

PERFECCIONAMIENTO DEL PROCESO DE ESTIMACIÓN DE DOSIS POR INCORPORACIÓN DE ¹³¹I Y ¹²⁵I EN EL CENTRO DE PROTECCIÓN E HIGIENE DE LAS RADIACIONES DE CUBA

Ramos, D.¹, Yera Y. ¹, López G. M.¹, Acosta, N.¹

¹ Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR)

RESUMEN

El informe muestra el diseño e implementación de una metodología de trabajo en el servicio de monitoreo de la contaminación interna por incorporación de ¹²⁵I y ¹³¹I del Laboratorio de Dosimetría Interna del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones. La metodología, en caso de no existencia de soluciones patrones certificadas, se basa en la utilización del Método Monte Carlo para la determinación de la eficiencia de detección de ¹²⁵I y ¹³¹I en geometría de tiroides. Se valida la utilización del método y se pone en práctica para la calibración del detector empleado en la prestación del servicio. La metodología propuesta se basa además, en el desarrollo de una herramienta informática que permite la automatización del procesamiento de datos provenientes de las mediciones realizadas en el laboratorio y en los Servicios de Medicina Nuclear del país que tengan implementado un programa de monitoreo rutinario de yodo en tiroides. La herramienta es utilizada tanto durante el proceso de calibración y control de calidad del equipamiento como en las mediciones directas realizadas a los trabajadores ocupacionalmente expuestos. Los fundamentos básicos del software se sustentaron en los procedimientos vigentes en el laboratorio, en la norma NC-ISO/IEC 17025:2006 y en la versión 2 de la guía IDEAS para la estimación de dosis comprometida. Los principales resultados de la implementación de la nueva metodología se resumen en: simplificación del trabajo de especialistas y técnicos, disminución del tiempo de procesamiento de las mediciones, reducción de errores humanos y reemplazo de soluciones patrones y simuladores (con los que no contaba el laboratorio) por métodos computacionales validados. La utilización de esta metodología asegura el perfeccionamiento, funcionamiento y confiabilidad del servicio de medición de yodo en tiroides tanto del laboratorio de dosimetría interna como de los servicios de medicina nuclear del país.

1. INTRODUCCIÓN

En Cuba desde 1986, como parte de los servicios brindados por el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), se implementó el servicio para el monitoreo de ¹³¹I y ¹²⁵I en tiroides, teniendo cada vez mayor demanda debido a que los tratamientos de diagnóstico y terapia con estos isótopos se han diversificado y consolidado en el país. Sin embargo, en la actualidad la ejecución de este servicio se dificulta en gran medida debido al engorroso y extenso proceso de cálculo y a su elevada dependencia de la experiencia y habilidad de técnicos y especialistas. Partiendo de esta realidad es incuestionable la posibilidad de existencia de errores por factores humanos durante la estimación de dosis a los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE) y en el procesamiento de los datos de calibración y control de calidad del equipamiento, tanto del Contador de Cuerpo Entero (CCE) del Laboratorio de Dosimetría Interna (LDI) del CPHR como de los Servicios de Medicina Nuclear (SMN) del país que tengan implementado un programa de monitoreo rutinario de yodo en tiroides.

¹ dayana@cphr.edu.cu

Por otro lado, para la calibración del equipamiento se necesitan simuladores de tiroides y cuello, donde la fuente (tiroides) puede ser un patrón certificado o solución que posea las características geométricas adecuadas de la glándula. Para la calibración con ^{131}I y ^{125}I la fuente se prepara con ^{133}Ba y ^{129}I respectivamente debido a la similitud de sus energías y al mayor período de semidesintegración. La no disponibilidad usual de soluciones certificadas de estos radionucleidos (principalmente en el caso del ^{125}I), ha provocado que en ocasiones las capacidades del CCE del CPHR no estén calibradas para la medición. Los principales objetivos del presente trabajo son la validación de la utilización del Método Monte Carlo (MMC) [1, 2] para la determinación de la eficiencia de detección cuando no se cuente con soluciones patrones, y el diseño e implementación de una herramienta informática que automatice el procesamiento de datos en el CCE del LDI y en los SMN del país. De esta forma se logrará el perfeccionamiento del proceso de estimación de dosis por incorporación de ^{125}I y ^{131}I en tiroides.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Simulación utilizando el Método Monte Carlo

Numerosos códigos profesionales basan su funcionamiento en el MMC, sin embargo, debido a facilidad de uso, capacidad para simular geometrías y extensa referencia se utilizó el MCNP5 [1]. Para implementar el método y validar los resultados de las simulaciones se utilizó el detector identiFINDER ultra, espectrómetro de rayos gamma (portátil y digital con cristal de NaI(Tl)) utilizado en el servicio de medición de yodo en tiroides del LDI.

Para la calibración en eficiencias de este sistema de detección se utilizó un simulador de cuello – tiroides (construido con material tejido equivalente en el LDI del CPHR), que emplea un vial de polietileno simulando la glándula. Se utilizaron como fuente dos viales, uno con 17 ml de una solución de ^{133}Ba con 709.24 Bq de actividad preparado el 18/3/2013 y otro con 20 ml de ^{131}I de 3.132 KBq de actividad preparado el 10/6/2013 (5% de incertidumbre en la actividad en ambos casos). El simulador fue colocado en la silla de medición, reproduciendo la geometría a adoptar por el personal durante la realización de las mediciones de yodo en tiroides. Todas las mediciones se llevaron a cabo en el CCE del LDI

Para la calibración en eficiencias se utilizó el denominado MMC Corregido. Este método parte de obtener, mediante simulaciones computacionales, la curva de eficiencia para determinada geometría, y luego se emplea una corrección de estos valores que es calculada a partir de una referencia obtenida de forma experimental utilizando una fuente puntual (ecuación 1). Esta corrección se realiza para compensar el error sistemático que se comete al simular un detector ideal sin pérdidas de eficiencia por la electrónica u otros factores físicos.

$$\eta_x = \eta_{ref} \frac{S_x}{S_{ref}} \quad [cps / Bq] \quad (1)$$

Donde: η_x es la eficiencia de detección real en la geometría de referencia, η_{ref} es la eficiencia simulada del fotopico en la geometría de referencia; S_x es la eficiencia real en geometría puntual y S_{ref} es la eficiencia simulada en geometría puntual.

Finalmente para cuantificar la idoneidad de los resultados fueron realizadas comparaciones entre los valores de eficiencia experimentales y los calculados por el MMC, evaluando las desviaciones entre ambos resultados según la ecuación 2. Estas desviaciones deben ser menores del 10% para considerar como satisfactorios los procedimientos empleados en la estimación de las curvas teóricas de eficiencia [2].

$$f(\%) = \frac{\eta_c - \eta_{\text{exp}}}{\eta_{\text{exp}}} * 100 \quad (2)$$

Donde: η_c es la eficiencia del pico de absorción total calculada por MMC y η_{exp} es la eficiencia experimental del fotopico en la geometría de referencia.

2.2. Diseño de la herramienta informática

Para diseñar la herramienta informática fue necesario realizar una revisión exhaustiva de los procedimientos de trabajo vigentes en el LDI del CPHR. Esta revisión permitió que la herramienta respondiera a todas las necesidades de cálculo del laboratorio y de los SMN, desde la calibración y control de calidad de los sistemas espectrométricos hasta la estimación de dosis por incorporación de yodo. Como referencia durante la programación se utilizaron además la norma NC-ISO/IEC 17025:2005, la versión 2 de la guía IDEAS para la estimación de dosis comprometida [3] y de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA la publicación N° RS-G-1.2 [4]. Para la programación del software se utilizó la herramienta DELPHI XE2, que utiliza el lenguaje de programación Object Pascal.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Determinación de la eficiencia de detección utilizando MMC Corregido

Para efectuar la estimación de eficiencias utilizando MMC Corregido se obtuvieron, en primer lugar, las eficiencias experimentales y simuladas por MMC en geometría puntual (a una distancia de 15 cm) para las energías de interés de los radioisótopos del yodo (tabla 1). Para esto se utilizó una fuente puntual certificada de ^{133}Ba existente en el laboratorio.

Tabla 1. Eficiencias experimentales y simuladas por MMC para geometría puntual a 15cm

Energía (keV)	η experimental	Inc. (%)	η simulada por MMC
31	1.3E-03	2.0	2.1 E-03
81.0	2.9E-03	1.5	2.8 E-03
356.0	1.3E-03	1.6	1.6 E-03

Para el cálculo de la eficiencia de detección experimental en geometría tiroides se utilizaron tres energías del ^{133}Ba (31 keV, 81 keV, 356 keV) y una del ^{131}I (365 keV). Al simular la geometría y corregir el resultado utilizando la ecuación 1 se precisó comprobarlos mediante la expresión 2 obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Eficiencias reales y simuladas por MMC Corregido (cps/Bq) para geometría simulador a 15cm

R/n	Energía (keV)	Eficiencia Real	Inc. (%)	MMC Corregido	f(%)
^{133}Ba	31	1.1E-03	6.2	9.4E-04	-13.7
	81	2.1E-03	6.8	2.0E-03	-7.4
	356	8.8E-04	7.3	8.0E-04	-8.5
^{131}I	365	7.7E-04	5.2	7.7E-04	0.3

La única línea energética que aportó desviaciones superiores al 10 % fue la de 31 keV del ^{133}Ba (13.7%). Por lo que se puede concluir que los resultados obtenidos garantizan que las diferencias existentes entre la eficiencia real y la simulada se mantengan por debajo de un 10% (salvo para la energía de 31 KeV) lo que asegura que los procedimientos computacionales empleados en la estimación de las curvas de eficiencia sean considerados como aceptables para su empleo en estudios analíticos rutinarios como el caso de la estimación de la actividad retenida en la glándula tiroidea. Para el caso de la medición de ^{125}I , de energía comparable a los 31 KeV ^{133}Ba , se puede aceptar que exista una desviación ligeramente mayor del 10% (alrededor del 14%), pues es mucho mayor la incertidumbre que aportan otros elementos de la estimación de dosis, como son los coeficientes de dosis o la fracción de retención que están calculados para un hombre de referencia que pudiera diferir notablemente del TOE a medir.

Para implementar esta metodología en la calibración del identiFINDER es necesario conocer que a pesar de que este teóricamente se pudiera posicionar siempre a una distancia fija de la tiroides, existe técnicamente, la necesidad de conocer la relación de la distancia detector–tiroides con la eficiencia en las mediciones in vivo. Esto se debe al hecho de que inevitablemente siempre existirán diferencias anatómicas entre los usuarios del servicio, y cuando se efectúa una medición a una persona, con vistas a maximizar la eficiencia de la instalación, el detector se posiciona tan cerca de esta como sea posible.

Es por esto que siguiendo la misma metodología anteriormente utilizada se estimaron las eficiencias de detección mediante el MMC Corregido para 1, 5, 10, 20, y 25 cm, con el fin de obtener la dependencia de la eficiencia respecto a la distancia de medición. En la figura 1 se muestra el comportamiento de este parámetro, para el ^{125}I a la izquierda y para el ^{131}I a la derecha.

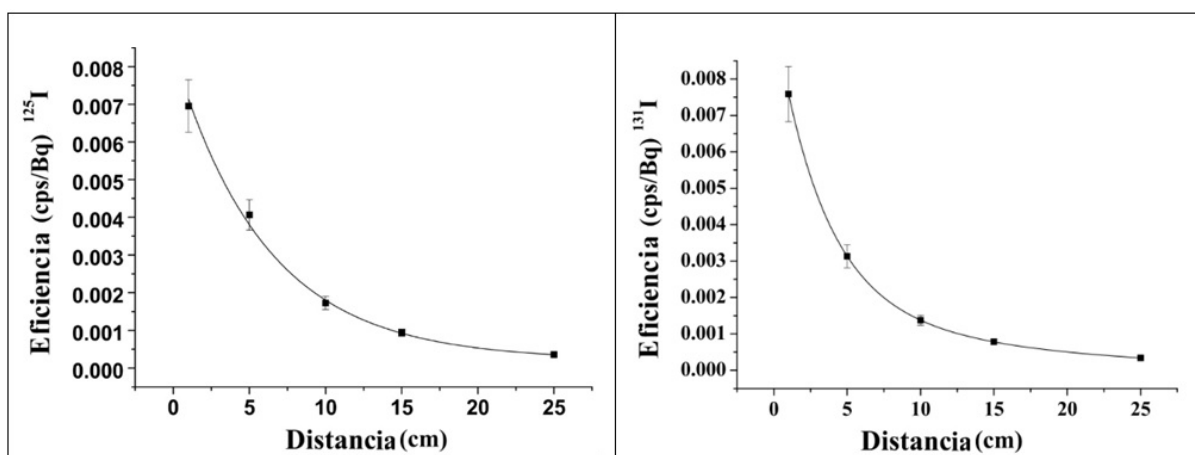


Figura 1. Dependencia de la eficiencia de detección con la distancia para ^{125}I y ^{131}I

Las curvas de eficiencia fueron obtenidas usando un ajuste exponencial de segundo orden. La dependencia respecto a la distancia (d) en cm es:

$$\eta(^{125}\text{I}) = -0.0006 + 0.008e^{\left(\frac{-d}{6.0}\right)} + 0.001e^{\left(\frac{-d}{254}\right)} \quad (3)$$

$$\eta(^{131}\text{I}) = 0.002e^{\left(\frac{-d}{13.60}\right)} + 0.008e^{\left(\frac{-d}{3.29}\right)} \quad (4)$$

En noviembre de 2013 el LDI del CPHR participó en una Intercomparación in Vivo en Tiroides realizada en el marco del proyecto IAEA RLA 9066, en la que se midió, por método directo, una tiroides procedente del Instituto de Radioprotección y Dosimetría (IRD) de Brasil. La estimación de la actividad de la tiroides se realizó utilizando dos detectores de NaI(Tl) de diferente diámetro, uno de los cuales fue el identiFINDER. Para validar el método anteriormente propuesto, entre los resultados emitidos por el laboratorio, se encontraba la estimación de la actividad de la tiroides utilizando el MMC Corregido. Los resultados preliminares de la intercomparación se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la Intercomparación in Vivo en Tiroides

Detector-Modelo	Act.de referencia corregida (Bq)	Inc. de referencia (Bq)	Act. reportada (Bq)	Inc. reportada (Bq)	(Reportada/Referencia)
NaI3x3	4320	52	4119	681	0.95
identiFINDER	4320	52	4166	698	0.96
MMC Corregido.	4320	52	4450	600	1.03

Todos los resultados reportados fueron satisfactorios, pero si se comparan los valores obtenidos de la relación actividad reportada - actividad de referencia, el valor más cercano a esta última es el obtenido mediante el MMC Corregido, esto confirma y valida la idoneidad de la implementación este método para la estimación de la eficiencia de detección en caso de no existencia de soluciones patrones o simuladores.

3.2. Diseño del sistema automatizado para el procesamiento de datos en el LDI

La revisión minuciosa de los procedimientos técnicos del LDI y de la bibliografía actualizada sobre procesamiento de datos en contaminación interna [3, 4] dio como resultado el diseño de un sistema automatizado que permite el procesamiento de datos en el LDI.

La herramienta, denominada “CaDIS”, rige el funcionamiento de las esferas técnicas y de servicios al integrar: imágenes que permiten orientar al usuario sobre la geometría de medición al mostrar el posicionamiento del detector y de la fuente, bases de datos que permiten gestionar la información procesada en el LDI, herramientas útiles para la realización de cálculos rutinarios y el procesamiento instantáneo de las mediciones realizadas en el LDI y en los SMN, tanto del proceso de calibración y control de calidad del sistema como de las mediciones directas realizadas a los TOE.

“CaDIS” está dividido en varias secciones que se rigen por conceptos y metodologías de cálculo diferenciadas, estas son: DETECTORES, ESTIMACIÓN DE DOSIS, ÚTILES, BASES DE DATOS y SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR (figura 2).

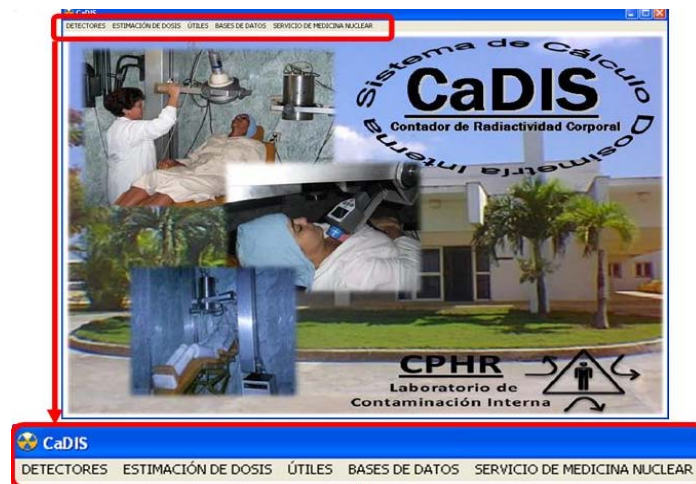


Figura 2. Pantalla principal de CaDIS

El menú “DETECTORES” está compuesto por 2 procesos. El primero de ellos: “Calibración del sistema” (figura 3), se fundamenta en la aplicación de diferentes técnicas para conocer la respuesta del sistema de medición a la incidencia de radiaciones ionizantes de diferentes energías en condiciones de geometría similares a las condiciones de medición de la persona de interés. Este menú consta de tres opciones: calibración energética, calibración en

eficiencias y precisión. El segundo proceso es el correspondiente al control de calidad del equipamiento y tiene el objetivo de mantener la respuesta de la cadena de medición dentro de los límites establecidos, asegurando el adecuado funcionamiento del equipamiento. Este acápite cuenta con cuatro etapas independientes entre sí: control de linealidad, sensibilidad, precisión y exactitud.

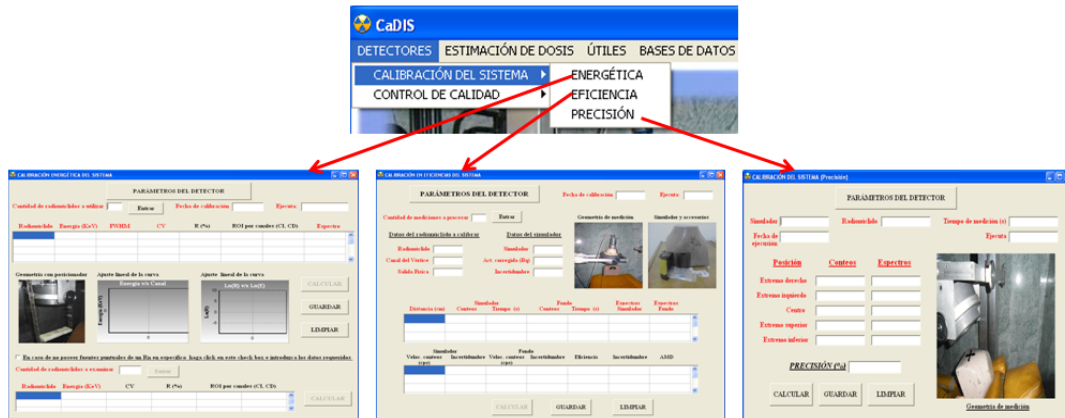


Figura 3. Calibración del sistema de medición

El menú “ESTIMACIÓN DE DOSIS” (figura 4) permite el acceso a la ventana de cálculo que procesa las mediciones directas realizadas a los TOEs. El sistema de cálculo es específico para ^{131}I y ^{125}I y se implementa de manera similar para todas las instituciones. La pantalla principal de este menú está dividida en tres secciones: “Control de estabilidad y fondo”, “Cálculo de dosis” y “Parámetros de Calibración, Niveles de Referencia”. Estas son dependientes una de otras pues no se permite la estimación de dosis sin tener resultados satisfactorios del control de estabilidad y fondo y ningún cálculo es posible sin los datos de calibración. Esta sección finalmente conlleva a la emisión del reporte de dosis.

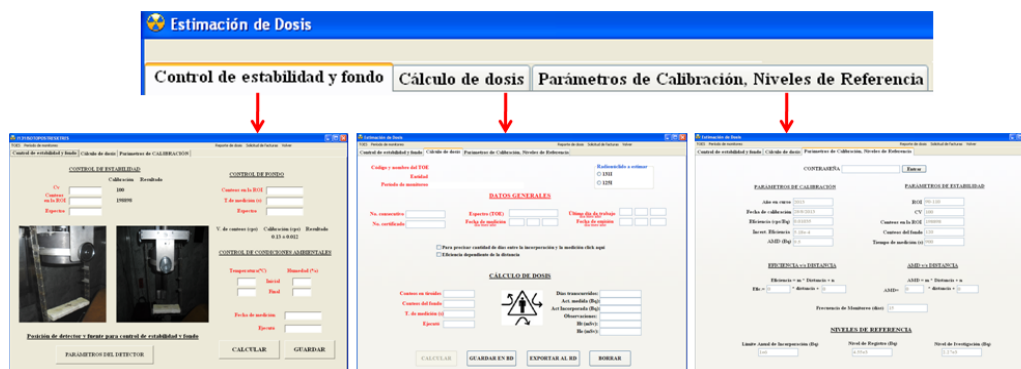


Figura 4. Menú: “Estimación de Dosis”

El menú “ÚTILES” se desdobra en 7 opciones que son de uso rutinario en el laboratorio y en los SMN: corrección de actividad, conversión de unidades, cálculo de diferencia entre dos fechas, estimación de actividad residual, cálculo del factor de decisión, estimación de los niveles de referencia y permite además el acceso a los procedimientos técnicos del laboratorio o del SMN.

El menú “BASES DE DATOS” se divide en 3 módulos independientes entre sí: TOE, REPORTE DE DOSIS y ARCHIVO DE CALIBRACIÓN. La primera contiene una relación de datos de los TOE pertenecientes a las instituciones insertadas al servicio, la segunda gestiona los resultados de las estimaciones de incorporación de yodo en tiroides y la tercera las calibraciones efectuadas al equipamiento.

El menú “SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR” (figura 5) permite la calibración y control de calidad del equipamiento existente en los SMN que tienen implementado el monitoreo rutinario de yodo en tiroides a sus TOE.

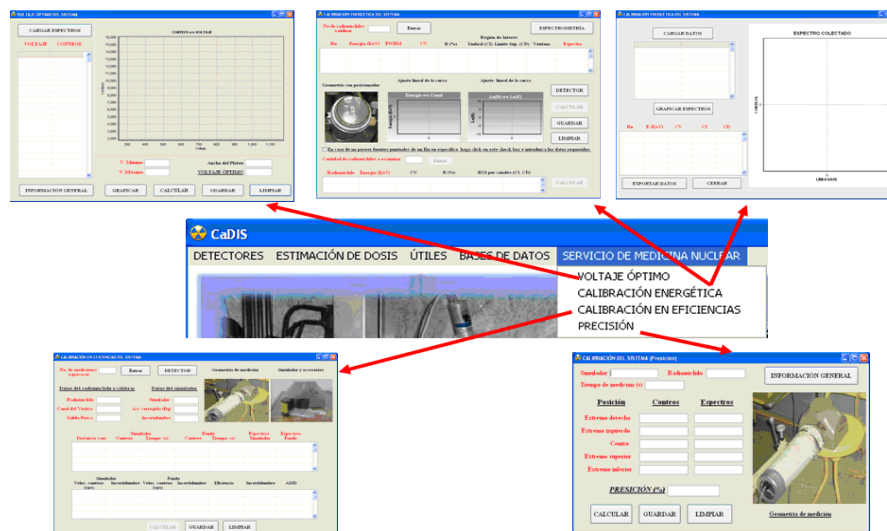


Figura 5. Menú: “Servicio de Medicina Nuclear”

El proceso de validación de la herramienta informática fue satisfactorio. Para ejecutarlo se compararon los valores resultantes de CaDIS con aquellos obtenidos de forma manual, y en el caso de la estimación de la actividad incorporada y del cálculo de dosis los resultados se compararon con los obtenidos en el software AIDE 6.0 (Activity and Internal Dose Estimate). CaDIS cuenta además con un “Manual de Usuario” (registrado en el Centro Nacional de Derecho de Autor de Cuba) que tiene como objetivo fundamental el de explicar no solo el funcionamiento del software y todas las opciones que brinda, sino también la metodología de cálculo implementada en él.

La implementación de CaDIS desde enero de 2013 en el LDI del CPHR y en varios SMN del país demostró su utilidad pues permitió: la disminución significativa del tiempo de calibración y control de calidad de los sistemas espectrométricos, el control obligatorio de la estabilidad del detector y del fondo de la instalación siempre que se vaya a brindar el servicio

de medición de yodo en tiroides, la rápida evaluación del estado funcional del equipamiento debido a la facilidad de realización de las pruebas de control de calidad, el procesamiento instantáneo de las mediciones realizadas a los TOE, la estimación de dosis confiable, comparable a los resultados del software AIDE, la confección y emisión automática del reporte de dosis, la influencia positiva en los resultados analíticos del laboratorio al minimizar los errores por factores humanos, la gestión eficiente de la información resultante de las mediciones mediante la utilización de bases de datos, el fácil acceso y consulta de los procedimientos técnicos y del manual de calidad vigentes en el laboratorio y en los SMN, la simplificación notable del trabajo de especialistas y técnicos al automatizar el procesamiento de las mediciones y presentar herramientas de cálculo sencillas y de fácil manejo.

3.3. Diseño de la metodología de trabajo para perfeccionar el proceso de estimación de dosis por incorporación de radioisótopos del yodo.

Teniendo en cuenta que el procedimiento para el cálculo de la eficiencia de detección del detector identiFINDER utilizando el Método Monte Carlo Corregido fue validado y puede ser utilizado sin comprometer los resultados analíticos del laboratorio y que a su vez la validación del software CaDIS garantiza que sus facilidades puedan ser utilizadas en el LDI y en los SMN del país, se propone una metodología de trabajo (figura 6) tanto para la calibración y control de calidad del equipamiento como para la estimación de dosis por incorporación de yodo que garantiza el perfeccionamiento de este proceso en el LDI del CPHR y en los SMN del país.

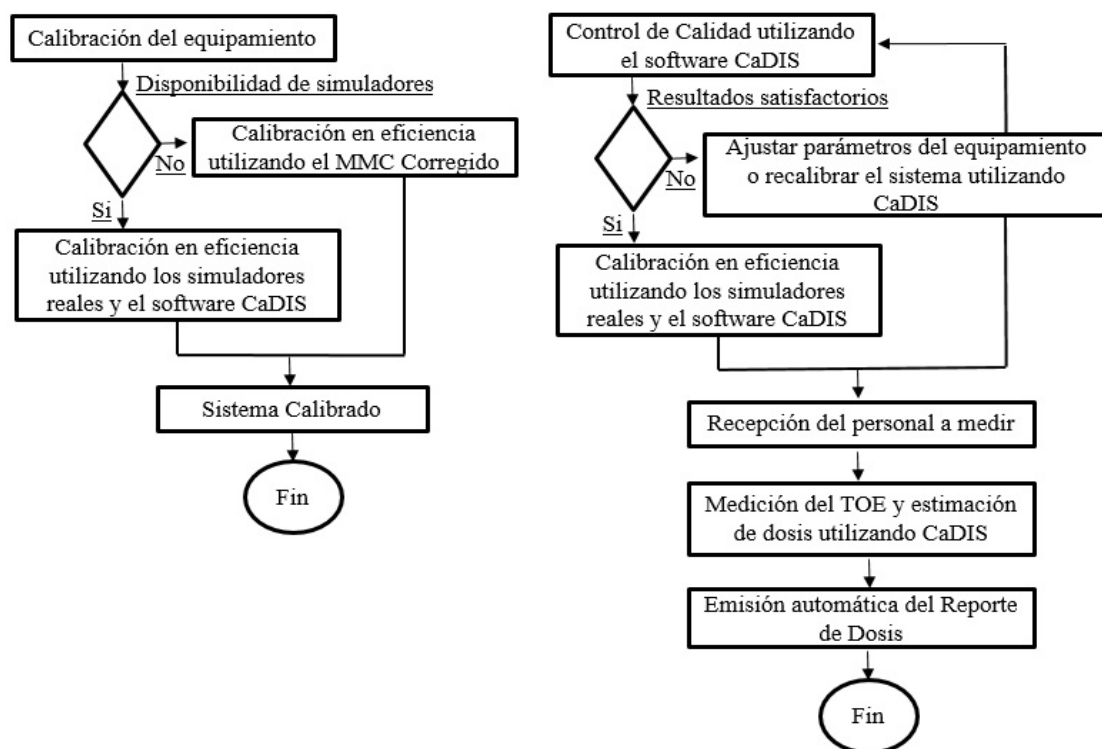


Fig.6 Metodología propuesta para el perfeccionamiento del proceso de estimación de dosis por incorporación de yodo en tiroides

Hasta diciembre de 2014, utilizando la metodología anteriormente propuesta, se habían realizado un total de 157 estimaciones de dosis debido a la incorporación de ^{131}I y ^{125}I , y se había calibrado el equipamiento existente en el LDI del CPHR en 7 ocasiones; así mismo se hicieron calibraciones en los SMN de 5 instituciones hospitalarias del país (una de ellas en dos ocasiones).

4. CONCLUSIONES

Utilizando el MMC Corregido se logra prescindir de las disoluciones patrones y simuladores durante la calibración en eficiencia del equipamiento sin comprometer la eficacia de los resultados analíticos, esto hace que el LCI asegure la calibración de sus capacidades de medición para la estimación de la incorporación de los radioisótopos del yodo en tiroides.

CaDIS simplifica funciones, procesos y procedimientos tanto del LDI del CPHR como de los SMN del país puesto que su implementación establece un sistema de procesamiento de datos totalmente automatizado que gestiona los procesos de calibración y control de calidad del equipamiento y la estimación de dosis por incorporación de los radioisótopos del yodo en tiroides.

El desarrollo de una nueva metodología de trabajo basada en la utilización del MMC Corregido para la estimación de la eficiencia de detección y en la implementación del software CaDIS como sistema automático para el procesamiento de datos asegura el perfeccionamiento, funcionamiento y confiabilidad del servicio de medición de yodo en tiroides tanto en el LDI del CPHR como en los SMN del país.

5. REFERENCIAS

- 1- X-5 Monte Carlo Team, "MCNP. A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5", **Vol I** LA-UR-03-1987, **Vol II** LA-CP-03-0245; **Vol III** LA-CP-03-0284 (2005).
- 2- Lepy M.C. "Intercomparison of efficiency transfer software for gamma-ray spectrometry". ARI 55 (2001).
- 3- C.M. Castellani, J.W. Marsh, C. Hurtgen, E. Blanchardon, P. Berard, A. Giussani, M.A. Lopez. "IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data". ISSN 2226-8057. ISBN 978-3-943701-03-6. EURADOS-2013-01
- 4- Colección de Normas de Seguridad del OIEA. Guía de Seguridad N° RS-G-1.2. "Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos" (2004).