

# ESTIMACION DE LA DOSIS DEBIDO A LA INCORPORACION DE <sup>131</sup>I DE LOS TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE EXPUESTOS EM EL SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR EM NICARAGUA

Somarriba<sup>1</sup>, F.I., Roas<sup>1</sup>, N. A. y Castillo<sup>1</sup>, A. M.

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-MANAGUA)

## RESUMEN

El establecimiento de la dosimetría por incorporación en Nicaragua se realiza desde marzo del 2012 en el Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM), a través de la adquisición de un captador de tiroides CAPTUS 3000 que consta de dos detectores de yoduro de sodio (NaI) con la capacidad de realizar múltiples aplicaciones entre ellas captación en tiroides, pruebas de frotis, análisis de multicanal etc. Este equipo fue obtenido bajo el proyecto de cooperación técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), RLA 9066 "Fortalecimiento y actualización de las competencias técnicas para la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos ocupacionalmente a la radiación ionizante". La calibración de la eficiencia del sistema se realiza anualmente utilizando un simulador de tiroides con una fuente de <sup>133</sup>Ba considerando que la vida media del <sup>133</sup>Ba es alrededor de 10 años y con energías de fotones similares a las del <sup>131</sup>I.

Este trabajo muestra los resultados del monitoreo rutinario del personal ocupacionalmente expuesto del Servicio de Medicina Nuclear del Centro Nacional de Radioterapia (CNR); los resultados obtenidos de la mayor dosis efectiva comprometida fue de 0.3 mSv lo que demuestra que los riesgos radiológicos debido a la penetración de partículas radiactivas en el interior del cuerpo por la vía de inhalación es relativamente bajo y esto es debido a las buenas prácticas y utilización de los procedimientos de protección radiológica establecidos en la institución. La verificación del buen funcionamiento del sistema de captación de tiroides se realiza a través del programa de control de calidad (semanal, mensual y anual), además de la participación en la última inter-comparación regional en la cual se obtuvieron resultados aceptables según el criterio ANSI.

## 1. INTRODUCCIÓN

El único centro de medicina nuclear en Nicaragua está ubicado en el Centro Nacional de Radioterapia "Nora Astorga" (CNR), este inicio a brindar tratamientos y diagnósticos a pacientes desde el 3 de noviembre del año 2011, siendo uno de los requisitos indispensables establecidos por la autoridad reguladora nacional en la guía el licenciamiento, que para trabajar con fuentes abiertas es necesario que el personal ocupacionalmente expuesto sea monitoreado tanto de forma externa y por incorporación. En el Proyecto regional RLA 9066 del OIEA se aprobó la compra para el LAF-RAM; del equipo captador de tiroides Marca Capintec, Modelo CAPTUS 3000 (con dos detectores de NaI(Tl) Ioduro de sodio activado con talio) de diámetro de cristal de 5.1 x 5.1 cm (2" x 2"); además se capacitó al personal para la puesta en marcha del servicio de monitoreo por incorporación a nivel nacional.

La periodicidad establecida para el monitoreo es de cada 15 días, para un total de 15 trabajadores ocupacionalmente expuestos. El sistema es calibrado anualmente utilizando un simulador de cuello con una fuente de <sup>133</sup>Ba donada por el OIEA y el Instituto de Radioprotección y Dosimetría IRD, Brasil, con la cual se determina la eficiencia del sistema para estimar la actividad incorporada de <sup>131</sup>I por el personal y la dosis efectiva comprometida. Se estableció un programa de control de calidad al sistema de medición tomando en cuenta

las recomendaciones del fabricante (Autocalibración, constancia, y pruebas de Chi-cuadrado). Se establecieron los niveles de registro y de investigación así como la actividad mínima detectable del sistema.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

Este trabajo se realizó utilizando un equipo captador de tiroides CAPTUS 3000 (Figura 1) y un simulador de cuello (Figura 2) hecho con material de tejido equivalente el cual tiene inserto una fuente de  $^{133}\text{Ba}$  con actividad conocida de 14484 Bq a la fecha de referencia del 6 de octubre del 2011, el cual tiene la forma y ubicación de la tiroides.



**Figura 1. Captador de tiroides CAPTUS 3000, Fuente propia**



**Figura 2. Maniquí simulador de cuello, Fuente propia**

### 2.1. Niveles de referencia

#### 2.1.1 Nivel de Investigación

Este se estableció considerando una dosis comprometida de 5 mSv en un año [1] y el coeficiente por inhalación  $e(g)_j=1,98 \times 10^{-8}$  Sv/Bq [4] para el  $^{131}\text{I}$  en el escenario de incorporación por inhalación de yodo como gas y el número (N=24) de periodos de monitoreo [3] que se realiza por año, este se determina utilizando la ecuación 1.

$$II_j = \frac{0.005}{N e(g)_j} \quad [1] \quad (\text{Ec. 1})$$

$$NI_j = \frac{0,005 \text{ Sv}}{24 \times 1,98 \times 10^{-8} \text{ Sv} / \text{Bq}} = 10,522 \text{ Bq} \quad (\text{Ec.2})$$

#### 2.1.2 Nivel de Registro Derivado (NRD) en tiroides:

Considerando que el nivel de registro se ha establecido en base a dosis efectiva de 1 mSv para un año de trabajo para el personal que trabaja con  $^{131}\text{I}$  y con una frecuencia de monitoreo quincenal, el NRD [1] es:

$$NRD_j = \frac{0,001}{N \times e(g)_j} \times m(t_0) \quad (\text{Ec. 3})$$

$$NRD_j = \frac{0,001 \text{ Sv}}{24 \times 1.98 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}} * 1.47 \times 10^{-1} = 309 \text{ Bq} \quad (\text{Ec.4})$$

$m(t_0)$  : Es el valor de la fracción de retención o excreción después de la incorporación de 1Bq del radionúclido j por inhalación o ingestión en el tiempo t transcurrido entre la incorporación y la medición. En el programa de monitoreo rutinario, cuando no se conoce la fecha de la incorporación, se adopta que la misma ha ocurrido en la mitad del período de monitoreo. [1]

### 2.1.3 Actividad Mínima Detectable AMD

“La actividad mínima detectable (AMD) a menudo denominada límite de detección  $L_D$  corresponde al nivel de actividad para el cual es necesario asegurar, con un nivel de confianza elegido  $\beta$ , que la señal neta será detectada con el criterio que excede a la Actividad Mínima Significancia (MSA) [1]

$$\text{La MSA está definida como } MSA = \frac{1,56}{F_C} \sqrt{\frac{n_b}{t_s} \left(1 + \frac{t_s}{t_b}\right)} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde  $n_b$  es la tasa de conteo de fondo  $t_s$  y  $t_b$  son los tiempos de conteo de la muestra y para una medida asociada de fondo respectivamente;  $F_c$  es el factor de calibración

Si  $t_s = t_b$  si y  $\sigma_b = \sqrt{\frac{n_b}{t_b}}$  entonces

$$MSA = \frac{2.21}{F_C} \sigma_b \quad (\text{Ec. 6})$$

La AMD está definida en términos de la AMS como  $AMD = \frac{3}{F_C * t} + 2MSA$  (Ec. 7)

$$AMD = \frac{3}{F_C * t} + \frac{4,65 * \sqrt{\text{BackG}}}{F_C * t} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde  $t$  es el tiempo de conteo y en el caso que las mediciones no presenten mucha fluctuación el AMD puede ser considerado como la siguiente expresión

$$AMD = \frac{4,65 * \sqrt{\text{BackG}}}{F_C * t} \quad (\text{Ec. 9})$$

Por lo tanto para un tiempo de conteo de  $t = 200$  s y el fondo en 200 s fue de 549 cuentas, el Factor de calibración obtenido previamente fue  $F_c^{131I} = 0,0037$

$$AMD=146 \text{ Bq} \quad (\text{Ec. 10})$$

#### 2.1.4. Determinación del Factor de calibración para $^{131}\text{I}$

Sea  $M_{backg}$  la medición de las cuentas por segundo de fondo en la región de interés ROI en la opción MULTICANAL DEL CAPTUS 3000, que abarcó las energías similares de fotones del  $^{133}\text{Ba}$ , iniciando el contaje desde el canal 130 al canal 210. El tiempo de adquisición fue 200 s y la lectura obtenida de fondo fue:

$$M_{backg} = 9.63 \text{ cps} \quad (\text{Ec. 11})$$

Por lo tanto para el fondo en número de cuentas totales es

$$Backg = 1926 \text{ cuentas} \quad (\text{Ec. 12})$$

La incertidumbre [2] asociada al fondo es

$$\sigma_{Backg} = \frac{\sqrt{1926}}{200} = 0,22 \quad (\text{Ec. 13})$$

$$BackG = (9,63 \pm 0,22) \text{ cps} \quad (\text{Ec. 14})$$

Luego se procedió a colocar la fuente de  $^{133}\text{Ba}$  en el simulador de cuello para obtener las cuentas por segundo, siendo  $M_{Fantoma}$  la medición en cuentas por segundo del maniquí (con el radionúclido) medido también en el MULTICANAL en la ROI escogida anteriormente, obteniendo.

$$M_{Fantoma} = 60,78 \text{ cps} \quad (\text{Ec. 15})$$

Por lo tanto el número de cuentas totales del maniquí es:

$$fantoma = 12156 \text{ cuentas} \quad (\text{Ec.16})$$

La incertidumbre asociada a la medición de cuentas del maniquí es:

$$\sigma_{fantoma} = \frac{\sqrt{12156}}{200} = 0,55 \quad (\text{Ec. 17})$$

Las cuentas por segundo obtenidas con el maniquí con su incertidumbre es:

$$Fantoma = (60,78 \pm 0,55) \text{ cps} \quad (\text{Ec. 18})$$

Por lo tanto para el maniquí de tiroides el número de cuentas por segundo netas es:

$$M_{netas} = 60,78 - 9,63 = 51,15 \text{ cps} \quad (\text{Ec. 19})$$

La incertidumbre asociada a la medición es

$$\sigma_{netas} = \sqrt{(0,55)^2 + (0,22)^2} = 0,59 \text{ cps} \quad (\text{Ec. 20})$$

La actividad del maniquí corregido por decaimiento al día de la medición 16 de abril del 2012 es:

$$Act_{decaida}^{133}Ba = 13984 Bq \quad (\text{Ec. 21})$$

Para la determinación de la incertidumbre de la actividad del maniquí es necesario hacer la corrección por los valores inicial de actividad del  $^{133}Ba$  con 14480 Bq con una incertidumbre 104 Bq. Por tanto

$$\sigma_{Act_{decaida}^{133}Ba} = \frac{104}{14480} * 13984 = 100 Bq \quad (\text{Ec. 22})$$

El factor de calibración se determina por medio de la siguiente relación

$$F_c = \frac{M_{netas}}{Actividad\ del\ ^{133}Ba} = \frac{51,15}{13984} = 0,0037 cps/Bq \quad (\text{Ec. 23})$$

$$3.7 \times 10^{-3} cps/Bq$$

$$\sigma_{F_c} = 0,0037 * \sqrt{\left(\frac{0,59}{51,15}\right)^2 + \left(\frac{100}{13984}\right)^2} = 0,0001 cps/Bq \quad (\text{Ec. 24})$$

$$F_c = (0,0037 \pm 0,0001) cps/Bq \quad (\text{Ec. 25})$$

### 2.1.5. Medición de la Actividad

La actividad se obtiene de las cuentas por segundo que se obtienen de la ROI que cubran los gammas del  $^{131}I$  medidas al personalmente expuesto menos las cuentas por segundo de fondo medidas en la misma ROI, el valor obtenido se divide por la fracción de retención para obtener la Actividad incorporada [3]:

$$I = \frac{M}{m(t)} \quad (Bq) \quad (\text{Ec. 26})$$

Dónde:

M: Es el resultado de la medición in vivo o in vitro (en caso de excreción debe ser referente al período de 24 horas).

### 2.1.6 Cálculo de la Dosis Efectiva Comprometida [E(50)]

La dosis es calculada utilizando los factores de conversión de dosis [e(50)] [3]

$$E_{(50)} = I(\text{Bq}) \times e_{(50)} \left( \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} \right) \quad (\text{Sv}) \quad (\text{Ec. 27})$$

Dónde:

I: Es la actividad incorporada (Bq)

e(50) : Es el factor de conversión de dosis (Sv/Bq)

### 2.1.6 Resultado

Sumando para cada trabajador todas las dosis efectivas comprometidas E(50) del personal ocupacionalmente expuesto, la mayor dosis corresponde a la recibida por la radio farmacéutica obteniendo un valor de 0.3 mSv desde abril del 2012 a noviembre de 2014.

## 3. CONCLUSIONES

El sistema de monitoreo por incorporación está establecido en Nicaragua, se determinaron los parámetros necesarios para su buen funcionamiento, estableciendo los niveles de registro e intervención y la actividad mínima detectable, así como la metodología para la calibración del sistema utilizando una fuente de <sup>133</sup>Ba como patrón y la determinación de la incertidumbre en las mediciones.

Las dosis equivalente comprometida estimada al personal ocupacionalmente expuesto del área de medicina nuclear del CNR son bajas siendo la mayor de 0.3 mSv en el periodo comprendido desde marzo del 2012 hasta noviembre del 2014, esto se debe a las buenas condiciones de seguridad y el seguimiento de los procedimientos establecidos en esta institución.

El sistema de dosimetría por incorporación se encuentra calibrado y ha participado en la intercomparación regional organizada por el IRD en conjunto con el OIEA realizada en el 2013 obteniendo resultados aceptables según el criterio ANSI.

## 4. REFERENCIAS

1. International Atomic Energy Agency (IAEA). Assessment of Occupational Exposure due to Intakes of Radionuclides - Safety Guide No. RS-G-1.2, 1999.
2. International Atomic Energy Agency (IAEA). Methods for Assessing Occupational Radiation Doses due to Intakes of Radionuclides. Safety Reports Series No. 37 IAEA, Vienna. 2004
3. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers. ICRP Publication 78. Annals of the ICRP Vol. 27/3-4, 1998.
4. Bertelli L, Melo DR, Lipsztein J, Cruz-Suarez R. AIDE: Internal Dosimetry Software. Radiation Protection Dosimetry 130, n. 3, 358–36