

## **CAPACIDAD DE RESPUESTA EN ACCIDENTES DEL LABORATORIO DE DOSIMETRÍA INTERNA DE LA ARN: CASO FUKUSHIMA-DAIICHI**

**Villella, A.<sup>1</sup>; Puerta, N.<sup>1</sup>; Gossio, S.<sup>1</sup>, Rojo, A.<sup>1</sup> y Di Giorgio, M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Autoridad Regulatoria Nuclear

### **RESUMEN**

Como consecuencia del accidente de Fukushima-Daiichi, el Laboratorio de Dosimetría Interna (LDI) de la Autoridad Regulatoria Nuclear de Argentina, debió responder a los pedidos de medición in vivo de ciudadanos argentinos repatriados, que estaban bajo sospecha de contaminación interna por encontrarse al momento del accidente en Japón.

El <sup>131</sup>I y el <sup>137</sup>Cs son dos de los radionucleidos que más contribuyen a la dosis por incorporación en accidentes nucleares. Debido que se trata de emisores gamma, el método más confiable para su detección consiste en la medición in vivo. Concurrieron al LDI 18 personas, entre adultos y niños, a los cuales se les realizaron mediciones directas de <sup>131</sup>I en tiroides y <sup>137</sup>Cs en todo el cuerpo.

El LDI utilizó para la medición in vivo de <sup>131</sup>I en tiroides, un sistema de espectrometría gamma con detector de NaI(Tl) 1.5x1 y para la medición de <sup>137</sup>Cs en todo el cuerpo, un sistema de espectrometría gamma con detector de NaI(Tl) 3x3 ubicado en un recinto blindado de plomo. Se detalla el procedimiento para el aseguramiento de la calidad establecido para estas técnicas de medición, siguiendo la iniciativa institucional de acreditar sus laboratorios bajo norma ISO/IEC 17025:2005.

En este trabajo se describen las capacidades técnicas del laboratorio LDI en situaciones de emergencia y los resultados de las mediciones obtenidas. El LDI pudo descartar la presencia de contaminación interna en todas las personas monitoreadas. Se concluye que el laboratorio LDI cuenta con la capacidad técnica para dar una pronta respuesta ante una emergencia que involucre la liberación de radionucleidos.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Como consecuencia del denominado "Gran terremoto del este de Japón" y posterior tsunami ocurrido en la costa este del norte de Japón el 11 de marzo de 2011, la planta nuclear de Fukushima-Daiichi fue severamente dañada y una cantidad significativa de material radiactivo fue liberada a la atmósfera y al mar. Esta situación ha generado internacionalmente una gran preocupación, tanto para el público como a nivel gubernamental, respecto de los niveles de exposición y sus posibles efectos.

La liberación de radionucleidos al ambiente se debió principalmente a un sobrecalentamiento del núcleo y fusión de los elementos combustible. Esto originó una rápida liberación de productos de fisión. Desde una perspectiva de impacto radiológico, el <sup>131</sup>I y el <sup>137</sup>Cs

---

<sup>1</sup> E-mail del Autor: [avillella@arn.gob.ar](mailto:avillella@arn.gob.ar)

constituyeron los radionucleidos más significativos (100-400 PBq para  $^{131}\text{I}$  y 7-20 PBq para  $^{137}\text{Cs}$ ).

En este contexto, el gobierno argentino tomó la decisión de propiciar el regreso al país de aquellos residentes argentinos en Japón que tuvieran la voluntad de repatriarse. Consecuentemente, la Cancillería Argentina intervino en este proceso el cual incluyó la selección y derivación a esta ARN, para realizar mediciones in vivo, de aquellas personas que regresaron al país y del personal de Cancillería que participó en Japón de las tareas pertinentes durante el período del accidente y emisiones de material radiactivo posteriores.

Tomando en cuenta lo precedentemente expuesto, el presente trabajo contiene los resultados de las mediciones realizadas en Contador de Cuerpo Entero y I-131 en tiroides de las personas derivadas por medio de Cancillería a la Secretaría General de la ARN durante el período 22 de marzo a 22 de mayo de 2011 y también se describen los equipos y metodologías utilizadas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Sistema de medición in vivo de $^{131}\text{I}$ en tiroides

El Laboratorio de Dosimetría Interna (LDI) de la Autoridad Regulatoria Nuclear de Argentina, utilizó para la medición *in vivo* de  $^{131}\text{I}$  en tiroides, un sistema de espectrometría gamma con detector de NaI(Tl). Este método se encuentra actualmente acreditado bajo norma ISO/IEC 17025:2005, siguiendo la iniciativa institucional de aseguramiento de la calidad en sus técnicas de medición.

La medición in vivo de  $^{131}\text{I}$  en tiroides requirió la ejecución de tres acciones principales: la calibración del sistema de detección (sistema de espectrometría gamma), la medición y la determinación de la actividad presente en la tiroides. La calibración comprendió de tres etapas consecutivas: Calibración en energía y resolución, calibración en eficiencia y determinación del límite de detección (LD). La calibración en eficiencia es la más importante y se empleó en ésta un maniquí simulador de cuello y una fuente calibrada de  $^{131}\text{I}$  con forma de tiroides. La medición de la actividad presente en la tiroides se efectuó con el sistema debidamente calibrado, posicionando a la persona en la misma geometría establecida durante el proceso de calibración en eficiencia [1].

El LDI posee para la medición de  $^{131}\text{I}$  dos sistemas espectrométricos compuestos cada uno por detector de INa de 1.5x1 (Equipo N° 1) y de INa 3x3 (Equipo N° 2). Estos se encuentran dentro de un cilindro de plomo con el objetivo de reducir la radiación del fondo y colimar la radiación proveniente de la zona de cuello (figura1).



**Figura 1. Detector de INa 3x3 empleado para la medición de  $^{131}\text{I}$  en tiroides**

## **2.2 Sistema de medición in vivo de todo el cuerpo**

El LDI utilizó para la medición *in vivo* de todo el cuerpo un sistema de espectrometría gamma con detector de NaI(Tl) de 3x3 dentro de un recinto blindado construido con ladrillos de plomo con una puerta de apertura mecánica también plomada con el objetivo de reducir la radiación de fondo, en donde la persona se posiciona sobre una camilla en modo silla inclinada (figura 2).



**Figura 2. Sistema Contador de Todo el Cuerpo (CTC)**

Al igual que el sistema anterior, la medición *in vivo* de todo el cuerpo requiere la ejecución de tres acciones principales: la calibración del sistema de detección, la medición y la determinación de la actividad presente en el cuerpo. La calibración consta de tres etapas: Calibración en energía y resolución, calibración en eficiencia y determinación del límite de detección (LD). La calibración en eficiencia es la más importante y se empleó en ésta un

maniquí simulador de una persona promedio cargado con fuentes calibradas de  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{88}\text{Y}$  y  $^{60}\text{Co}$ . En la figura 3 se presenta el maniquí SLICE BOMAB Phantom [2] comparado con una persona de contextura física similar al hombre de referencia y posicionado en la geometría de medición.



**Figura 3. Maniquí simulador de Todo el Cuerpo comparado con persona (izquierda) y posicionado en la geometría de medición (derecha)**

Para la determinación del límite de detección se realizaron mediciones de personas no expuestas. La medición de la actividad presente el cuerpo se efectuó con el sistema debidamente calibrado, posicionando a la persona en la misma geometría establecida durante el proceso de calibración en eficiencia.

### **2.3 Procedimiento de medición utilizado**

Se describirá a continuación el procedimiento realizado a las personas consideradas para la medición, las cuales para ser medidas, se les indicó que debían tomar contacto con la Dirección de Salud y Acción Social de la Cancillería para solicitar el turno y la cual solicitaba el pedido al directorio de la ARN. Se consideró prioritario las personas que se encontraban en la zona considerada de riesgo, correspondiente a un radio menor de 100 km de Fukushima-Daiichi.

## Acciones Previas a la Medición

I. Para poder medir a las personas, los equipos de medición se calibraron debidamente en energía, resolución y eficiencia. Por lo tanto, antes de cada secuencia de mediciones en una jornada se verificaron todas las calibraciones.

II. Se determinó el límite de detección (LD), para esto se posicionó a una serie de personas contaminadas y al detector en la geometría de medición establecida durante la calibración en eficiencia y se calculó mediante la expresión 1. Antes de cada secuencia de mediciones en una jornada también se verificó el fondo, mediante la medición de una persona no contaminada.

$$LD = \frac{3 + 4.65\sqrt{B}}{\eta \times Y \times t} \quad (1)$$

Donde: LD: Límite de detección, B: Cuentas totales de fondo,  $\eta$ : Eficiencia (cuentas/desintegración), Y: Emisividad, t: Tiempo de medición.

III. Las personas a medir fueron recibidas por personal del laboratorio. Una vez ingresada una persona se le realizó una serie de preguntas, la cual consistía en una guía especialmente elaborada por el laboratorio donde se solicitaba datos personales, periodo de estadía en Japón, fecha de retorno a Argentina, ciudad donde se encontraba en el momento del accidente, distancia aproximada entre la ciudad y el reactor, si había recibido pastilla de yodo para bloquear la tiroides, si se le realizaron controles de contaminación externa o interna y si se trataba de un trabajador ocupacionalmente expuesto.

IV. El personal del laboratorio realizó un control de contaminación externa con una sonda detectora siguiendo la técnica Frisking [3] tal como se observa en la figura 4.



**Figura 4. Sonda detectora y método para detectar contaminación superficial**

V. Se hicieron pasar a las personas a la sala de medición con ropa limpia o con prendas descartables, sin accesorios tales como joyería, relojes y anteojos. Estas precauciones ayudan a evitar falsas identificaciones de actividad interna, y también a prevenir la transferencia de contaminación al sistema de medición.

VI. Se posicionaron a las personas en la geometría de medición establecida durante el proceso de calibración y se efectuó la colección del espectro durante 5 minutos. Se seleccionó en el espectro la Región de Interés (ROI) correspondiente al radionúclido detectado y se determinó la actividad en la tiroides y en todo el cuerpo mediante la siguiente expresión:

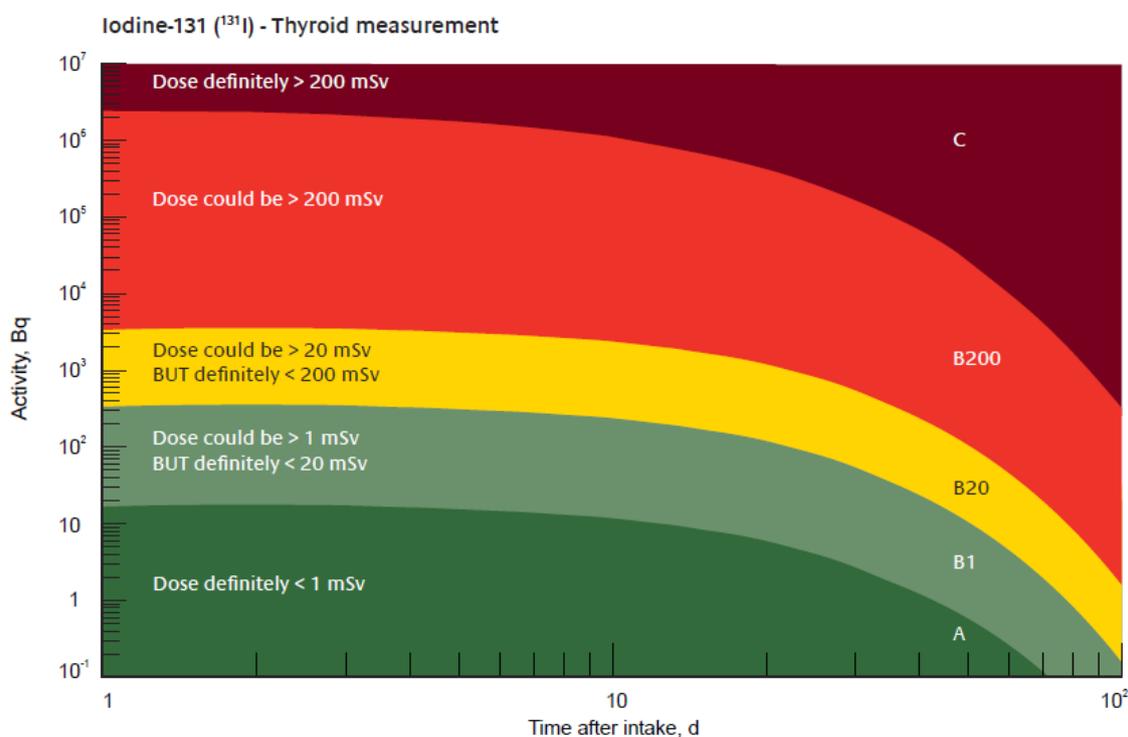
$$Actividad = \frac{Cuentas\ netas\ en\ la\ ROI}{Eficiencia \times Emisividad \times tiempo\ de\ medición} \quad (2)$$

Una vez realizado el análisis de los datos y mediciones los resultados fueron reportados a Secretaria General de la ARN.

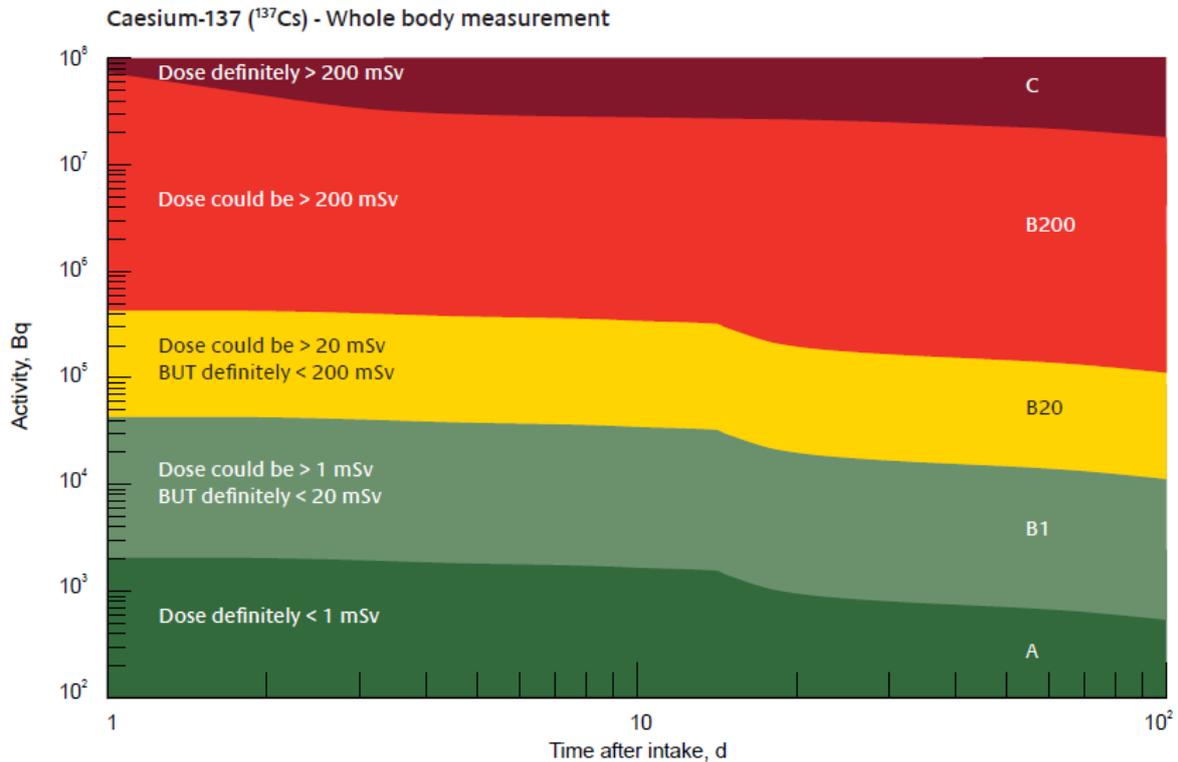
## 2.4 Metodología para la evaluación de la exposición interna

Para la metodología de evaluación, el LDI consideró los criterios establecidos en el Proyecto TIARA (Treatment Initiatives After Radiological Accidents) [4] y el TMT Handbook (Triage Monitoring and Treatment of people exposed to ionising radiation following a malevolent act) [5].

Las siguientes figuras permiten una rápida primera evaluación de la exposición interna a  $^{131}\text{I}$  y  $^{137}\text{Cs}$  a partir de los resultados de las mediciones directas realizadas.



**Figura 5. Dosis efectiva comprometida por exposición al  $^{131}\text{I}$  estimada a partir de actividad medida en tiroides [4]**



**Figura 6. Dosis efectiva comprometida por exposición al <sup>137</sup>Cs estimada a partir de actividad medida en todo el cuerpo [4]**

### Referencias de las figuras 5 y 6

**Zona A:** La Dosis Efectiva Comprometida es definitivamente menor 1 mSv. Permite asegurar que la Dosis en miembros del público no constituye un riesgo para la salud.

**Zona B1:** La Dosis Efectiva Comprometida podría ser superior a 1 mSv pero es definitivamente menor a 20 mSv. Se requiere una evaluación de Dosis más exacta pero el tratamiento no es necesario.

**Zona B20:** La Dosis Efectiva Comprometida podría ser superior a 20 mSv pero es definitivamente menor a 200 mSv. Se requiere una evaluación de Dosis más exacta. El tratamiento para la decontaminación interna, está sujeto a la evaluación médica. Aunque los efectos clínicos son improbables en este nivel, la potencial eficacia del tratamiento en el corto plazo debería ser considerada.

**Zona B200:** La Dosis Efectiva Comprometida podría ser superior a 200 mSv.

**Zona C:** La Dosis Efectiva Comprometida definitivamente es superior a 200 mSv.

En estas dos últimas zonas, el tratamiento para la decontaminación interna debería ser considerado. Sin embargo, tanto los factores psicológicos como la potencial eficacia de un tratamiento prolongado deberían ser considerados.

### 3. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los resultados de la calibración en eficiencia y los límites de detección que presentaron los sistemas de medición empleados.

**Tabla 1. Resultados de Eficiencia y LD para los sistemas de medición empleados**

Sistema de Medición	Eficiencia	Límite de Detección
$^{131}\text{I}$ en tiroides	$1 \times 10^{-3}$ cps/Bq de $^{131}\text{I}$	$2 \times 10^2$ Bq de $^{131}\text{I}$
Contador de Todo el Cuerpo	$5 \times 10^{-4}$ cps/Bq de $^{137}\text{Cs}$	$4 \times 10^2$ Bq de $^{137}\text{Cs}$

Los límites de detección de  $^{131}\text{I}$  y  $^{137}\text{Cs}$  de los sistemas de medición de  $^{131}\text{I}$  en tiroides y contador de todo el cuerpo respectivamente, responden a los criterios recomendados para el monitoreo de la exposición interna de las Guías IDEAS [6].

Durante el período 22 de marzo a 22 de mayo de 2011, concurrieron al Laboratorio de Dosimetría Interna 18 personas, entre adultos y niños, a los cuales se les realizaron mediciones directas de  $^{131}\text{I}$  en tiroides y  $^{137}\text{Cs}$  en todo el cuerpo.

El cuestionario realizado a las personas monitoreadas permitió establecer que ninguna de ellas se encontraba en la zona de riesgo (radio menor de 100 km de Fukushima-Daiichi) durante el accidente y que no se trataban de trabajadores ocupacionalmente expuestos.

En las 18 personas monitoreadas no fue detectada contaminación externa superficial.

Los resultados de la medición directa de las 18 personas determinaron que no fue detectada actividad retenida en tiroides de  $^{131}\text{I}$  ni actividad retenida en todo el cuerpo de  $^{137}\text{Cs}$ .

Para la evaluación de los resultados se consideró la metodología de evaluación y los criterios establecidos en el Proyecto TIARA [3] y el TMT Handbook [4], y que las personas concurrieron al monitoreo en distintos días post accidente.

Se pudo corroborar con este monitoreo que la Dosis Efectiva Comprometida en la mayoría de las personas corresponden a la Zona A (Figuras 5 y 6) y por lo tanto son definitivamente menores a 1 mSv y no constituyen un riesgo para la salud.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se describen las capacidades técnicas operativas del laboratorio LDI de la ARN en situaciones de emergencia y los resultados de las mediciones directas realizadas en 18 personas en total, entre adultos y niños, que incluyeron al personal de Cancillería residente en Japón durante el accidente y en las emisiones de material radiactivo posteriores al mismo.

Al regresar a Argentina se les realizaron mediciones directas de  $^{131}\text{I}$  en tiroides y  $^{137}\text{Cs}$  en todo el cuerpo en respuesta a los pedidos de medición in vivo de ciudadanos argentinos repatriados, que estaban bajo sospecha de contaminación interna por encontrarse al momento del accidente en Japón.

Los límites de detección de  $^{131}\text{I}$  y  $^{137}\text{Cs}$  de los sistemas de medición de  $^{131}\text{I}$  en tiroides y contador de todo el cuerpo respectivamente, responden a los criterios recomendados para el monitoreo de la exposición interna de las Guías IDEAS.

Como resultado de las mediciones directas, realizadas en las 18 personas, no fue detectada actividad retenida en tiroides de  $^{131}\text{I}$  ni actividad retenida en todo el cuerpo de  $^{137}\text{Cs}$ .

Se pudo corroborar, de acuerdo a los criterios del Proyecto TIARA y el TMT Handbook que la Dosis Efectiva Comprometida en la mayoría de las personas es definitivamente menor a 1 mSv y por lo tanto no constituye un riesgo para la salud.

Se concluye que el laboratorio LDI de la ARN cuenta con la capacidad técnica para dar una pronta respuesta ante una emergencia que involucre la liberación de radionucleidos contando con sistemas espectrométricos para la detección de radionucleidos emisores gamma en personas en situaciones de emergencia y con los criterios para la evaluación de la exposición interna.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] ICRU REPORT 69, *Direct determination of body content of radionuclides*, Volume 3 N° 1, (2003)
- [2] Kramer, G. H., Hauck, B.M., "The sliced BOMAB phantom", *Health Physics*, volume 90 N° 2, February (2006)
- [3] IAEA- TECDOC-1092, *Generic procedures for monitoring in nuclear or radiological emergency*, p 81, June (1999)
- [4] Proyecto TIARA Treatment Initiatives After Radiological Accidents, *Dose Assessment of Inhaled Radionuclides in Emergency Situations*, Health Protection Agency, August (2007)
- [5] Rojas-Palma, C., Liland, A., Naess Jerstad, A., Etherington, G., Pérez, M.R., Rahola, T., Smith, K., *TMT Handbook Triage Monitoring and Treatment of people exposed to ionising radiation following a malevolent act*, EURATOM, Lobo Media AS, Norway (2008)
- [6] Castellani, C.M., Marsh, J.W., Hurtgen, E. Blanchardon, C., Berard, P., Giussani, A., Lopez, M.A., *IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data*, EURADOS Report 2013-01, Braunschweig, March (2013)