

MONITORAJE INDIVIDUAL DEBIDO A EXPOSICIÓN INTERNA POR I131 DE LOS TRABAJADORES DEL SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR DE FUESMEN

¹ Arenas, G., ²Acosta, N., ²Venier, V., ¹Bedoya Tobón, C.

¹Fundación Escuela de Medicina Nuclear (FUESMEN), Argentina

²Fundación Escuela de Medicina Nuclear (FUESMEN), Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA),
Argentina

RESUMEN

Se expone la experiencia realizada en FUESMEN en monitoreo rutinario en tiroides de dosis interna de por exposición debida a incorporaciones por inhalación de ¹³¹I en los trabajadores del Servicio de Medicina Nuclear en la operación normal o exposición accidental. Se utiliza un monitor de contaminación de superficie, tipo Geiger Müller, calibrado con un fantoma de acrílico basado en especificaciones del simulador de tiroides del ICRU 48 con una actividad de referencia de ¹³¹I.

A través de las mediciones obtenidas se logra validar la utilización del Monitor Portátil para realizar la exploración preliminar en el monitoreo en situaciones de escenarios incidentales.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de mediciones de concentración de ¹³¹I en aire en el cuarto caliente durante procedimientos de fraccionamiento y administración de soluciones acuosas de radioyodo se obtuvo un DAC de 0,3. Por otra parte IAEA sugiere, en su publicación RS-G-1.2, la implementación de un plan de monitoreo para potenciales incorporaciones que puedan llevar a valores de dosis efectiva comprometida en un año igual o mayores a un 1 mSv

Esta situación motivó el presente trabajo que consiste en la realización de mediciones *in vivo* de incorporación de ¹³¹I por trabajadores del área de medicina nuclear de FUESMEN. Tales mediciones permitirán validar, en condiciones de rutina clínica, la metodología propuesta por Rojo et al. [1] para el monitoreo individual de los trabajadores. Dicho método consiste en la utilización, en una primera instancia, de un monitor portátil cuya respuesta ha sido caracterizada para poder determinar niveles de incorporación que conducirían a una dosis comprometida igual o superior a 1mSv/año en trabajadores. En caso de superarse el Límite Inferior de Detección (LID) del instrumento, la segunda instancia del método consiste en la medición del trabajador utilizando un sistema SPECT.

La piedra angular de este método es la introducción de una exploración preliminar que hace uso de un Monitor Portátil. Dicha exploración otorga una gran simplicidad cuando es implementada de forma rutinaria. Además, permite disminuir la carga de uso de los equipos diagnósticos, como son por ejemplo los sistemas SPECT y los brazos de captación, en aplicaciones de dosimetría de POE (Personal Ocupacionalmente Expuesto). La principal razón para esto es que en muchas instalaciones de medicina nuclear diagnóstica y terapéutica, tales instrumentos suelen poseer un alto índice de ocupación, por razones asistenciales y económicas. La implementación de protocolos para la evaluación rutinaria de dosimetría de POE basados pura y exclusivamente en estos instrumentos afectaría negativamente el desempeño tales instalaciones.

2. MATERIALES

Para obtener las mediciones se utilizaron dos instrumentos: un Monitor Portátil modelo Inspector+, de Alfa Nuclear [Figura 1], con capacidad de integración de cuentas para tiempos preprogramados, y calibrado por el CRRD (Centro Regional de Referencia para Dosimetría) para fines de protección radiológica. Además se utilizó un sistema SPECT Axis de doble cabezal y angulación variable, de Philips, con todas las adquisiciones realizadas en modalidad planar e intrínseca [Figura 2], esto es, en ausencia de colimadores, con el objeto de aumentar la sensibilidad del sistema.



Figura 1. Monitor Geiger Müller Alfa Nuclear



Figura 2. Sistema SPECT Axis de doble cabezal

A fin de mejorar la repetibilidad de las geometrías de medición, se utilizaron separadores de espuma de poliuretano para cada instrumento. Esta ganancia en precisión genera un mínimo decremento en la Eficiencia de Detección (ED). Los separadores fueron diseñados para ser ubicados en la superficie del Triángulo Cervical Anterior, justo por encima del cartílago tiroideo [figura 3]. El separador para SPECT es de 100 mm, mientras que el usado en el Monitor es de 20 mm.



Figura 3. Separadores para Geiger Müller y SPECT

Para calcular la ED de ambos instrumentos se construyó un fantoma de acrílico basado en especificaciones del simulador de tiroides del ICRU 48[2]. El mismo posee un vial con un volumen activo de 40 mL de solución acuosa de ^{131}I [figura 4]. La actividad de referencia se chequeó en repetidas oportunidades a lo largo de todas las jornadas de medición, usando un activímetro Capintec CRC-712, también calibrado por el CRRD. El fantoma se preparó con una actividad del orden de 37 KBq.



Figura 4. Fantoma de acrílico con vial de solución acuosa.

Durante las mediciones de la ED se utilizaron también los separadores, a fin de reproducir de forma fidedigna la geometría utilizada para fondo y trabajadores [figura 5]



Figura 5. Determinación de las ED de Monitor y SPECT

3. MÉTODOS

El método propuesto por Rojo et. al. [1] establece que el monitor utilizado en la exploración preliminar debe poseer un Límite Inferior de Detección (LID) tan bajo que permita discriminar, en el peor de los casos, incorporaciones que conlleven a una Dosis Efectiva Comprometida para Trabajadores, E(50), de 1mSv/año, debida a inhalación Tipo F de ^{131}I .

En la tabla 1 se muestran los valores de Fracción Retenida $m(t)$ de ^{131}I en tiroides, para distintos tiempos tomados desde el evento de incorporación.

Tabla 1. Valores de $m(t)$ para ^{131}I debido a incorporaciones Tipo F. (ICRP 48)

Tiempo luego de la incorporación [d]	Tiroides
1	1,20E-01
2	1,20E-01
3	1,10E-01
4	9,90E-02
5	9,00E-02
6	8,20E-02
7	7,40E-02
8	6,80E-02
9	6,20E-02
10	5,60E-02

El LID describe la capacidad de contaje del sistema de detección, es decir, la actividad que el sistema puede detectar de forma consistente. Para propósitos de exploración preliminar, el LID, en términos de actividad, se calcula como 3 desviaciones estándar (3-sigma) del valor del Fondo evaluado sobre los voluntarios. El instrumento se considera apropiado para exploraciones preliminares siempre que el LID sea menor al valor de Actividad que desea detectarse [4]. El LID promedio obtenido para SPECT es de (446 ± 24) Bq, mientras que para el Monitor es de (2223 ± 98) Bq.

Para la determinación de Fondo se midieron de forma alternada 4 voluntarios, cuya probabilidad de haber incorporado ^{131}I era despreciable.

Tanto para el Monitor como para el sistema SPECT, cada una de las mediciones realizadas a los trabajadores consistió de dos a cuatro muestras, con el objeto de minimizar el error estadístico; excepcionalmente se contó con una sola muestra. Además, las muestras que conformaban cada medida se intercalaron con muestras de *Fondo*, de *Fantoma de Referencia* con fuente calibrada y de *Fondo Ambiental*. El muestreo alternado de Fondo, y la conmutación de distintos voluntarios, permite sustraer a la medida del trabajador un valor promedio de Fondo estadísticamente robusto.

Por otro lado, las fluctuaciones visualizadas sobre las muestras del fantoma, y corregidas por su correspondiente decaimiento radiactivo, permiten analizar la magnitud de las variaciones en la ED del sistema de medición a lo largo del tiempo, cualquiera que sea su causa [Gráfico 1 y 2].

Gráfico 1. Eficiencia de Detección SPECT en función del Tiempo

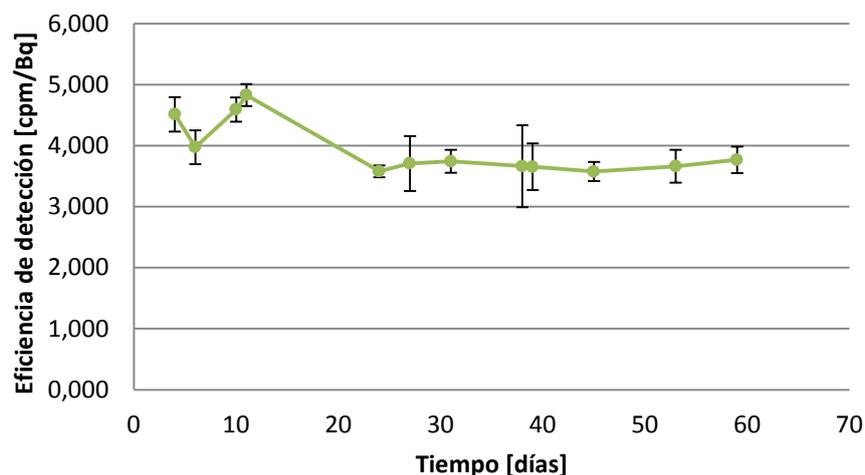
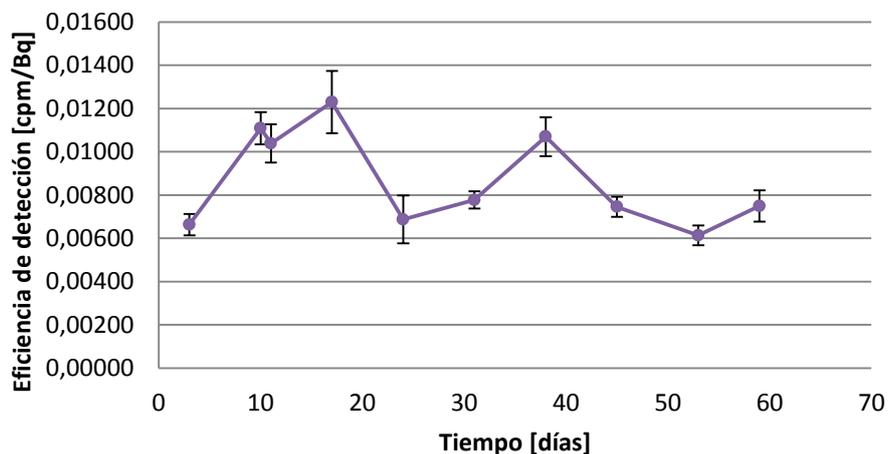


Gráfico 2. Eficiencia de Detección MONITOR en función del Tiempo



Por último, las muestras alternadas de Fondo Ambiental permiten estimar las fluctuaciones sufridas por el mismo [Gráfico 3 y 4], permitiendo validar las muestras de los trabajadores, y/o repetirlos cuando se considere necesario.

Gráfico 3. Fondo Ambiental SPECT en función del Tiempo

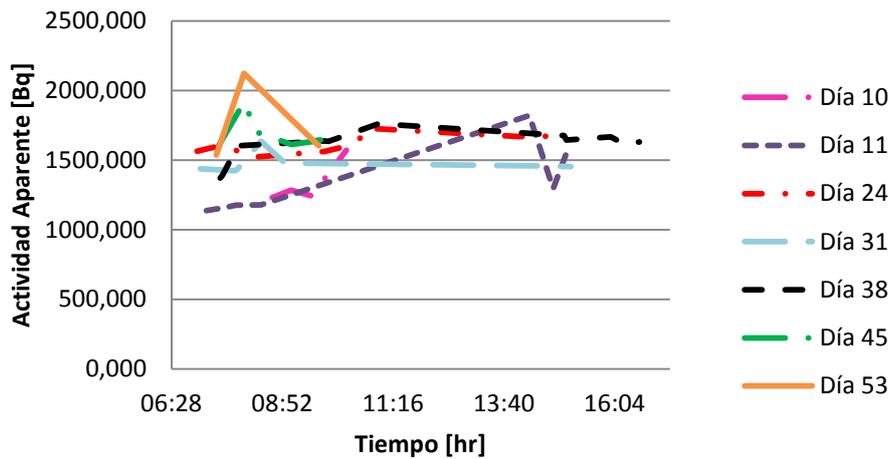
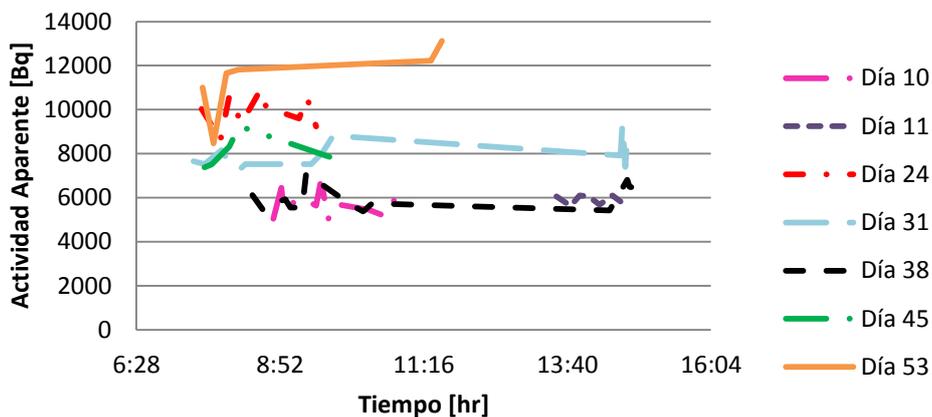


Gráfico 4. Fondo Ambiental MONITOR en función del Tiempo



Para todos los tipos de medidas, fuesen estas de Fondo o Fantoma de Referencia, tanto para el Monitor o para SPECT, las muestras se obtuvieron integrando cuentas durante 120 s.

Las adquisiciones con el Monitor Portátil se realizaron en un pasaje subterráneo de FUESMEN para de minimizar el Fondo Ambiental y su fluctuación, debido a todas las fuentes relativamente intensas y con exposiciones intermitentes que existen en la instalación. Las mediciones en el sistema SPECT se realizaron con una angulación entre cabezales de 90°, y orientando la cabeza detectora de interés hacia abajo, mientras que el lado libre del sistema se apantalló con los colimados montados en sus respectivos carros de transporte. La geometría se definió de esta manera con el fin de minimizar, también en este caso, la contribución de fondo ambiental y su fluctuación, dada la ausencia de colimación.

El servicio de medicina nuclear de FUESMEN posee instalaciones y personal habilitado para la realización procedimientos diagnósticos y terapéuticos basados en ^{131}I . La administración del material a los pacientes se realiza habitualmente entre 2 y 3 veces por semana. La preparación del material radiactivo se realiza dentro del 'cuarto caliente', y la administración

al paciente se lleva a cabo en el ‘cuarto tibio’ lindante. De acuerdo con el número de pacientes y el tipo de administración prescripta para cada uno, el trabajador puede pasar entre 10 y 30 minutos fraccionando y administrando las dosis de ^{131}I . Se asume que para todas las manipulaciones realizadas en una misma jornada se considerará un único potencial evento de incorporación.

Se estableció que las mediciones a los trabajadores se realizaran el primer día hábil de cada semana, y preferentemente al momento de arribo al servicio de cada uno de ellos, y previo a su ingreso al cuarto caliente, ya que el $^{99\text{m}}\text{Tc}$ es manipulado allí también. Se debe tener presente que el detector Geiger-Müller del Monitor es incapaz de discriminar la energía de los eventos detectados. La idea detrás de estas condiciones es poder minimizar la posibilidad de mediciones erróneas debidas a contaminación superficial ocurrida en una jornada de administración de dosis; aprovechando la circunstancia de que la $m(t)$ de ^{131}I en tiroides disminuye lentamente en los días posteriores a su incorporación, no siendo así para el $^{99\text{m}}\text{Tc}$, también retenido en tiroides, y cuya Constante Física de Decaimiento es mucho mayor a la del ^{131}I . Por este motivo se desea evitar cualquier probable incorporación de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en la misma jornada en que se realiza la medición.

4. ANÁLISIS DE DATOS

En total se evaluaron 6 posibles eventos de incorporación a partir de 33 mediciones con SPECT, y las respectivas 33 mediciones con Monitor Portátil. Las medidas se obtuvieron para 8 trabajadores, en un intervalo de tiempo entre 5 y 6 días posteriores a la administración de dosis diagnósticas y/o terapéuticas de ^{131}I . De las 33 pares de medidas, 7 pares corresponden a los 2 únicos trabajadores implicados en la manipulación directa de ^{131}I . Los restantes 26 corresponden a técnicos del Servicio de Medicina Nuclear que deben compartir el cuarto caliente para realizar sus tareas.

4.1. Eficiencia de Detección

Se procedió a calcular, para cada jornada de medición, la Eficiencia de Detección η , tanto para el Monitor Portátil como para el sistema SPECT, por medio de la ecuación (1),

$$\eta = \frac{Vr - Vf}{A_{ref}k_1k_2Y} \quad (1)$$

donde Vr es el promedio de las medidas de la Fuente de Referencia, Vf es el promedio de las medidas del Fondo, A_{ref} es la actividad de la fuente al momento de calibrarla, k_1 es el factor de corrección por decaimiento desde el momento de la calibración de la fuente hasta el inicio de las mediciones, k_2 es el factor de corrección por decaimiento desde el momento en que se inicia la medición hasta que finaliza, e Y es el rendimiento para el tipo de emisión de interés para el ^{131}I .

En los gráficos 1 y 2 se muestran los valores de Eficiencia de Detección, y su error asociado, para ambos detectores en cada jornada de medición. Las jornadas se contabilizaron a partir de la primera manipulación de Radioyodo que se consideró en este trabajo.

Para el Monitor la ED promedio resultó de $8,682E-3$ cpm/Bq, mientras que para el sistema SPECT fue de 3,938 cpm/Bq, esto es, 454 veces mayor que el Monitor Portátil.

Puede observarse además, que la fluctuación de la ED entre jornadas es mayor para el Monitor (Coeficiente de Variación, $CV=25,32\%$) que para SPECT ($CV= 11,27\%$). Mientras que, si se consideran las fluctuaciones promedio dentro de un mismo día, en los dos casos son menores y ambas del mismo orden de magnitud ($CV=8,73\%$ para Monitor y $CV=7,29\%$ para SPECT). A partir de estos resultados se reconoce como una buena estrategia, fundamentalmente por causa del Monitor Portátil, calcular el valor de la Actividad retenida en tiroides a partir del factor de ED correspondiente a cada jornada.

4.2. Fondo Ambiental

En las gráficas 3 y 4 se aprecia la fluctuación del Fondo Ambiental en un mismo día y para cada día. Todas las mediciones se encuentran corregidas por su correspondiente valor diario de ED, y expresadas en Bq.

Se observa que los valores de Fondo Ambiental son más dispersos para el Monitor en relación a SPECT (CV de $27,32\%$ y $12,46\%$, respectivamente), pese a que se hizo énfasis en hallar una zona de bajo fondo para el Monitor. Dichas fluctuaciones son atribuibles a la menor relación Señal-Ruido de este último detector. Esto puede confirmarse debido a que el valor absoluto promedio de la actividad calculada es 4,77 veces mayor para el Monitor respecto de SPECT.

4.3. Medidas de Actividad en Tiroides de los Trabajadores

Las tablas 2 y 3 muestran información de las medidas de actividad retenida en tiroides de los ocho trabajadores, para cada día, de ambos instrumentos. La tabla 2 está expresada en valores de sigma de las mediciones de Fondo. Cabe recordar que el Fondo es calculado en cada día para cada trabajador, así, cada medida tendrá su propio valor de sigma asociado. La tabla 3 muestra la misma información pero expresada en actividad en Bq.

Ambas tablas han sido codificadas en colores, los casilleros naranja representan aquellas mediciones que, por el criterio asumido, son válidas para propósitos de exploración preliminar, por superarse el LID (3-sigmas del Fondo). Por el contrario, se codifican en violeta aquellas medidas que no superan el LID (Tabla 4). Los casilleros grises indican que no existe la correspondiente medida. Además, en la tabla 3 se muestran dos valores para cada casilla naranja, el valor en negritas representa la actividad medida expresada en Bq. El valor en cursiva representa la diferencia, expresada en Bq, entre la Actividad neta y el LID (Exceso de Actividad). Excepcionalmente se ha codificado en amarillo, para su posterior análisis, aquella medida que, si bien no supera el LID, está muy próxima al mismo.

De las 33 medidas que se observan en las tablas 2 y 3, seis de ellas superan el LID del instrumento utilizado. Cinco de ellas corresponden al SPECT y solo una al Monitor Portátil. Esto implica que, en caso de haberse seguido la metodología planteada en el trabajo de Rojo et. al., sólo una de las mediciones con el Monitor hubiera conducido a la correspondiente evaluación con SPECT, y en esta instancia también se supera el LID de dicho instrumento, y por lo tanto, se llega al Nivel de Investigación. En tal caso se debería proceder a realizar un protocolo específicamente definido para cuantificar el nivel de incorporación.

Tabla 2. Medidas de Actividad expresadas en cantidad de sigmas del Fondo

	Día 10		Día 11		Día 24		Día 31		Día 38		Día 45		Día 53		Día 59	
	C. G.	M	C. G.	M	C. G.	M	C. G.	M	C. G.	M	C. G.	M	C. G.	M	C. G.	M
T1	1,57	-0,62	N/D	N/D	1,79	-0,57	12,98	5,33	1,84	1,78	31,54	2,86	7,37	-1,33	N/D	N/D
T2	1,71	0,58	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
T3	N/D	N/D	-0,58	0,17	-0,42	0,88	N/D	N/D	-3,87	-1,31	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
T4	N/D	N/D	0,97	-0,50	1,44	-1,09	-17,05	-1,38	-9,69	-0,30	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
T5	N/D	N/D	-0,72	0,73	N/D	N/D	11,17	-0,24	3,53	-0,30	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
T6	N/D	N/D	N/D	N/D	-0,60	-1,66	-8,99	-0,41	-1,10	-2,18	-1,95	-0,89	-0,39	-0,54	N/D	N/D
T7	N/D	N/D	N/D	N/D	-0,32	-1,09	-3,33	-2,61	-0,69	-0,97	0,42	-0,19	1,02	-1,12	-0,96	-1,45
T8	N/D	N/D	N/D	N/D	-0,81	-1,07	-8,49	-1,06	-0,81	-0,30	N/D	N/D	-1,03	-2,10	-0,94	-1,96

Según los datos de la tabla 3, se observa que la medida en SPECT del T1, el día 31, el Exceso de Actividad es del 77%, mientras que para el Monitor ese valor es del 43%. En el caso del T5, para el mismo día, también se observa un Exceso de Actividad del 73% medida en SPECT. Sin embargo, la medida en el Monitor no supera su LID. Esto se debe a que, en términos absolutos, la actividad medida por SPECT es demasiado pequeña para ser detectada por el Monitor. Una situación similar ocurre, nuevamente para T5, el día 38.

Un caso que merece especial atención son las medidas del T1, el día 45. Se aprecia que la Actividad Neta y el Exceso de Actividad son ambas muy superiores al primer caso analizado. No obstante, la medida en el Monitor no ha sido lo suficientemente elevada para superar el LID de este instrumento. Esta medición consiste de dos muestras del trabajador y dos del fondo, muy espaciadas entre sí en el tiempo y no se respetó el precepto de intercalarlas. Esto evidencia la alta dependencia de una adecuada cantidad y calidad de las muestras que tiene el método.

Tabla 3. Medidas de Actividad Absolutas expresadas en Bq

	Día 10		Día 11		Día 24		Día 31		Día 38		Día 45		Día 53		Día 59	
	C. G.	M	C. G.	M	C. G.	M	C. G.	M	C. G.	M						
T1							200	515			1154	1342	296			
							154	225			1044	-67	176			
T2																
T3																
T4																
T5							43		43							
							32		6							
T6																
T7																
T8																

Tabla 4. LID para medidas analizadas

Día	LID [Bq]	
	SPECT	Monitor
31	T1=46,14 T5=11,62	T1=289,47
38	T5= 36,78	T5=1530,50
45	T1=109,80	T1=1408,93
53	T1=93,62	T1=244,48

La tabla 5 presenta el Límite Inferior Detectable, expresado en valores de Dosis Efectiva Comprometida para Trabajadores, $E(50)$, calculados a partir de la ecuación (2)

$$E(50) = \frac{e_{inh}(50) \times LID}{m(t)} \quad (2)$$

Donde $e_{inh}(50)$ es el Coeficiente de Dosis Efectiva para 50 años por Inhalación Tipo F de ^{131}I . $m(t)$ es la Fracción de Retención en tiroides a tiempo t luego de la incorporación, algunos de sus valores se encuentran listados en la tabla 1.

Para SPECT puede corroborarse que los valores de E(50) son inferiores a los del Monitor, para las jornadas analizadas. Además se evidencia que los valores de E(50) del Monitor están justo por debajo de 1 mSv, valor que desea utilizarse como Nivel de Investigación.

Tabla 5. LID expresados en términos de E(50)

Día	Tiempo luego de la incorporación [d]	E(50) [Sv]	
		SPECT	Monitor
31	5	1,23E-05	4,29E-04
38	5	1,05E-04	3,22E-04
45	5	7,72E-05	5,34E-04
53	6	1,32E-04	9,53E-04

5. CONCLUSIONES

El método propuesto por Rojo et. al. posee una limitación intrínseca, que es la de intentar determinar dosis comprometidas por inhalación de ^{131}I iguales o superiores a 1 mSv/año, pero siempre que dicha dosis sea debida a un único evento de incorporación. Esto quiere decir que no se consideran las dosis acumuladas por distintos eventos de incorporación para determinar o no la superación de 1 mSv a lo largo del año. El motivo de esta limitación es la baja Eficiencia de Detección de los monitores Geiger Müller.

Sin embargo, la metodología preserva la capacidad de determinar, de forma sencilla y veloz (cualidades valorables para un control rutinario), eventos incidentales, percibidos o no por los trabajadores, que conlleven a incorporaciones que produzcan dosis del orden o mayores a 1 mSv.

Bajo este precepto, para garantizar resultados confiables a partir de las mediciones con el Monitor, se debe asegurar la realización de al menos tres muestras para Fondo, tres para Fondo Ambiental y tres para el Trabajador, intercaladas entre sí, y minimizando el intervalo de tiempo entre ellas. Además se deberá obtener para cada jornada un set de mediciones del fantoma con una actividad del orden de los 37 KBq. Desafortunadamente, la aplicación rigurosa de este protocolo es difícil en los Servicios de Medicina Nuclear, puesto que los trabajadores suelen tener como prioridad la prestación de servicios asistenciales.

REFERENCIAS

- [1] Rojo A, Puerta N, Villella A, Acosta N, Arenas G, Gossio S, Gomez Parada. *Individual Monitoring of Internal Exposures for Nuclear Medicine Workers in Argentina*. IRPA (2012).
- [2] ICRU Report 48. *Phantoms and computational models in therapy, diagnosis and protection*. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD, USA. (1992)
- [3] IAEA Guía de Seguridad SG RS-G-1.2. *Evaluación de la Exposición Ocupacional debida a la Incorporación de Radionucleidos*. (2004).
- [4] C. Bailat, S. Baechler, F. Bochud. *Calibration of Surface Contamination Monitors for Detection of Iodine Incorporation in the Thyroid Gland.- Radiation Protection Dosimetry*. (2011) Vol.144. No 1-4.pp 505-509.