Rev. latinoam. fís. méd. 2016; 2(1): 91-96

ESTIMACIÓN DE LA DOSIS EFECTIVA POR CONTAMINACIÓN INTERNA EN TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE EXPUESTOS A FUENTES ABIERTAS DE ^{131}I EN TRATAMIENTOS DE TIROIDES

J.A. Lecuna[1], L.I. Carrizales[1], B.M. Dantas[2],
[1] Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas IVIC, Unidad de Tecnología Nuclear-UTN, Caracas, Venezuela
[2] Instituto de Radioproteção e Dosimetria-IRD, Rio de Janeiro, Brasil

RESUMEN

La manipulación de fuentes no selladas en Medicina Nuclear ha dado lugar a un riesgo significativo de exposición interna de los trabajadores. El ^{131}I se destaca entre los radionucleidos de uso frecuente por su amplia aplicación en diagnóstico y tratamiento de enfermedades de tiroides. Este trabajo presenta el desarrollo de técnicas de bioensayos "in vivo", con el fin de cuantificar la incorporación de ^{131}I utilizado en Medicina Nuclear. También se presentan los resultados de la investigación de la exposición interna de trabajadores involucrados en el manejo de dosis terapéuticas de ^{131}I. El sistema de detección "in vivo" fue calibrado con el simulador de tiroides desarrollado en el IRD (Brasil) y con el cual cuenta la UTN-IVIC (Venezuela). Los trabajadores controlados en este estudio tuvieron resultados mensurables en cuanto a la incorporación, por lo cual, es menester establecer su control a futuro y también nos da la posibilidad de evaluar las incorporaciones en casos de sospecha de un accidente. La estimación de la dosis efectiva más alta fue 1,28x10^{-5} Sv por inhalación y 1,27x10^{-5} Sv por ingestión. El método propuesto mostró sensibilidad para su aplicación en la estimación de la dosis efectiva por incorporación de ^{131}I en TOEs sobre la base de AMD calculado (mínimo 244Bq y máximo 287Bq), el cual se encuentra tres órdenes de magnitud por debajo del nivel máximo de 1mSv, considerando el escenario de incorporación único, compuesto en forma de vapor (tipo F) y la inhalación como la principal vía de entrada de ^{131}I en el cuerpo.

Palabras claves: Tiroides, iodo-131, Dosis Efectiva, Contaminación Interna.

ABSTRACT

Handling of a variety of unsealed sources in Nuclear Medicine has led to a significant risk of internal exposure of workers. ^{131}I stands out among the radionuclides of frequent use due to its wide application in diagnosis and treatment of thyroid diseases. This work presents the development of “in vivo” bioassay techniques, in order to quantify the incorporation of ^{131}I used in Nuclear Medicine. It also presents the results of a research related to internal exposure of a group of workers involved in handling of therapeutic doses of ^{131}I. The “in vivo” detection system was calibrated with a thyroid phantom developed at IRD (Brazil) which is also used at the UTN-IVIC (Venezuela). The workers controlled in this study presented measurable incorporations. Therefore, it is important to keep future control such type of exposure. It also gives us the possibility of evaluating incorporations in the case of suspected accidents. The highest estimate of the effective dose was 1,28x10^{-5} Sv by inhalation and 1,27x10^{-5} Sv by ingestion. The proposed method showed enough sensitivity for its application in the assessment of the effective dose due to the incorporation of ^{131}I by OEWs. The minimum detectable effective dose associated to the MDA (244 to 287 Bq) is three orders of magnitude below the registry level of 1 mSv, considering a single intake by inhalation of a Type F compound of ^{131}I in the form of vapor.

Keywords: Thyroid, iodine-131, Effective Dose, Internal Contamination.

I. INTRODUCCIÓN

El ^{131}I es un radionúclido de alta radiotoxicidad, que se utiliza en medicina nuclear fundamentalmente para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades tiroideas (cáncer diferenciado de tiroides e hipertiroidismo). El ^{131}I es un emisor beta-gamma con un período de desintegración de 8,02 días, las actividades utilizadas en la práctica están comprendidas entre 3,7 – 111MBq (0,1-3mCi) para la evaluación de la función tiroidea de 148 a 925MBq (4-25mCi) para tratamiento de hipertiroidismo y 1110 - 7400MBq (30-200mCi) para el cáncer diferenciado de tiroides (CDT) [1].

Por ello es menester, por el impacto nacional, aplicar el Programa de Protección Radiológica en el tratamiento con Yodo 131, mediante la medición directa en TOE de la actividad incorporada en tiroides y análisis radiométrico de muestras de orina recolectadas

durante 24 horas, de acuerdo a las recomendaciones propuestas por el Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA, en la guía de seguridad No.RS-G-1.2 [2], a los fines de verificar el cumplimiento de los límites primarios establecidos en la legislación venezolana para trabajadores ocupacionalmente expuestos y así, adoptar un único procedimiento en la evaluación de dosis ocupacionales dentro de un programa masivo de vigilancia radiológica rutinario debido a incorporación en Venezuela.

Para la estimación de la contaminación interna en los servicios de Medicina Nuclear, una alternativa eficaz para el control de la incorporación ocupacional sería la utilización de sondas de captación de un cristal de yoduro de sodio activado con talio (NaI(Tl) 2"x2"), que, a partir de calibraciones previas, se convierten en contadores eficientes de actividad corporal, pudiendo ser aplicados para realizar medidas dentro de los propios servicios. Por lo tanto, los posibles eventos inusuales de incorporación de radionucleidos (ej.: ^{131}I) por individuos ocupacionalmente expuestos, podrían ser previamente detectados, posibilitando acciones inmediatas, tanto en relación con el individuo como en la revisión de los procedimientos adoptados para tales fines. Esto permite, verificar el cumplimiento de las normas vigentes [2], en cuanto a la limitación de dosis por radiación en trabajadores y en miembros del público en condiciones normales de trabajo.

Así como también, identificar una situación anormal por contaminación y evaluar su gravedad, para decidir las acciones correctivas.

La estimación de la dosis efectiva comprometida se expresa como $E_{(50)}=\sum w_T H_{T(50)}$, donde w_T son los factores de ponderación de tejidos y $H_{T(50)}$ es la dosis equivalente integrada en 50 años [3] la cual se puede estimar a través mediciones directas de todo el cuerpo, de órganos o de heridas, o a través de mediciones indirectas, analizando la presencia de radionucleidos en excretas o en el ambiente de los lugares de trabajo.

La dosimetría de la contaminación interna evalúa el resultado de las mediciones directas e indirectas, teniendo en cuenta factores tales como: - características físicas y químicas de las sustancias radiactivas, - el modo de incorporación y - los procesos metabólicos involucrados. Para ello, interpreta y aplica los modelos biocinéticos y dosimétricos recomendados por los especialistas internacionales, principalmente por la ICRP [4]. También, participa en la elaboración de los planes de control aplicables a las instalaciones, así como, en la obtención de Límites Anuales de Incorporación (ALI) específicos para un determinado ambiente de trabajo.

Este trabajo se realizó en el Servicio de Medicina Nuclear del Centro Medico Docente La Trinidad (Caracas – Venezuela), y la dosimetría se llevó a cabo en 2 TOEs indiferentemente de edades y sexo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el bioensayo de laboratorio "in vivo" el IVIC adquirió, a través del IRD un simulador de cuello que contiene la fuente de ^{133}Ba de actividad conocida. Total de la actividad (t = 134471 Bq/g (3,634 µCi/g)) fuente ^{133}Ba fue previamente calibrado por el Servicio de metrología de radionúclidos y enviado para preparar el simulador de la tiroides del cuello.

El simulador, maniquí de tiroides que contiene una actividad conocida fue desarrollado en el Laboratorio de Mediciones "in vivo" del IRD [5]. El simulador de la tiroides se obtiene a partir de adicionar 200 mL de solución patrón (^{133}Ba) de actividad conocida a un papel de filtro, simulando el órgano, debidamente sellada y posicionada y colocada en el interior del simulador de cuello para realizar las mediciones y calibraciones.

En la Figura 1 se muestra la secuencia de la confección del simulador de cuello construido por el IRD bajo el proyecto ARCAL LXXVII [6].

La sonda consta de un conjunto formado por un cristal de yoduro de sodio activado con talio (NaI (Tl) de 2"x2") acoplado a un fotomultiplicador, porta lámpara, divisor de tensión, divisor resistivo, dinodo y preamplificador, estando todo el conjunto rodeado por un blindaje de 2,0cm de espesor. Esta sonda puede ser utilizada junto a un modelo de soporte móvil, lo que permite una posición correcta en relación con el Trabajador Ocupacionalmente Expuesto.

Figura 1. Secuencia de la confección del simulador de cuello construido por el IRD bajo el proyecto ARCAL LXXVII.

Con el fin de asegurar la confiabilidad de los resultados del monitoreo, es importante comprobar periódicamente un control de calidad para evaluar parámetros relacionados con la sensibilidad, resolución, precisión y linealidad, así como realizar mediciones de fondo o de radiación natural [7].

Antes de la calibración de la sonda captadora con el maniquí de cuello se midió la radiación de fondo en el sitio con un simulador de tiroides. Este simulador es una optimización de los prototipos originales desarrollados durante el proyecto ARCAL [6], que involucraba la calibración de los detectores con el

simulador de la tiroides que contiene ^{133}Ba (equivalente a ^{131}I).

También se estableció una corrección de los cálculos de la dosis efectiva a través del software AIDE versión 6.0. Esta herramienta y la adquisición de los datos de manera rutinaria nos permiten obtener una mejor visión de la contaminación interna que puede estar ocurriendo en cada TOE y gracias a ello se puede realizar una atención adecuada y a tiempo a éste personal. Además, de hacer los correctivos de la protección radiológica del SMN. Desglosar las siglas cuando aparecen por primera vez Servicio de Medicina Nuclear?

Para la calibración de la sonda captadora se utilizó el maniquí de cuello que simula la tiroides de actividad equivalente conocida de ^{131}I (A = 25959 Bq), previamente calibrado, cuya geometría de medición establecida fue de 20cm de la cara del detector al maniquí.

Se estableció una metodología para el control de la contaminación interna por ^{131}I en TOEs en Servicios de Medicina Nuclear del Centro Médico Docente La Trinidad, por ser la única en Caracas-Venezuela con la disposición de la sonda captadora para el momento del trabajo. Asimismo, se presentan los resultados para determinar la incorporación y estimar la dosis efectiva, en dos TOEs involucrados en el manejo de las dosis terapéuticas de ^{131}I, cuyas actividades manipuladas resultaron estar en el rango entre 1,11x10^{7} Bq y 5,55x10^{9} Bq. La manipulación consta de actividades de ^{131}I en forma líquida y cápsulas, ambas son manejadas por los TOEs.

Los TOEs fueron seleccionados para realizar los pasos de la incorporación de ^{131}I y la estimación de la dosis efectiva comprometida por métodos de ensayo biológico "in vivo".

Interpretación de los datos de bioensayo: utilizando el "SOFTWARE AIDE" versión 6.0 (Activity and Internal Dose) El software AIDE (ACTIVIDAD INTERNA Y ESTIMACION DE DOSIS) [8], es un programa que permite el cálculo de la actividad del radionucleido incorporado, lo que a su vez proporciona la estimación de la dosis efectiva a partir de datos de bioanálisis "in vivo" e "in vitro", y se utiliza específicamente para los TOEs que, en sus actividades diarias, están sujetos a la incorporación de radionucleidos, como en los SMN.

El programa permite la selección de modelos biocinéticos asociados a los datos del decaimiento radiactivo, en base a los elementos enumerados en el ICRP 78 [9]. Para la correcta interpretación de los resultados de las medidas de la actividad incorporada, realizadas a través de la técnica de bioanálisis "in vivo" e "in vitro", es esencial tener en cuenta la volatilidad de ^{131}I, la información sobre la principal vía de incorporación, el modo de incorporación y la forma de los compuestos. Para el caso específico de este estudio, hemos considerado la inhalación como la principal vía de incorporación del ^{131}I, modo de incorporación agudo, relativo a un único procedimiento que está clasificado como un compuesto en forma de vapor.

El uso del programa AIDE posibilita, además de la estimación de la incorporación y la dosis efectiva comprometida a través de las medidas "in vivo" e "in vitro", calcular los niveles de registro derivados (Nr), teniendo en cuenta la incorporación (Bq) que corresponde a una dosis efectiva de 1mSv, en diferentes intervalos de tiempo.

Para el cálculo de la incorporación mínima detectable (I), hemos considerado la relación entre la AMD de la técnica y la función de retención o excreción del compartimiento correspondiente en el que se llevó a cabo la medición (la tiroides) para el intervalo de tiempo pre-definido, cuyo escenario para la interpretación de los datos relativos es la incorporación única. Bajo tales circunstancias, la dosis efectiva (E) se calculó teniendo en cuenta la incorporación mínima detectable (I) y su coeficiente de dosis ($e_{(g)}$) de los radionucleidos de interés (^{131}I). Las técnicas presentadas para cuantificar la actividad de ^{131}I incorporada son aplicables al monitoreo individual de rutina, ya que los valores de la AMD de la frecuencia de medición mensual, se encontraban por debajo del nivel máximo anual de 1 mSv.

En un área contigua al recinto de irradiación está ubicada la sonda captadora en el SMN del Centro Médico Docente La Trinidad, en ella se realizaron las medidas para la calibración. El procedimiento de calibración se realizó con la metodología empleada por el Laboratorio de Bioanálisis "in vivo" del IRD, el cual consiste en colocar el maniquí de cuello en una base a 1m del piso, con el colimador al ras y perpendicular a éste, el cual separaba el detector de NaI (Tl) (2"x2") del maniquí en una distancia de 20 cm, se procedió a la toma de 5 medidas directas al maniquí y otras 5 con un bloqueador de 3cm de plomo que se coloca entre detector y maniquí para medir la radiación de fondo. Todo esto para calcular el decaimiento de la actividad del maniquí desde su fabricación hasta la calibración de la sonda captadora [10].ESTO CORRESPONDE A LA METODOLOGÍA

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los valores de la dosis efectiva $E_{(50)}$ estimada por los resultados de medición con la sonda captadora para la frecuencia de seguimiento semanal (9,50 µSv para inhalación y 9,47 µSv para ingestión), basado en el valor de AMD = 244 Bq, determinada para 10 minutos de cuentas, en la geometría de tiroides, demuestra la aplicabilidad de la técnica para evaluación de la incorporación de ^{131}I, ya que están por debajo del nivel de registro de 1 mSv.

Los resultados obtenidos de $E_{(50)}$, basados en la AMD para 10min de cuentas, utilizando el detector (NaI (Tl)

(2x2)), demuestran la aplicabilidad del sistema para la evaluación de la incorporación de ^{131}I por los TOEs, considerando la incorporación vía inhalación, clasificada como tipo F en forma de vapor.

Los diferentes valores de AMD fueron obtenidos con el sistema portátil (NaI (Tl) 2 "x 2") para las mediciones de calibración con el maniquí que contiene ^{133}Ba. El menor valor de AMD se obtuvo cuando la calibración se realizó en una sala contigua al cuarto caliente, donde se manipulan los radiofármacos que van a ser administrados. Vale la pena mencionar que mientras menor sea la AMD, mayor es la probabilidad de detección de radionucleidos incorporados. La AMD establece un mínimo de detección, a partir de cual, los resultados de medida obtenidos se toman como positivos.

Con los valores obtenidos en la Tabla 1 se calcula el AMD que es la mínima actividad que se logró detectar en una persona voluntaria que no laboraba en las áreas donde se trabaja con radiación. Los criterios y condiciones de medida son los mismos que para los TOEs.

Tabla 1. Datos obtenidos para la persona no contaminada

FECHA	TOTAL (cpm)	BACKGROUND (cpm)	NETAS (cpm)
16/02/11	421	405	16

A los TOEs se le realizaron mediciones (ver Tabla 2 y Tabla 3) cuyos resultados indican la presencia de pequeñas incorporaciones, provenientes de la manipulación de fuentes no selladas de ^{131}I, lo que confirma la importancia de utilizar este control rutinario, para asegurar que los trabajadores están desarrollando sus tareas de manera segura y que el personal adopta y cumple los procedimientos de radioprotección y permite proyectar las medidas a un año y ver si sobrepasa los límites anuales de 1mSv de dosis efectiva. En las Tabla 2 y Tabla 3 que indiferentemente de la actividad manipulada existe una incorporación.

Tabla 2. Datos obtenidos para el TOE # 1

FECHA A_1	**FECHA A_2**	**T (cpm)**	**B (cpm)**	**N (cpm)**	**A_M (kBq)**	**A_T (Bq)**
25/01/11	26/01/11	536	353	183	$6x10^6$	4575
01/02/11	02/02/11	445	368	77	$1x10^4$	1925
08/02/11	09/02/11	518	370	148	$4x10^6$	3700
15/02/11	16/02/11	510	417	93	$4x10^6$	2325
22/02/11	23/02/11	501	462	39	$1x10^4$	975
01/03/11	02/03/11	491	405	86	$1x10^4$	2150

Tabla 3. Datos obtenidos para el TOE # 2

FECHA A_1	**FECHA A_2**	**T (cpm)**	**B (cpm)**	**N (cpm)**	**A_M (kBq)**	**A_T (Bq)**
25/01/11	26/01/11	419	381	38	$6x10^6$	950
01/02/11	02/02/11	419	386	33	$1x10^4$	825
08/02/11	09/02/11	578	388	190	$6x10^6$	4750
15/02/11	16/02/11	496	312	184	$8x10^6$	4600
22/02/11	23/02/11	489	410	79	$1x10^4$	1975
01/03/11	02/03/11	500	390	110	$1x10^4$	2750

$FECHA_1$ = Fecha de incorporación; $FECHA_2$ = Fecha de medición; T = Total cpm; B = Background cpm; N = Netas cpm; A_M = Actividad manipulada; A_T = Actividad detectada en tiroides

Tomando la actividad manipulada más alta se tiene un total de $424x10^6$KBq anuales y una actividad detectada en tiroides de 243KBq y cerca de 0,8mSv de dosis efectiva anual, asumiendo la administración de ^{131}I una vez por semana en los diferentes tratamientos, las mismas condiciones de trabajo y el mismo cuidado de la protección radiológica.

La calibración permite garantizar la confiabilidad de las medidas, pues al calcular el decaimiento sabemos la actividad exacta del maniquí de cuello con la que estamos trabajando al realizar las medidas. Basándose en dichas medidas (Tabla 4) y calculando la incertidumbre, se obtuvo un valor de ± 4%, lo cual es aceptable para la cantidad de medidas.

Tabla 4. Datos del maniquí de cuello

	TOTAL (cpm)	BACKGROUND (cpm)	NETAS (cpm)
	10707	568	10139
	11472	594	10878
	11787	575	11212
	11072	567	10505
	11548	555	10993
PROMEDIO (ẋ)	11317.2	571.8	10745.4
$X(\sigma_{n-1})$	427.3	14.3	424.9

Fuente: ^{133}Ba; Tiempo: 10 minutos; Distancia: 20cm del detector al cuello; Fecha: 16/02/11.

Las Tablas 5 y 6 muestran los valores de medición in vivo de tiroides para los TOEs. El escenario propuesto para la evaluación de la $E_{(50)}$, basados en la técnica AMD, es el siguiente: incorporación única, vía inhalación e ingestión, compuesto tipo F de ^{131}I en forma de vapor.

Tabla 5. Datos de medición in vivo de tiroides hechas al TOE # 1

FECHA$_E$	A_T (Bq)	AMD (Bq)	I_{inh} (Bq)	$E(50)_{Inh}$ (Sv)	I_{ing} (Bq)	$E(50)_{Ing}$ (Sv)
25/01/2011	4575	277	799	1,58E-05	726	1,58E-05
01/02/2011	1925	253	336	6,66E-06	306	6,63E-06
08/02/2011	3700	272	646	1,28E-05	587	1,27E-05
15/02/2011	2325	270	406	8,04E-06	369	8,00E-06
22/02/2011	975	268	170	3,37E-06	155	3,36E-06
01/03/2011	2150	265	376	7,44E-06	341	7,41E-06

Para mejor apreciación, se representó gráficamente la incorporación y la dosis efectiva $E_{(50)}$ (Figura 2 yFigura **3**) por inhalación e ingestión de cada TOE. Lo cual da una muestra de la sensibilidad del sistema propuesto, permitiendo garantizar la metodología de trabajo de manera que el control rutinario de los TOEs nos arroje unos valores apegados a la realidad de la contaminación interna que está sucediendo.

Tabla 6. Datos de medición in vivo de tiroides hechas al TOE # 2

FECHA$_E$	A_T (Bq)	AMD (Bq)	I_{inh} (Bq)	$E(50)_{Inh}$ (Sv)	I_{ing} (Bq)	$E(50)_{Ing}$ (Sv)
25/01/2011	950	244	166	3,29E-06	150,79	3,27E-06
01/02/2011	825	244	144	2,97E-06	130,95	2,84E-06
08/02/2011	4750	287	830	1,64E-05	753,97	1,64E-05
15/02/2011	4600	266	803	1,59E-05	730,16	1,58E-05
22/02/2011	1975	264	345	6,83E-06	313,49	6,80E-06
01/03/2011	2750	267	480	9,50E-06	436,51	9,47E-06

Intervalo de tiempo: 24 horas; m(t) inhalación: 2,29x10^{-1}Bq; e(g) inhalación: 1,98x10^{-8}Sv/Bq; m(t) ingestión: 2,25x10^{-1}Bq y e(g) ingestión: 2,17x10^{-8}Sv/Bq.FECHA$_E$ = Fecha de exposición; A_T = Actividad detectada en tiroides ; AMD = Actividad mínima detectada; I_{inh} = Incorporación por inhalación; I_{ing} = Incorporación por ingestión

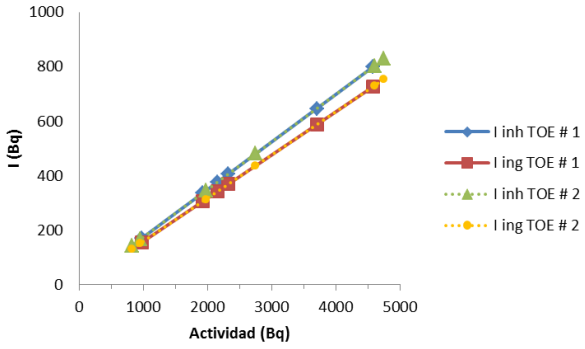

Figura 2. Comparación de la incorporación por inhalación e ingestión con respecto a la Actividad detectada en tiroides en los TOEs # 1 y 2.

Las bajas dosis observadas en este pequeño grupo, con la existencia de incorporación mensurable, indican la importancia de mantener control en las incorporaciones y dan la posibilidad de evaluar las incorporaciones en casos de sospecha de accidentes. Como se observa en las Figura 2 yFigura **3**, no hay una diferencia significativa en la estimación de dosis comparando las dos vías de incorporación (inhalación o ingestión). También se realizó un cálculo de tendencias para saber qué tan cerca están los datos entre sí y el R^2=1, en las 4 estimaciones de dosis efectiva tanto por

inhalación como por ingestión en ambos TOEs, indica que la correspondencia entre dosis efectiva $E_{(50)}$ y actividad medida en tiroides es lineal, observándose que a mayor actividad existe una mayor dosis efectiva $E_{(50)}$, siempre y cuando no se cumpla con los principios de protección radiológica.

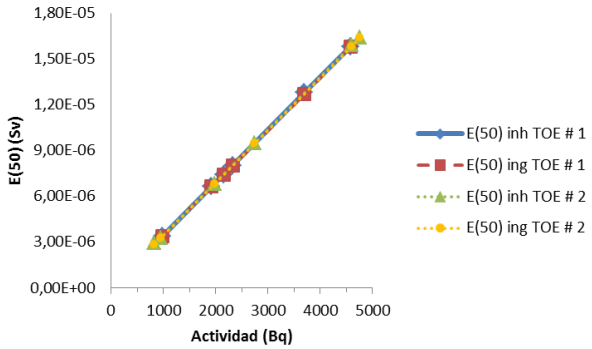

Figura 3. Comparación de la dosis efectiva $E_{(50)}$ por inhalación e ingestión con respecto a la Actividad detectada en tiroides en los TOEs # 1 y 2.

IV. CONCLUSIONES

El Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica del IVIC, puede establecer el ensayo para la realización de las calibraciones de los sistemas "in vivo" a través del maniquí de cuello con el que cuenta e instruir al personal de cada SMN para realizar la conversión del ^{133}Ba a ^{131}I. El método propuesto mostró sensibilidad para su aplicación en el control del trabajo como valores estimados sobre la base de AMD calculado (mínimo 244Bq y máximo 287Bq), está en tres órdenes de magnitud por debajo del nivel máximo de 1mSv, considerando el escenario de incorporación único, compuesto en forma de vapor (tipo F) y la inhalación como la principal vía de entrada de ^{131}I en el cuerpo.

La sensibilidad de la sonda captadora permitió la detección de pequeñas cantidades (144,10 Bq) de la incorporación de los 2 TOEs, cuyos procedimientos de rutina incluyeron el uso de fuentes abiertas de ^{131}I con fines terapéuticos. El rango de actividad manipulada está entre los valores comprendidos de 11 MBq y 7500 MBq (0,3 mCi y 203 mCi), la presentación de los resultados de la actividad incorporada entre 825 Bq y 4750 Bq.

En base en los valores mínimos y máximos de la actividad medida por bionálisis "in vivo", las dosis efectivas estimadas fueron aproximadamente $3x10^{-6}$Sv – $20x10^{-6}$Sv para la inhalación y $3x10^{-6}$Sv – $20x10^{-6}$Sv, lo cual indica una medida mensurable que está por debajo del umbral de dosis efectiva de 1mSv.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A. RODRÍGUEZ; E. ESTRADA; M. BRANDAN y L. MEDINA. Vigilancia de incorporaciones de ^{131}I y estimación de dosis efectiva comprometida en el personal de un servicio de medicina nuclear. –En: Revista de Física Médica. Vol. 11, n° 1, (marzo 2010), p. 43 – 54.

[2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA. Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionúclidos. Colección de Normas de Seguridad de la OIEA. Guía de seguridad N° RS-G-1.2, Viena (2004).

[3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA. Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la protección de Radiaciones Ionizantes y para la Seguridad de Fuentes de Radiación. Colección de Seguridad N° 115, Viena (1997).

[4] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66, Annals of the ICRP 25. Oxford: Pergamon Press (1994).

[5] B. DANTAS. Bases para calibração de corpo inteiro utilizando simuladores físicos antropomórficos [dissertação – doutorado]. Rio de Janeiro: Instituto de Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 1998.

[6] ARCAL LXXVIII. Armonización de Procedimientos de Dosimetría Interna (primera reunión de coordinadores de proyectos). Río de Janeiro, 2003.

[7] M. VIDAL. Proposta de um modelo para monitoração ocupacional da contaminação interna por ^{131}I em trabalhadores de Serviços de Medicina Nuclear. Dissertação de Mestrado. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Río de Janeiro – Brasil, 2004.

[8] L. BERTELLI, D. MELO, J. LIPSZTEIN y R. CRUZ-SUAREZ. AIDE: INTERNAL DOSIMETRY SOFTWARE, Radiation Protection Dosimetry, p. 1–10, doi:10.1093/rpd/ncn059, 2008.

[9] 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.

[10] E. LUCENA. Proposta de aplicação de técnicas de bioanálise "in vivo" e "in vitro" para avaliação da incorporação de ^{131}I por trabalhadores de medicina nuclear. Tesis doctoral. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Centro de Ciências da Saúde. Faculdade de Medicina. Departamento de Radiologia. Rio de Janeiro (2008).

Contacto para correspondencia:
M.Sc. Jesús Alexis Lecuna Núñez
Institución: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas – IVIC. República Bolivariana de Venezuela.
Correo electrónico: jj121lg@yahoo.com