

DOSIS RECIBIDA DE ^{131}I Y ^{125}I POR LOS TRABAJADORES DEL CENTIS

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

¹ Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones

RESUMEN

El trabajo muestra la Dosis Efectiva Comprometida recibida por la incorporación de ^{131}I y ^{125}I de los Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos del Centro de Isótopos de Cuba en el periodo 2009-2013. Las mediciones en Tiroides se realizaron en el Contador de Radiactividad Corporal del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, con dos instalaciones espectrométricas, una que utilizó un detector de NaI(Tl) de 3 pulgadas de diámetro y 3 pulgadas de espesor en adición de la cadena electrónica usual basada en módulos independientes y otra que utilizó el sistema compacto IdentifINDER ultra que posee un detector de NaI(Tl) de 1.4 pulgadas de diámetro y 2 pulgadas de espesor. La contribución a la Dosis Efectiva Comprometida, del ^{125}I , se estimó con un Factor de Calibración obtenido aplicando el Método Monte Carlo Relativo para ambas instalaciones. De los 26 Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos involucrados en la manipulación de ^{131}I y ^{125}I , solo 5 recibieron Dosis Efectiva Comprometida mayores que 1 mSv, considerando la suma de todas las incorporaciones detectadas entre 2009 y 2013. Cinco de ellos presentaron una contribución de ^{125}I que osciló entre 0.001 y 0.760 mSv.

1. INTRODUCCIÓN

Los Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos (TOE) del Centro de Isótopos (CENTIS), institución que importa prepara y fracciona todas las soluciones de ^{131}I , y ^{125}I , que se utilizan en Cuba, aun cuando las actividades que estos realizan siguen los principios más actualizados en protección radiológica, producto de la impracticabilidad de reducir el riesgo de incorporación a cero necesitan con una frecuencia preestablecida someterse a un programa de monitoreo que verifique que la Dosis Efectiva Comprometida (E(50)) que reciben no sobrepasa el Límite de Dosis Anual (LDA), ni ciertas fracciones de este¹.

El monitoreo de la incorporación de ^{131}I de los TOE del CENTIS, se efectúa en el Laboratorio de Dosimetría Interna (LDI) del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPhR). Ocasionalmente un mismo TOE realiza actividades en las cuales manipula ^{131}I y ^{125}I detectándose, contribuciones de ^{125}I , en las mediciones rutinarias de ^{131}I . La E(50) para estas incorporaciones, no fue estimada debido a que las instalaciones espectrométricas no estaban adecuadas para la determinación de ^{125}I . Dicha situación ocurre debido a la no disponibilidad de soluciones certificadas de ^{125}I , o ^{129}I con las cuales construir la solución de referencia que se utiliza en el simulador físico de Tiroides para calibrar.

Con este trabajo nos proponemos estimar la E(50) correspondiente al periodo 2008-2013 recibida por la suma de ambos radionucleidos, utilizando para obtener los factores de calibración para el ^{125}I , una metodología basada en la aplicación del método monte carlo

¹ E-mail del Autor. yoan@cphr.edu.cu

aplicado al transporte de la radiación. La eficiencia para la medición de ^{125}I , en Tiroides se obtuvo aplicando el Método Monte Carlo Relativo (MMC R), tomando como geometría de referencia la puntual²⁻³.

De los 26 Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos involucrados en la manipulación de ^{131}I y ^{125}I , solo 5 recibieron Dosis Efectiva Comprometida mayores que 1 mSv, considerando la suma de todas las incorporaciones detectadas entre 2009 y 2013. Cinco de ellos presentaron una contribución de ^{125}I que osciló entre 0.001 y 0.760 mSv.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Las mediciones fueron realizadas dentro de la cámara de bajo fondo del LDI, la cual posee unas dimensiones de 2.5 x 2.5 x 2.5 m y está recubierta desde fuera hacia dentro con 15 cm de acero, 3 mm de plomo, 1.8 mm de estaño, y 1.5 mm de cobre. Se efectuaron en dos instalaciones espectrométricas, una que utiliza un detector de NaI(Tl) (3X3) de 3 pulgadas de diámetro y 3 pulgadas de espesor en adición de la cadena electrónica usual basada en módulos independientes y otra que utiliza el sistema portátil compacto IdentifINDER ultra que posee un detector de NaI(Tl) de 1.4 pulgadas de diámetro y 2 pulgadas de espesor.

2.1. Simuladores Físicos

Para calcular la eficiencia de detección del ^{131}I , y validar la metodología de cálculo de la eficiencia para el ^{125}I se utilizó un simulador antropomórfico material tejido equivalente de cuello con una abertura anatómicamente correcta donde se sitúa el simulador de Tiroides. Para contener la solución en el simulador de Tiroides se utilizaron tres pomos de polyethylene; uno con ^{133}Ba (utilizado en la calibración física de las instalaciones para medir ^{131}I , durante todo el periodo), y otros dos conteniendo ^{131}I y $^{99\text{m}}\text{Tc}$, utilizados junto con el de ^{133}Ba , para la validación de la metodología monte carlo para calcular la eficiencia de detección del ^{125}I en las condiciones del LDI.

2.2. Código utilizado para realizar las simulaciones

Se utilizó el código VMC in vivo⁴. El software permite simular una gran cantidad de energías, correspondientes a radionucleidos relevantes desde el punto de vista de la dosimetría interna, como el ^{131}I , ^{137}Cs , compuestos de uranio, del plutonio entre otros muchos más.

2.3. Método Monte Carlo Relativo

El Método Monte Carlo Relativo (MMCR) consiste en la obtención de la eficiencia, teniendo en cuenta la simulación directa y un coeficiente de corrección (CC) solo dependiente de la energía de los fotones evaluada:

$$E_r = E_s CC \quad (1)$$

Este CC se obtiene a partir del cociente entre la eficiencia real y la simulada para un proyecto en el cual se tenga una mayor certeza acerca de la geometría de la fuente. Por ejemplo es muy utilizado para esto el caso en que la geometría de la fuente sea puntual⁵.

$$E_r = E_s \frac{E_{pr}}{E_{ps}} \quad (2)$$

donde E_{pr} y E_{ps} , son las eficiencias, calculada (experimento real) y simulada para una geometría puntual, y E_s la eficiencia simulada para la geometría de Tiroides.

Para caracterizar la exactitud de la metodología se compararon las eficiencias experimentales y las simuladas con monte carlo para la geometría de Tiroides utilizando la siguiente expresión⁶.

$$D(\%) = \frac{E - \eta}{\eta} 100 \quad (3)$$

2.4. Procedimiento y análisis de las mediciones

Para definir el intervalo de integración en las mediciones reales y en el espectro simulado con VMC *in vivo* se consideró la distribución del fotopico como una gaussiana, y se tomó el 95% de los canales atribuibles a la distribución.

La disposición particular entre el simulador de cuello y el detector, fue tal que la recta que une el centro de la cara del detector con el istmo de la Tiroides se mantuvo perpendicular al plano de la cara del detector. Cambiando solo, la longitud del segmento de recta en las mediciones a los TOE.

La eficiencia de detección (η) y la Actividad Medida (Am) se calcularon según:

$$\eta = \frac{CS - CF}{AYT} \quad (4)$$

$$Am = \frac{C_{TOE} - CF}{\eta Y T} \quad (5)$$

donde:

CS: conteos del simulador con la Tiroides portadora de la solución patrón (^{133}Ba , ^{131}I , y ^{99m}Tc).

CF: conteos del simulador con la Tiroides de fondo

C_{TOE} : conteos del TOE en la Tiroides

A: actividad de la solución patrón (^{133}Ba , ^{131}I , y ^{99m}Tc), contenida en el simulador de Tiroides

Y: probabilidad absoluta de emisión

T: tiempo de medición, común para CS, CF y C_{TOE}

El tiempo utilizado en todas las mediciones fue de 900 segundos. La incorporación y la Dosis Efectiva Comprometida se calcularon como¹:

$$I = \frac{A_M}{m_t} \quad (6)$$

$$E(50) = I e(g) \quad (7)$$

donde:

m_t , es la fracción de retención

$e(g)$, es el coeficiente de dosis

Los valores de m_t y $e(g)$ para interpretar los resultados del monitoreo, en cada caso (TOE, ruta de incorporación, patrón de incorporación, propiedades físico-químicas del material, intervalo entre la incorporación y la medición, *i.e.*) fueron seleccionados de la Publicación 78 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica¹, de acuerdo a información suministrada por el CENTIS.

En los cálculos con VMC *in vivo* se generó una cantidad de historias tales que la incertidumbre relativa atribuible al proceso estadístico de la simulación en los valores de eficiencia fueron menores que 1%. La incertidumbre relativa para los valores de eficiencia calculados fue de aproximadamente un 10% para el ¹³¹I y de un 13% para el ¹²⁵I. La incertidumbre relativa de la actividad medida fue de aproximadamente un 21% para el ¹³¹I y de un 33% para el ¹²⁵I.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Validación de la metodología MMC R

La distancia para la cual se compararon las eficiencias calculadas con el MMCR y las medidas en la geometría de Tiroides fue de 15 cm para el IdentiFINDER ultra y 11.7 cm para el 3X3. Se utilizó como geometría de referencia la puntual, para una distancia de 15 cm.

En las tablas 1 y 2, se muestran las diferencias obtenidas para cada energía evaluada. Como se aprecia, la mayor diferencia encontrada fue de un 10% para la energía de 30 KeV con el IdentiFINDER ultra y de 6% para las energías de 30 y 637 KeV para el caso 3X3.

Tabla 1. Exactitud de la metodología MMC R, para calcular la eficiencia del sistema con el IdentifINDER ultra

Energía (KeV)	Eficiencia Medida	Eficiencia MMC R	Diferencia (%)
30	0.00063	0.00057	-10
80	0.0020	0.0019	-5
140	0.0016	0.0017	6
302	0.00084	0.00086	3
356	0.00067	0.00065	-3
637	0.00034	0.00032	-6

Tabla 2. Exactitud de la metodología MMC R, para calcular la eficiencia del sistema con el NaI (TI) (3X3)

Energía (KeV)	Eficiencia Medida	Eficiencia MMC R	Diferencia (%)
30	0.0031	0.0029	-6
80	0.0074	0.0076	3
302	0.0044	0.0043	-2
356	0.0038	0.0036	-5
637	0.0021	0.0022	6

A continuación se realiza el mismo análisis anterior pero considerando 3 distancias Tiroides – detector, que resumen la variabilidad de las distancias a las que fueron medidas las personas durante el periodo 2009 – 2013, para la energía de 30 KeV.

Tabla 3. Exactitud de la metodología MMC R, para calcular la eficiencia del sistema con el IdentifINDER ultra

Distancia (cm)	Energía	Eficiencia	D (%)
1	30 KeV	0.0051	-7
5		0.0021	9
15		0.00057	-10

Tabla 4. Exactitud de la metodología MMC R, para calcular la eficiencia del sistema con el NaI(Tl) 3X3

Distancia (cm)	Energía	Eficiencia	D (%)
1	30 KeV	0.014	-7
5		0.0065	-8
11.7		0.0029	-6

Como se aprecia las diferencias en todos los casos fueron menores que el 10%, dicha exactitud puede considerarse adecuada para determinar la eficiencia en aquellas aplicaciones rutinarias en la determinación de actividad⁶.

3.2. Dosis Efectiva Comprometida recibida por los Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos del Centro de Isótopos debido a las incorporaciones detectadas de ¹²⁵I, entre los años 2009 y 2013

Las mediciones en Tiroides entre enero de 2009 y agosto de 2010 se realizaron con el detector de NaI(Tl): 3X3. Mientras que, entre septiembre de 2010 y diciembre de 2013 se realizaron con el IdentiFINDER ultra. Para este último debido a su diseño, el monitoreo se realizó a la distancia detector-cuello de 1 cm. En el caso del 3X3, en dependencia del TOE, esta distancia varió entre 10 cm y 16 cm. Teniendo en cuenta esto, en la figura 1 aparece la relación de la eficiencia con la distancia para el 3X3 vigente entre enero de 2009 y agosto de 2010. Estas eficiencias se obtuvieron utilizando un CC para la distancia de referencia de 10 cm. La eficiencia entre septiembre de 2010 y diciembre de 2013 del IdentiFINDER ultra para la determinación de ¹²⁵I en Tiroides fue 0.0051.

En la tabla 4 se muestran las E(50) debido al ¹²⁵I recibidas por los 5 TOE para los cuales se detectó incorporación de ¹²⁵I. Como se observa, los valores de E(50), están en el rango de 0.001-0.760 mSv.

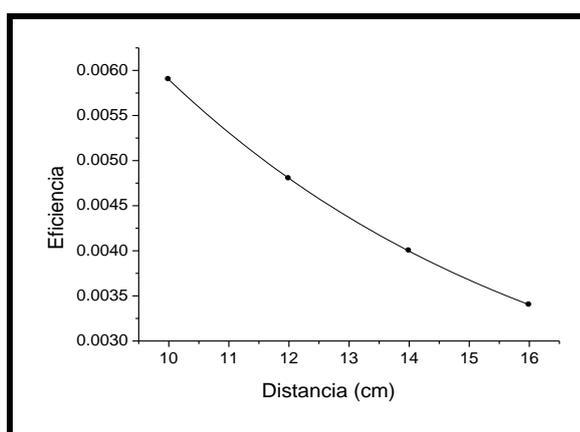


Figura 1. Relación de la eficiencia con la distancia detector-cuello del NaI(Tl): 3X3, para la medición en Tiroides de ¹²⁵I, entre enero de 2009 y agosto de 2010. Se aplicó el MMC R, el CC se calculó para una distancia de referencia de 10 cm.

Tabla 4. E(50) en (mSv) recibida por los 5 TOE del CENTIS, a los cuales les fueron detectadas, incorporaciones de ^{125}I .

TOE	2009	2010	2011	2012	2013	Total
T9	0.00	0.00	0.002	0.00	0.00	0.002
T16	0.00	0.00	0.003	0.007	0.00	0.010
T17	0.00	0.003	0.00	0.00	0.00	0.003
T22	0.00	0.00	0.00	0.001	0.00	0.001
T26	0.00	0.00	0.00	0.760	0.00	0.760

3.3. Dosis Efectiva Comprometida recibida por los Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos del Centro de Isótopos debido a las incorporaciones detectadas de ^{131}I , entre los años 2009 y 2013

Como se describió anteriormente, entre enero de 2009 y agosto de 2010, el monitoreo se realizó con el detector 3X3, y entre septiembre de 2010 y diciembre de 2013, con el IdentiFINDER ultra. La eficiencia real para la determinación de ^{131}I del IdentiFINDER ultra y el 3X3, se calculó con un simulador de cuello antropomórfico y un simulador de Tiroides que contiene ^{133}Ba . Como es preciso, y de acuerdo a los criterios de calidad del Laboratorio de Dosimetría Interna, durante todo el periodo se realizó un control de calidad adecuado, verificando la estabilidad de cada instalación y la validez de la eficiencia vigente para la determinación de la actividad retenida en Tiroides de ^{131}I con ambas instalaciones.

En la tabla 5 se muestran las E(50) recibidas por los TOE del CENTIS debido a las incorporaciones de ^{131}I , entre 2009 y 2013. Como se observa para la mayoría de los TOE, las dosis recibidas estuvieron por debajo de 1mSv para cada año y para todo el periodo. Solo en 2011 hubo dos TOE que recibieron dosis mayores que 1 mSv, y teniendo en cuenta el periodo completo, 4 TOE recibieron E(50) mayores que 1 mSv. La dosis máxima que recibió un TOE entre 2009 y 2013 fue de 2 mSv.

Si comparamos la E(50) debido al ^{131}I recibida por los TOE T9, T16, T17 y T22 con la E(50) debido al ^{125}I recibida por estos (Tabla 4), la E(50) producto de la incorporación de ^{125}I en todo el periodo, representó menos del 1% de la E(50) recibida por la incorporación de ^{131}I . El riesgo de incorporación asociado a una determinada actividad depende de muchos factores, teniendo en cuenta la metodología de la Guía de Seguridad RS-G-1.2⁷, los factores que pueden explicar esta diferencia son, la volatilidad de ^{131}I , y que los valores de actividad manipulados de ^{131}I fueron mayores que los de ^{125}I . Los TOE T9, T16, T17 T22 y T26 forman parte de un grupo de investigación del CENTIS que realiza estudios sobre la biodistribución de determinados radiofármacos marcados con ^{125}I y ^{131}I . Solo para el TOE T26 la E(50) recibida por la incorporación de ^{125}I fue superior a la recibida debido al ^{131}I .

De cualquier forma, si comparamos la E(50) recibida por los TOE del CENTIS debido a la incorporación de ^{125}I y ^{131}I con el LDA, puede apreciarse que para estos la E(50) recibida en 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013, estuvo muy por debajo del LDA. Evidenciándose que estos realizan sus actividades en condiciones adecuadas de seguridad.

Tabla 5. E(50) (mSv) recibida por los TOE del CENTIS, debido a las incorporaciones detectadas de ¹³¹I.

TOE	2009	2010	2011	2012	2013	Total
T1	0.55	0.00	0.34	0.03	0.00	0.91
T2	0.10	0.07	0.03	0.15	0.01	0.37
T3	0.01	0.09	0.12	0.02	0.01	0.25
T4	0.02	0.06	0.25	0.23	0.11	0.67
T5	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04
T6	0.45	0.16	0.13	0.26	0.10	1.10
T7	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03
T8	0.29	0.16	0.65	0.25	0.03	1.37
T9	0.08	0.08	0.01	0.41	0.06	0.64
T10	0.03	0.04	0.00	0.13	0.02	0.21
T11	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.06
T12	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
T13	0.06	0.15	1.36	0.41	0.01	1.99
T14	0.00	0.10	0.12	0.10	0.05	0.37
T15	0.00	0.26	1.43	0.00	0.00	1.69
T16	0.00	0.02	0.07	0.00	0.00	0.09
T17	0.00	0.02	0.78	0.08	0.00	0.88
T18	NT ^a	0.03	0.12	0.00	0.00	0.14
T19	NT	0.01	0.03	0.00	0.00	0.04
T20	0.00	0.09	0.04	0.16	0.02	0.31
T21	0.00	0.12	0.03	0.11	0.04	0.30
T22	NT	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05
T23	NT	NT	0.02	0.00	0.00	0.02
T24	NT	NT	0.02	0.18	0.27	0.46
T25	NT	NT	NT	0.59	0.23	0.81
T26	NT	NT	NT	0.21	0.05	0.26

^a(NT: No trabajó)

4. CONCLUSIONES

El Método Monte Carlo Relativo constituyó una herramienta adecuada para calcular la eficiencia de detección en Tiroides de ^{125}I , de las instalaciones espectrométricas utilizadas en el Laboratorio de Dosimetría Interna para realizar las mediciones de la Vigilancia Radiológica Individual de la Exposición Interna debido a la incorporación de radioisótopos de Iodo.

Las Dosis Efectiva Comprometida, recibidas por los TOE del CENTIS para los cuales fue detectada incorporación de ^{125}I , entre los años 2009 y 2013, representó menos del 1% de la Dosis Efectiva Comprometida recibida por la incorporación de ^{131}I .

Los valores de Dosis Efectiva Comprometida de ^{125}I y ^{131}I , recibidos por los TOE del CENTIS entre los años 2009 y 2013, demuestran que estos realizan sus actividades en condiciones adecuadas de seguridad.

5. REFERENCIAS

- 1- International Commission on Radiological Protection Publication 78. Individual monitoring for internal exposure of workers. Ann. ICRP 27(3/4); 1997. (Oxford: Elsevier Science Ltd).
- 2- Liye L., Jinzeng M., Franck D., Carlan L., Binquan Z. Monte Carlo efficiency transfer method for full energy peak efficiency calibration of three type HPGe detectors: A coaxial N-type, a coaxial P-type and four BEGe detectos. Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A. 56(4), 608-613 (2006).
- 3- Nogueira P., Silva L., Teles P., Bento J., et al. Monte Carlo simulation of the full energy peak efficiency of a WBC. App. Radiat. and Isot. 68, 184-189 (2010).
- 4- Hunt J. G., Malátová I., Foltánová S., Dantas B. Calibration of in vivo measurement systems using a voxel phantom and the Monte Carlo Techniques. Radiat. Prot. Dos. 89(3-4), 283-286 (2000).
- 5- Vidmar T., Aubineau-Laniece I., Anagnostakis M., Arnold D., et al. An intercomparison of Monte Carlo codes used in gamma-ray spectrometry. Appl. Radiat. And Isot. 66 764-768 (2008).
- 6- Lépy M. C., Altitzoglou T., Arnold D., Bronson F., et al. Intercomparison of efficiency transfer software for gamma-ray spectrometry. App. Radiat. and Isot. 55, 493-503 (2001).
- 7- International Atomic Energy Agency. Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides, Safety Guide No. RS-G-1.2, Viena (2004).