



MX0500052

*Congreso Internacional Conjunto Cancún 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR/International Joint Meeting Cancun 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR
XV Congreso Anual de la SNM y XXII Reunión Anual de la SMSR/XY SNM Annual Meeting and XXII SMSR Annual Meeting
Cancún, Q.R., México, 11-14 de Julio, 2004/Cancún, Q.R., Mexico, July 11-14, 2004*

Cálculos de Dosis para el Personal Involucrado en el Accidente Radiológico del Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional “Siglo XXI”

Alejandro Cortés Carmona

Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias

Dr. Barragán 779, Col. Narvarte

México, D. F.

acortes@cnsns.gob.mx

Resumen

En este trabajo se presenta la metodología empleada por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias para la determinación de la dosis interna debida a la ingestión de café con I-131 por el personal del servicio de medicina nuclear del Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional “Siglo XXI” del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), que por un acto deliberado fue vertido en la cafetera del servicio antes mencionado. Se utilizaron tres técnicas diferentes para determinar la actividad inicial incorporada a partir de las mediciones de actividad retenida en tiroides para 6 personas del servicio de medicina nuclear; las técnicas empleadas proporcionaron resultados consistentes. Utilizando los resultados de la técnica del mejor estimador, se aplicó la metodología propuesta por la Comisión Internacional de Radioprotección en su publicación 30 para determinar las dosis absorbidas por el personal involucrado en el accidente, con las cuales la Comisión determinó las consecuencias administrativas a las que debía sujetarse el personal y los directivos del servicio de medicina nuclear del nosocomio.

1. INTRODUCCIÓN

El día 28 de noviembre del 2002, se presentó en las instalaciones de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) un trabajador del Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional “Siglo XXI” del IMSS (HECMN), indicando que posiblemente había incorporado material radiactivo como consecuencia de un accidente en el citado nosocomio. Personal de la CNSNS procedió a realizar un monitoreo a la persona que presentaba el aviso, encontrando que tenía incorporado I-131.

De acuerdo con lo indicado por personal del HECMN, se sospechaba que en el servicio de medicina nuclear había ocurrido un accidente, en el que presumiblemente se había vertido I-131 en solución en la cafetera del servicio, de la cual había consumido el personal.

La CNSNS requirió a todo el personal del servicio de medicina nuclear (SMN) se presentara en sus instalaciones para realizar el correspondiente conteo de actividad corporal, además de conducir una serie de inspecciones a la instalación en comento con la finalidad de determinar si había ocurrido un accidente y, de ser el caso, la magnitud del mismo.

En el presente artículo se presenta la metodología que utilizó el personal de la CNSNS para determinar la dosis interna del personal al que se le cuantificó material radiactivo incorporado.

2. CUANTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD CORPORAL

Se realizó el conteo de actividad corporal a todo el personal del SMN en el contador tipo silla de la CNSNS, el cual es capaz de medir actividad corporal en tórax y tiroides mediante detectores de yoduro de sodio (y su electrónica asociada). Los resultados de la primera medición se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Resultados de las primeras mediciones realizadas al personal del servicio de medicina nuclear del HECMN

Nombre	Fecha de la medición	Radionúclido	Actividad	
			MBq	mCi
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	29/XI/02	I-131	18.43	0.50
Diana Graciela Menez Díaz	29/XI/02	I-131	11.97	0.32
José Rodrigo Muñoz Olvera	29/XI/02	I-131	9.91	0.27
Carlos Vidal Vizcaino Magaña	29/XI/02	I-131	9.12	0.25
Juan Carlos Castillo Domínguez	29/XI/02	I-131	2.85	0.08
Laura Elena Iwasaki Itake	29/XI/02	I-131	0.54	0.01
			KBq	μCi
Juan Carlos Rosas Huerta	3/XII/02	I-131	0.4181	0.0113
Isabel Cristina García Hernández	4/XII/02	I-131	3.441	0.093
Isabel Cristina García Hernández	4/XII/02	Tc-99m	4.49	0.1214
Ana Patricia Ruiz Robles	4/XII/02	I-131	4.6739	0.1263
Bertha Alicia Guevara	5/XII/02	I-131	1.2166	0.0329
Narciso Méndez Molina	5/XII/02	I-131	0.4608	0.0125

Tabla I (cont). Resultados de las primeras mediciones realizadas al personal del servicio de medicina nuclear del HECMN

Nombre	Fecha de la medición	Rapidez de exposición a contacto	Rapidez de exposición a 1 m
		mR/h	mR/h
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	29/XI/02	90	0.4
Diana Graciela Menez Díaz	29/XI/02	40	0.2
José Rodrigo Muñoz Olvera	29/XI/02	50	0.3
Carlos Vidal Vizcaino Magaña	29/XI/02	40	0.3
Juan Carlos Castillo Domínguez	29/XI/02	9	0.03
Laura Elena Iwasaki Itake	29/XI/02	3	0.03
Juan Carlos Rosas Huerta	3/XII/02	fondo	fondo
Isabel Cristina García Hernández	4/XII/02	fondo	fondo
Isabel Cristina García Hernández	4/XII/02	fondo	fondo
Ana Patricia Ruiz Robles	4/XII/02	fondo	fondo
Bertha Alicia Guevara	5/XII/02	fondo	fondo
Narciso Méndez Molina	5/XII/02	fondo	fondo

2.1 Análisis de los Resultados de la Primera Medición de Actividad Corporal

La CNSNS ha establecido un sistema de niveles de referencia para determinar las acciones que correspondan cuando se detecta la presencia de material radiactivo a través del contador de actividad corporal. Los niveles se determinan tomando como referencia los valores de la Norma Oficial Mexicana NOM-005-NUCL-1994 “Límites anuales de incorporación (LAI) y concentraciones derivadas en aire (CDA) de radionúclidos para el personal ocupacionalmente expuesto” [1], en la cual se indican los valores por radionúclido, de las cantidades permitidas legalmente para que el personal ocupacionalmente expuesto (POE) incorpore material radiactivo por ruta de incorporación (ingestión o inhalación, según sea el caso). Los niveles de referencia establecidos por la CNSNS fueron propuestos para ser consistentes con aquellos recomendados por el ICRP-54 [2], y son los siguientes:

Nivel de registro: 1/30 del Límite Diario de Incorporación (LDI), $LDI = LAI/365$

Nivel de investigación: 1/10 del LDI

Nivel de Intervención: 1/5 del LDI

Además de los niveles anteriores, la CNSNS ha establecido como criterio de aceptación, que las mediciones cuantificables del equipo de medición utilizado, debe ser mayor, además del Límite Inferior de Detección (LID), de 3 veces el valor del fondo natural promedio encontrado en el laboratorio de medición.

De acuerdo con los criterios anteriores, se determinó que las primeras 6 personas que aparecen en la Tabla I superaban el nivel de intervención para el I-131 en tiroides, mientras que las demás superaban el nivel de investigación, por lo que se decidió dar seguimiento a todos los casos que superaron el nivel de intervención, sabiendo que las personas que habían superado el nivel de investigación lo habían hecho por la ingesta de café con material radiactivo, sin que por esto superaran los valores permitidos por la norma correspondiente y por el Reglamento General de Seguridad Radiológica [3].

La CNSNS requirió que el personal que había superado el nivel de intervención, debía presentarse cada tercer día para que se le determinara la actividad incorporada en la glándula tiroides, con el objetivo de verificar que el decaimiento de tal material radiactivo correspondiera al de una sola incorporación, además de verificar que no se continuara incorporando material.

Las mediciones subsecuentes se presentan en la Tabla II. En la figura 1 se muestra la curva de material radiactivo que se esperaba medir en función del tiempo.

3. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD INICIAL INCORPORADA

Con las actividades de material radiactivo detectado en la tiroides, se procedió a estimar la actividad inicial incorporada, necesaria para determinar la dosis incorporada. En las figuras 2 a la 7 se muestran las gráficas que corresponden al ajuste de las curvas mediante la técnica del promedio de los valores experimentales [4], en la cual se busca la curva generada con los valores experimentales que se ajusta en promedio a la curva teórica, en donde dicho promedio corresponde a las diferencias entre cada valor experimental con el teórico. En la Tabla III se muestran los resultados obtenidos mediante la técnica del mejor estimador [4,5], en la que se utiliza la distribución de χ^2 para encontrar el valor de la actividad inicial incorporada; dichos

valores se presentan comparativamente con los resultados de la técnica del promedio de valores experimentales y la de mínimos cuadrados. De acuerdo con el análisis de las técnicas empleadas, se decidió utilizar la técnica del mejor estimador para el reporte de las actividades iniciales incorporadas.

Tabla II. Resultados de las mediciones realizadas al personal del servicio de medicina nuclear del HECMN

Nombre	Radionúclido	29-Nov-02		3-Dic-02		4-Dic-02	
		MBq	mCi	KBq	μCi	KBq	μCi
Diana Graciela Menez Díaz	I-131	11.971	0.324				
Jose Rodrigo Muñoz Olvera	I-131	9.915	0.268				
Juan Carlos Castillo Domínguez	I-131	2.848	0.077				
Laura Elena Iwasaki Itake	I-131	0.541	0.015				
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	I-131	18.432	0.498				
Vizcaino Magaña Carlos Vidal	I-131	9.119	0.246				
Juan Carlos Rosas Huerta	I-131			0.4181	0.0113		
Isabel Cristina García Hernández	I-131					3.441	0.093
Isabel Cristina García Hernández	Tc-99m					4.49	0.1214
Ana Patricia Ruiz Robles	I-131					4.6739	0.1263
Bertha Alicia Guevara	I-131						
Narciso Méndez Molina	I-131						

Tabla II. Resultados de las mediciones realizadas al personal del servicio de medicina nuclear del HECMN (cont.)

Nombre	Radionúclido	5-Dic-02		9-Dic-02	
		KBq	μCi	MBq	mCi
Diana Graciela Menez Díaz	I-131			5.789	0.156
Jose Rodrigo Muñoz Olvera	I-131			5.113	0.138
Juan Carlos Castillo Domínguez	I-131			1.055	0.029
Laura Elena Iwasaki Itake	I-131				
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	I-131				
Vizcaino Magaña Carlos Vidal	I-131				
Juan Carlos Rosas Huerta	I-131				
Isabel Cristina García Hernández	I-131				
Isabel Cristina García Hernández	Tc-99m				
Ana Patricia Ruiz Robles	I-131				
Bertha Alicia Guevara	I-131	1.2166	0.0329		
Narciso Méndez Molina	I-131	0.4608	0.0125		

Tabla II. Resultados de las mediciones realizadas al personal del servicio de medicina nuclear del HECMN (cont.)

Nombre	Radionúclido	10-Dic-02		11-Dic-02		12-Dic-02	
		MBq	mCi	MBq	mCi	MBq	mCi
Diana Graciela Menez Díaz	I-131			3.572	0.097		
Jose Rodrigo Muñoz Olvera	I-131			6.594	0.178		
Juan Carlos Castillo Domínguez	I-131			1.073	0.029		
Laura Elena Iwasaki Itake	I-131	0.254	0.007			0.192	0.005
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	I-131	9.798	0.265			9.091	0.246
Vizcaino Magaña Carlos Vidal	I-131	4.003	0.108				
Juan Carlos Rosas Huerta	I-131						
Isabel Cristina García Hernández	I-131						
Isabel Cristina García Hernández	Tc-99m						
Ana Patricia Ruiz Robles	I-131						
Bertha Alicia Guevara	I-131						
Narciso Méndez Molina	I-131						

Tabla II. Resultados de las mediciones realizadas al personal del servicio de medicina nuclear del HECMN (cont.)

Nombre	Radionúclido	13-Dic-02		16-Dic-02	
		MBq	mCi	MBq	mCi
Diana Graciela Menez Díaz	I-131			2.207	0.060
Jose Rodrigo Muñoz Olvera	I-131				
Juan Carlos Castillo Domínguez	I-131				
Laura Elena Iwasaki Itake	I-131				
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	I-131				
Vizcaino Magaña Carlos Vidal	I-131	3.807	0.103		
Juan Carlos Rosas Huerta	I-131				
Isabel Cristina García Hernández	I-131				
Isabel Cristina García Hernández	Tc-99m				
Ana Patricia Ruiz Robles	I-131				
Bertha Alicia Guevara	I-131				
Narciso Méndez Molina	I-131				

Tabla II. Resultados de las mediciones realizadas al personal del servicio de medicina nuclear del HECMN (cont.)

Nombre	Radionúclido	17-Dic-02		18-Dic-02		19-Dic-02	
		MBq	mCi	MBq	mCi	MBq	mCi
Diana Graciela Menez Díaz	I-131			0.03	--		
José Rodrigo Muñoz Olvera	I-131						
Juan Carlos Castillo Domínguez	I-131	0.671	0.018			0.412	0.011
Laura Elena Iwasaki Itake	I-131	0.172	0.005				
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	I-131	5.942	0.161				
Carlos Vidal Vizcaino Magaña	I-131	2.663	0.072				
Juan Carlos Rosas Huerta	I-131						
Isabel Cristina García Hernández	I-131						
Isabel Cristina García Hernández	Tc-99m						
Ana Patricia Ruiz Robles	I-131						

Tabla II. Resultados de las mediciones realizadas al personal del servicio de medicina nuclear del HECMN (cont.)

Nombre	Radionúclido	27-Dic-02		3-Ene-03		9-Ene-03	
		MBq	mCi	MBq	mCi		
Diana Graciela Menez Díaz	I-131	0.569	0.015				
José Rodrigo Muñoz Olvera	I-131	1.515	0.04			0.031	-----
Juan Carlos Castillo Domínguez	I-131			0.088			
Laura Elena Iwasaki Itake	I-131			0.021	--		
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	I-131	2.439	0.065				
Carlos Vidal Vizcaino Magaña	I-131	0.843	0.022				
Juan Carlos Rosas Huerta	I-131						
Isabel Cristina García Hernández	I-131						
Isabel Cristina García Hernández	Tc-99m						
Ana Patricia Ruiz Robles	I-131						

4. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD INICIAL INCORPORADA

Con las actividades de material radiactivo detectado en la tiroides, se procedió a estimar la actividad inicial incorporada, necesaria para determinar la dosis incorporada. En las figuras 2 a la 7 se muestran las gráficas que corresponden al ajuste de las curvas mediante la técnica del promedio de los valores experimentales [4], en la cual se busca la curva generada con los valores experimentales que se ajusta en promedio a la curva teórica, en donde dicho promedio corresponde a las diferencias entre cada valor experimental con el teórico. En la Tabla III se muestran los resultados obtenidos mediante la técnica del mejor estimador [4,5], en la que se utiliza la distribución de χ^2 para encontrar el valor de la actividad inicial incorporada; dichos valores se presentan comparativamente con los resultados de la técnica del promedio de valores experimentales y la de mínimos cuadrados. De acuerdo con el análisis de las técnicas empleadas, se decidió utilizar la técnica del mejor estimador para el reporte de las actividades iniciales incorporadas.

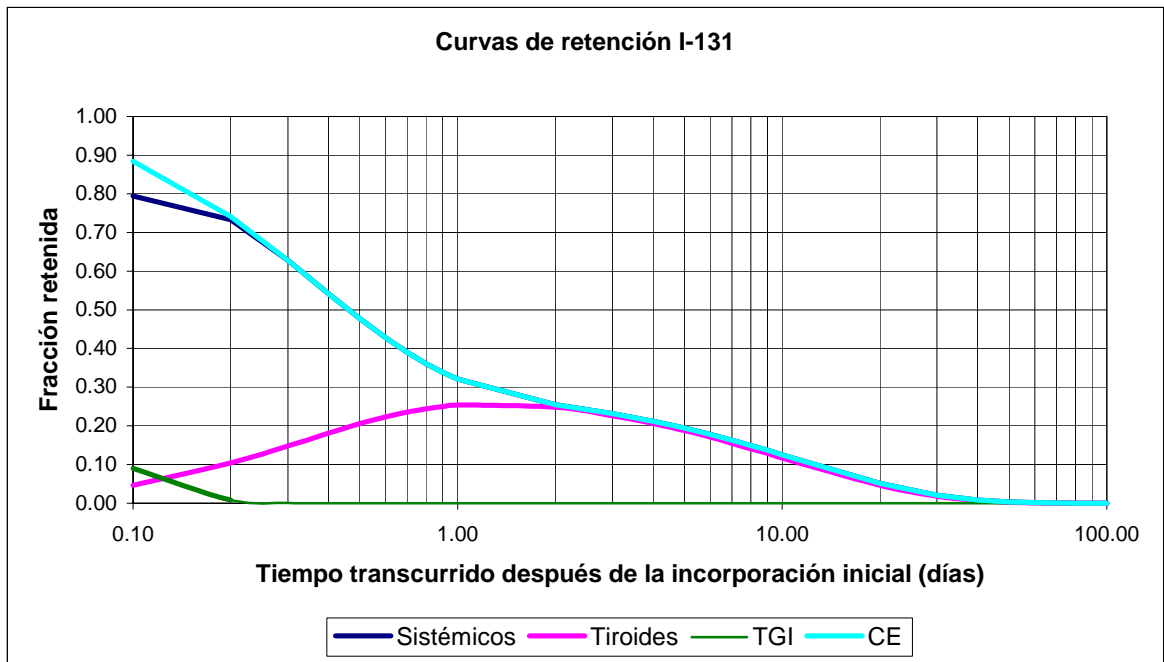


Figura 1. Curvas de retención para el I-131 incorporado por ingestión

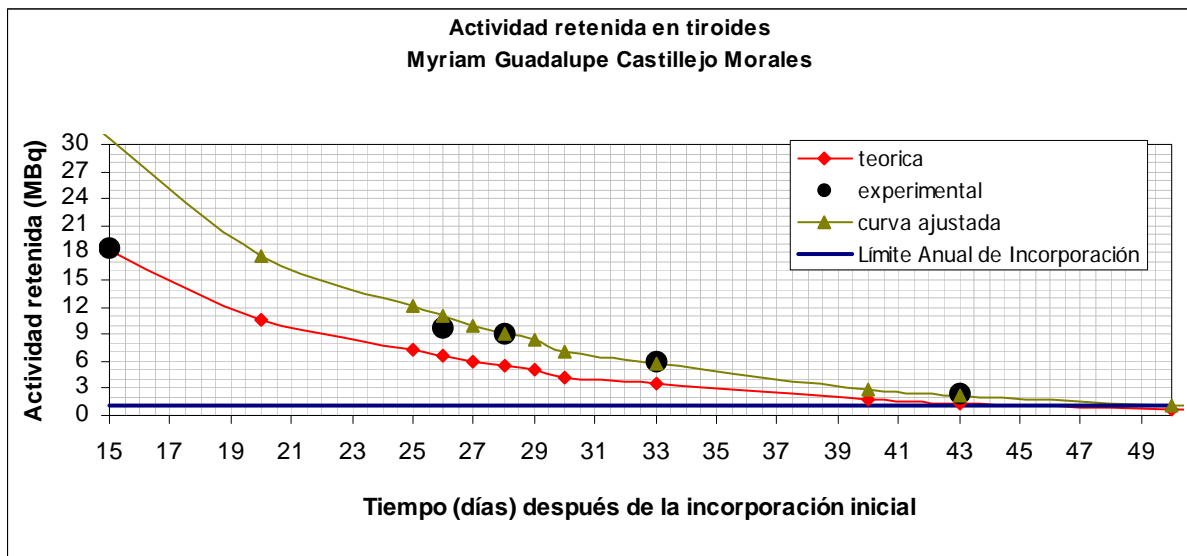


Figura 2. Curvas de retención para Myriam Guadalupe Castillejo Morales

5. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS INTERNA

Aplicando la metodología recomendada por el ICRP 30 [6], se obtienen los factores de conversión de dosis, los cuales fueron generados con el programa DOSINT2, codificado por la CNSNS y el cual incorpora los modelos y parámetros contenidos en la publicación 30 del ICRP.

Los valores de dosis interna obtenidos con las actividades iniciales obtenidas con la técnica del mejor estimador, son presentados en la Tabla IV.

Tabla III. Valores de actividad incorporada para el personal del servicio de medicina nuclear del HECMN

Nombre	Actividad Incorporada (BE)		Actividad Incorporada (PR)		Actividad Incorporada (MC)	
	MBq	mCi	MBq	mCi	MBq	mCi
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	365.8	9.88	384.2	10.38	326.47	8.82
Diana Graciela Menez Díaz	149.2	4.03	117.55	3.18	163.12	4.41
José Rodrigo Muñoz Olvera	140.5	3.79	162.61	4.39	253.34	6.85
Carlos Vidal Vizcaíno Magaña	120	3.24	147.08	3.98	126.89	3.43
Juan Carlos Castillo Domínguez	36.1	0.97	36.64	0.99	39.35	1.06
Laura Elena Iwasaki Itake	7.23	0.19	8.04	0.22	8.23	0.22

BE: Técnica del mejor estimador
 PR: Técnica de valores promedios
 MC: Ajuste por mínimos cuadrados

Tabla III. Valores de actividad incorporada para el personal del servicio de medicina nuclear del HECMN (cont.)

	Diferencias relativas (%)	
	BE/PR	BE/MC
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	-4.79	12.05
Diana Graciela Menez Díaz	26.92	-8.53
José Rodrigo Muñoz Olvera	-13.60	-44.54
Carlos Vidal Vizcaíno Magaña	-18.41	-5.43
Juan Carlos Castillo Domínguez	-1.47	-8.25
Laura Elena Iwasaki Itake	-10.07	-12.10

BE: Técnica del mejor estimador
 PR: Técnica de valores promedios
 MC: Ajuste por mínimos cuadrados

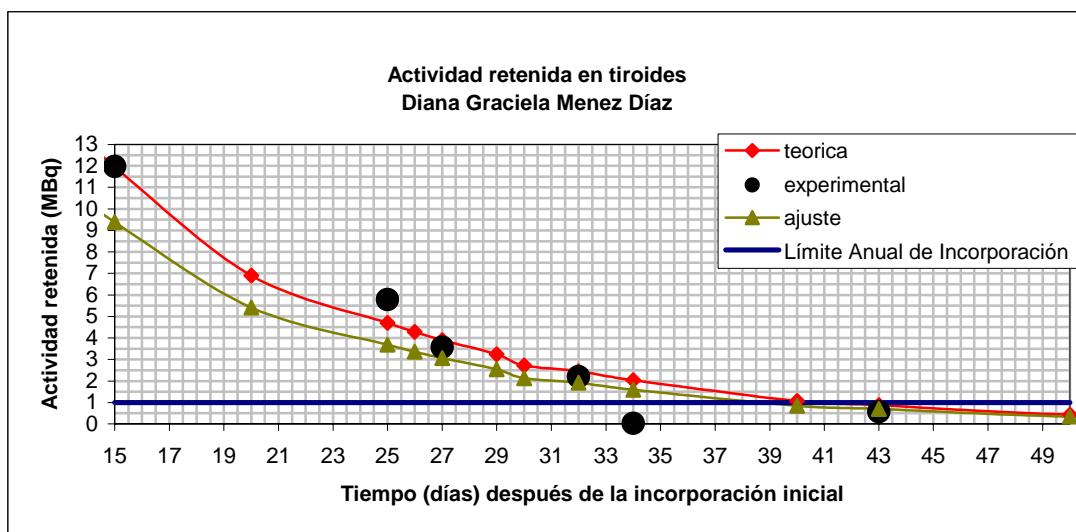


Figura 3. Curvas de retención para Diana Graciela Menez Díaz

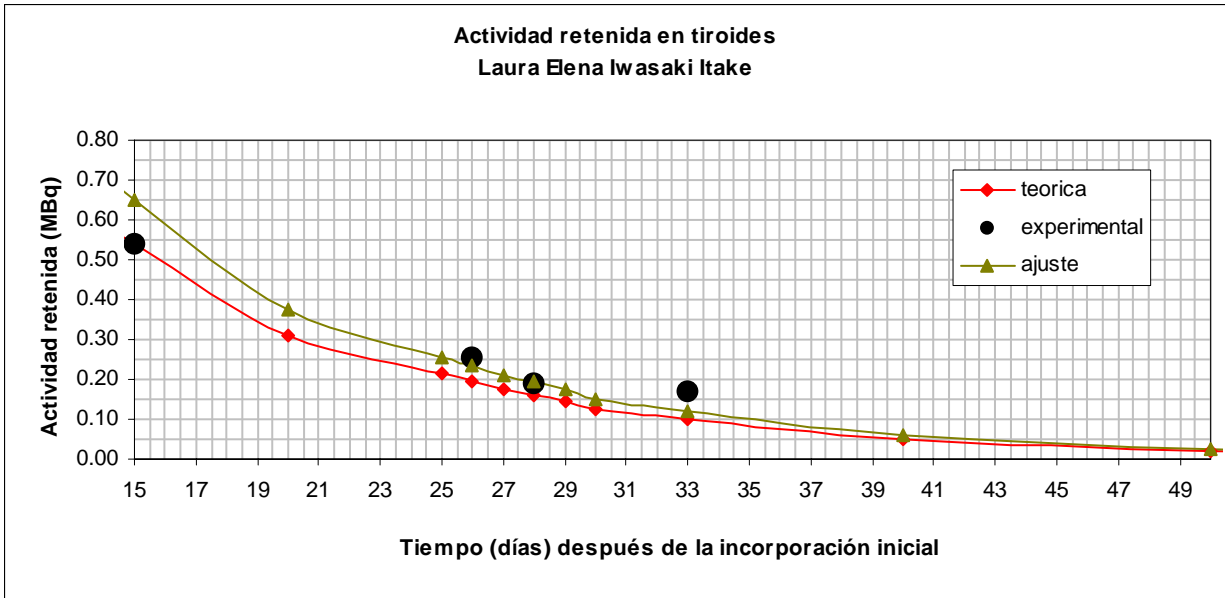


Figura 4. Curvas de retención para Laura Elena Iwasaki Itake

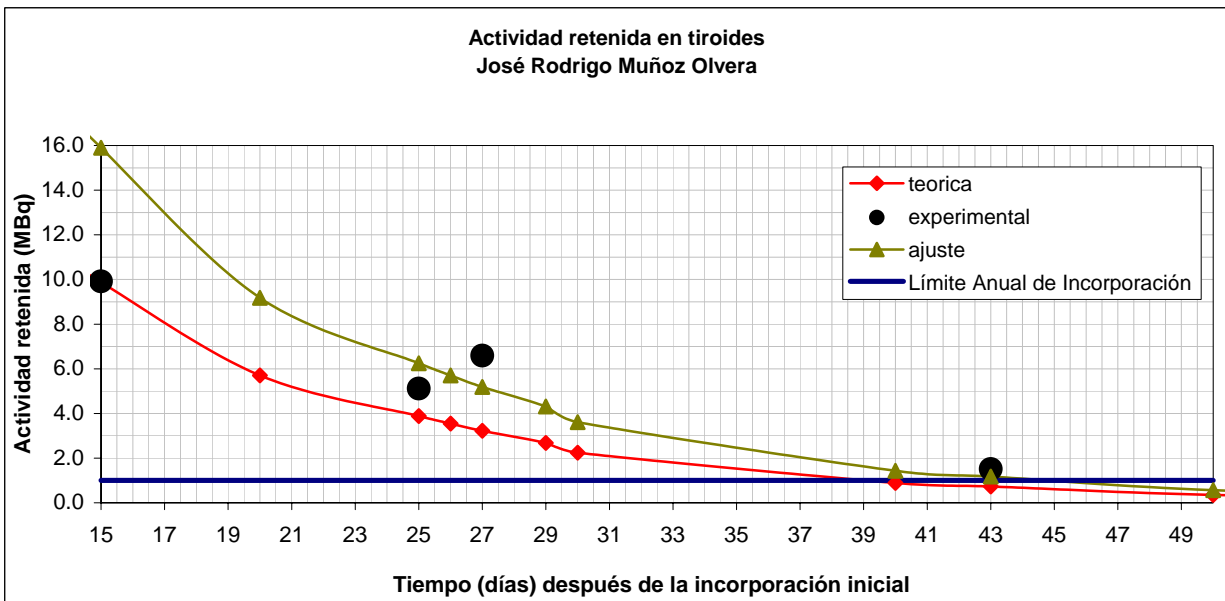


Figura 5. Curvas de retención para José Rodrigo Muñoz Olvera

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de las técnicas para la determinación de la actividad incorporada, se determinó que el método del mejor estimador era el más conveniente de usar, por lo que con tales valores se determinaron las dosis recibidas por el personal involucrado en el accidente del HECMN, las cuales se utilizaron para determinar las recomendaciones, sanciones y seguimientos que debía aplicarse al personal del nosocomio. También es importante mencionar, que aunque la

publicación 60 del ICRP [7] indica metodologías y valores diferentes para el cálculo de la dosis interna, la CNSNS utilizó aquella indicada en el ICRP 30 ya que es la consistente con lo establecido en el RGSR. La CNSNS además verificó que cuenta con la capacidad técnica y la infraestructura adecuada para realizar la evaluación y seguimiento de accidentes en los que se involucran incorporaciones de material radiactivo en las magnitudes de lo ocurrido en el HECMN.

Tabla IV. Valores de dosis (efectiva comprometida y máxima a órgano) recibida por el personal del servicio de medicina nuclear del HECMN como resultado de la incorporación de I-131

Nombre	Equivalente de Dosis Efectiva comprometida mSv	Dosis máxima a tiroides Sv
Myriam Guadalupe Castillejo Morales	5388.71	184.67
Diana Graciela Menez Díaz	1645.73	56.50
José Rodrigo Muñoz Olvera	2280	78
Carlos Vidal Vizcaino Magaña	2064.25	70.70
Juan Carlos Castillo Domínguez	509	17.4
Laura Elena Iwasaki Itake	113	3.86
Juan Carlos Rosas Huerta	0.0972	0.00333
Isabel Cristina García Hernández	0.878	0.0301
Ana Patricia Ruiz Robles	1.19	0.0409
Bertha Alicia Guevara	0.3410	0.0117
Narciso Méndez Molina	0.1290	0.0044

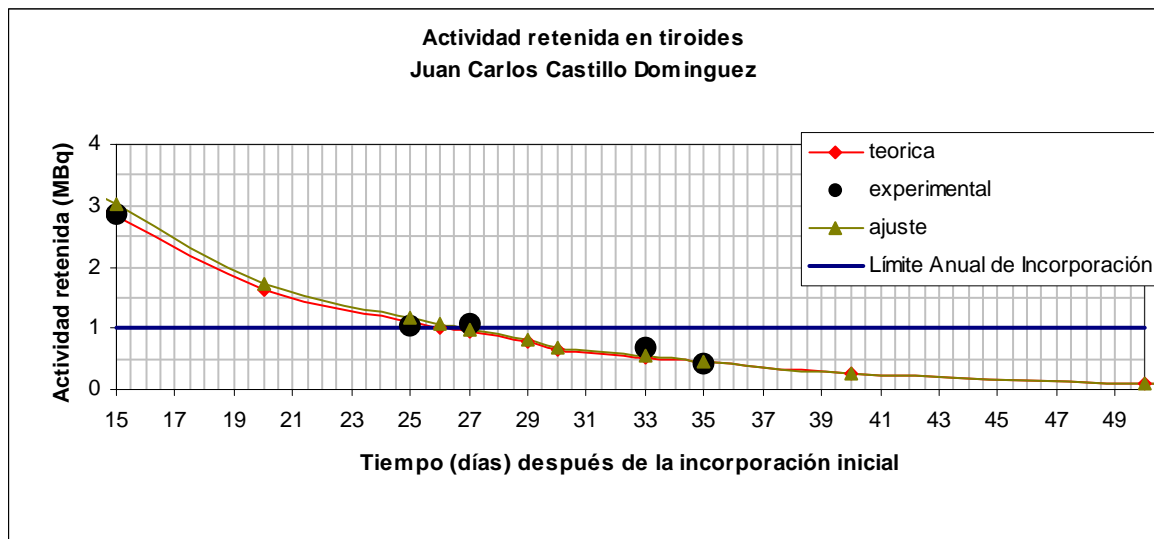


Figura 6. Curvas de retención para Juan Carlos Castillo Domínguez

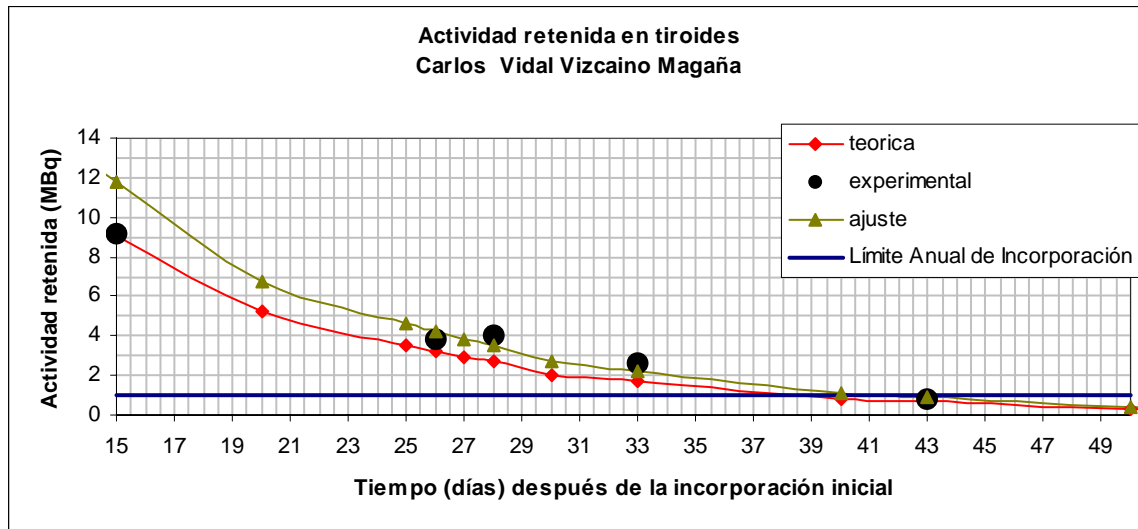


Figura 7. Curvas de retención para Carlos Vidal Vizcaino

REFERENCIAS

1. Secretaría de Energía, Norma Oficial Mexicana NOM-005-NUCL-1994 “Límites anuales de incorporación (LAI) y concentraciones derivadas en aire (CDA) de radionúclidos para el personal ocupacionalmente expuesto”, *Diario Oficial de la Federación*, 16 de febrero de 1996.
2. International Commission on Radiological Protection “Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers: design and interpretation” *Annals of the ICRP*, **volume 19, No. 1-3** (1988)
3. Reglamento General de Seguridad Radiológica, *Diario Oficial de la Federación*, 1988.
4. Alejandro Cortés Carmona “Estimaciones de dosimetría interna: cálculos prácticos de actividad incorporada” *XIV Congreso Anual de la SNM/XXI Reunión Anual de la SMSR*, Guadalajara, Jalisco, México, 10-13 de Septiembre (2003)
6. U. S. Nuclear Regulatory Commission, “Interpretation of bioassay measurements” **NUREG/CR-4884**, 1987
7. International Commission on Radiological Protection “Limits for intakes of radionuclides by workers” *Annals of the ICRP*, **volume 12**, (1980)
8. International Commission on Radiological Protection “1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”, *Annals of the ICRP*, **volume 21**,(1990)