alcanzar altos grados de seguridad. En la formulación de las recomendaciones de las guías de seguridad se emplean formas verbales condicionales” (OIEA, 2011).

2.11. Funciones de titulares de licencias y titulares registrados en relación con el almacenamiento y disposición final de materiales radiactivos.

Según (OIEA, 2013), son funciones del titular de la licencia:

1) Reducir, en la medida en que sea factible, la posibilidad de que un error humano o una acción involuntaria pueda dar lugar a accidentes u otros incidentes que culminen en la exposición de cualquier persona.

¹ **Instalación tipo IV: Son las instalaciones que alberguen fuentes patrones, donde se almacenen o vendan detectores de humo que contienen fuentes radiactivas, aquellas que alberguen equipos de rayos X para control de equipaje o correspondencia o donde se manipulen, instalen y almacenen estimuladores cardíacos que contengan fuentes radiactivas.**

- 2) Facilitar los medios para detectar errores humanos y corregirlos o compensarlos.
- 3) Facilitar las acciones protectoras o correctoras en caso de fallos de los sistemas de seguridad o de las medidas protectoras.

“El mismo organismo de energía atómica, dice que al seleccionar un lugar para utilizar o almacenar un generador de radiación o una fuente radiactiva, los titulares registrados o los titulares de licencias tendrán en cuenta:

- a) los factores que podrían afectar a la gestión segura y el control del generador de radiación o la fuente radiactiva;
- b) Los factores que podrían afectar a la exposición ocupacional y la exposición público debido al generador de radiación o la fuente radiactiva” (OIEA, 2013).

Los titulares registrados y los titulares de licencias mantendrán bajo control los generadores de radiación y las fuentes radiactivas con el fin de evitar pérdidas o daños, y que cualquier persona no autorizada realice alguna de las actividades especificadas, velando porque:

- a) El control sobre el generador de radiación o la fuente radiactiva se ceda únicamente de acuerdo con lo dispuesto en todos los requisitos pertinentes especificados en el registro o la licencia.
- b) Se notifique sin tardanza al órgano regulador información relativa a cualquier generador de radiación o fuente radiactiva que se pierda, desaparezca o no esté bajo control.
- c) Cualquier generador de radiación o fuente radiactiva se transfiera únicamente si el receptor posee la autorización necesaria.
- d) Se realice periódicamente un inventario, de los generadores de radiación o fuentes radiactivas con el fin de confirmar que se encuentran en los lugares que les han sido asignados y están bajo control. (OIEA, 2013).

Los titulares registrados y titulares de licencias mantendrán un inventario que incluya registros de:

- a) El lugar y la descripción de cada generador de radiación o fuente radiactiva de los que sean responsables.
- b) La actividad y forma de cada fuente radiactiva de la que sean responsables.

Los titulares registrados y los titulares de licencias, en cooperación con los fabricantes, aseguraran que, en la medida de lo posible, las fuentes selladas sean identificables y localizables.

Los titulares registrados y los titulares de licencias aseguraran que, cuando no se estén utilizando las fuentes radiactivas, estas estén almacenadas de manera adecuada desde el punto de vista de la protección y la seguridad (OIEA, 2013).

2.12. Protocolos de disposición final de material radioactivo en otros países

Se debe considerar que todas las fuentes radiactivas que se usa en control de calidad se considerarán, en algún momento dado, un desecho radiactivo, por lo que es importante conocer cómo se manejan desechos radiactivos en otros países, como se detalla a continuación.

2.12.1. España:

En España el volumen total previsto de residuos radiactivos que se gestiona de baja y media actividad es de 176.300 m³ y de alta actividad 12.800 m³. “El Congreso de los Diputados instó al Gobierno, en el año 2002, a poner en marcha las actuaciones para que España pudiera contar con capacidad para almacenamiento de residuos de muy baja actividad, lo que significa soluciones técnicas de almacenamiento seguras, pero de mayor sencillez y más económicas que las utilizadas actualmente para residuos de baja y media actividad” (Consejo de Seguridad Nuclear de España, 2015).

No es fácil lograr el consenso total entre los diferentes países con respecto a la clasificación más adecuada para los residuos radiactivos. No obstante, el establecimiento de una clasificación, cualquiera que sea, tiene una gran importancia,

ya que la tipificación de los residuos determina la opción por utilizar para su almacenamiento definitivo” (Consejo de Seguridad Nuclear de España, 2015).

2.12.1.1 Almacenamiento de baja y media actividad

Antes del almacenamiento de los residuos radiactivos, estos deben ser acondicionados debidamente en función de sus características físicas, químicas y radiológicas.

“España dispone de las instalaciones de El Cabril, en la provincia de Córdoba, que tiene como objetivo fundamental el almacenamiento definitivo de este tipo de residuos en forma sólida. Esta instalación cubrirá las necesidades de almacenamiento de nuestro país en las próximas décadas. (Consejo de Seguridad Nuclear de España, 2015).

2.12.1.2 Tipos de almacenamiento:

- Almacén temporal individualizado: es un sistema de almacenamiento del combustible gastado ubicado en la propia central que lo haya producido. En la actualidad España cuenta con dos sistemas de almacenamiento temporal individualizado, el de la central nuclear de Trillo y el de la central José Cabrera.
- Almacén temporal centralizado: es básicamente un sistema de almacenamiento diseñado para albergar el combustible gastado y los residuos de alta actividad de varias o todas las centrales nucleares de un mismo país.
- Almacén geológico profundo: es una instalación que sirve para almacenar residuos radiactivos de alta actividad, dentro de formaciones geológicas estables. Los países que más han avanzado en esta línea son Finlandia y Estados Unidos, que cuentan con un emplazamiento en fase de caracterización. Países como Francia y Suecia tienen programas desarrollados pero sin emplazamiento elegido. (Consejo de Seguridad Nuclear de España, 2015).

2.12.2. Argentina:

En Argentina y en el marco del PNGRR se ha decidido trabajar con una clasificación general de los residuos, de acuerdo a la cual se definen condiciones de aislamiento, confinamiento y disposición según su nivel de actividad. Tanto los repositorios cercanos a la superficie como los repositorios geológicos profundos son instalaciones en las que se implementa el concepto de “barreras múltiples, independientes y redundantes” de manera que tanto la tecnología (barreras ingenieriles) como la naturaleza del medio (barreras geológicas) garanticen el confinamiento de los residuos con respecto de la biósfera. Esto se realiza con el objetivo de ser efectivo durante el tiempo suficiente hasta que los elementos radiactivos de los residuos hayan decaído y ya no presenten riesgos para el ambiente. (CNEA, 2006).

2.12.3. Chile:

Los desechos radioactivos de interés para efectos del presente informe son aquellos que pudieran ser eliminados a través del sistema de desagüe y alcantarillado público, y de los sistemas de recolección municipal de basura.

“Afortunadamente, todos los radionúclidos utilizados en diagnóstico son de vida media corta (6hrs a 60 días). En medicina nuclear sobre el 90% de los exámenes se realizan con Tecnecio 99, cuya vida media es de 6 hrs. La práctica habitual entonces es esperar su decaimiento antes de la eliminación” (OIEA, 2009)

“Por las razones ya comentadas, la intervención fundamental en el manejo de estos desechos es su almacenamiento bajo condiciones de seguridad y protección radiológica hasta el aclaramiento de la actividad radioactiva bajo los límites permitidos (la recomendación general es por un período equivalente a lo menos a 10 vidas medias del material)” (Ministerio de Salud de Chile, 2011).

2.12.4. Manejo de residuos radiactivos en otros países del mundo:

En el mundo hay 441 centrales nucleares operativas, con una capacidad instalada total de 366.590 GW, a lo que se suman otros 65 reactores en construcción en distintos países. El manejo de los residuos radiactivos ha sido materia de investigación desde los inicios de la tecnología nuclear. Como consecuencia de más de medio siglo de investigación y desarrollo en este sentido, en el mundo existen en

la actualidad dos modelos conceptuales de repositorios equivalentes a los contemplados por el PNGRR.

“Los repositorios cercanos a la superficie son instalaciones para la disposición final de residuos de media y baja actividad, y este tipo de instalaciones existen y operan hace muchos años en diferentes países del mundo como España, Francia e Inglaterra” (CNEA, 2006).

Los repositorios geológicos profundos son instalaciones para la disposición final de combustibles gastados y otros residuos de alta actividad. Esta alternativa es definitivamente la más compleja de ejecutar, pero ya son varios los países que tomaron la decisión de invertir en instalaciones de este tipo.

Entre los países más avanzados en la implementación de este tipo de repositorio se encuentran Suecia y Finlandia (con licencias de construcción solicitadas en 2011 y 2012 respectivamente). En el mismo sentido, otros países avanzaron en la construcción de laboratorios ubicados a varios cientos de metros de profundidad bajo tierra, y en esas instalaciones realizan ensayos de materiales y estudios geológicos e hidrogeológicos del terreno antes de decidir el emplazamiento definitivo de un repositorio. Este es el caso de Bélgica, entre otros.

“Para la gestión de los residuos de muy baja actividad existe un consenso internacional con respecto a su preservación en repositorios superficiales, que requieren mantenimiento y atención mínimos, y un tiempo de asilamiento de los residuos del orden de los 50 años. Después de este tiempo los residuos son dispuestos junto con otros desechos industriales” (CNEA, 2006).

Capítulo 3:

Metodología

3.1. Descripción general de la estrategia.

Mediante esta investigación se valorará la situación actual del problema planteado y se elaborará los protocolos de la guía, por lo que tendrá corte descriptivo.

En este apartado se explicará los pasos para diseñar la guía para el manejo, control de calidad y disposición final, de fuentes radioactivas selladas utilizadas en los servicios de medicina nuclear de los hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica para así lograr un correcto desarrollo de los objetivos descritos anteriormente.

3.2. Definición de los procesos de recolección de la información.

En este apartado se recabará toda la información pertinente acerca de este tema, sobre todo las recomendaciones brindadas por entidades internacionales, pues como ya se mencionó en apartados anteriores en nuestro país es escueta o inexistente.

Se realizará entrevistas semiestructuradas con los imagenólogos, los físicos médicos, radiofarmaceutas y médicos de cada servicio, esto con el fin de obtener información relativa a la situación actual de las fuentes selladas, que serán importantes y servirán de guía para las siguientes visitas y desarrollo del trabajo de campo.

3.3. Descripción de la metodología en la experiencia investigativa.

Se debe considerar que el estudio será delimitado, dado que se ubica en un tiempo definido, en el cual se hará la recolección de indicios y la comparación con el estado del arte en esta materia, en lo que a la bibliografía se refiere.

El Hospital San Juan de Dios y el Hospital Clínica Bíblica brindan servicios de medicina nuclear a la población y cuentan con este tipo de fuentes, llamadas de baja tasa de radiación, además de tener en sus instalaciones equipo tecnológico (sonda de captación), que permitirá realizar procedimientos que facilitan el trabajo de campo y darán valores, para darle confiabilidad a la investigación.

Se realizará un inventario en los hospitales, de las fuentes de baja tasa de radiación que cuente cada uno; este inventario contará con una descripción de cada fuente, por ejemplo, se incluirá isótopo, fecha de fabricación, fecha de calibración y fecha de vencimiento, su estado físico (se verificará golpes o daños que puedan presentar estas fuentes, inclusive los severos que pudieran causar alguna fuga de material radioactivo, es decir valorar su integridad), esto mediante inspección visual y manual,

lugar y forma de ser almacenadas, manejo al que son sometidas estas fuentes, controles de calidad, si existieran, actividad actual de las fuentes comparándola con la actividad de calibración brindada por el fabricante y la disposición final de cada una. Una vez realizado este trabajo de campo y luego de haber obtenido toda la información necesaria a través del inventario realizado, se comparará con todo el material bibliográfico internacional recabado previamente y los resultados obtenidos en la entrevista para así poder analizar todos los aspectos que se brindan, no solo correcciones sobre la manera de realizar los procedimientos con estas fuentes sino además se obtendrá material nuevo, acerca de cómo poder realizarlos y así se registrará lo necesario para la elaboración de los protocolos que conformarán la guía. En el anexo número 1 se especifica los puntos principales del trabajo en el tiempo esperado para realizarlo, el cual se reviste de reuniones, visitas a los centros, revisiones bibliográficas, análisis y elaboración de la guía y las recomendaciones a los centros que participan en la investigación.

3.4. Población de interés.

La población de interés corresponderá al personal que labora en los servicios de medicina nuclear de los hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica y que tengan relación directa con las fuentes selladas anteriormente mencionadas. En total once tecnólogos, dos físicos médicos, tres radiofarmaceutas y cuatro médicos nucleares.

3.5. Objeto de estudio.

El objeto de estudio de la investigación corresponde al manejo, control de calidad y disposición final de las fuentes radioactivas selladas utilizadas en el control de calidad de los equipos que se utilizan en los servicios de medicina nuclear en cuestión, obtenidos a partir de la revisión de la normativa internacional y los resultados logrados mediante la entrevista semiestructurada.

3.6. Unidades de análisis

Las unidades de análisis consistirán en el personal entrevistado que proporcionará información sobre el manejo, control de calidad y disposición final de las fuentes

radioactivas selladas utilizadas en el control de calidad de los equipos y los procedimientos que ellos creen son los más necesarios para establecer.

3.7. Definición de los procesos

A continuación se detalla los puntos más importantes que se incluirán en la guía, lo cual es un bosquejo de procedimientos de inventario, manejo, controles de calidad, disposición final y protección radiológica.

I. Introducción

Presentar un preámbulo de los diferentes protocolos que se va a desarrollar en la guía.

II. Objetivos

Alcances que se quiere lograr con la elaboración del documento.

III. Esquema de la organización del servicio

Colocar las figuras jerárquicas en materia de protección radiológica del hospital y del servicio.

IV. Capítulo I. Inventario

- Inventario de los equipos emisores de radiación ionizante (marca, modelo, serie).
- Inventario detallado de las fuentes de baja tasa selladas utilizadas en los servicios (este debe incluir respectivo nombre, fecha de fabricación, fecha de calibración y fecha de caducidad, certificado de calibración).
- Almacenamiento de las fuentes (lugar y sus condiciones ambientales).

V. Capítulo II. Procedimientos.

- Cada uno de los procedimientos que se utiliza con las diferentes fuentes.
- Incluir un protocolo, para el manejo, lugar y modo de almacenamiento y cómo deben ser utilizadas
- Control de calidad, controles diarios a las diferentes fuentes (hisopado e inspección visual) y los propósitos de llevarlos a cabo, en caso de existir el programa de control de calidad y los instrumentos que se utiliza.
- Disposición final de fuentes radioactivas selladas decaídas.

VI. **Capítulo III. Procedimientos de Protección Radiológica.**

- Mencionar la rotulación y la simbología existente en las fuentes.
- Determinar las zonas controladas y supervisadas, sobre todo en el almacenamiento de estas fuentes.
- Enumerar directrices para evitar la pérdida o robo de las fuentes.
- Incluir el procedimiento para la capacitación periódica del personal ocupacionalmente expuesto en materia de protección radiológica, manejo y control de calidad de las fuentes.

3.8. Consideraciones éticas.

Dado que la investigación no involucra pacientes, se asumirá el mayor compromiso con los bienes e instalaciones de las instituciones donde se llevará a cabo nuestro trabajo, así como un manejo adecuado de los resultados alcanzados por dicha investigación.

Se mantendrá la confidencialidad debida dentro de cada centro y se evitará brindar juicios de valor ante las observaciones que se realice.

Se cuenta con las debidas autorizaciones por parte de las jefaturas y las direcciones médicas de los servicios de medicina nuclear de los hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica (se adjunta documentos).

Se realizó la consulta al CLOBI del Hospital San Juan de Dios, y al ser un trabajo que no involucra personas, no debe pasar por su jurisdicción.

3.9. Cuadro de Operacionalización de la metodología.

A continuación se presentan las variables e indicadores para cada uno de los objetivos propuestos en la presente investigación:



OBJETIVO GENERAL				
Elaborar una guía con los correspondientes protocolos de manejo, control de calidad y disposición final de fuentes selladas usadas en los servicios de medicina nuclear en el hospital San Juan de Dios y Clínica Bíblica.				
Objetivo Específico	Variables	Definición Conceptual	Indicadores	Instrumentación
Analizar las guías nacionales e internacionales para reconocer sus principales elementos constitutivos en función del manejo, control de calidad y disposición final de fuentes selladas usadas en los servicios de medicina nuclear	Aspectos específicos de Manejo, control de calidad y disposición final de fuentes selladas. Equipos Aspectos operacionales Dosimetría Clínica Garantía de Calidad Dosis a personal y pacientes Capacitación Exposiciones Accidentales	Requisitos fundamentales relativos a la protección contra los riesgos derivados de la exposición a la radiación ionizante y relativo a la seguridad de las fuentes de radiación que pueden causar dicha exposición	Comparación y actualización de las normas nacionales e internacionales con las de los departamentos de medicina nuclear de los hospitales San Juan de Dios y Clínica Bíblica.	Material Bibliográfico

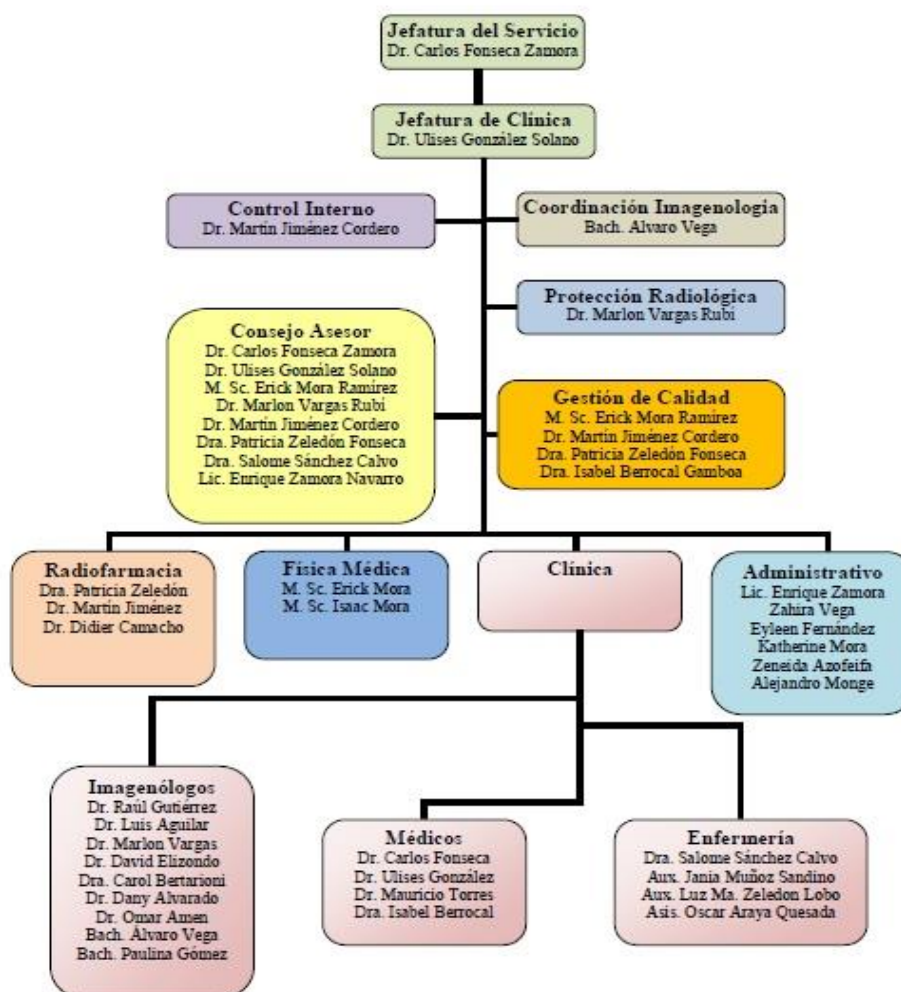
<p>Realizar un diagnóstico de las necesidades normativas del departamento de Medicina Nuclear del hospital San Juan de Dios y Clínica Bíblica con base en una encuesta realizada a los Responsables de protección radiológica (RPR) y los tecnólogos a cargo.</p>	<p>Ejes temáticos de la entrevista: Experiencia de los RPR en Imagenología y en su puesto. Conocimiento y valoración del contenido del marco normativo vigente. Situaciones de mayor frecuencia que requieren atención.</p>	<p>Requisitos fundamentales relativos al manejo, control de calidad y disposición final de fuentes selladas usadas en los servicios de medicina nuclear.</p>	<p>Normas principales a modificar o establecer</p>	<p>Análisis de la encuesta Gráficos</p>
<p>Redactar la propuesta de la guía según la síntesis de los elementos encontrados en el marco normativo nacional y en las guías internacionales.</p>	<p>Aspectos específicos del manejo, control de calidad y disposición final de fuentes selladas usadas en los servicios de medicina nuclear.</p>	<p>Requisitos fundamentales relativos al manejo, control de calidad y disposición final de fuentes selladas usadas en los servicios de medicina nuclear.</p>	<p>Normas principales a modificar o establecer</p>	<p>Análisis de las entrevistas Material Bibliográfico</p>

**Capítulo 4:
Actualidad
nacional:
hospitales San
Juan de Dios Y
Clínica Bíblica**

4.1. Organigrama de los servicios de medicina nuclear

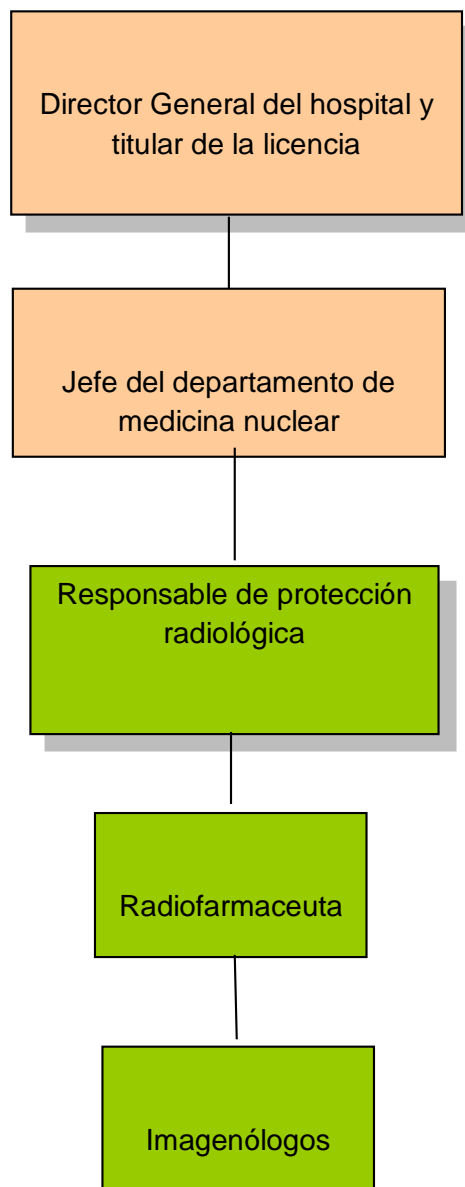
4.1.1. SMN, Hospital San Juan de Dios.

	CAJA COSTARRICENSE DEL SEGURO SOCIAL Hospital San Juan de Dios Servicio de Medicina Nuclear	
CÓDIGO: SMN-DP-04	Organigrama del Servicio	Versión: 02 Fecha: 28.05.15 Página 1 de 1



Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización expresa del Servicio de Medicina Nuclear.
 Verifique que sea una revisión vigente antes de utilizar este documento.
 Copias impresas sin la identificación "COPIA CONTROLADA" no deben ser utilizadas con propósitos operacionales

4.1.2. SMN, Hospital Clínica Bíblica



4.2. Inventario de fuentes selladas.

Cuadro # 1. Estado actualizado de las fuentes que se utiliza en el servicio de medicina nuclear, Hospital San Juan de Dios. Última fecha de actualización: 03 de setiembre de 2015.				
Fuente	Certificado	Ubicación	Reportada a RPR	En uso
<p>Fuente # 1 <u>Descripción:</u> Fuente plana para controles de calidad de las gammacámaras. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Co-57 <u>Actividad:</u> 20 mCi (740 MBq) <u>Fecha de calibración:</u> 01/09/2012 <u>Número de serie:</u>1604-189</p>	Ok	Bodega decaimiento externa de MN	Sí	No
<p>Fuente # 2 <u>Descripción:</u> Fuente estándar para controles de calidad de los calibradores de dosis. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Ba-133 <u>Actividad:</u> 254,8 μCi (9,4 MBq) <u>Fecha de calibración:</u> 01/10/2008 <u>Número de serie:</u> 1296-47-7</p>	Ok	Campana flujo laminar radiofarmacia MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 3 <u>Descripción:</u> Fuente estándar para controles de calidad de los calibradores de dosis. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Co-57 <u>Actividad:</u> 5,248 mCi (194,2 MBq) <u>Fecha de calibración:</u> 01/09/2008 <u>Número de serie:</u> 1296-38-15</p>	Ok	Campana flujo laminar radiofarmacia MN	Sí	Sí

<p>Fuente # 4 <u>Descripción:</u> Fuente estándar para controles de calidad de los calibradores de dosis. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Cs-137 <u>Actividad:</u> 202,6 µCi (7,5 MBq) <u>Fecha de calibración:</u> 01/10/2008 <u>Número de serie:</u> 1333-14-6</p>	Ok	Campana flujo laminar radiofarmacia MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 5 <u>Descripción:</u> Fuente estándar para controles de calidad del contador de centelleo. <u>Fabricante:</u> Perkin Elmer <u>Radioisótopo:</u> C-14 <u>Actividad:</u> <0,1 µCi, 128600 dpm <u>Fecha de calibración:</u> 23/07/2010 <u>Número de serie:</u> 198</p>	No (equipo prestado)	Mueble del contador de centelleo de radiofarmacia MN	No	Sí
<p>Fuente # 6 <u>Descripción:</u> Fuente estándar para controles de calidad del contador de centelleo. <u>Fabricante:</u> Perkin Elmer <u>Radioisótopo:</u> C-14 <u>Actividad:</u> 0,01 µCi (20000 dpm) <u>Fecha de calibración:</u> 18/11/1998 <u>Número de serie:</u> 1001-36</p>	No	Mueble del contador de centelleo de radiofarmacia MN	Sí	No
<p>Fuente # 7 <u>Descripción:</u> Fuente estándar para controles de calidad de las sondas de cirugía radioguiada. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Co-57 <u>Actividad:</u> 10,45 µCi (386,7 MBq) <u>Fecha de calibración:</u> 15/04/2011 <u>Número de serie:</u> 1496-40</p>	Ok	Bodega decaimiento interna de MN	Sí	Sí

<p>Fuente # 8 <u>Descripción:</u> Fuente estándar para controles de calidad de la sonda de captación. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Cs-137 <u>Actividad:</u> 500 nCi (18,5 kBq) <u>Fecha de calibración:</u> 01/12/2008 <u>Número de serie:</u> 1333-25-21</p>	Ok	Fortín de la sonda de captación de MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 9 <u>Descripción:</u> Fuente estándar para controles de calidad de la sonda de captación. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Eu-152 <u>Actividad:</u> 500 nCi (18,5 kBq) <u>Fecha de calibración:</u> 01/11/2008 <u>Número de serie:</u> 1212-95-2</p>	Ok	Bodega decaimiento interna de MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 10 (nueva) <u>Descripción:</u> Fuentes estándar para controles de calidad de la sonda de cirugía radioguiada. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Ba-133 <u>Actividad:</u> 97,69 nCi <u>Fecha de calibración:</u> 01/06/2014 <u>Número de serie:</u> 1661-66-4</p>	Ok	Bodega decaimiento interna de MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 11 (nueva) <u>Descripción:</u> Fuentes estándar para controles de calidad de la sonda de cirugía radioguiada. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Eu-152 <u>Actividad:</u> 19,70 μCi (728,9 kBq) <u>Fecha de calibración:</u> 01/01/2014 <u>Número de serie:</u> 1701-89.</p>	Ok	Bodega decaimiento interna de MN	Sí	Sí

<p>Fuente # 12 (nueva) <u>Descripción:</u> Fuente plana para controles de calidad de las gammacámaras. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Co-57 <u>Actividad:</u> 20 mCi (740 MBq) <u>Fecha de calibración:</u> 01/01/2014 <u>Número de serie:</u> 1700-049</p>	Ok	Bodega decaimiento interna de MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 13 (nueva) <u>Descripción:</u> Fuente plana para controles de calidad de las gammacámaras. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Co-57 <u>Actividad:</u> 20 mCi (740 MBq) <u>Fecha de calibración:</u> 28/09/2013 <u>Número de serie:</u> BM552013241102</p>	Ok	Bodega decaimiento interna de MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 14 (nueva) <u>Descripción:</u> Fuente estándar para controles de calidad de los calibradores de dosis. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Co-57 <u>Actividad:</u> 10,05 mCi (371,9 MBq) <u>Fecha de calibración:</u> 01/12/2014 <u>Número de serie:</u> 1756-35-4</p>	Ok	Campana flujo laminar radiofarmacia MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 15 <u>Descripción:</u> Fuente plana para controles de calidad de las gammacámaras. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Co-57 <u>Actividad:</u> 20 mCi (740 MBq) <u>Fecha de calibración:</u> 01/08/2010 <u>Número de serie:</u>1455-077</p>	Ok	Bodega decaimiento externa de MN	Sí	No

Fuente: Dr. Marlon Vargas Rubí, RPR, Servicio de Medicina Nuclear, Hospital San Juan de Dios.

Cuadro # 2. Estado actualizado de las fuentes que se utiliza en el servicio de medicina nuclear, Hospital Clínica Bíblica. Última fecha de actualización: 03 de noviembre de 2015.				
Fuente	Certificado	Ubicación	Reportada a RPR	En uso
<p>Fuente # 1 <u>Descripción:</u> Fuente patrón para controles de calidad de los calibradores de dosis. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Cs-137 <u>Actividad:</u> 179 uci. 6652 KBq. <u>Fecha de calibración:</u> 1/01/2013 <u>Número de serie:</u> 1639-3-14 <u>Desintegración:</u> Decae a un isómero nuclear estable de bario-137.</p>	Ok	Mueble de calibrador de dosis radiofarmacia MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 2 <u>Descripción:</u> Fuente patrón para controles de calidad de los calibradores de dosis. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Co-57 <u>Actividad:</u> 5,969 mCi. 220,9 Mbq. <u>Fecha de calibración:</u> 01/12/2012 <u>Número de serie:</u> 1510-96-24 <u>Desintegración:</u> Decae por captura de electrones a hierro 157.</p>	Ok	Mueble de calibrador de dosis radiofarmacia MN	No	Sí
<p>Fuente # 3 <u>Descripción:</u> Fuente patrón para controles de calidad de los calibradores de dosis. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Ba-133 <u>Actividad:</u> 241,5 µCi. 8936 KBq. <u>Fecha de calibración:</u> 01/01/2013 <u>Número de serie:</u> 1510-97-13 <u>Desintegración:</u> Decae por captura de electrones a Cs-133.</p>	Ok	Mueble de calibrador de dosis radiofarmacia MN	Sí	Sí

<p>Fuente # 4 <u>Descripción:</u> Fuente patrón para control de calidad de la sonda de captación. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Cs-137. <u>Actividad:</u> 0,5 µCi. 18,5 KBq. <u>Fecha de calibración:</u> 01/07/2012 <u>Número de serie:</u> 1496-91-51 <u>Desintegración:</u> Decae por emisión beta a un isómero nuclear metaestable de bario-137</p>	Ok	Bodega decaimiento interna de MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 5 <u>Descripción:</u> Fuente patrón para control de calidad de la sonda de captación. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Eu-152 <u>Actividad:</u> 0,5 µCi. 18,5 KBq <u>Fecha de calibración:</u> 01/07/2012 <u>Número de serie:</u> 1510-17-9 <u>Desintegración:</u> Decae por captura de electrones y emisión de positrones a Samario 152.</p>	Ok	Bodega decaimiento interna de MN	Sí	Sí
<p>Fuente # 6 <u>Descripción:</u> Fuente patrón para control de calidad de las sonda intraoperatoria. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Eu-152 <u>Actividad:</u> 9,686 µCi. 740 MBq <u>Fecha de calibración:</u> 15/08/2012 <u>Número de serie:</u> 1613-28-1 <u>Desintegración:</u> Decae por captura de electrones y emisión de positrones a Samario 152.</p>	Ok	Compartimento dentro de la maleta de transportador de la sonda.	Sí	Sí

<p>Fuente # 7 <u>Descripción:</u> Fuente plana para control de calidad de la gammacámara. <u>Fabricante:</u> Eckert & Ziegler <u>Radioisótopo:</u> Co-57 <u>Actividad:</u> 20 mCi. 740 MBq. <u>Fecha de calibración:</u> 01/09/2012 <u>Número de serie:</u> 1627-002. <u>Desintegración:</u> Decae por captura de electrones a hierro-157.</p>	Ok	Bodega decaimiento interna de MN	Sí	No
--	----	----------------------------------	----	----

Fuente: Creación propia.

4.3. Procedimientos actuales de manejo, control de calidad y disposición final de fuentes selladas.

4.3.1. Procedimientos de manejo

En la actualidad el manejo de las fuentes selladas está a cargo de cualquiera de los imagenólogos y físicos médicos que laboran en los servicios de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica, inclusive aquellas usadas para el control del activímetro.

Las fuentes radioactivas para control de la sonda de captación en el Hospital San Juan de Dios se ubican en el llamado “Fortín”, el cual no es más que un carrito de madera con bloques de plomo ubicado a vista de todos los trabajadores, personal del hospital y pacientes, se localiza en medio de uno de los pasillos de acceso, alberga las fuentes de Cs-137 y Eu-152, sin llave y sin vigilancia constante. Acá también se encuentra una fuente de bario 133; esto se puede apreciar en las figuras # 1, # 2 y # 3. Dichas fotografías fueron tomadas durante el trabajo de campo en el servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios.

Fuente: Creación propia.



Figura # 1. Vista superior del llamado “Fortín” del servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios, en donde se puede apreciar, al igual que en la figura # 2, que el contenido de los recipientes plomados no se encuentra bajo llave, lo que puede ocasionar extravío o pérdida de las fuentes.



Figura # 2. Vista superior del “Fortín” del servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios.



Figura # 3. Vista lateral del “Fortín” del servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios, colocado en medio pasillo, sin llave ni protección alguna.

Algunas de las fuentes selladas están quebradas, sin notificación ni bitácora que demuestre su condición, no presentan etiquetas, o estas están diseñadas manualmente, sin información que verifique su validez, tal como se muestra en las figuras # 4 y # 5. Según el RPR del servicio estas fuentes no están en uso, sin embargo siguen manteniéndose en el “fortín”, totalmente accesibles.



Figura # 4. Fuentes de cesio 137 y europio 152 que se encuentran en el “Fortín” del servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios.



Figura # 5. Fuente de europio 152 sin rotular. Servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios.

En el Hospital Clínica Bíblica las fuentes de Cs-137 y Eu-152 se encuentran en un estante dentro de la bodega de decaimiento interno en una bolsa sin rotulación, este estante no tiene ni llave ni llavín. No están en recipiente plomado; se evidencia lo mencionado en las figuras # 6 y # 7.

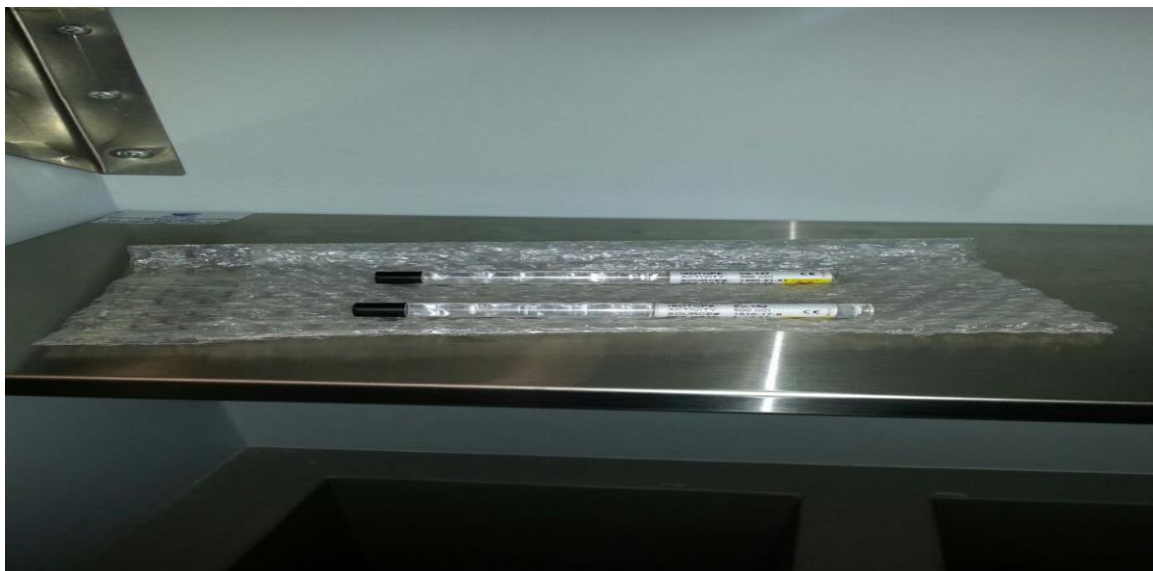


Figura # 6. Fuentes de cesio 137 y europio 152 que se encuentran en la bodega de decaimiento interno. Servicio de medicina nuclear, Hospital Clínica Bíblica.



Figura # 7. Fuentes de cesio 137 y europio 152 que se encuentran en la bodega de decaimiento interno. Servicio de medicina nuclear, Hospital Clínica Bíblica.

Las fuentes planas de cobalto 57 se ubican dentro de la bodega de decaimiento interno en cada uno de los servicios de medicina nuclear tanto del Hospital Clínica Bíblica como del Hospital San Juan de Dios. Las figuras # 8 y # 9 muestran las fuentes planas del Hospital San Juan de Dios.



Figura # 8. Fuente plana de cobalto 57. Servicio de medicina nuclear, Hospital San Juan de Dios.

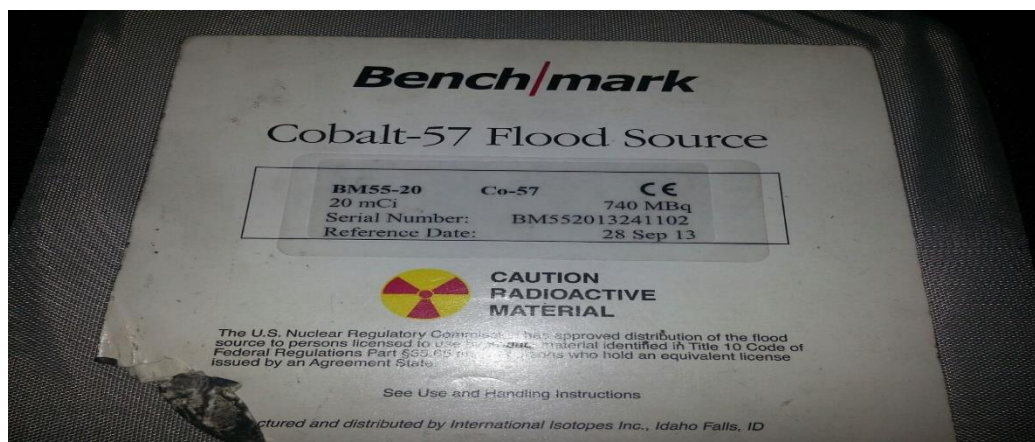


Figura # 9. Fuente plana de cobalto 57. Servicio de medicina nuclear, Hospital San Juan de Dios. Se evidencia el mal estado de su etiqueta.

Las figuras # 10 y # 11 muestran la fuente plana de cobalto 57 del servicio de medicina nuclear del Hospital Clínica Bíblica, la cual se encuentra en desuso, pero al no haber ningún ente o empresa que se encargue de su disposición final, no se sabe qué hacer con ella. Es ahí cuando nace la inquietud de un cementerio de fuentes radiactivas en el país en donde pueda enviarse este tipo de materiales de desecho sin suponer un riesgo para las personas o para el medio ambiente.



Figura # 10. Fuente plana de cobalto 57. Servicio de medicina nuclear, Hospital Clínica Bíblica.



Figura # 11. Fuente plana de cobalto 57. Servicio de medicina nuclear, Hospital Clínica Bíblica.

Las figuras # 12 y # 13 muestran las fuentes utilizadas para el activímetro (cesio 137, cobalto 57 y bario 133) en el Hospital San Juan de Dios, las cuales se encuentran resguardadas en la campana de flujo laminar, con cierta proximidad al generador de $^{99m}\text{Tc}/^{99}\text{Mo}$, lo cual puede suponer una pérdida en la confiabilidad de las pruebas de control de calidad que se realizan con dichas fuentes. Por otro lado, en el Hospital Clínica Bíblica las fuentes se mantienen dentro de un contenedor plomado lejos del pozo del generador, tal como se muestra en las figuras # 14, # 15 y # 16. Este contenedor plomado se ubica dentro de radio farmacia, bajo control estricto de la radio farmacéuta, quien posee llave del sitio.

En la figura # 16 se puede observar un cilindro de color blanco correspondiente a una fuente de Ga 67, que no debería estar colocada ahí.

El modelo de resguardo de las fuentes radiactivas selladas del servicio de medicina nuclear del Clínica Bíblica es medianamente aceptable, y realizando unas pequeñas modificaciones, puede convertirse en un lugar más seguro, tanto para los clientes que son atendidos cada día como para el personal ocupacionalmente expuesto.

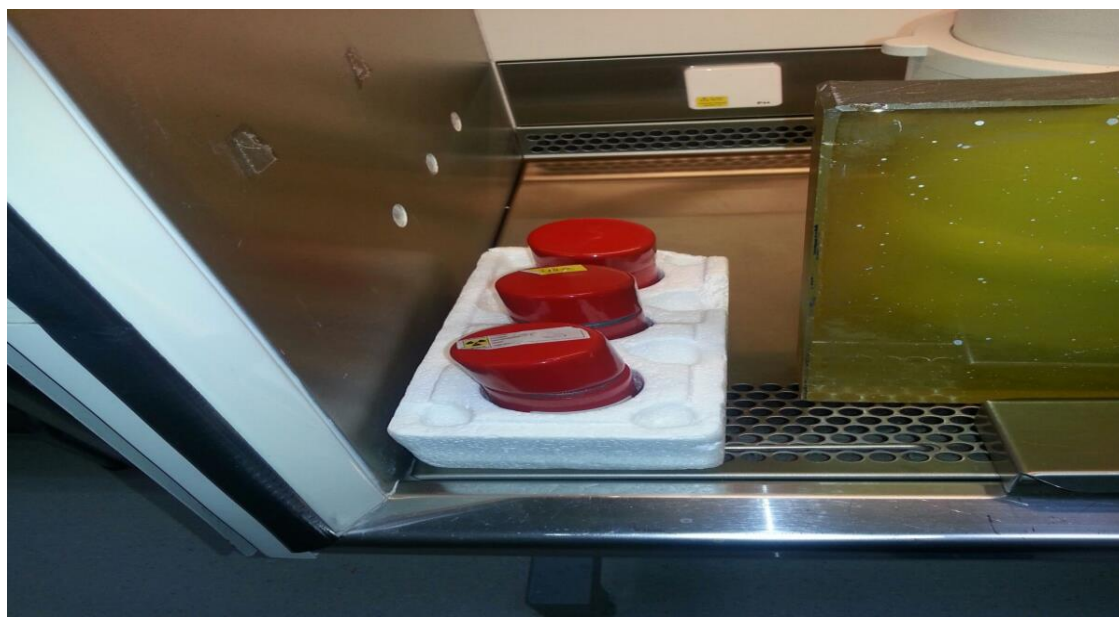


Figura # 12. Fuentes de cesio-137, cobalto-57 y bario-133 resguardadas en la campana de flujo laminar. Servicio de medicina nuclear, Hospital San Juan de Dios.

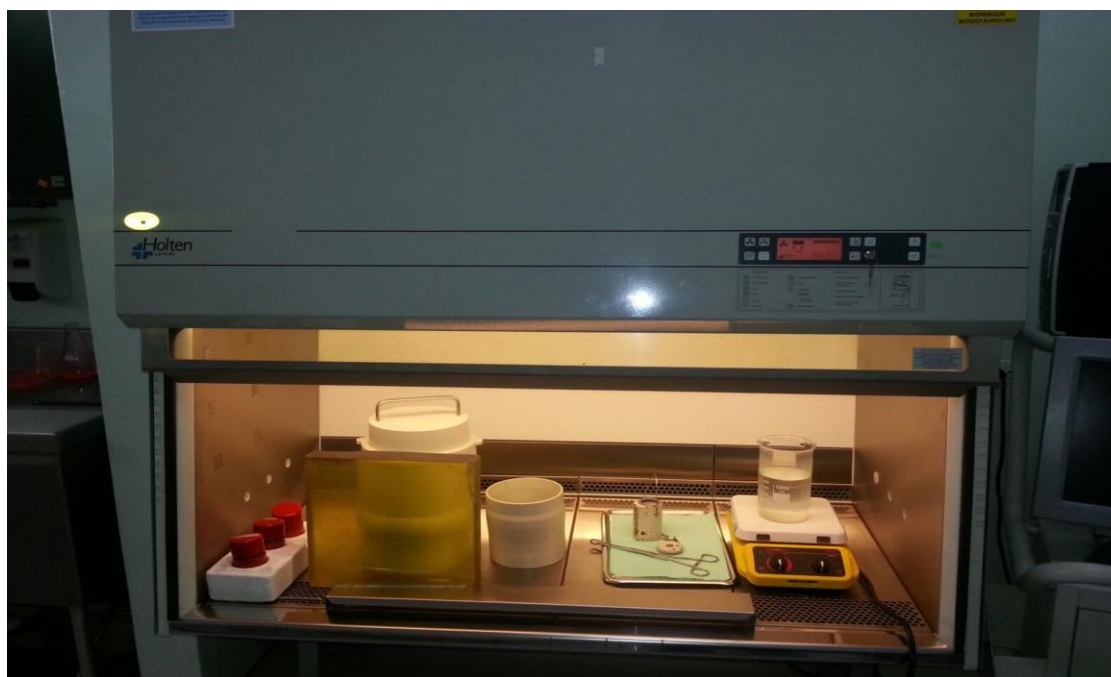


Figura # 13. Fuentes de cesio-137, cobalto-57 y bario-133 resguardadas en la campana de flujo laminar. Servicio de medicina nuclear, Hospital San Juan de Dios.



Figura # 14. Contenedor plomado donde se resguardan las fuentes de cesio-137, cobalto-57 y bario-133. Servicio de medicina nuclear, Hospital Clínica Bíblica.



Figura # 15. Contenedor plomado donde se resguardan las fuentes de cesio-137, cobalto-57 y bario-133. Servicio de medicina nuclear, Hospital Clínica Bíblica.

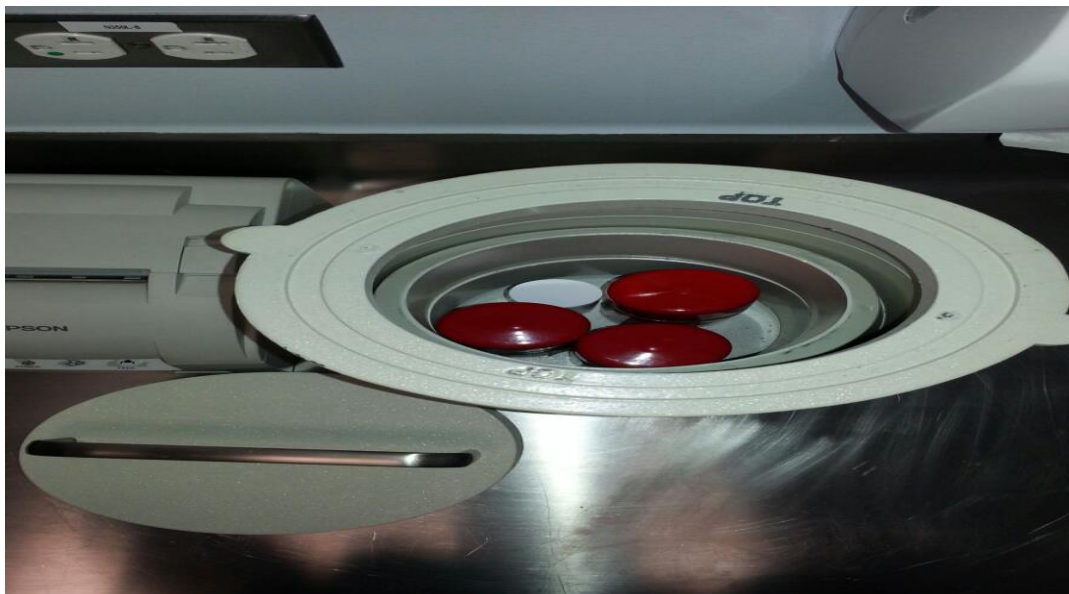


Figura # 16. Fuentes de cesio-137, cobalto-57 y bario-133 resguardadas en contenedor plomado dentro de la radiofarmacia. Servicio de medicina nuclear, Hospital Clínica Bíblica.

4.3.2. Procedimientos de control de calidad.

Los trabajadores ocupacionalmente expuestos conocen los alcances y la manera de realizar el hisopado y ejecutan la inspección visual de modo automático, pero sin un documento teórico-práctico que determine los pasos por seguir en su realización, los responsables de llevarlas a cabo o las medidas de tolerancia para determinar si el equipo cumple o no con los parámetros deseables.

El servicio de medicina nuclear del San Juan de Dios tiene un apartado dedicado al hisopado de fuentes, en contraste el manual del Hospital Clínica Bíblica no hace alusión al respecto.

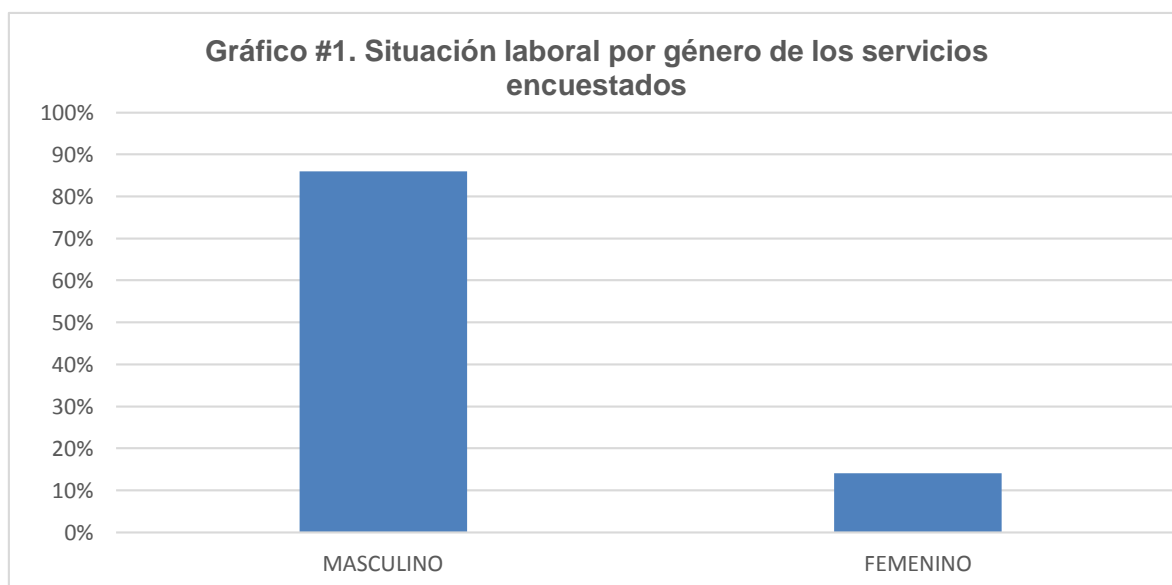
4.3.3. Procedimientos de disposición final.

En ninguno de los dos servicios se tiene protocolos de disposición final de las fuentes selladas. Tradicionalmente se han manipulado de la misma forma que las de alta tasa, colocándolas en la bodega de decaimiento externo en el caso del San Juan de Dios y en la bodega de decaimiento interno en el Hospital Clínica Bíblica. La falta de

procedimientos e incluso de un cementerio nacional de fuentes se hace evidente en el servicio de medicina nuclear del Hospital Clínica Bíblica, en donde la fuente plana de cobalto 57, ya en desuso, se encuentra literalmente varada en la bodega de decaimiento interno pues nadie sabe qué hacer con ella ni existe una compañía que se encargue de recogerla y desecharla.

4.4. Encuesta al personal ocupacionalmente expuesto.

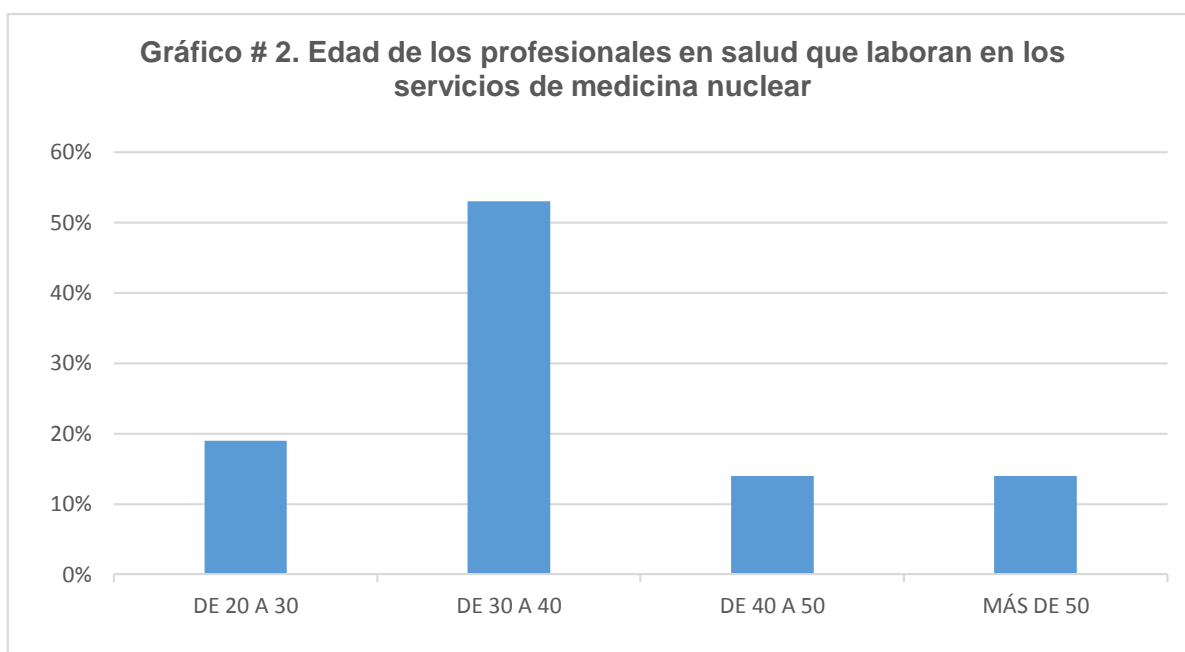
La encuesta realizada a los trabajadores ocupacionalmente expuestos de los servicios de medicina nuclear de los hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica entre los meses de octubre y noviembre de 2015 se efectuó a la totalidad del personal, doce Imagenólogos, tres radio farmacéutas, dos físicos médicos y cuatro médicos nucleares.



Fuente: Creación propia.

Como se puede ver en el gráfico #1 el 86 % de los trabajadores de los servicios son hombres, lo que refleja que no son muchas las mujeres que se dedican al trabajo con radiaciones ionizantes en medicina nuclear; razones debe haber muchas, entre las que se puede acotar la exposición a la radicación que contrasta con el deseo maternal de una gran cantidad de féminas, además al ser servicios reducidos la cantidad de personal que se necesita no es muy grande y las personas se ubicaron en ellos desde

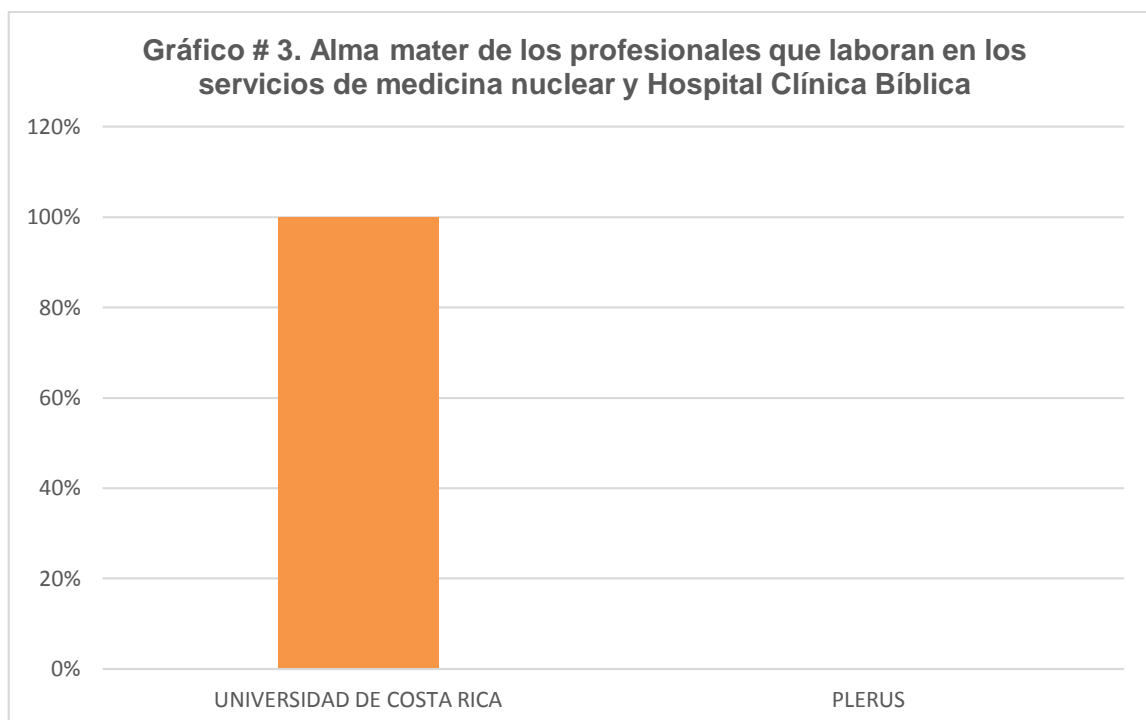
hace muchos años, cuando las mujeres tenían poco acceso a la educación universitaria, aún continúan ahí; además, al ser un servicio con pacientes precitados y no contar con guardias por emergencias, el sueldo puede ser menos atractivo para una población de mujeres con anhelos materiales mayores o con hijos que dependen económicamente de ellas. De todos los hombres encuestados, solo un 30% sobrepasa los 40 años de edad, dato que refleja la formación académica reciente de muchos de los profesionales que laboran en dichos nosocomios.



Fuente: Creación propia.

Como puede observarse en el gráfico # 2, más del 50% de los encuestados se encuentra entre los 30 y 40 años de edad, lo que refleja su condición de “nueva escuela”. Hacemos énfasis en el factor edad como concomitante de la formación educativa de los profesionales, ampliamente adaptados a las nuevas técnicas educativas que fomentan la investigación científica y la exploración documental para adquirir nuevos y variados conocimientos; dicho de otra manera, estos colegas se encuentran más familiarizados con las leyes, protocolos y normas de seguridad, control de calidad y dispensa de las fuentes radiactivas, tema central de la encuesta, por lo que sus valoraciones pueden tener una mayor veracidad. No queremos decir

con esto que las personas de mayor edad no conozcan dichas medidas o sean menos dedicados al tema, la referencia se hace en relación a la ventaja de exploración digital que poseen las nuevas generaciones en relación con las personas de mayor edad que no utilizaron los medios digitales y la web desde niños y debieron adaptarse a ellas.

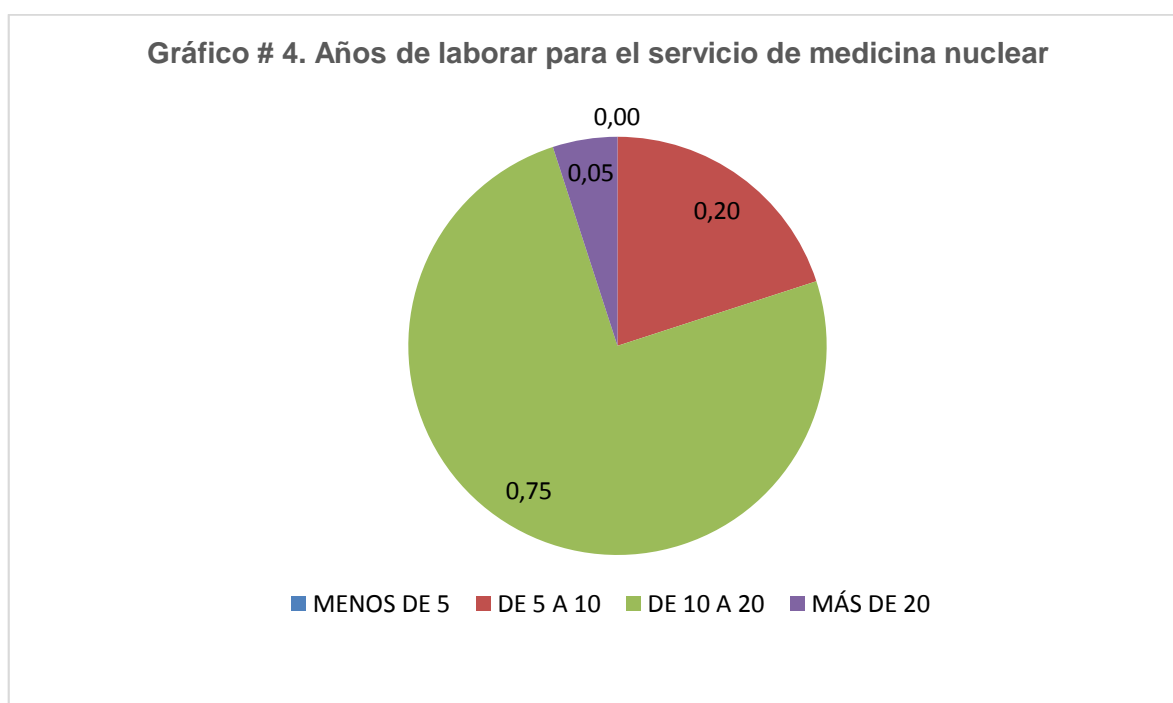


Fuente: Creación propia.

Tal como lo refleja el gráfico # 3, el 86% de los encuestados labora en medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios, pues dicho servicio es más grande y complejo que el ubicado en el Hospital Clínica Bíblica, de hecho, su inventario es más robusto y cuenta con un mayor espacio físico para la realización de sus estudios, donde sobresale una bodega de decaimiento radiactivo externo a sus instalaciones, esta bodega no la posee el Hospital Clínica Bíblica. De los profesionales que laboran para el servicio de medicina nuclear del San Juan de Dios, 76% corresponde a imagenólogos, que en su totalidad cuentan con un grado profesional de licenciatura otorgado por la Universidad de Costa Rica, lo cual es de suma importancia para la resolución de la encuesta, ya que el grado académico de la mayoría de los

imagenólogos da mayor peso a la información aportada, esto basado en la cantidad de cursos referentes a seguridad radiológica y control de calidad que deben aprobar los egresados de la Universidad de Costa Rica.

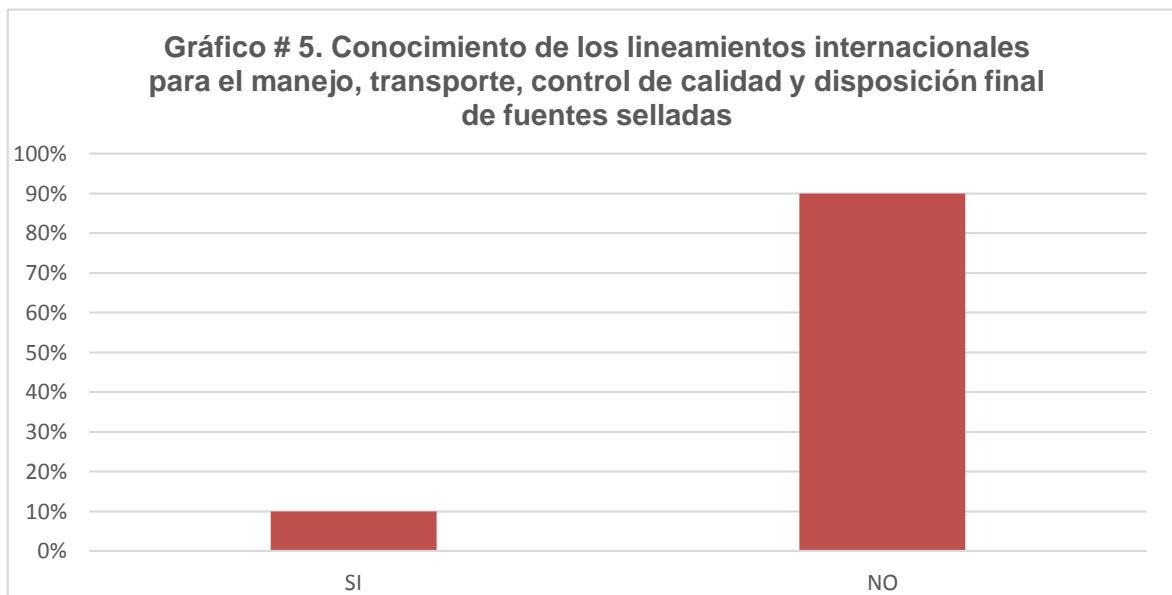
Es obvio que la preparación profesional que reciben los colegas graduados como diplomados en imágenes médicas en tan solo dos años y habiendo recibido un curso único y básico de radioprotección, dista enormemente del recurso académico formado en la universidad estatal, aunado a esto, se adolece la poca preparación en medicina nuclear que posee la mayoría de egresados de la universidad privada, que en muchos casos ni siquiera realizan cursos prácticos por los servicios de medicina nuclear.



Fuente: Creación propia.

El gráfico # 4 muestra que un 75% de los encuestados coincide en el tiempo de laborar para el servicio, periodo que se establece entre los 10 y 20 años de trabajo, un 10% tiene más de 20 años de brindar sus esfuerzos para el servicio, un 10% tiene entre 5 y 10 años de trabajo continuo y solo un 5% lleva menos de 5 años en el servicio. Este último punto le da validez y credibilidad a la encuesta, pues más del 80% de los entrevistados tiene más de 10 años de experiencia, lo que garantiza su

adecuada preparación, pericia y conocimiento de los procedimientos de control de calidad, manejo y dispensa de las fuentes selladas existentes.

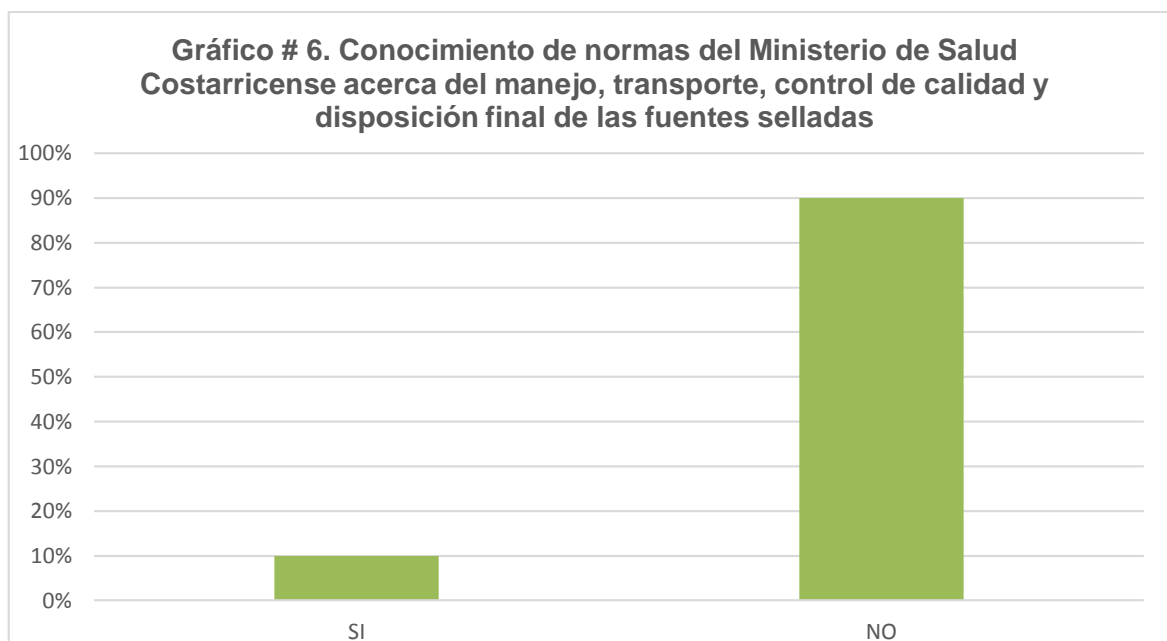


Fuente: Creación propia.

El 90% de los consultados refiere no tener conocimiento acerca de ninguna disposición en relación a las fuentes selladas redactadas por parte de ningún ente internacional, tal como lo señala el gráfico # 5. La mayoría afirma que no se ha interesado por buscar información acerca de este tema, algunos por falta de interés y otros porque lo consideran un elemento poco relevante ya sea por la baja actividad que presentan dichas fuentes o por la falta de accidentes que ha ocurrido con ellas, lo que no permite concientizar acerca de los riesgos relativos que pueden producir estas unidades emisoras de radiaciones ionizantes.

Aun así, algunos de los entrevistados refieren interés de antaño por el tema en cuestión, aducen haber intentado recolectar información acerca de las mismas inquietudes que soportan la investigación, pero la escasez de datos relevantes y la poca información que pudieron encontrar tanto a nivel general como en bases de datos especializadas dentro de portales oficiales de la OEA, mermaron su interés y curiosidad investigativa. Incluso, algunos de los encuestados que combinan su trabajo con la parte educativa, ya sea como alumno o instructor, mostraron interés en

cooperar no solo con la encuesta, sino también con el avance de la investigación, pues consideran importante que una vez terminada y presentada esta, los datos obtenidos puedan ser compartidos para un análisis profundo y de ser posible implementarlo en sus servicios en caso de considerarse apropiado e importante para las labores cotidianas.

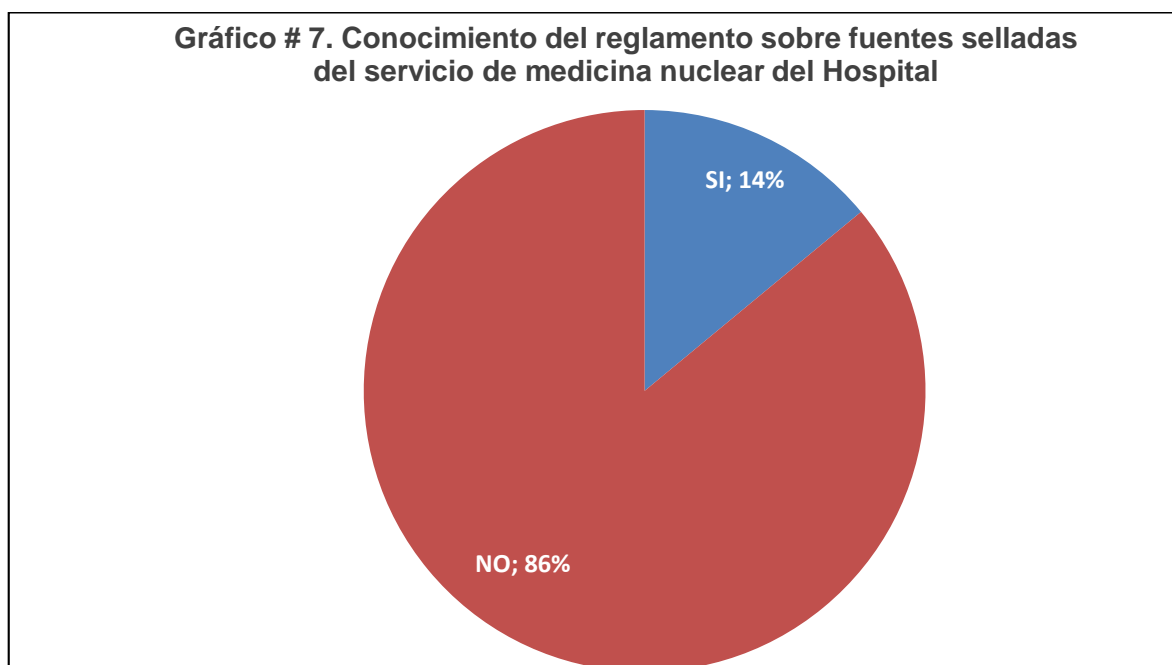


Fuente: Creación propia.

Un 90% de los entrevistados, tal como lo señala el gráfico # 6, no conoce ningún requerimiento, disposición o norma en relación a las fuentes selladas que hayan sido promulgadas por el Ministerio de Salud Costarricense, esto con total razón, pues nuestro Ente Rector, por lo menos a la fecha, no tiene ningún documento vinculante en materia de radiaciones de fuentes selladas. Es curioso observar como el 10% de los colegas que atendieron la encuesta aducen conocer normas del Ministerio de Salud, las cuales que son inexistentes; las respuestas son muy genéricas, tales como transporte, manejo, control de calidad o dispensa final, que sí deberían ser parte de un manual de procedimientos nacional de radiaciones ionizantes con carácter de obligatoriedad, pero que hasta el momento no existen, por lo cual se piensa que las personas en vez de haber leído esos parámetros en algún documento, lo referencian

como algo que supuestamente sería muy evidente y debería formar parte del citado manual.

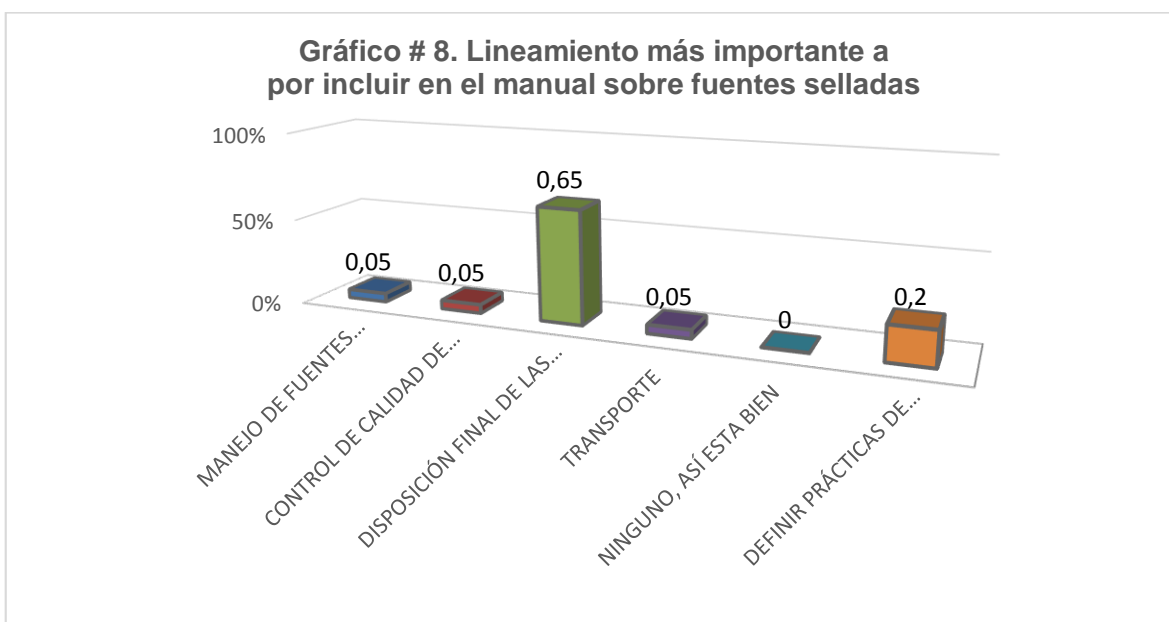
En este último párrafo se encuentra el principal problema hallado en la elaboración de la encuesta, la cual no contó con obstáculos de distancia o tiempo, pues los servicios investigados se encuentran relativamente cerca, tanto uno de otro como de los lugares de residencia de los entrevistadores, tampoco se topó con la resistencia o falta de colaboración de los encuestados, el único detalle por ser mencionado es la presión social que ejerce el puesto representado sobre los entrevistados, en otras palabras, un porcentaje de los encuestados dio respuestas inverosímiles, motivados por la supuesta experiencia y conocimiento que son esenciales para desempeñar sus labores. Las encuestas realizadas se encuentran en el anexo # 2 para que puedan corroborar estas afirmaciones. Por ejemplo, al preguntar si conocen normas o lineamientos nacionales para el control de calidad de fuentes selladas, promulgadas por el Ministerio de Salud, algunos entrevistados contestaron que sí, aunque son inexistentes según la página web del Ministerio de Salud; estos detalles de anotación fueron tratados con cuidado, determinando que las respuestas dadas eran equivocadas.



Fuente: Creación propia.

Solo un 14% de las personas que respondieron la encuesta afirma tener un conocimiento de las medidas tomadas en su servicio para el manejo, transporte, control de calidad y dispensa final de las fuentes selladas, lo cual se refleja en el gráfico # 7; pero observando el manual de procedimientos de ambos servicios se puede apreciar que las medidas mencionadas por los colegas solo existen para las fuentes utilizadas en tratamientos, por lo cual es posible que los entrevistados hayan confundido los términos.

La labor de los profesionales en los servicios de medicina nuclear de los dos centros de salud en estudio se ha definido durante muchos años como meramente productiva, sin dar mayor importancia al interés y curiosidad científica por parte del personal, lo cual evidencia el 95% de los entrevistados que consideran que la falta de un manual bien establecido de manejo, control y dispensa de fuentes selladas se debe a falta de interés.



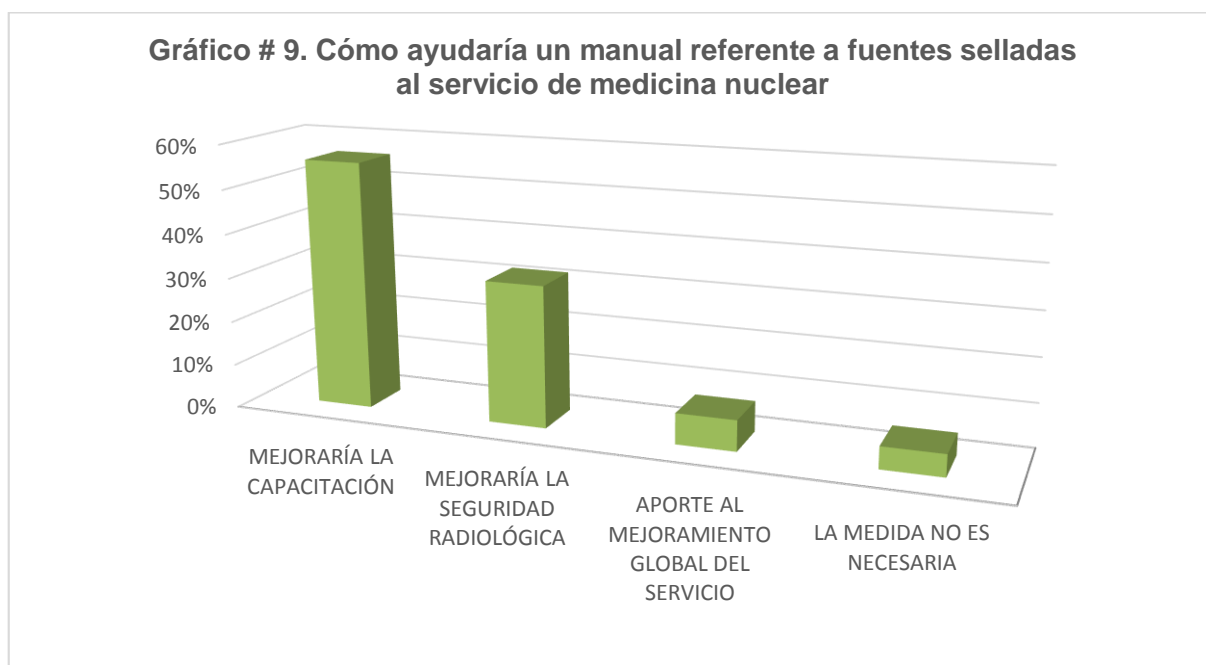
Fuente: Creación propia.

Ante la pregunta de cuál consideran que sería el principal lineamiento que debería incluir un manual de procedimientos de fuentes selladas, tal como se puede apreciar en el gráfico # 8, el 65% de los consultados coincide en la dispensa de la fuentes, un

10% dice que sería las mediadas por seguir en caso de emergencias, un 10% considera que así como está en este momento no le hace falta ninguna modificación, un 5% en el transporte, un 5% en el manejo dentro de las instituciones y solo un 5% piensa en el control de calidad como el principal lineamiento por incluir.

Este último dato es sumamente interesante, evidenciando que la mayoría de las personas no saben bien cuál es el procedimiento adecuado para la dispensa final de las fuentes y lo que hacen en la gran mayoría de los casos es dejar esa responsabilidad al responsable de protección radiológica. El tema de control de calidad no es un asunto que preocupe a la gran parte de los profesionales, de todos los consultados menos de un 5% piensa que es relevante realizar pruebas de control de calidad a estas fuentes, criterios como su baja dosis, o la supuesta ausencia de riesgos son los principales detonadores de este motivo.

Una vez analizados los datos del cuestionario y al recabar que la gran mayoría piensa que los daños causados por las fuentes selladas no son tan perjudiciales y que por ende el interés por un manual de procedimientos en donde se enmarquen dichas unidades ha sido nulo.



Fuente: Creación propia.

En el gráfico # 9 se puede visualizar que la mayoría de los consultados coincide en la necesidad de ambos servicios de contar con un manual de procedimientos de fuentes selladas, un 56% piensa que sería un gran avance en cuanto a capacitación, un 32% cree que sería muy bueno para la seguridad de las personas, un 7% considera que sería un gran aporte para todo lo relacionado al servicio, y un 5% considera innecesaria la medida. Es importante denotar que el 5% de los que no consideran importante la medida piensa que el servicio cuenta ya con dicho manual, lo cual es inverosímil; lo que se detectó es que piensan en el manual existente para fuentes de alta tasa como incluyente de las de baja actividad.

Si bien las bajas dosis de las fuentes selladas parecen no tener inherente un peligro sustancial de irradiación, los esfuerzos metódicos que se realicen con cualquier elemento emisor de radiación ionizante siempre serán de gran utilidad en la prevención de accidentes.

La gran cooperación mostrada por cada uno de los entrevistados y en su gran mayoría el interés verdadero hacia el avance científico que pudiera brindar la investigación del tema en cuestión hace pensar que la utilidad de la guía propuesta dará resultados provechosos no solo en la labor de los imagenólogos, sino también en la prevención de hechos lamentables que puedan surgir por desconocimiento o confianza extrema en la manipulación de las fuentes selladas.

La encuesta brindó los puntos más relevantes que deben ser tratados por una guía de manejo, control de calidad y disposición final de las fuentes selladas. Mediante las respuestas de los entrevistados, trabajadores que a diario utilizan las unidades mencionadas, se elabora la guía, teniendo presente los elementos más relevantes que deben incluirse y cómo se desarrollan las actividades citadas en ella.

Capítulo 5:

Propuesta de guía

5.1. Introducción.

La enorme importancia de la medicina nuclear en nuestros días contrasta sobremedera con la poca relevancia que le ha sido otorgada a las fuentes selladas de baja actividad utilizadas en el control de calidad de los equipos.

Con argumentos como falta de interés, poca actividad de las fuentes o el hecho de que hasta la fecha no ha ocurrido desastres atribuibles a este tipo de fuentes, los servicios de medicina nuclear de nuestro país, e inclusive el Ministerio de Salud, han dejado de lado la reglamentación del transporte, manejo, control de calidad y dispensa de las mencionadas fuentes.

La labor como profesionales en imagenología diagnóstica y terapéutica, con un título profesional en boga, debe ir más allá del simple compromiso en la utilización eficaz de los equipos empleados para generar las imágenes y de las fuentes que se manipulan para dicho fin, debemos estar prestos a la investigación científica y al mejoramiento de los procedimientos que diariamente se realizan, con el fin de brindar la máxima calidad a los pacientes que constantemente se acercan para ser atendidos en los servicios de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica.

La elaboración de una propuesta de manual que pueda ser implementada en los servicios de medicina nuclear de los citados nosocomios corresponde a la fuente principal de esta guía, que abarcará desde el transporte de las fuentes selladas hasta su dispensa final, una vez que haya vencido su periodo funcional, pasando por los controles de calidad y el manejo adecuado de las fuentes cuando se encuentran en uso.

La reglamentación debe ser siempre impuesta en cualquier ámbito de la vida en donde la consecución de los resultados debe ser homogénea en términos de costos y resultados, y mucho más en los servicios de medicina nuclear en donde los procesos realizados suponen un riesgo, aunque sea mínimo para la salud de los trabajadores que lo realizan, de los pacientes y del público en general.

La presente guía es un proyecto pionero no solo en cuanto a los dos servicios de medicina nuclear que abarca la investigación, sino también en nuestro país, en donde

la poca o nula información y normativa de las fuentes selladas utilizadas en control de calidad en medicina nuclear debe ser resuelta de una vez, evitando posibles complicaciones futuras.

5.2. Objetivos.

Objetivo general:

Establecer los principales lineamientos que deben seguirse en el transporte, manipulación, control de calidad y disposición final de fuentes selladas en los servicios de medicina nuclear de los hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica.

Objetivos específicos:

1. Fijar los mecanismos adecuados de transporte, recepción y almacenaje de las fuentes selladas.
2. Determinar los principales controles de calidad que deben realizarse a las fuentes selladas y su periodicidad para ser utilizadas en control de calidad de los equipos utilizados en medicina nuclear.
3. Establecer las medidas de protección radiológica adecuadas para la manipulación de las fuentes selladas.
4. Incorporar los criterios de dispensa que deben seguirse con las fuentes selladas.

5.3. Transporte y desalmacenaje.

Transporte externo:

Las empresas acreditadas por el Ministerio de Salud de Costa Rica deben cumplir con medidas muy bien establecidas para el traslado de fuentes radioactivas de alta tasa, pero nada se menciona acerca de las fuentes selladas de baja tasa de dosis, razón por la cual se sigue las mismas estipulaciones y normativas que se utilizan para las fuentes de altas tasas de dosis.

La propuesta gira en torno a separar por capítulos las fuentes de bajas tasas de dosis y las de alta tasa, con el fin de que las empresas encargadas del transporte de material radiactivo no puedan alegar desconocimiento en la materia, se puedan sentar responsabilidades y se detecten anomalías con el objetivo de ser corregidas lo más antes posible.

Las normas propuestas son:

1. Toda empresa encargada del traslado de material radiactivo de baja dosis debe estar inscrita en el Ministerio de Salud costarricense, bajo la responsabilidad de un titular de licencia.
2. El titular de la licencia de transporte debe presentar una lista bien detallada de las unidades encargadas de los traslados, esas unidades no podrán ser anteriores a ocho años de antigüedad con respecto al año de inscripción, con el fin de evitar desperfectos mecánicos que puedan afectar la entrega y propicie que los vehículos se encuentren detenidos durante mucho tiempo con el material radiactivo dentro, en un mismo lugar. Además, cada año deberá presentarse la revisión técnica vehicular y el marchamo al día de dichas unidades. De no ser así, el vehículo quedará cesado para transportar el material radiactivo.
3. Los vehículos acreditados por la empresa encargada deben contar con todos los seguros respectivos, con póliza 100% de cobertura, de alguna aseguradora acreditada por el estado costarricense.
4. La empresa acreditada deberá presentar una lista de los choferes encargados de repartir el material, su licencia al día, hoja de delincuencia con no más de tres meses de emitida y un perfil psicológico del susodicho en donde se especifique que es apto para laborar con radiaciones ionizantes.
5. Los automotores utilizados en el transporte de los materiales radiactivos deben ser de tipo pick up o microbús con separación o cajón independiente de la cabina, sellado, con candado o llave de acceso en su parte posterior. Debe estar rotulado con el símbolo de radioactividad y una declaración en letras visibles que diga: "Transporta material radiactivo".

6. Los cajones o partes traseras de los vehículos deben contar con las pruebas de calibraciones necesarias, otorgadas por alguna empresa acreditada, que certifique la no emisión de radiaciones ionizantes al ambiente.
7. Las unidades de transporte deben contar con GPS global que determine su ubicación siempre.
8. En todo momento en la unidad transportadora deben estar presentes dos personeros de la empresa encargada del transporte, y al momento de llevar el material radiactivo a los servicios, uno de ellos debe mantenerse en el automotor, impidiendo posibles robos de material.
9. El transporte debe contar con estantes bien delimitados y sujetos a la carrocería que impidan su movimiento, vuelco o caída.
10. Los materiales radiactivos deben venir contenidos en sus respectivos frascos de blindaje que impida la emisión de radiación al exterior. Dichos embalajes deben venir rotulados con su respectiva etiqueta que describa que es un material radioactivo, el tipo de paquete, el símbolo de radioactividad, el nombre del isótopo, su actividad y el índice de transporte.
11. Dichas cajas deben ir colocadas en los estantes anteriormente citados, bien sujetos para evitar accidentes.
12. La empresa encargada del transporte debe avisar con 24 y 2 horas de anticipación la llegada del material a los servicios, esto con el fin de que los responsables de protección radiológica estén pendientes y atentos a su llegada.
13. Se debe contar con una bitácora de salida y llegada a los servicios de medicina nuclear, con firma del encargado de la compañía a su salida y del responsable de protección radiológica a su llegada. Debe existir una lista con el RPR y RPR adjuntos de cada servicio así como el o los encargados del transporte de las fuentes radioactivas.
14. En caso de accidente de tránsito, deberá existir un protocolo bien delimitado en policía de tránsito para atender dichos casos. Por ser un tema muy amplio no será tratado a profundidad en la presente investigación.

15. Los automóviles encargados del traslado deben ser cargados el mismo día de la entrega, jamás debe dejarse material radiactivo en los vehículos días antes de la entrega.
16. En caso de robo de las unidades de transporte, el chofer debe dar aviso inmediato a las autoridades pertinentes. Deberá existir un protocolo de acción bien establecido para dichos eventos en la policía nacional. Por ser un tema muy amplio no será tratado a profundidad en la presente investigación.

Transporte interno y desalmacenaje

1. Se debe contar con una zona de parqueo adecuada para recibir el material radioactivo, lo más aislada posible, esto para evitar la irradiación innecesaria de público o personal hospitalario.
2. El encargado del transporte debe solicitar la cédula del responsable de protección radiológica y viceversa, y cada uno verificar que el nombre coincida con el de la boleta de entrega, en caso contrario no podrá entregar la mercancía.
3. El responsable de protección radiológica recibe la fuente en el lugar especial del parqueo dispuesto para este fin y mide la fuente con un medidor de radiación calibrado y certificado, anotando en la respectiva bitácora los datos obtenidos.
4. El responsable de protección radiológica revisa la caja, la cual debe venir sin golpes y sellada, con etiquetas bien delimitadas y correctas, con el nombre del isótopo, su actividad y la fecha de calibración.
5. Deberá existir una ruta principal dentro del hospital, ideada con anticipación que permita evitar al máximo la exposición al público y personal, y una ruta de respaldo en caso que la primera no se pueda utilizar por motivos extraordinarios.
6. El responsable de protección radiológica guiará y acompañará al encargado del transporte por la ruta interna establecida previamente e informará dónde colocar la fuente en su lugar seguro y específico para esta.

7. Una vez que el RPR ha confirmado los datos anteriores debe firmar la boleta de entrega y llevar el material radiactivo dentro del servicio.

5.4. Inventario.

Un inventario adecuado de las fuentes radioactivas permite:

- Evitar errores comunes de identificación de fuentes.
- Evitar errores de uso en el equipo inadecuado.
- Evitar uso de fuentes con vida útil caduca.
- Facilitar la ubicación de fuentes.
- Evitar el extravío de fuentes radioactivas selladas.

Basados en el inventario utilizado en el servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios proponemos el siguiente:

Descripción: Breve resumen del tipo de fuente y su uso.

Fabricante: Anotar nombre de la casa fabricante.

Radioisótopo: Nombre del isótopo con su número de masa.

Actividad: Anotar la actividad brindada por el fabricante.

Fecha de calibración: Anotar la fecha brindada por el fabricante.

Número de serie: Anotar el número brindada por el fabricante.

Desintegración: Anotar breve descripción de su desintegración.

Certificado: Comprobar su existencia.

Ubicación: Anotar una breve descripción de su ubicación.

En uso: Describir si está en funcionamiento o no.

A continuación se presenta el formato de presentación propuesto para mejorar la forma en que se lleva el inventario físico de las fuentes radioactivas selladas. El mismo debe ser llenado y modificado por el responsable de protección radiológica del servicio de medicina nuclear.

Cuadro #3. Ejemplo de un registro para llevar un inventario de fuentes.

Identificación	Radioisótopo	Fabricante	Actividad Inicial	Fecha de calibración	# de serie	# de certificado de calibración	Ubicación

Fuente: Creación propia.

5.5. Manejo y almacenaje.

El manejo de las fuentes selladas debe ser responsabilidad del encargado de protección radiológica, físicos médicos y sus sustitutos, estos deben estar al tanto de los lugares donde se guardan, sitios debidamente especificados en el inventario. Deben velar porque las fuentes siempre se ubiquen en los lugares establecidos después de utilizarlas, de no dejarlas olvidadas en ninguna otra área del servicio, de las fechas de vencimiento y su posterior seguimiento una vez enviadas a la bodega de disposición final.

Los encargados de realizar las pruebas de control de calidad usando las fuentes selladas llevarán los registros de resultados de cada prueba y esta información será almacenada según la normativa internacional.

Siempre que se trabaje con las fuentes selladas debe ser obligatorio el uso de guantes, anteojos plomados, dosímetros y gabacha.

La persona encargada del manejo de la fuente sellada debe verificar su integridad antes de utilizarla, de notar alguna irregularidad debe notificarlo al RPR; la misma acción debe ser tomada en caso de no encontrar la fuente en el lugar establecido.

Se debe manejar las fuentes con sumo cuidado, evitando que se caigan; en caso de un accidente con la fuente debe ser informado al RPR para que junto con los físicos médicos valoren su integridad física.

Una vez utilizada la fuente para su propósito, debe ser devuelta a su lugar de resguardo.

5.5.1 Maniobras en caso de ruptura de la fuente:

- El RPR debe ser el encargado de acordonar y confinar el sitio, desalojando la zona y avisando al resto de los miembros del servicio para que estén al tanto de lo sucedido y evitar circular por el área.
- El RPR debe colocarse los anteojos plomados, gabacha desechable, guantes, dosímetros, gorro y cubre zapatos.
- Realizando hisopados a la fuente se puede determinar cuál área se pudo fracturar, para esto debe seguir las indicaciones de la sección 5.7.3.
- Una vez detectada el área que presenta una fractura, debe procurar colocar la fuente de manera que no se produzca ningún derrame.
- Señale con un marcador el área fracturada, en letras mayúsculas escriba la palabra “fractura” en el área señalada.
- Coloque la fuente fracturada en al menos dos bolsas transparentes, en la bolsa más externa coloque algún tipo de leyenda que indique que la fuente no se puede usar, o coloque la palabra fuera de uso.
- Transporte la fuente a la bodega de decaimiento radioactivo externo del servicio.
- Para verificar si hubo derrames del material que contiene la fuente, realice hisopados de esa zona, siguiendo lo indicado en la sección 5.7.3
- Para corroborar que no haya otras zonas con derrame de material radiactivo a un metro de distancia del sitio de impacto, tome un detector geiger muller y haga una medición, verifique qué fondo de radiación no es superado.
- Si se supera el nivel de fondo, el RPR procederá a descontaminar el área, según lo tenga indicado en el manual de protección radiológica del servicio. Esto no se indica acá, dado que los servicios tienen aprobado por el Ministerio de Salud el protocolo para atender derrames radiactivos. Si no se supera el nivel de fondo, indicar al encargado de limpieza que procesa al limpiar el área.
- El RPR notificará al jefe de servicio, al titular de la licencia y al Ministerio de Salud lo acontecido, y procederá a esperar el tiempo necesario para tratar la fuente como un desecho convencional hospitalario.

El almacenaje de las fuentes selladas debe ser el siguiente:

Cuadro # 4. Propuesta de almacenamiento de fuentes radiactivas.	
Radioisótopo	Lugar de almacenamiento
<u>Radioisótopo:</u> ^{133}Ba Tipo de Fuente: Patrón. Para QC del: Activímetro	Dentro de contenedor plomado con llavín (tipo caja fuerte), a prueba de incendios. Dentro de radiofarmacia, que debe ser un área con acceso controlado. A un metro lineal de la cámara de ionización del activímetro. A 90 cm de altura. Lejos de aparatos eléctricos. Lejos de agua y humedad.
<u>Radioisótopo:</u> ^{137}Cs Tipo de Fuente: Patrón. Para QC del: Activímetro	Dentro de contenedor plomado con llavín (tipo caja fuerte), a prueba de incendios. Dentro de radiofarmacia, que debe ser un área con acceso controlado. A un metro lineal de la cámara de ionización del activímetro. A 90 cm de altura. Lejos de aparatos eléctricos. Lejos de agua y humedad.
<u>Radioisótopo:</u> ^{57}Co Plana Tipo de Fuente: Patrón. Para QC de: Gamma cámaras (otras fuentes planas)	Carro transportador preferiblemente con llavín Bodega de decaimiento interno del servicio, que debe ser un área con acceso controlado. Lejos de aparatos eléctricos. Lejos de agua y humedad.
<u>Radioisótopo:</u> ^{137}Cs Tipo de Fuente: Patrón. Para QC del: Sonda de captación.	Dentro de contenedor plomado con llavín (tipo caja fuerte), a prueba de incendios. Bodega de decaimiento interno del servicio, que debe ser un área con acceso controlado. A 90 cm de altura. Lejos de aparatos eléctricos. Lejos de agua y humedad.
<u>Radioisótopo:</u> Eu-152 Tipo de Fuente: Patrón. Para QC del: Sonda de captación.	Dentro de contenedor plomado con llavín (tipo caja fuerte), a prueba de incendios. Bodega de decaimiento interno del servicio, que debe ser un área con acceso controlado. A 90 cm de altura. Lejos de aparatos eléctricos. Lejos de agua y humedad.

<u>Radioisótopo:</u> ^{152}Eu Tipo de Fuente: Patrón. Para QC del: Sonda de cirugía radioguiada	Dentro de contenedor plomado con llavín (tipo caja fuerte), a prueba de incendios. Bodega de decaimiento interno del servicio, que debe ser un área con acceso controlado. A 90 cm de altura. Lejos de aparatos eléctricos. Lejos de agua y humedad.
Otras fuentes tipo Rod	Dentro de contenedor plomado con llavín (tipo caja fuerte), a prueba de incendios. Bodega de decaimiento interno del servicio, que debe ser un área con acceso controlado. A 90 cm de altura. Lejos de aparatos eléctricos. Lejos de agua y humedad.
Fuentes vencidas en desuso.	Bodega decaimiento externa de MN

Fuente: Creación propia.

5.6. Uso de fuentes.

Como lo hemos recalado en varias oportunidades anteriormente, las fuentes radioactivas de baja tasa de dosis que se utilizan en los servicios de medicina nuclear de los hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica son de vital importancia para el correcto desempeño de los equipos detectores de radiación, su uso diario permite realizar los controles de calidad, indispensables para que los imagenólogos puedan realizar los estudios diagnósticos a los pacientes, y los radiofarmaceutas, las mediciones a las dosis con los equipos detectores calibrados y funcionando adecuadamente.

A continuación describiremos tomando como base el manual de procedimientos generales del Hospital Clínica Bíblica y además tomando como referencia el Quality Assurance for SPECT Systems de la AIEA, el uso más adecuado para estas fuentes radioactivas en los controles de calidad a los equipos.

Información del Hospital Clínica Bíblica que fue suministrada por la RPR del servicio.

5.6.1. Control de calidad a los equipos de medicina nuclear

Los controles de calidad a los equipos detectores de radiación permiten disponer de un seguimiento documentado de los parámetros de funcionamiento y desempeño de cada uno de los equipos, proporciona veracidad de los datos, excelencia de las

imágenes nucleares obtenidas y mejoría de la seguridad radiológica para los pacientes y el personal.

Al final se debe llenar el registro correspondiente para cada equipo y así poder mantener un registro histórico.

Es necesario que se ejecuten siempre de acuerdo con protocolos bien definidos. Deben especificarse los límites aceptables para los resultados, así como las acciones que se deben seguir en el caso de que estos límites se excedan.

La realización de los procedimientos vinculados al control de calidad asegura la detección temprana de algún fallo y evita el deterioro en la calidad de la imagen, lo que podría generar una interpretación incorrecta de las imágenes adquiridas.

5.6.2. Pruebas de control de calidad de la gammacámara

El desempeño de una cámara de centelleo o gammacámara debe ser evaluado diariamente para asegurar la adquisición de imágenes diagnósticas confiables.

Existen múltiples controles de calidad para la gammacámara pero nos enfocaremos en dos, en los cuales se utiliza la fuente plana de ^{57}Co .

Prueba de uniformidad de llenado de campo del sistema. (Uniformidad extrínseca). (Quality Assurance for SPECT Systems de la AIEA).

Propósito de la prueba. Para probar la respuesta de llenado de campo del sistema de una cámara de centelleo, para todos los colimadores de agujeros múltiples utilizados.

Materiales

- Fantoma de llenado contiene 200-400 MBq (5-10 mCi) de $^{99\text{mTc}}$ en solución o
- ^{57}Co fuente de inundación de actividad similar.

Procedimiento

1. Monte el colimador que será probado en la cabeza del detector. Gire la cabeza verticalmente hacia arriba.

2. Colocar el fantoma de llenado o fuente de inundación en una distancia de unos 10 cm encima de la cara colimador.
3. Centre la ventana PHA por defecto del fabricante correspondiente en el foto pico.
4. Adquirir una imagen en el dispositivo de visualización a un nivel preestablecido de 30 000 cuentas y un tamaño de matriz de 512 x 512. Si hay un circuito de corrección de uniformidad de campo disponible, debe estar apagado, a menos que la corrección datos se haya recogido intrínsecamente, en cuyo caso debe quedar habilitado.
5. Retire el fantoma de llenado o fuente de inundación.
6. Repita los pasos (1) - (4) para todos los colimadores de agujeros múltiples utilizados.

Análisis de los datos

Inspeccione visualmente las imágenes, haciendo notar cualquier aumento de variaciones en el brillo o la densidad.

Pueden aparecer defectos del colimador como objetos lineales que cubren áreas grandes o pequeñas de la imagen.

Interpretación de los resultados: Una cámara de centelleo debe mantener su uniformidad del campo de inundación para todos los colimadores de agujeros múltiples utilizados. Si se observan variaciones significativas en la uniformidad no aparentes en la imagen de campo de llenado intrínseca, se debe obtener un colimador de reemplazo del representante del fabricante tan pronto como sea posible.

Conclusión

Registrar si los resultados confirman un desempeño aceptable o no.

Si no es aceptable, indicar las medidas de seguimiento adoptadas.

Prueba del sistema de resolución espacial y linealidad espacial. (*Quality Assurance for SPECT Systems* de la AIEA).

Propósito de prueba: Para probar la resolución espacial del sistema de una cámara de centelleo en términos de la FWHM de su franja de función. Esta prueba debe realizarse para cada agujero paralelo, del colimador de baja energía.

Método 1: Método de imagen visual

El método dado aquí es un suplemento al método digital.

Se utiliza para proporcionar imágenes de referencia para el control de calidad futura usando un fantoma de barras con cuadrantes.

El método también comprueba la resolución espacial del sistema en todo el campo de vista. Por lo tanto, se deben realizar ambos métodos.

Materiales

- Fantoma de llenado, contiene alrededor de 200-400 MBq (5-10 mCi) de ^{99m}Tc ;
- ^{57}Co fuente de inundación de actividad similar;
- fantoma de barras con anchos de barras y separaciones de barras de alrededor de 4, 6, 8 y 10 mm.

Procedimiento

1. Monte el colimador que será probado en la cabeza del detector. Gire la cabeza verticalmente hacia arriba.
2. Coloque el fantoma de barras en la cara del colimador. Alinee cuidadosamente las barras con los ejes X , Y de la cara del detector.
3. Coloque el fantoma de llenado o la fuente plana de inundación en el fantoma de barras.
4. Centre la ventana PHA en el foto pico dado por defecto del fabricante.
5. Adquirir una imagen en el dispositivo de visualización a un nivel prefijado de 6

- $\times 10^6$ cuentas. Utilice el tamaño máximo de la matriz disponible.
6. Gire el fantoma de barras 90° y repita el paso (5). Repita este proceso dos veces más, y luego invertir el fantoma y adquirir un conjunto similar de cuatro imágenes de manera que se obtengan imágenes de las barras más pequeñas en cada cuadrante en cada dirección. Esto requerirá 8 imágenes.
 7. Repetir los pasos (2) - (6), pero con el fantoma de barras a una distancia de 10 cm desde la cara del colimador. El fantoma se puede apoyar en vasos de plástico u otro material que no dé dispersión.
 8. Repita los pasos (2) - (6), pero con el fantoma de barras a una distancia de 10 cm desde la cara del colimador y con un medio de dispersión equivalente de tejido entre el fantoma y el colimador.
 9. Repita los pasos (1) - (8) para todos los agujeros paralelos disponibles, de colimadores de baja energía.
 10. Retire el fantoma de llenado o la fuente de inundación plana de cobalto y el fantoma de barras.

Análisis de los datos

1. Determinar las anchuras de las barras más pequeñas que la cámara de centelleo puede resolver en las direcciones X, Y con el fantoma en la cara del colimador. Esto se puede hacer mediante inspección visual de las imágenes.
2. Estimar la resolución espacial del sistema en las direcciones X, Y en cuanto a la FWHM, utilizando la relación de la ecuación. (4): $FWHM = 1.75B$ (4) donde B es la anchura de las barras más pequeñas que la cámara puede resolver. Repita este procedimiento para cada una de las condiciones de formación de imágenes.
3. Promedie los valores en las direcciones X e Y.
4. Tenga en cuenta también si las líneas son rectas, lo que indica una buena linealidad espacial.

Observaciones: Este experimento se destina como una prueba de aceptación para los colimadores. El fantoma de barras debe coincidir con la resolución espacial de la cámara de centelleo, de modo que no se resuelve al menos un conjunto de barras. Tal fantoma se puede hacer a nivel local de láminas de plomo al menos 3 mm de grosor. Un medio de dispersión equivalente de tejido puede ser hecho de capas de plástico; una caja de plástico o de madera llena de arroz crudo también se puede utilizar.

Interpretación de los resultados. Los valores estimados de FWHM para cada colimador, como media de las direcciones X e Y, a una distancia de 10 cm desde la cara del colimador en el aire y a una distancia de 10 cm en un medio de dispersión deben ser comparados con los peores valores dados por el fabricante. Si las líneas son rectas en la superficie del colimador pero se ondulan a 10 cm, esto indica que los septos en el colimador no son paralelos, lo que provocará una pérdida de resolución y el contraste en imágenes clínicas.

Límites de aceptación Si se obtiene un valor para el FWHM que es del 20% o más por encima del peor valor dado por el fabricante para el colimador de que se trate, debe reemplazarse el colimador. Iniciar la acción, tan pronto como sea posible, a través del representante del fabricante, con miras a su sustitución. Si la cámara de centelleo tiene una corrección de linealidad y las líneas aparecen onduladas, el representante del fabricante debe ser contactado para readquirir el mapa de corrección de linealidad. Si no hay corrección de linealidad disponibles, las líneas pueden ser ligeramente onduladas y no es necesario tomar medidas.

Conclusión

Registrar si los resultados confirman un desempeño aceptable. Si no, indicar las medidas de seguimiento adoptadas.

5.6.3 Pruebas de control de calidad para la sonda de captación.

Fuente: Manual de usuario de la sonda de captación, servicio de medicina nuclear, Hospital San Juan de Dios.

Los contadores de pozo y las sondas de conteo in vivo son detectores de centelleo. Estos equipos tienen un detector de centelleo que se basa en la conversión de la energía de los rayos gamma en luz para detectar el rayo gamma.

Autocalibración:

Antes de iniciar las pruebas de autocalibración el equipo solicita hacer una medición de la radiación de fondo, con el fin de verificar si existe una fuente emisora de radiación que esté alterando dicha medición y que pueda interferir con los cálculos por realizar.

Para este paso es necesario retirar toda fuente radioactiva cercana al área de conteo, y se procede a hacer un conteo de 2 minutos.

Las pruebas de autocalibración se realizan con fuentes certificadas de Cs^{137} y Eu^{152} .

Procedimiento:

- a) Encender el equipo y posteriormente la computadora.
- b) Se debe esperar 30 minutos para que el equipo se estabilice antes de iniciar las pruebas.
- c) Es importante retirar cualquier fuente cercana del área de conteo para obtener la medida del *Background* o ambiente.
- d) Se inicia la prueba de autocalibración.
- e) Dar clic en autocalibración o presionar teclas Alt + A. Aparecerá la ventana principal de control de calidad, al iniciar el procedimiento aparece el espectro en la mitad superior de la pantalla y además muestra el tiempo de adquisición en la esquina superior derecha.
- f) Comprobar que se esté utilizando el detector deseado, ya sea sonda o pozo.
- g) Hacer clic en *Start Procedure*. Se iniciara la autocalibración. Aparece ventana solicitando la colocación de la fuente de Cs^{137} .

- h) Colocar sonda de detección en posición vertical en dirección al techo, la fuente se coloca en el centro de la superficie del cristal. Hay que tener presente la importancia de colocar siempre la fuente en el mismo lugar para su reproducibilidad.
- i) Dar *OK* para continuar con la autocalibración, se puede abortar el proceso dando clic en 'cancelar'. El equipo determina el tiempo de adquisición necesario para la prueba. Una vez que inicia el conteo la pantalla muestra el espectro del isótopo en vivo.
- j) Finalizada la adquisición el equipo muestra una pantalla que indica los datos obtenidos.
El FWHM: Debe ser ≤ 8 para sonda y ≤ 8.5 para pozo.
- k) El equipo inmediatamente abre una ventana donde propone la recomendación de realizar la prueba de corrección de linealidad utilizando la fuente de Eu^{152} .
- l) Presionar *Yes* o tecla *Y* para continuar con la autocalibración o se puede abortar si se desea.
- m) Al aceptar la prueba se debe colocar la fuente de Eu^{152} en la misma posición que fue colocada la fuente de Cs^{137} , y dar clic en *OK*.
- n) Al finalizar el conteo con la fuente de Eu^{152} , la calibración termina. Los resultados son mostrados en la mitad inferior de la pantalla. Todos los datos son guardados automáticamente en el sistema.
- o) Si la calibración no es exitosa se debe dar clic en *Manual Calibration* o presionar las teclas *Alt + M*. Si la corrección de linealidad es satisfactoria el equipo pide continuar con el test de constancia, utilizando la fuente de Cs^{137} . Para ejecutar la prueba se debe dar *Yes* o presionar tecla *Y*.
- p) Colocar fuente de Cs^{137} en la posición predeterminada.
- q) Dar *OK* para iniciar el test de constancia. Aparece en pantalla el espectro y el progreso del conteo.
- r) Se puede abortar el conteo dando clic en *Abort* o presionando las teclas *Alt + A*, para reiniciar el proceso dar clic en *Start Procedure* o teclas *Alt + S*.

- s) Al finalizar la prueba en la mitad inferior de la pantalla aparecen los datos obtenidos.

El rango de desviación no debe estar por encima del 5%, si se sobrepasa aparece en rojo.

Test de Chi - cuadrado.

La habilidad del instrumento para registrar y presentar en forma confiable y reproducible los eventos detectados puede ser evaluada realizando ajustes estadísticos estándar de cuentas obtenidas por medidas repetidas de una muestra radioactiva.

Se utilizara el modelo estadístico Chi Cuadrado. Esta fórmula estadística debe ser aplicada sobre un mínimo de 10 medidas repetidas acumulando un número de cuentas estadísticamente válido (mayor de 10.000).

La prueba de Chi Cuadrado controla que la variación entre medidas repetidas con la misma fuente se encuentre dentro de lo esperado según la variación estadística del decaimiento radioactivo.

Procedimiento:

Se utiliza una fuente de Cs ¹³⁷ (solo pico energético 662 KeV).

- a) En la pantalla principal de control de calidad dar clic en *Chi Square Test* o teclas Alt + H.
- b) Aparece pantalla *Chi Square* donde se debe seleccionar el detector, ya sea la sonda o el pozo.
- c) Presionar *Set Up* o teclas Alt + T, aparece pantalla de *Quality Set Up*, en la cual solo deben usarse los valores del Chi Cuadrado.
- d) Hay valores establecidos por default, si se desea variarlos, hacer clic en el cuadro y modificarlos.
- e) Luego hacer clic en *Done* o teclas Alt + D para salvar o clic en *Cancel* si no se quiere guardar los cambios.
- f) Dar clic en *Start Procedur* o teclas Alt + S. Para iniciar de la prueba.

- g) Colocar la fuente de Cs ¹³⁷ en la posición preestablecida.
- h) Hacer clic en *OK* para iniciar el proceso o dar clic en cancelar.
- i) Una vez iniciado aparece una pantalla que muestra el espectro y el tiempo de adquisición, y el momento de repetición que se está efectuando.
- j) Se puede abortar dando clic en *Abort* o teclas *Alt + A*. Para reiniciar el proceso dar clic en *Start Procedur* o teclas *Alt + S*.
- k) Completado el test aparecen los resultados en el cuadro en la parte inferior de la pantalla. Imprimirlo y almacenarlo.

5.6.4 Pruebas de control de calidad para la sonda de detección intraoperatoria **Fuente: Manual de usuario de la sonda de detección intraoperatoria, servicio de medicina nuclear, Hospital San Juan de Dios.**

Las sondas de detección intraoperatoria son instrumentos portátiles, diseñados para registrar la radiación gamma emitida por el foco de interés. Los fotones son detectados por el detector de la sonda, que transforma cada fotón en una señal eléctrica. Las señales son amplificadas por el preamplificador situado en la sonda. Estas señales se transfieren al módulo de lectura donde se procesan, se cuentan, visualizan y registran para su posterior revisión. Una alarma audible, proporcional a la actividad detectada, permite al cirujano localizar el área de actividad máxima por "sonido" sin necesidad de monitoreo visual de la pantalla.

Prueba de sensibilidad

El procedimiento usual para determinar la sensibilidad conlleva dos pasos, el primero es establecer los valores de sensibilidad de referencia y el segundo, obtener valores de sensibilidad periódicamente (semanal o quincenal según el uso) que se van a comparar con los de referencia. Usualmente los fabricantes recomiendan que los valores de sensibilidad se encuentren en un rango de $\pm 10\%$ con respecto a los valores de referencia.

Las mediciones deben ser hechas a una distancia entre la fuente (europio 152) y la sonda de **3 cm** simulando situaciones clínicas, es decir, las mediciones deberían ser hechas usando los colimadores.

Procedimiento para establecer los valores de sensibilidad de referencia.

- a) Conecte la consola a la corriente eléctrica.
- b) La tasa de conteo no debe exceder de 10000 Bq con el fin de evitar una saturación del sistema.
- c) Seleccione el isótopo.
- d) Seleccione el tiempo de conteo: 50 seg.
- e) Presione el botón *Start* para iniciar la medición.
- f) Conecte la sonda de baja energía de forma adecuada a la consola y enciéndala.
- g) Realice **10** mediciones de fondo de **10** segundos cada una, promédielas y divida el valor entre **10** segundos para obtener el fondo promedio por segundo (cps_{bg}) y verifique con este valor que la radiación de fondo no es muy alta ($\sim 0,1$ cps).
- h) Coloque la fuente (europio 152) a una distancia de **3 cm** del detector de la sonda de forma que sea reproducible en un futuro.
- i) Realice **10** mediciones de **50** segundos, promédielas y divida ese valor entre **50** segundos de forma que obtenga el valor promedio cuentas por segundo (cps_p).
- j) Reste a las cuentas por segundo promedio el valor promedio de las cuentas por segundo de fondo como sigue: $cps = cps_p - cps_{bg}$.
- k) Obtenga el valor actual de la actividad de la fuente utilizando la ecuación **1**.
- l) Finalmente obtenga el valor de sensibilidad utilizando la ecuación **2**.
- m) Apague la consola y desconecte la sonda.
- n) Realice el mismo procedimiento con la sonda de alta energía.
- o) Lea el valor mostrado y calcule el número de cuentas por segundo y por MBq.
- p) Eliminar la fuente de radiación y realizar una medición de fondo en las mismas condiciones experimentales.

$$A = A_0 \times \exp\left(-0,693 \times \frac{T}{T_{1/2}}\right) \quad (1)$$

$$S = \frac{cps}{A_0 \times \exp\left(-0,693 \times \frac{T}{T_{1/2}}\right)} \quad (2)$$

A_0 es la actividad inicial de la fuente en la fecha de calibración.

T es el tiempo transcurrido a la fecha desde la fecha de calibración de la fuente.

$T_{1/2}$ es la vida media del radioisótopo que se está midiendo.

Debido a que la exponencial debe evaluar un número adimensional, las unidades de T y de $T_{1/2}$ deben ser las mismas, típicamente días u horas.

Procedimiento para obtener los valores periódicos de sensibilidad:

- a) Realice todos los pasos anteriores.
- b) Obtenga el porcentaje de error para cada una de las sondas con respecto a los valores de referencia de cada una de la siguiente forma:

$$\%error = \frac{|cps_{ref} - cps|}{cps_{ref}} \times 100$$

Donde:

cps_{ref} son los valores de referencia obtenidos en el apartado anterior.

cps son los valores obtenidos periódicamente.

Note el uso del valor absoluto en la fórmula.

Los porcentajes de error obtenidos deben ser menores al **10 %**.

5.6.5. Pruebas de control de calidad para la verificación del activímetro.

Se cuenta con tres fuentes patrón para realizar los controles de calidad

Cs-137 Ba -133 Co -57

Exactitud

1. Utilizar tres fuentes radioactivas selladas y certificadas de larga vida media:

^{137}Cs , ^{133}Ba y ^{57}Co .

2. Medir cada una de las fuentes con su respectivo factor de calibración y anotar los valores.
3. Sacar la decadencia de cada una de las fuentes mediante la fórmula:

$$A_c = A_o \times e^{-0,693T/T_{1/2}}$$

A_c = actividad actual

A_o = actividad inicial

T = tiempo transcurrido

$T_{1/2}$ = vida media del radionucleido

e = logaritmo natural

4. Comparar los valores obtenidos del calibrador de dosis con los obtenidos mediante la fórmula.
5. Se hará todos los días.

Persistencia

1. Utilizar una fuente de ^{137}Cs sellada y certificada.
2. Medir esa fuente en el calibrador de dosis, colocar su respectivo factor de calibración y anotar en bitácora.
3. Medir esa misma fuente con el factor de calibración de todos los isótopos usados generalmente en el departamante y anotarlos en la bitácora.
4. Se hará todos los días.

5.7. Controles de calidad a las fuentes.

Las fuentes selladas utilizadas en los servicios de medicina nuclear de los hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica son utilizadas en su totalidad para realizar controles de calidad a los equipos que se utilizan diariamente en el desempeño de las labores de los profesionales que se desempeñan en esta rama de la medicina.

Estas fuentes permiten controlar algunos parámetros de funcionamiento de los equipos detectores de radiación como lo son la gammacámara, las sondas de captación e intraoperatoria y el calibrador de dosis o activímetro. A continuación presentamos los puntos más importantes para ser tomados en la presente guía y en la labor diaria de los profesionales en imagenología y estas fuentes.

5.7.1 Certificados de fábrica.

Al ser importadas, un punto indispensable consiste en que estas fuentes cuenten con su respectivo certificado de calibración del fabricante. El proveedor de la fuente debe verificar que el fabricante de la fuente cuente con los respectivos permisos de los órganos reguladores del país donde se fabricó y comercializó la fuente

Basados en nuestra experiencia, hemos podido verificar que muchas veces los proveedores de las fuentes y/o equipos no conocen cómo son las fuentes selladas, ni la documentación que estas traen, es importante verificar con el proveedor el contenido de las cajas, para verificar que no se elimine ningún documento, especial atención se le debe de dar al certificado de calibración, el cual debe contar con varios requisitos, por ejemplo:

1. Número de consecutivo del certificado de la fuente
2. Nombre del fabricante de la fuente
3. Dirección del fabricante
4. Isótopo
5. Actividad
6. Número de serie de la fuente
7. Fecha de calibración
8. Área activa de la fuente
9. Materiales de los cuales están hechos todos los componentes de la fuente.
10. Impurezas y sus respectivos porcentajes
11. Firmas y fechas
12. Algunos certificados de fuentes pueden traer otra información, como por ejemplo:
 - a. Energías
 - b. Incertidumbres y sus porcentajes
 - c. Métodos de calibración
 - d. Notas con otra información.

De no venir estos certificados junto a las fuentes, estas deberán ser rechazadas de inmediato y devueltas al fabricante.

5.7.2 Inspección visual

1. Diríjase al lugar especialmente diseñado para albergar las fuentes. Si no posee un área para esto, busque una mesa plana, preferiblemente de acero inoxidable.
2. Abra la caja fuerte que contiene las fuentes.
3. Utilice guantes (preferiblemente doble par si son de látex y un par si son de nitrilo), además utilice los anteojos plomados, gabacha y los dosímetros (cuerpo entero y extremidades).
4. Sobre la mesa coloque papel absorbente.
5. Saque una a una las fuentes selladas de su respectivo blindaje.
6. Valore la integridad física de la fuente, confirme que se encuentre en buen estado, que no tenga golpes, quebraduras o raspones.
7. Realice esta inspección visual nuevamente, ahora verificando el estado de tapas o los elementos que protegen la fuente.
8. Revise que tenga etiqueta de fábrica y que se encuentre en buen estado y legible.
9. Revise la fecha de calibración, si ha caducado avise inmediatamente al responsable de protección radiológica para que se tomen las medidas necesarias.
10. La periodicidad de este control es diaria y debe ser realizado antes de utilizar las fuentes, esto para evitar contaminación a los equipos que se les realizará el control de calidad.

5.7.3 Hisopado.

La importancia de realizar el hisopado es indiscutible pues permite valorar la integridad de una fuente mediante un valor numérico obtenido mediante el conteo en una sonda de captación. Esto quiere decir que nos permite valorar si esta fuente presenta alguna fuga por un daño en ella.

Al revisar la literatura existente no encontramos información en la legislación nacional o en normativas internacionales, sin embargo, gracias a información suministrada por el responsable de protección radiológica del SMN del HSJD pudimos encontrar en el Manual de Protección Radiológica del Hospital San Juan de Dios un apartado referente al hisopado de fuentes, apartado en el cual basamos el siguiente procedimiento. Por otro lado, también tomamos como base el manual de usuario de la sonda de captación Captus 3000.

1. Diríjase al lugar especialmente diseñado para albergar las fuentes. Si no posee un área para esto, busque una mesa plana, preferiblemente de acero inoxidable.
2. Abra la caja fuerte que contiene las fuentes.
3. Utilice guantes (preferiblemente doble par si son de látex y un par si son de nitrilo), además utilice los anteojos plomados, gabacha y los dosímetros (cuerpo entero y extremidades).
4. Sobre la mesa coloque papel absorbente, saque una a una las fuentes selladas de su respectivo blindaje.
5. Humedezca un hisopo con agua y colóquelo en un tubo de ensayo.
6. Frote el hisopo sobre toda la superficie de la fuente.
7. Para la fuente plana de ^{57}Co utilizada para el control de calidad de la gammacámara frote varios hisopos y coloque cada uno en tubo de ensayo diferente e identificando cada uno. Inicialmente pase el hisopo por las partes donde se ofrece un sellado de la fuente, posteriormente, frote otro(s) hisopo(s) sobre la parte plana de la fuente (anterior y posterior) generando áreas de frotado de 10 x 10 cm.
8. Quiebre la parte de madera del hisopo por la mitad e introduzca el hisopo en el tubo de ensayo. Cuente el hisopo en el tubo de ensayo en un contador de pozo, como el provisto por una sonda de captación.
Verifique que este equipo cuente con los controles de calidad diario antes de usarlo, de lo contrario el equipo no permitirá su uso.
9. Registre los siguientes datos en una bitácora:

- Isótopo al que corresponde la fuente radiactiva
- Actividad
- Fecha de calibración
- Fecha actual
- Lote
- Cantidad de tubos de ensayo y su identificación
- Nombre de la persona que realizó la medición

10. Para medir los hisopados realizados puede utilizar el contador de pozo de la Captus 3000, de la siguiente manera:

- En la pantalla principal escoja *MCA*.
- Elija la opción *WELL*.
- En el *ROI* escoja los canales donde inicia y donde termina de contar (*STAR CHANNEL, END CHANNEL*).
- Elija la opción *COUNTING SETUP*.
- Elija la opción *REAL TIME*.
- Introduzca 60 segundos.
- presione en *DONE*.
- Coloque el tubo de ensayo en el pozo.
- Presione *start*.
- Registre las cuentas que se obtuvo en la *ROI*.

11. Para seleccionar el pico de energía utilice una ventana del 15% de acuerdo a la energía del isótopo.

5.7.4 Hisopado inicial al embalaje de las fuentes.

Es de suma importancia realizar un hisopado inicial al embalaje en el cual vienen albergadas las fuentes radioactivas de baja tasa de dosis pues esto permite mediante el conteo en una sonda de captación valorar si hay contaminación externa, punto sumamente valioso pues se podría saber inclusive si una fuente está rota o dañada sin siquiera abrir el embalaje y evitar así una mayor extensión de la contaminación. Es recomendable realizar el hisopado el mismo día que se recibe la fuente, ya que de tener contaminación se deben tomar las medidas correctivas del caso.

1. Diríjase al lugar especialmente diseñado para albergar las fuentes en su embalaje original. Si no posee un área para esto, busque una mesa plana, preferiblemente de acero inoxidable.
2. Utilice guantes (preferiblemente doble par si son de látex y un par si son de nitrilo), además utilice los anteojos plomados, gabacha y los dosímetros (cuerpo entero y extremidades).
3. Sobre la mesa coloque papel absorbente, coloque el embalaje que contiene la fuente sobre la mesa.
4. Humedezca varios hisopos con agua y colóquelos en tubos de ensayo.
5. Rotule cada cara del embalaje con un número (del 1 al 6) o con una letra (de la A a la F), asignando un número o letra a cada hisopo de manera que obtenga seis lecturas en la sonda de captación.
6. Frote un hisopo por cada cara del embalaje.
7. Quiebre la parte de madera de los hisopos por la mitad e introdúzcalos en los tubos de ensayo. Cuente los hisopos en un contador de pozo, como el provisto por una sonda de captación. Verifique que este equipo cuente con los controles de calidad diario antes de usarlo, de lo contrario el equipo no permitirá su uso.
8. Registre los siguientes datos en una bitácora:
 - Isótopo al que corresponde la fuente radiactiva.
 - Actividad
 - Fecha de calibración
 - Fecha actual
 - Lote
 - Cantidad de tubos de ensayo y su identificación
 - Nombre de la persona que realizó la medición
9. Para medir los hisopados realizados puede utilizar el contador de pozo de la Captus 3000, de la siguiente manera:
 - En la pantalla principal de escoja *MCA*.
 - Elija la opción *WELL*.
 - En el *ROI* escoja los canales donde inicia y donde termina de contar

(*STAR CHANEL, END CHANEL*).

- Elija la opción *COUNTING SETUP*.
- Elija la opción *REAL TIME*.
- Introduzca 60 segundos.
- presione en *DONE*.
- Coloque el tubo de ensayo en el pozo.
- Presione *start*.
- Registre las cuentas que se obtuvo en la *ROI*.5.8. Protección radiológica.

Rotulación y simbología.

- Toda fuente radioactiva sellada debe contar con su respectiva etiqueta pegada, en un lugar visible sin alteraciones y en perfecto estado.
- Esta etiqueta debe contar con el respectivo símbolo de radiación además del nombre del fabricante, nombre del isótopo radiactivo, actividad, fecha de fabricación y calibración.
- Estas a la hora de su llegada al servicio deben contar en sus respectivas cajas con la correcta simbología y nomenclatura.
- Los recipientes plomados que albergan estas fuentes, ya sea en radiofarmacia o en las bodegas de decaimiento, también deben tener su correcta rotulación, como mínimo deben contar con la etiqueta con el símbolo internacional de radiación.

Zonas controladas y supervisadas

Se debe delimitar las zonas controladas y supervisadas.

Incluiremos todas las posibles áreas de un servicio de medicina nuclear dando énfasis al almacenamiento de las fuentes, de manera que esta guía sirva como referencia en el almacenaje de estas fuentes de acuerdo al área establecida.

Áreas controladas

- Bodega decaimiento. (**Fuentes patrón para control de calidad de la sonda de captación, sonda de captación intraoperatoria y gammacámara**)
- Radiofarmacia (**Fuentes patrón para control de calidad del activímetro**)
- Sala de adquisiciones de estudios (Gammacámaras)
- Sala administración ¹³¹ I
- Sala de inyección de pacientes
- Cuarto para internamiento de pacientes tratados con I¹³¹

Áreas supervisadas

- Consultorios médicos, oficinas administrativas, comedor empleado
- Sala de captaciones (Sonda de captación)
- Sala de pruebas de esfuerzo
- Sala de pacientes inyectados
- Servicio sanitario para pacientes
- Pasillos internos

Directrices para evitar la pérdida o robo de las fuentes.

- Fuentes correctamente rotuladas, en sus respectivos blindajes, cajas, recipientes y zonas.
- Fuentes aseguradas con llave.
- Etiquetas de cada fuente sin daños ni alteraciones, completamente legibles y que se aprecie perfectamente el símbolo de radioactividad.
- Aplicar una rotulación extra sobre el recipiente de las fuentes que advierta sobre los efectos secundarios que puede causar a la persona que tome una fuente y se la lleve.

Usar las fuentes con sumo cuidado, de manera que sea lo más rápido posible y que nunca se queden por descuido en un lugar que no sea el dispuesto para ellas.

Procedimiento de capacitación al personal ocupacionalmente expuesto.

Actividad # 1: Interacción de la radiación ionizante con la materia

- Explicación de la radiación en general.
- Qué son radiaciones ionizantes.
- Cuáles son los mecanismos de interacción de la radiación con la materia (breve explicación).
- Descripción de las partes del átomo y cuáles de estas pueden verse involucradas en la actividad de la radiación sobre ellos.
- Descripción de los rayos X, gamma y beta y sus mecanismos de atenuación.

Actividad # 2: Explicación de cómo funciona la medicina nuclear:

- Descripción de medicina nuclear y radioisótopo.
- Cómo se produce la radiación ionizante en medicina nuclear.
- Medidas de protección para minimizar los riesgos de la radiación ionizante.
- Diferencias entre radioisótopos de alta y baja tasa.
- Qué es una fuente sellada.

Actividad # 3: Conocer las principales magnitudes y unidades usadas en protección radiológica

- Qué es la dosis absorbida y cuáles son sus elementos de medición.
- Explicación de la dosis equivalente.
- Qué debemos entender por dosis efectiva y cómo se mide.

Actividad # 4: Efectos biológicos de las radiaciones.

- Cuáles son los daños biológicos causados por las radiaciones.
- Determinar los efectos de la radiación en las células.

- Qué son los efectos determinísticos y cómo se producen.
- Qué son los efectos probabilísticos y cómo se producen.
- Determinar el concepto de dosis umbral.

Actividad # 5: Manejo y control de calidad de fuentes selladas.

- Cuáles son las fuentes selladas que se utilizan en control de calidad de los equipos en medicina nuclear.
- Cuáles son las pruebas de calidad que se realiza a los equipos en medicina nuclear.
- Cuáles son las pruebas de control de calidad que se realiza a las fuentes selladas
- Qué es hisopado, para qué y cómo se realiza, y cuál es su importancia.

Actividad # 6: Protección radiológica

- Explicación de los principios básicos de la protección radiológica.
- Qué es justificación y optimización en medicina nuclear.
- Qué es límite de dosis y por qué es importante en materia de protección radiológica.
- Cuáles son los controles radiológicos individuales que debe realizarse en condiciones normales de operación.
- Cómo se realiza el monitoreo de la radiación externa.
- Cómo se realiza los informes de las lecturas de dosis tanto individuales como de radiaciones externas y cuáles son los entes autorizados en Costa Rica para efectuar dicha labor.
- Cuáles son los fundamentos de protección radiológica existentes en nuestro país y cómo aplicarlos a las fuentes selladas.
- Cómo y por qué debe implementarse un programa de control de calidad.

- Descripción de los posibles accidentes que pueden presentarse con fuentes selladas en medicina nuclear, establecer las causas y discutir la manera de haber podido evitarlos, y determinar las normas necesarias para que no se vuelvan a presentar.
- Ejemplos de programas de seguridad radiológica y control de calidad.
- Cuáles son los elementos necesarios con que se debe contar para la protección del personal ocupacionalmente expuesto al momento de la manipulación de las fuentes selladas.
- Qué son blindajes, de qué están fabricados, a qué distancia deben ser colocados de la fuente emisora de radiación y cuál es su importancia.

Actividad #8: Aspectos legales, normativas y regulaciones nacionales e internacionales en materia de fuentes selladas.

- Cuáles son las normas básicas internacionales dictaminadas para fuentes selladas.
- Cuáles son las leyes y normativas nacionales relativas a este mismo tema.

Actividad # 9: Espacio para preguntas, conclusiones y cierre del segundo día de actividades.

Actividad # 10: Evaluación escrita de comprensión del curso.

Actividad # 11: Mesa redonda para conclusiones y sugerencias.

Actividad # 12: Cierre de la actividad

5.9. Disposición final.

Un tema muy controversial y de gran relevancia en la encuesta por el número elevado de consultados que adujeron no saber cómo realizar en forma correcta este proceso, corresponde al de la dispensa final de las fuentes selladas.

Es en este punto en que las fuentes emisoras de radiación dejan de tener utilidad. Si la basura convencional representa un enorme reto para el planeta y sus habitantes, pues no se cuenta con los centros adecuados para la acumulación constante de los residuos que a diario se produce en toneladas en cualquier parte del orbe, y que en vez de disminuir, el consumismo excesivo hace que se multipliquen por decenas, no es extraño imaginar que un desecho radiactivo, que no solo es basura, sino que aún puede generar daño a las personas encargadas de su eliminación, genere un enorme problema.

El desecho radiactivo, producto del vencimiento o caducidad según el fabricante de la fuente sellada no puede ni debe ser manipulado como un desecho convencional, sino que supone un tratamiento especial, cuidadoso y detallado que evite la contaminación radiactiva por parte del público en general.

En Costa Rica no existe una normativa clara sobre el manejo de estos desechos, lo único que existe son guías verbales de algunos encargados del Ministerio de Salud, en muchos casos haciendo énfasis en guías de organismo internacionales, por lo que en los servicios de medicina nuclear del San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica se siguen los lineamientos dados para fuentes radiactivas abiertas, pudiendo provocar malas interpretaciones

Se propone el siguiente protocolo para la dispensa efectiva y segura de las fuentes selladas:

1. El responsable de protección radiológica debe conocer con detalle la fecha en la cual la fuente ya no debe estar usándose. Cuando el profesional note que faltan 120 días para el vencimiento de la fuente, debe notificarles por escrito al titular de la licencia y al encargado de compras del servicio.
2. El encargado de compras del servicio debe coordinar la compra de la fuente con el titular de la licencia.
3. El responsable de protección radiológica debe notificar al personal del servicio la fecha a partir de la cual no debe seguir usándose la fuente. Un día antes del vencimiento de la vida útil de la fuente será retirada del servicio por parte del

responsable de protección radiológica, esto con el fin de tomar físicamente la responsabilidad sobre la fuente y se evite el extravío de la unidad.

4. El responsable de protección radiológica debe determinar la actividad de la fuente (al menos teóricamente). Debe levantar un acta con la fecha, nombre de la fuente, fecha de vencimiento, actividad al día de ingreso y a la fecha actual, fecha en la que se puede tratar como desecho convencional y el lugar al que se traslada para que quede bajo custodia mientras se alcanza el nivel de dispensa.

Un aspecto que se debe tomar en cuenta para dispensar una fuente radiactiva consiste en el semiperiodo de vida física; conociendo tal dato se puede multiplicar por un factor de 10 para tener una idea de la posible fecha de dispensa. Para tener un rango de mayor seguridad se puede multiplicar por un factor de 15.

5. La fuente radioactiva debe ser colocada en un recipiente plomado con tapa, con algún tipo de llavín y transportada a la bodega de decaimiento radiactivo. Este frasco exhibirá externamente el símbolo de radioactividad, nombre del isótopo, fecha actual y actividad a la fecha en la que puede ser desechado. Una vez en la bodega de decaimiento, la fuente en su contenedor deberá ser colocada en una sección para almacenamiento de fuentes para ser desechadas.
6. Al menos cada seis meses el responsable de protección radiológica deberá hacer un conteo físico de las fuentes selladas en bodega, si ofrece buenas barreras de seguridad y control de acceso; si la seguridad no puede ser garantizada, el servicio debe buscar un proveedor externo para que pueda contener las fuentes radiactivas.
7. Una vez que se alcanza la fecha en la cual el recipiente puede ser tratado como desecho convencional, el responsable de protección radiológica deberá retirar el recipiente que contiene la fuente de la bodega de decaimiento radiactivo, retirar las etiquetas de radioactividad tanto del recipiente como de

la fuente, y procederá a tratar la fuente como un desecho hospitalario, por lo tanto deberá cumplir la normativa nacional en este materia.

8. El responsable de protección radiológica completará la bitácora de salida del material radiactivo y al titular de la licencia y al Ministerio de Salud sobre la acción emprendida.

Capítulo 6:

Conclusiones y

recomendaciones

Conclusiones:

1. Existe un vacío bibliográfico con respecto al manejo, control de calidad, transporte y disposición final de las fuentes selladas utilizadas en las pruebas de control de calidad tanto a nivel nacional como en los servicios de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica.
2. Los servicios de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica cuentan con personal debidamente capacitado para realizar las pruebas de control de calidad a los equipos.
3. El personal ocupacionalmente expuesto de los servicios de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica no cuenta con un material teórico normativo de consulta en caso de dudas en la realización de las pruebas de control de calidad efectuadas a las fuentes selladas.
4. No existe un documento de carácter legal en el que se especifique la tolerancia de las pruebas realizadas a los equipos con fuentes selladas y autorice al encargado de realizarlas a tomar las medidas respectivas.
5. Actualmente las fuentes selladas son almacenadas en lugares inapropiados.
6. Las fuentes de baja tasa de dosis son tratadas como las de alta tasa de dosis.
7. No existe una guía/norma nacional para realizar pruebas de control de calidad a las fuentes selladas, por lo que se realizan gracias a la experiencia y buena voluntad de los respectivos encargados en los servicios.
8. No existe un cementerio nacional que acepte fuentes vencidas en desuso.
9. No existe normativa sobre cómo desechar las fuentes radiactivas selladas de baja tasa.
10. Se hace una propuesta de guía para el manejo, control de calidad y disposición final de fuentes radioactivas selladas empleadas en el control de calidad en los servicios de medicina nuclear, la cual espera llenar el vacío que existe en esta área de la protección radiológica en nuestro país.

Recomendaciones:

1. Se recomienda a los servicios de medicina nuclear nacionales implementar la guía para el manejo, control de calidad y disposición final de fuentes radioactivas selladas empleadas en el control de calidad.
2. Todas las fuentes selladas usadas en controles de calidad de equipos deben estar resguardadas en cajas fuertes antifuego (o un equivalente) y con control de acceso al recinto donde se ubican.
3. Las autoridades nacionales deben tomar en cuenta lo que corresponda de esta guía para que sea implementada como guía a nivel nacional.
4. Todos los servicios de medicina nuclear a nivel nacional deberían contar con una bodega de decaimiento interno bien rotulada y bajo llave.
5. Todos los servicios de medicina nuclear deben contar con un responsable de protección radiológica y al menos dos suplentes que se encarguen de realizar las pruebas de control de calidad con las fuentes selladas.
6. Los servicios de medicina nuclear nacionales deberían exigir que los encargados de trasladar las fuentes radiactivas selladas cuenten con todos los permisos al día del Ministerio de Salud.
7. Se insta al Ministerio de Salud Costarricense a crear un cementerio de fuentes selladas en el cual todos los departamentos de medicina nuclear del país puedan enviar sus radioisótopos de desecho.
8. Se recomienda a los departamentos de medicina nuclear en el territorio nacional instaurar un manual de consulta rápida para uso de los encargados de realizar las pruebas de control de calidad con fuentes selladas, en el que se especifique la tolerancia de cada una de las pruebas.
9. Se recomienda que los servicios de medicina nuclear al comprar las fuentes selladas para control de calidad, se cercioren que su proveedor pueda hacerse cargo de ellas una vez que deban ser desechadas.
10. Se recomienda al Ministerio de Salud Costarricense la elaboración de un plan para la mitigación de los accidentes que pueda ocurrir con fuentes selladas, en el que se especifique las pruebas que deben ser realizadas con estas

fuentes, los proveedores autorizados para su venta, los requisitos que deben tener las personas encargadas de su manipulación, los lugares en los que pueden ser resguardados y su disposición final una vez en desuso.

Bibliografía.

- AIEA. (2006). *Quality Assurance for Radioactivity Measurement in Nuclear Medicine*. Viena: AIEA.
- AIEA. (2009). *Quality Assurance for SPECT Systems*. Vienna: AIEA.
- AIEA, I. A. (1996). *Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*. Viena: Safety Sources.
- Baird, M., Bateman, T., & Berman, D. (2003). Guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging. *J Am Coll Cardiol*.
- BJORN, W. (1995). *Radiation in every day Language*. Finlandia.
- Borrás, C. (1997). *Organización, desarrollo, garantía de calidad y radioprotección en los servicios de radiología*. Bogotá: Organización Panamericana de la Salud.
- Botvinick, E. (1997). *Nuclear Medicine Self-Study Program III: Nuclear Medicine Cardiology*. Society of Nuclear Medicine.
- chandra, R. (2004). *Nuclear Medicine physics: the basics*. Baltimore: Williams and Wilkins.
- Chilton, H., & Witcofski, R. (1986). *Nuclear Pharmacy: an introduction to the clinical application of radiopharmaceuticals*. Philadelphia: Lea and Febiger.
- CNEA. (2006). *Residuos Radiactivos nada se pierde todo se transforma*. Buenos Aires, Argentina.
- Collier, B., Fogelman, I., & Rosenthal, L. (1996). *Skeletal nuclear medicine*. San Luis: Mosby.
- Colmener Román, L. (2007). *PET/CT Fundamentos*. Colombia: AMOLCA.
- Comin, M., & Soriano, A. (2012). *Medicina Nuclear en la práctica clínica*. Aula Médica.
- Consejo de Seguridad Nuclear de España. (2015). *Residuos Radiactivos*. Madrid, España.
- Dirección de Riesgos Laborales. (2009). *Procedimientos de protección radiológica de fuentes no encapsuladas utilizadas en la instalación radiactiva central de*

la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense. Madrid, España: Universidad Complutense.

- Foro de la Industria Nuclear Española. (2009). *Gestión de desechos radiactivos en España*. Madrid, España.
- Freeman, L., & Blaurock, M. (1999). Cardiovascular nuclear medicine. *Semin Nuclear Medical*.
- Gómez, C., Cabrera, A., Sopena, R., & García, M. (2002). *La tomografía por emisión de positrones en oncología*. Colombia: Servansa.
- Goris, M. (2011). *Nuclear Medicine Applications and their Mathematical Basis*. World Scientific Publishing.
- Haaga, J. (2011). *TC Y RM. Diagnóstico por imagen del cuerpo humano*. España: Elsevier.
- Harry, J., & Teo, M. (2007). *La radiación es parte de nuestra vida*. México: Investigaciones nucleares de México.
- Hendee, W. (1992). *Medical radiation physics*. San Luis: Thomas Book.
- Hutton, B., Barnden, L., & Fulton, R. (2004). *Nuclear Medicine computers: applications. In nuclear medicine in clinical diagnostics and treatment*. New York: Churchill Livingstone.
- IAEA. (2003). *Quality Control Atlas for Scintillation Camera Systems*. Austria: AIEA.
- Krag, D., Weaver, D., & Ashikaga, T. (1998). *The sentinel node in breast cancer: a multicenter validation study*. Medical Seminars.
- Lovato, P., & Otros. (1994). *Manual de Normas y procedimientos para el manejo interno de los desechos sólidos en el Hospital Carlos Andrade Marín*. Quito.
- Marti-Climent, J. (2005). Med Nuclear. *Revista Especializada en Medicina Nuclear*, 60-79.
- Mettler, F., & Guiberteau, M. (2006). *Essentials of Nuclear Medicine Imaging*. Philadelphia, Pennsylvania: Saunders Elsevier.
- Ministerio de Salud. (1995). *Reglamento sobre Radiaciones Ionizantes*. San José. Costa Rica.

- Ministerio de Salud de Chile. (2011). *Desechos Hospitalarios: Riesgos Biológicos y Recomendaciones Generales sobre su manejo*. Santiago, Chile.
- Moniuszko, A. (2011). *Nuclear Medicine Technology Study Guide*. Springer.
- Mora, P., & Varela, A. (2006). *Manejo responsable de los desechos radiactivos en la Universidad de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Revista ciencia y tecnología.
- NACIÓN, E. D. (2009). *Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.
- OIEA. (1991). *Los Isótopos de la vida cotidiana*. Viena: Organización Internacional de Energía Atómica.
- OIEA. (1997). *Normas básicas internacionales de Seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación*. 1997: Colección seguridad número 115.
- OIEA. (1998). *Clearance of Materials resulting from the use of Radionuclides in Medicine, Industry and Research*. 1998: Organismo de Energía Atómica.
- OIEA. (13 de ABRIL de 2000). *Boletín del OIEA*. Obtenido de IAEA: https://www.iaea.org/sites/default/files/42302683544_es.pdf.
- OIEA. (2009). *Diagnóstico por Medicina Nuclear*. Organismo de Energía Atómica.
- OIEA. (2009). *Gestión de desechos procedentes de la utilización de materiales radiactivos en medicina, industria, agricultura, investigación y educación*. Viena: Colección de normas de seguridad del OIEA.
- OIEA. (2011). *Marco gubernamental jurídico y regulador para la seguridad*. Viena: OIEA.
- OIEA. (2011). *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación*.
- OIEA. (2013). *Estrategia nacional para recuperar el control de fuentes huérfanas y mejorar el control de fuentes vulnerables*. Viena: OIEA.
- Organization, W. H. (2002). *A guide to detecting and reporting adverse drug recation*. Genova: WHO.
- Parmett, S., & Goldfarb, R. (2011). *Nuclear Medicine Board Review*. Georg Thieme.

- Phelps, M., & Cherry, S. (2012). *Physics in Nuclear Medicine*. Saunders.
- Powsner, R. (1998). *Essentials of nuclear medicine physics*. Malden: Blackwell Science.
- Rudín, M., & Weissleder, R. (2003). *Molecular imaging in drug discovery and development*. Nat Rev Drug Discov.
- Saremi, F., Jadavar, H., & Siegel, M. (2002). *Pharmacologic Interventions in Nuclear Radiology: Indications, Imaging protocols, and Clinical Results*. New York: RadioGraphics.
- Schwaiger, M., & Weber, W. (2002). *Funcional Imaging from anatomy to molecular imaging*. Medica Mundi.
- Siegel, J. (2004). *Guide for diagnostic nuclear medicine and radiopharmaceutical therapy*. Reston: Society of Nuclear Medicine.
- Simpkin, D. (1999). The AAPM/RSNA physics tutorial por residents: radiation interactions and internal dosimetry. *Radiographics*.
- Sood, S., Firnau, G., & Garnett, E. (1983). *Radiofluorination with xenon difluoride: a new high yield synthesis os 2-fluro-2-deoxy-D-glucosse*. Appl. Radiat. Isot.
- Stein, P., Fowler, S., & Goodman, L. (2006). Multidetector Computed Tomography for Acute Pulmonary Embolism. *N Engl J medical*.
- Thie, J. (2012). *Nuclear Medicine Imaging: An Encyclopedic Dictionary*. Springer.
- Treves, S. (1998). *Pediatric nuclear medicine*. New York: Springer.
- Umaña Rojas, E. (2012). *Manual de procedimientos. Servicio de Medicina Nuclear. Clínica Bíblica*. San José.
- Vargas Rubí, M. (2009). *Manual de procedimientos. Departamento de Medicina Nuclear. Hospital San Juan de Dios*. San José.
- Worsley, D., & Alavi, A. (1995). *Compehensive analysis of the results of the PIOPED study. Prospective investigation of pulmonary embolism diagnosis study*. Semin Nucl Med.
- Zaret, B., & Beller, G. (2005). *Clinical Nuclear Cardiology*. Philadelphia: Elsevier.

Ziessman, H., OMalley, J., & Thrall, J. (2006). *Nuclear Medicine*. Pennsylvania: Saunders Elsevier.

Anexos:**Anexo # 1. Cuadro # 5.****Cronograma.**

Octubre 2015	Reuniones iniciales con físicos médicos y RPR	Bach. Gerardo Fonseca Sáenz
Octubre 2015	Revisión bibliográfica y visita para entrevista semiestructurada	Ambos postulantes
Noviembre 2015	Visitas para inventarios e información general de cada servicio	Ambos postulantes
Noviembre 2015	Análisis y discusión de los hallazgos encontrados	Ambos postulantes
Noviembre 2015	Elaboración de la guía	Ambos postulantes
Diciembre 2015	Reunión y discusiones finales	Ambos postulantes
Enero 2016	Revisión final y modificaciones pertinentes de la guía	Ambos postulantes

Febrero 2016	Defensa pública del trabajo final de graduación	Ambos postulantes
---------------------	---	-------------------

Anexo # 2.**Estructura de encuesta.****Universidad de Costa Rica.****Entrevista para ser aplicada al personal de medicina nuclear de los hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica**

El siguiente cuestionario se elaboró para ser aplicado a los imagenólogos, físicos médicos, radiofarmaceutas y médicos nucleares que laboran en los servicios de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica, con el objetivo de conocer su opinión sobre la situación actual de los lineamientos que rigen el manejo, controles de calidad y disposición final de las fuentes selladas utilizadas en los respectivos servicios como parte de la tesis titulada: Propuesta de guía para el manejo, control de calidad y disposición final de fuentes radioactivas selladas empleadas en el control de calidad en los servicios de medicina nuclear de los hospitales San Juan de Dios y Hospital Clínica Bíblica en el segundo semestre de 2015.

Toda la información suministrada será de carácter confidencial, se agradece toda la ayuda que nos pueda brindar.

1. Lugar de trabajo:

1. Hospital San Juan de Dios
2. Hospital Clínica Bíblica.

2. Género:

1. Masculino.
2. Femenino.

3. Edad:

1. De 20 a 30
2. De 30 a 40
3. De 40 a 50

4. Más de 50

4. Puesto que desempeña:

1. Imagenólogo.

2. Físico médico.

3. Radiofarmaceuta.

3. Médico nuclear.

5. ¿Cuántos años de experiencia tiene como profesional en salud?

1. Menos de 5

2. De 5 a 10

3. De 10 a 20

4. Más de 20

6. ¿Cuántos años tiene trabajando en el puesto que desempeña actualmente?

1. Menos de 5

2. De 5 a 10

3. De 10 a 20

4. Más de 20

7. ¿Cómo cree que es su conocimiento del reglamento de protección contra las radiaciones ionizantes del Ministerio de Salud?

Excelente Muy bueno Bueno Malo Muy malo

8. ¿Cómo cree que es su conocimiento del manual de procedimientos de protección radiología del servicio?

Excelente Muy bueno Bueno Malo Muy malo

9. ¿Conoce algún lineamiento en el reglamento de protección contra las radiaciones ionizantes del Ministerio de Salud dedicado a las fuentes selladas utilizadas en el servicio?

1. Sí.

2. No.

10. Si su respuesta anterior fue **Sí**, mencione cuáles lineamientos conoce:

11. ¿Conoce algún lineamiento en el manual de procedimientos del servicio dedicado a las fuentes selladas utilizadas en el servicio?

1. Sí.

2. No.

12. Si su respuesta es **Sí**, mencione cuáles lineamientos conoce

13. ¿Conoce algún lineamiento internacional para el manejo, control de calidad y disposición final de las fuentes selladas del servicio?

1. Sí

2. No (Pase a la pregunta 17)

14. Si su respuesta es **Sí**, mencione cuáles lineamientos conoce:

15. ¿Considera que el aporte brindado por los lineamientos internacionales es...?

- Excelente Muy bueno Bueno Malo Muy malo

16. En su criterio, ¿cuál de los lineamientos internacionales es de mayor impacto para la práctica en su servicio?

- Manejo de fuentes selladas
 Control de calidad de fuentes selladas
 Disposición final de fuentes selladas

17. Según su opinión, ¿cuáles lineamientos considera usted que son de primordial importancia crear en su servicio para este tipo de fuentes?

18. Basado en su experiencia, el llevar a implementar al menos uno de estos lineamientos faltantes de su servicio tomaría:

- < 3 meses de 3 a 6 meses de 6 meses a 1 año > 1 año

19. ¿A cuáles motivos se debe este tiempo que le tomaría implementar al menos uno de esos lineamientos? (puede elegir varios)

- Falta de capacitación
- Faltante de equipos
- Falta de personal
- Falta de equipo de protección radiológica
- Desconoce los lineamientos
- Faltante de tiempo
- No es un requisito del MS
- No existen áreas dedicadas en el servicio a estas fuentes

20. Si su servicio pudiera contar con un experto nacional/internacional en el tema, ¿cómo consideraría que sería el aporte de dicho experto?

- Excelente Muy bueno Bueno Malo Muy malo