

## **DOSIMETRÍA INTERNA PARA PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO EN MEDICINA NUCLEAR.**

**García M. T., Alfaro L. M. M., Ángeles C. A.**

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares  
Carretera México-Toluca S/N, La Marquesa, Ocoyoacac, Estado de México,  
México, C.P. 52750.

[teodoro.garcia@inin.gob.mx](mailto:teodoro.garcia@inin.gob.mx); [mercedes.alfaro@inin.gob.mx](mailto:mercedes.alfaro@inin.gob.mx); [arturo.angeles@inin.gob.mx](mailto:arturo.angeles@inin.gob.mx)

### ***Resumen***

La dosimetría interna juega un papel muy importante en las instalaciones de medicina nuclear para el control dosimétrico del personal ocupacionalmente expuesto (POE), ya que en los últimos años se ha dado un gran incremento en el uso de radionúclidos tanto en el diagnóstico médico como en radioterapia. Sin embargo Actualmente, en México y en muchas partes del mundo, no se realiza este control de dosimetría interna. El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares en conjunto con el centro oncológico de Toluca (ISEMMYM), en el Estado de México, se han dado a la tarea de desarrollar una metodología simple y factible para realizar el monitoreo del personal que labora en estas instalaciones. Se planteó como objetivo realizar el seguimiento dosimétrico del personal, debido a la incorporación de I-131, utilizando los equipos espectrométricos con los que cuenta el hospital, en este caso el equipo utilizado es una gamma cámara. El primer paso para realizar esta metodología fue realizar un fantoma para tiroides que cumple con las especificaciones de la norma ANSI, este fantoma se comparó bajo condiciones controladas con el fantoma RMC-II utilizado para la calibración del sistema de dosimetría interna del ININ (ACCUSCAN-II), y con otro fantoma desarrollado en Brasil con las especificaciones ANSI, esto con el fin de determinar las variaciones en las mediciones debido a la densidad del material de cada uno de los fantomas y ajustarlos al del sistema ACCUSCAN que esta certificado. Posteriormente se realizaron los conteos necesarios con la gamma cámara, del fantoma desarrollado en el ININ, con una fuente patrón de Ba-133 que simula la energía del I-131. Con estos datos se determinaron las eficiencias de conteo para una distancia de 15 y 20 cm entre la superficie del fantoma y la plancha de los detectores. Otro aspecto importante fue determinar el limite inferior de detección (LID). En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la calibración de los detectores de la gamma cámara del hospital.

### **1. INTRODUCCIÓN**

La medicina nuclear es una especialidad de la medicina actual que emplea radiofármacos con fines de diagnóstico médico y de terapia. Para el diagnóstico médico, los radiofármacos se introducen al cuerpo humano, y dependiendo del tipo de radiofármaco, se distribuyen por diversos órganos del cuerpo, posteriormente el radiofármaco es detectado por un equipo llamado gammacámara que está constituida por un arreglo de cristales centelladores, luego se procesa la información obteniéndose imágenes funcionales de todo el cuerpo o del órgano en estudio. Estas imágenes muestran el funcionamiento de los órganos y tejidos explorados, también muestran posibles alteraciones de los mismos a un nivel molecular. Los radiofármacos más utilizados en medicina nuclear son emisores beta-gamma de diferentes energías, en este trabajo nos centraremos principalmente en el uso del I-131.

Durante los últimos años, se ha incrementado considerablemente el número de centros de medicina nuclear y por consiguiente el uso de radionúclidos para radioterapia y diagnóstico médico. En México actualmente se tienen del orden de 146 establecimientos de medicina nuclear autorizados por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, y ninguno de ellos cuenta con dosimetría interna. El Instituto Nacional de Investigaciones

Nucleares se ha propuesto establecer una metodología simple y factible para que los establecimientos de medicina nuclear puedan contar con un procedimiento, un maniquí para tiroides y una fuente de Ba-133 que sea exenta de acuerdo a la NOM-039-NUCL-2011, para poder llevar a cabo un control de la calibración de las gamma cámaras y de la dosimetría interna al personal ocupacionalmente expuesto, debido a la incorporación de I-131.

En las prácticas de radioterapia, se presentan las mayores dosis tanto para el POE como para el paciente, ya que las actividades radiactivas que se manejan son muy altas y representa un riesgo muy alto si no se toman en cuenta las medidas de seguridad adecuadas. En un paciente con cáncer de tiroides, la actividad de I-131 que se le aplica puede ser de hasta 200mci. Durante la manipulación y la aplicación de este radionúclido al paciente, el riesgo de incorporación por parte del POE es alto, aun contando con las medidas de seguridad adecuadas, y es importante poder cuantificar la dosis efectiva comprometida que recibe el personal durante su jornada laboral.

## 2. METODOLOGÍA

El grupo de protección radiológica del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, propone que la determinación de la dosis interna en el personal ocupacionalmente expuesto en las instalaciones de medicina nuclear, se realice mediante la cuantificación de los radionúclidos incorporados y depositados en los diferentes órganos, utilizando las gamma cámaras con las que cuentan dichas instalaciones.

### 2.1. Gamma cámara

La gamma cámara utilizada en las pruebas, es una e.cam Dual Detector System de doble cabezal de la marca Siemens, que se encuentra en las instalaciones del Centro Oncológico de Toluca en el Estado de México, ISSEMYM. La gamma cámara consta de un cristal centellador acoplado a una serie de fotomultiplicadores que se encuentran conectados a un sistema electrónico y de ahí a un sistema de visualización de imágenes. Este equipo por otro lado, también cuenta con un sistema de conteos por segundo, y es precisamente lo que se requiere para poder determinar la concentración del radionúclido incorporado.

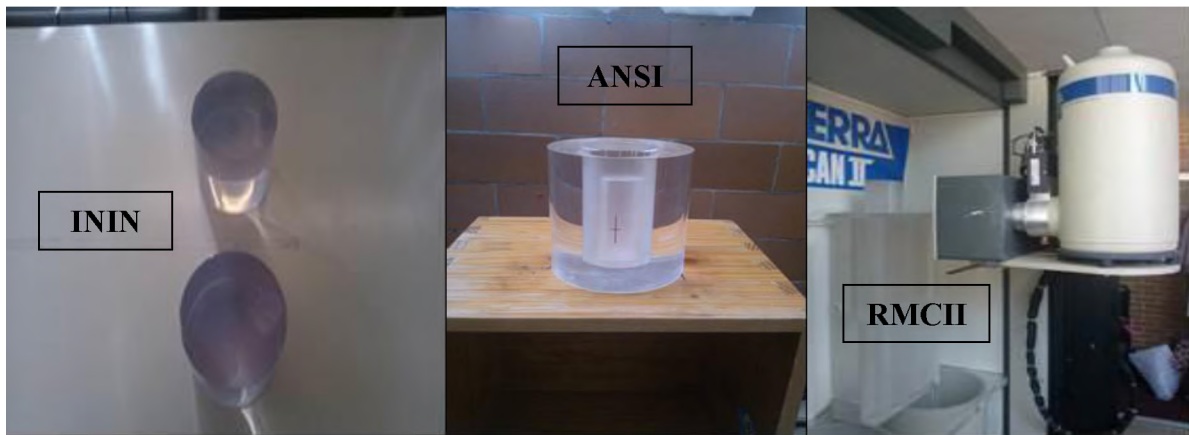


**Figura 1. Cámara gamma modelo e.cam de Siemens**

## 2.2. Calibración

El objetivo de éste trabajo es establecer una metodología simple y factible para realizar el monitoreo del personal que labora en las instalaciones de medicina nuclear. Para poder calibrar la gamma cámara, se realizaron diversas tareas:

- Se elaboró un fantoma que simula la tiroides-cuello, con una perforación para poder introducir la fuente radiactiva como se muestra en la Figura 2. Este fantoma esta hecho de resina acrílica, con una densidad y dimensiones muy similares a las indicadas por la norma ANSI N44.3-1973 American National Standard Thyroid Radioiodine Uptake Measurements Using a Neck Phantom. Éste se comparó bajo condiciones controladas con un fantoma ANSI adquirido por el ININ y con el fantoma RMC-II utilizado para la calibración del sistema de dosimetría interna del ININ (ACCUSCAN-II)



**Figura 2. Fantoma de Tiroides-Cuello ININ**

- La fuente de calibración, es de Ba-133 certificada por el laboratorio de metrología del Instituto con una actividad de 60376 Bq. Se utiliza el Ba-133 debido a que tiene una energía gamma de 356.02 KeV, que está muy cercana a la del I-131 y su vida media es de 10.51 años. El I-131 tiene una vida media de 8.04 días con energías gama en el intervalo de 80 a 723 KeV, siendo la de 364.51 KeV la más representativa. El I-131 tiene la peculiaridad de ser un radionúclido que se emplea en el diagnóstico médico y también en radioterapia, la principal dosis de éste radionúclido se da por la emisión de betas de 606 KeV.

Uno de los aspectos importantes de esta metodología, es la actividad de la fuente radiactiva, se propone que la fuente de Ba-133 no rebase los límites de exención que marca la NOM-039-NUCL-2011, esto con la finalidad de que las instalaciones de medicina nuclear tengan que incluir dichas fuentes a sus licencias de operación.

- Se realizaron conteos a 15 y 20 cm con el fantoma ANSI y el fantoma ININ sin fuente y con fuente, para determinar las eficiencias de conteo.



**Figura 3 Medición del Fantoma de Tiroides-Cuello con y sin fuente**

- Se realizaron mediciones a personas del público para determinar el Límite Inferior de Detección (LID) y la Actividad Mínima Detectable (AMD).



**Figura 4 Medición de personal del público.**

### **3. RESULTADOS**

En la tabla 1 se muestran las variaciones de los conteos con los tres diferentes fantomas y con una misma geometría, hechos con el ACCUSCAN II, Tomando como referencia el fantoma ANSI.

**Tabla 1. Variación en los conteos con los tres fantomas**

Fantoma	cps	Diferencia con ANSI (%)
ININ	301.66	3.6
RMC-II	314.49	7.5
ANSI	290.78	

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en la calibración de la gamma cámara a 15 y 20 cm de distancia de la superficie del fantoma a la plancha del detector.

$$Ef = \frac{\text{ConteoNeto}}{(A)(tc)(Y)} \quad (1)$$

**Tabla 2. Calibración de la Gammacámara**

Distancia cm	Fantoma	Razón de conteo (c/s)	Actividad de la fuente (Bq)	Yield	Eficiencia de Gammacámara
15	ANSI	1886.79	60376	0.62	0.050404
15	ININ	1724.14	60376	0.62	0.046059
20	ANSI	1315.79	60376	0.62	0.03515
20	ININ	1212.12	60376	0.62	0.03238

Se determinó el Límite Inferior de Detección (LID)

$$LID = \frac{4.66 \sqrt{Cf_{tc}}}{tc} \quad (2)$$

$$LID = 1.93 \text{ cps}$$

Se determinó la Actividad Mínima de Detección

$$MDA = \frac{4.66 \sqrt{\frac{T_{cf}}{tc}}}{Ef \text{ peso}} \quad (3)$$

$$AMD = 95.15 \text{ Bq}$$

### 3. CONCLUSIONES

1. El método es sencillo de implementar en cualquier servicio de medicina nuclear ya que la base de medición son los propios equipos para diagnóstico.
2. El método es confiable como lo demuestra la comparación de las mediciones con los fantomas de referencia certificados.
3. El costo de fabricación del fantoma es muy bajo, aproximadamente 50 dólares y por tanto muy accesible.
4. La fuente de referencia para la calibración en eficiencia es exenta y por tanto es simple en cuanto a los trámites ante el órgano regulador.
5. Se tiene un ahorro en tiempo ya que el POE no se tiene que desplazar a otra instalación para realizarse su conteo de cuerpo entero.
6. Se soluciona el requisito de vigilancia dosimétrica interna exigida por el órgano regulador, la cual no cumplen en general los servicios de medicina nuclear.

El siguiente paso es la presentación del método ante el órgano regulador y gestionar su aprobación como un método estándar para las instalaciones de medicina nuclear en México y de allí proyectarlo hacia más centros de medicina nuclear en otros países.

Teniendo esta base se pueden desarrollar procedimientos análogos para más radiofármacos propios de cada instalación.

### AGRADECIMIENTOS

Agradezco la ayuda prestada para la realización de este trabajo al personal del área de Medicina Nuclear del Centro Oncológico Estatal ISSEMyM del Estado de México y al personal de talleres generales del ININ por su apoyo en el maquinado de los fantomas.

### REFERENCIAS

1. Bertelli, L., A.I.D.E. Activity and Internal Dose Estimates. Instructions Manual, 2004.
2. American National Standards Institute, ANSI N44.3-1973 American National Standard Thyroid Radioiodine Uptake Measurements Using a Neck Phantom.
3. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. NOM-039-NUCL-2011. Especificaciones para la exención de prácticas y fuentes adscritas a alguna práctica, que utilizan fuentes de radiación ionizante.
4. CNSNS/DVRA DOSINT. *Programa de calculo de Dosimetría Interna*, Manual del Usuario (1997).
5. International Atomic Energy Agency (IAEA). "Radiological protection for medical exposure to ionizing radiation". *Safety Standards Series*, n. **RS-G-1.5**, (2002).
6. International Commission on Radiological Protection, "Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers: Replacement of ICRP Publication 54", ICRP **Publication 78** (1997).
7. International Commission on Radiological Protection (ICRP) **Publication 78**: "Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers", (1998).
8. International Atomic Energy Agency (IAEA). "Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides" *Safety Standards Series*, n. **RS-G-1.2**, (1999).