

**Indicadores para la optimización procedimental  
en Medicina Nuclear**

**Por  
Carlos Gerardo Einisman**

**Tesis de Licenciatura en Diagnóstico por Imágenes  
con orientación en Medicina Nuclear**



**UNSAM**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN



**Escuela de Ciencia y Tecnología  
Universidad Nacional de General San Martín**

**Marzo de 2013**



**Tema:** “Indicadores para la optimización procedimental en Medicina Nuclear”

**Alumno:** Carlos Gerardo Einisman. LDICC. ECyT. Leg. 3208.

**Lugar de trabajo:** Escuela de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de San Martín

**Director de Tesis:** Lic. Jorge Muscio

**Co-Directora de Tesis:** Dra. Rosa Piotrkowski

**Fecha de iniciación:** 16 de Setiembre de 2009

**Fecha de finalización:** 21 de Marzo de 2013

**Fecha de examen:** 04 de Abril de 2013

**Jurado:** Dr. Alejandro Valda  
Lic. Sergio Fontaneto  
Lic. Federico Biafore  
Lic. Betina Ríos (Suplente)

**Trabajo final de Tesis aprobado por:**

-----  
**Autor**

-----  
**Director**

-----  
**Director de la Comisión  
de Tesis de Licenciatura**



## ÍNDICE ANALÍTICO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>10</b>
<b>3. RELEVANCIA DEL PROBLEMA</b> .....	<b>11</b>
<b>4. ANTECEDENTES</b> .....	<b>12</b>
<b>5. CONCEPTOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA</b> .....	<b>13</b>
<b>5.1. Irradiación Externa</b> .....	<b>13</b>
<b>5.1.1. Estimación de la Dosis Efectiva a partir del Kerma en Aire (<math>K_a</math>)</b> .....	<b>13</b>
<b>5.1.2. Equivalente de Dosis Personal <math>H_p(d)</math></b> .....	<b>15</b>
<b>5.2. Principios de la Protección Radiológica</b> .....	<b>16</b>
<b>5.2.1. Principio de justificación:</b> .....	<b>16</b>
<b>5.2.2. Principio de optimización de la protección:</b> .....	<b>16</b>
<b>5.2.3. Principio de aplicación de límites de dosis:</b> .....	<b>17</b>
<b>5.3. Límites y Restricciones de Dosis para la Exposición Ocupacional</b> .....	<b>17</b>
<b>5.4. Valores históricos de los Límites de Dosis Individual</b> .....	<b>19</b>
<b>5.5. Técnicas básicas de protección de la irradiación externa</b> .....	<b>20</b>
<b>5.5.1. Reducción del Tiempo de Exposición a la radiación</b> .....	<b>21</b>
<b>5.5.2. Aumento de la Distancia a la Fuente</b> .....	<b>21</b>
<b>5.5.3. Blindaje</b> .....	<b>21</b>
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
<b>6.1. Variables analizadas</b> .....	<b>23</b>
<b>6.1.1. Jornada laboral promedio.</b> .....	<b>23</b>
<b>6.1.2. Cantidad de prácticas diagnósticas y terapéuticas por año calendario</b> .....	<b>24</b>
<b>6.1.3. Equivalente de Dosis Personal por año calendario</b> .....	<b>25</b>
<b>6.2. Metodología</b> .....	<b>26</b>
<b>6.2.1. Aceptabilidad (<math>P_{(At)}</math>)</b> .....	<b>26</b>
<b>6.2.2. Dosis Operativa (<math>O_{(At)}</math>)</b> .....	<b>27</b>
<b>6.2.3. Sistemática (<math>Q_{(At)}</math>)</b> .....	<b>27</b>

<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
<i>7.1. Aceptabilidad (<math>P_{(At)}</math>).....</i>	<i>29</i>
<i>7.2. Dosis Operativa (<math>O_{(At)}</math>).....</i>	<i>30</i>
<i>7.3. Sistemática (<math>Q_{(At)}</math>).....</i>	<i>32</i>
<i>7.4. Resumen de resultados.....</i>	<i>33</i>
<b>8. DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
<i>8.1. Factores Organizacionales.....</i>	<i>34</i>
<i>8.1.1. Recursos Físicos.....</i>	<i>34</i>
<i>8.1.2. Formación y Habilitación de los Recursos Humanos .....</i>	<i>35</i>
<i>8.1.3. Prácticas Anuales.....</i>	<i>35</i>
<i>8.1.4. Jornada Laboral.....</i>	<i>37</i>
<i>8.2. Factores Operativos .....</i>	<i>38</i>
<i>8.2.1. Procedimientos.....</i>	<i>38</i>
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO 4 .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO 5 .....</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....</b>	<b>57</b>

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es definir los conceptos de Aceptabilidad, Dosis Operativa y Sistemática, como indicadores para la optimización procedimental del sistema de Protección Radiológica en Medicina Nuclear (MN) y realizar una evaluación de la pertinencia de los mismos.

Para dicha evaluación se utilizaron las lecturas de Equivalente de Dosis Personal (Hp(10))<sup>1</sup> informado por el proveedor del servicio de dosimetría personal, la duración de la jornada laboral y el número de prácticas<sup>2</sup> anuales realizadas, correspondientes a cinco miembros de un servicio de MN de un hospital público de la Ciudad de Buenos Aires.

Del análisis de los valores obtenidos para los indicadores mencionados, aun considerando que debe extenderse el campo de observación a otros casos, podría concluirse que ellos permiten obtener información del modo<sup>3</sup> de trabajo a partir de la información dosimétrica personal.

Por tal motivo los indicadores “Aceptabilidad”, “Dosis Operativa” y “Sistematicidad” serían parámetros fundamentales para evaluar aspectos procedimentales en las prácticas de MN y a partir de ellos establecer qué modificaciones son necesarias implementar a fin de disminuir la Dosis Efectiva (E) que recibe el usuario<sup>4</sup>.

Asimismo, podría establecerse que estos indicadores son independientes de condiciones tales como: duración de la jornada laboral, cantidad de prácticas realizadas, recursos físicos, formación o habilitación individual.

---

<sup>1</sup> Definida en el cuerpo de la tesis (párrafo 5.1.2). Esta medición, presumiendo una exposición uniforme de todo el cuerpo, se toma como una evaluación de la dosis efectiva.

<sup>2</sup> Se entiende por Prácticas, cada uno de los procedimientos diagnósticos y/o terapéuticos propios de la Medicina Nuclear, tales como centellogramas, curvas de captación tiroideas o dosis terapéuticas de I<sup>131</sup>I.

<sup>3</sup> Modo: 2. Procedimiento o conjunto de procedimientos para realizar una acción. Diccionario de la Real Academia Española. Ed. 22.

<sup>4</sup> Usuario: En este estudio, personal ocupacionalmente expuesto, usuario del servicio de dosimetría personal.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Calidad como organizador sistemático de los procesos y prácticas en la industria y los servicios del campo de la Salud<sup>5</sup> es cada vez más importante. Términos tales como Sistemas de Calidad, Certificaciones, y Códigos de Práctica se fueron incorporando paulatinamente al lenguaje usual en el campo sanitario. Esta tendencia también influyó en las normas argentinas referidas a los procesos en centrales nucleares<sup>6</sup>, en la industria nuclear en general<sup>7</sup> y más tarde en las prácticas y procedimientos en Medicina Nuclear (MN)<sup>8</sup> en la Norma AR 8.2.4. "Uso de Fuentes Radiactivas No Selladas en Instalaciones de Medicina Nuclear"<sup>9</sup>

La citada Norma de la ARN establece, para las aplicaciones en MN, una restricción de dosis para la optimización del sistema de Protección Radiológica tomando como variable la duración de jornada laboral. Ese criterio, que puede resultar suficiente para ciertas operaciones en instalaciones relevantes<sup>10</sup>, pudiera no serlo en un contexto tan complejo como la operación de un servicio de MN. En la realización de las prácticas de MN, tanto las fuentes como los escenarios en los que éstas se realizan muestran características diversas y dispersas: desde viales confinados en sus respectivos blindajes hasta sondas vesicales de pacientes en circulación, desde soluciones de alta concentración de actividad a gases o aerosoles radiactivos, entre otros.

Si las prácticas en MN están justificadas, los niveles de Dosis Individual están por debajo de los límites establecidos y a su vez, dentro de los niveles de referencia normados, cabe la pregunta

---

<sup>5</sup> Ministerio de Salud de la República Argentina. (1997). *Programa Nacional de Garantía de Calidad de la Atención Médica*. Resolución Ministerial N° 169/97. Buenos Aires.

<sup>6</sup> Ente Nacional Regulador Nuclear. (1997). *NORMA AR 3.6.1. Revisión 1. "Sistema de Calidad"*. Aprobada por Resolución ENREN N° 6/97. Boletín Oficial 13/5/97. Buenos Aires.

<sup>7</sup> Autoridad Regulatoria Nuclear, (2001). *Norma AR 10.1.1. Revisión 3. "Norma Básica de Seguridad Radiológica"*. Aprobada por Resolución del Directorio de la Autoridad Regulatoria Nuclear N° 22/01. Boletín Oficial N° 20/11/01. Buenos Aires.

<sup>8</sup> Autoridad Regulatoria Nuclear. (2002). *Norma AR 8.2.4. Revisión 1. "Uso de Fuentes Radiactivas No Selladas en Instalaciones de Medicina Nuclear"*. Aprobada por Resolución del Directorio de la Autoridad Regulatoria Nuclear N° 18/02 (Boletín Oficial 22/7/02). Buenos Aires.

<sup>9</sup> NORMA AR 8.2.4. Revisión 1. Criterios Generales, D.1., N° 13: "En las instalaciones de medicina nuclear, los sistemas de protección deben estar optimizados para que la dosis efectiva de radiación que reciba cada trabajador no supere el valor de 6 mSv en un (1) año. Cuando la jornada de labor sea menor que ocho (8) horas, no deberá superarse la parte proporcional de la restricción de dosis establecida."

<sup>10</sup> En la Norma Básica de Protección Radiológica, AR 10.1.1, se define "Instalación Relevante: Reactor nuclear de cualquier tipo, conjunto crítico, instalación radiactiva relevante y acelerador relevante." Las Instalaciones de MN están consideradas allí como "Instalaciones Menores."



sobre como determinar, con alguna objetividad, si efectivamente se cumple con la consigna “tan bajo como sea razonablemente posible”<sup>11</sup>. Ésta ha sido la pregunta que impulsó el presente trabajo y la búsqueda de indicadores, a partir de datos accesibles a los usuarios del servicio de dosimetría personal, que permitan la efectiva optimización de los procedimientos con fuentes no selladas en MN y que constituyan un aporte que parta de la normativa nacional vigente, siguiendo las recomendaciones del ICRP<sup>12</sup> y las normas de la OIEA<sup>13</sup>, en relación a la optimización de la protección y la seguridad.

Se adjunta un Glosario (Anexo 1).

---

<sup>11</sup> Sociedad Española de Protección Radiológica. (2008). *Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)*. Versión en español de la publicación 103 del ICRP. Sociedad Española de Protección Radiológica. Madrid. Pág. 33, Parágrafo 5: “(...) Esto se formuló de forma sucesiva como la recomendación de mantener la exposición “tan baja como sea factible” (ICRP, 1959), “tan baja como sea fácilmente alcanzable” (ICRP, 1966), y después “tan baja como sea razonablemente alcanzable, teniendo en cuenta las consideraciones económicas y sociales”. (ICRP, 1973)”. En inglés se utiliza el acrónimo ALARA: “As Low As Reasonably Achievable”.

<sup>12</sup> Sociedad Española de Protección Radiológica. (2008). *Op. Cit.*, Pág. 81, Parágrafo 223: “No pueden codificarse todos los aspectos de la optimización; más bien, debería existir un compromiso de todas las partes para encarar el proceso de optimización. Desde el punto de vista de la autoridad reguladora, la optimización no debería enfocarse en resultados específicos para situaciones particulares, sino más bien en los procesos, procedimientos y evaluaciones. Debería establecerse un diálogo abierto entre la autoridad y el nivel gerencial superior de la organización (empleador), y el éxito del proceso de optimización dependerá en gran medida de la calidad de este diálogo.”

<sup>13</sup> Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA). (1997). *Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección Contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación*. Colección Seguridad N° 115. Viena. Pág. 23. “Optimización de la protección y seguridad”. Parágrafo 2.25: “El proceso de optimización de las medidas de protección y seguridad puede abarcar desde análisis cualitativos de naturaleza intuitiva hasta análisis cuantitativos apoyados en técnicas de ayuda para la toma de decisiones, pero deberá permitir tener en cuenta de manera coherente todos los factores de interés a fin de contribuir al logro de los siguientes objetivos: a) determinar las medidas de protección y seguridad optimizadas para las circunstancias reinantes, cuenta habida de las opciones existentes en materia de protección y seguridad así como de la naturaleza, magnitud y probabilidad de las exposiciones; b) establecer criterios, basados en los resultados de la optimización, para la restricción de la magnitud de las exposiciones y de su probabilidad mediante medidas de prevención de accidentes y de atenuación de sus consecuencias.”

## 2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es presentar y ensayar los conceptos de Aceptabilidad, Dosis Operativa y Sistemática, como nuevos indicadores para la optimización procedimental del Sistema de Protección Radiológica en Medicina Nuclear. La información aportada por estos indicadores, permitiría la optimización procedimental mediante la aplicación sistemática de las tres técnicas básicas de protección contra la exposición a las radiaciones<sup>14</sup>, a saber: la minimización del **tiempo** de exposición, la maximización de las **distancias** a las fuentes y la utilización de los **blindajes** apropiados.

---

<sup>14</sup> También conocidas como Reglas “Tiempo, Distancia, Blindaje” o “Reglas TDB”.

### 3. RELEVANCIA DEL PROBLEMA

En la práctica cotidiana, el manejo de material radiactivo constituye una actividad esencial en el desempeño tanto del Técnico en Medicina Nuclear (TMN), como del Licenciado en Diagnóstico por Imágenes con orientación en Medicina Nuclear (LDIMN). La manipulación de fuentes radiactivas atraviesa todas las áreas de competencia del Perfil Profesional y las actividades profesionales reservadas del TMN<sup>15</sup>. No obstante, no están disponibles herramientas que indiquen a estos profesionales, ni al resto de los usuarios ocupacionalmente expuestos en MN, sobre los niveles de calidad de sus procedimientos con fuentes radiantes, desde la perspectiva de la Protección Radiológica.

La necesidad de estos indicadores operativos, radica en que la antes citada restricción de dosis a 6 mSv anuales para una jornada laboral de 8 horas o su parte proporcional, se refiere sólo al TIEMPO en el lugar de trabajo. No obstante, lo que finalmente determinaría la exposición ocupacional, sería fundamentalmente el MODO en el que se realicen las prácticas que involucran el uso de fuentes de radiación.

---

<sup>15</sup> Ministerio de Salud de la República Argentina. (2003). *Documento Marco Regulatorio para la formación y habilitación del Técnico Superior en Medicina Nuclear*, 3 de Noviembre de 2003. Aprobado por el CO.FE.SA. el 3 y 4 de Agosto de 2007 y por Resolución CFE N° 34/07, del 29 de noviembre de 2007.

#### 4. ANTECEDENTES

Se considera como antecedente de este trabajo, además del presentado en 2006 por el autor<sup>16</sup>, al realizado sobre dosimetría personal y ambiental por Di Trano<sup>17</sup> y col. en Dosis Terapéuticas de <sup>131</sup>I. A diferencia de esta última publicación, en la que se cuantifica una sola práctica con un sólo radioisótopo, los indicadores aquí propuestos intentan tener el carácter de indicadores integrales, abarcando la totalidad de las prácticas realizadas anualmente, e independientemente de los distintos radioisótopos y actividades utilizadas.

---

<sup>16</sup> Einisman, C., (2006). *Nuevos indicadores para la optimización del sistema de protección radiológica en medicina nuclear*. Presentación en poster. XV Congreso Argentino de Biología y Medicina Nuclear. 10 al 12 de Noviembre de 2006. Buenos Aires, Argentina.

<sup>17</sup> Di Trano, J.L.; Rojo, A.M.; Gomez Parada, I.M.; Gonzalez, M.; Grassi, E.A.; Gatica, N.A. y Kunst, J.J. (1998). *Dosis Debidas a Prácticas Terapéuticas con Iodo <sup>131</sup>I*. Publicación PI-9/98. Buenos Aires. Argentina. Autoridad Regulatoria Nuclear.

## **5. CONCEPTOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.**

Se exponen a continuación algunos conceptos fundamentales de protección radiológica:

### ***5.1. Irradiación Externa***<sup>18</sup>

Desde un punto de vista dosimétrico resulta necesario poder estimar, con fines de Protección Radiológica, la dosis efectiva (E) que recibe un trabajador en un dado campo de radiación. Los usos principales y primarios de la dosis efectiva son<sup>19</sup>:

- La evaluación prospectiva de la dosis en la planificación y optimización de la protección.
- La evaluación retrospectiva de la dosis para demostrar cumplimiento de límites o para la comparación con las restricciones de dosis o los niveles de referencia.

La evaluación de la dosis efectiva requiere el conocimiento detallado de la dosis equivalente media en varios órganos y/o tejidos del cuerpo. Dado que estas magnitudes son difíciles de conocer e imposibles de medir durante las prácticas con radiaciones, es necesario disponer de métodos alternativos para su estimación. El problema de evaluar adecuadamente la dosis efectiva tiene dos posibles soluciones:

- A partir de magnitudes físicas, tales como kerma en aire ( $K_a$ ) o fluencia de energía.
- A partir de magnitudes operacionales de uso práctico en Protección Radiológica como la dosis equivalente personal ( $H_p(d)$ ).

#### ***5.1.1. Estimación de la Dosis Efectiva a partir del Kerma en Aire ( $K_a$ )***

Existen métodos de cálculo dosimétrico que permiten obtener las distribuciones de dosis equivalente y la dosis efectiva en campos externos de rayos x y  $\gamma$ , para diferentes energías y geometrías de irradiación<sup>20</sup>. (Fig. 1)

<sup>18</sup> Autoridad Regulatoria Nuclear. (2000). *Radioprotección en las aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes*. CD. Cap. 3, Pág. 29. ARN – CADIME. Buenos Aires.

<sup>19</sup> Sociedad Española de Protección Radiológica. (2008). *Op. Cit.*, Pág. 66, Parágrafo 156.

<sup>20</sup> Las geometrías AP (anteroposterior), PA (posteroanterior), LAT (lateral, tanto DLAT desde derecha como ILAT desde izquierda) refieren a dirección y sentido de incidencia del haz de radiación sobre el paciente. ROT: se define al rotar el cuerpo a una velocidad constante, en un haz unidireccional, perpendicular al eje longitudinal. ISO: se define como un campo de radiación en el que el número de partículas por unidad de ángulo sólido es independiente de la dirección.

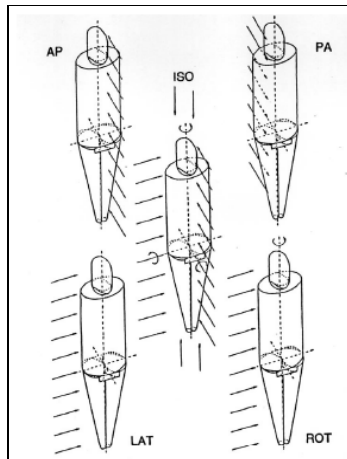


Figura 1. Geometrías de irradiación<sup>21</sup>.

Las geometrías de irradiación definidas son idealizaciones de las situaciones prácticas. Por ejemplo, las geometrías A/P, P/A y LAT son consideradas como aproximaciones del campo de radiación producido por fuentes únicas alejadas del trabajador. La geometría ROT, es una aproximación de un caso de irradiación proveniente de una fuente plana ampliamente dispersada, mientras que la geometría ISO es una aproximación para el caso de un cuerpo inmerso en una nube radiactiva.

Conociendo las características del campo de radiación (energía y condición geométrica) es posible estimar la dosis efectiva a partir de una medición en aire libre, utilizando el factor de conversión cuyos valores se representan gráficamente en la Figura 2.

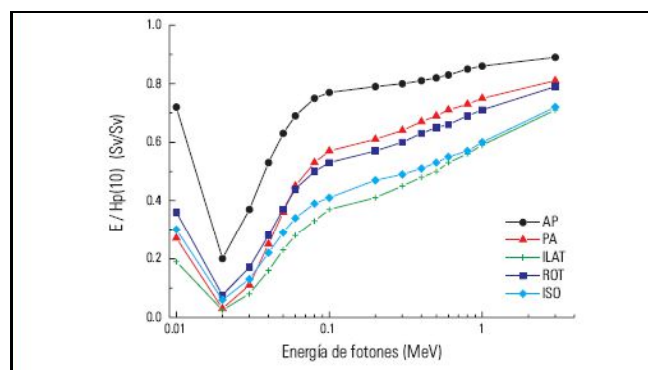


Figura 2. Relación entre la dosis efectiva, E, y kerma en aire, en función de la energía de los fotones, para distintas geometrías de irradiación.

<sup>21</sup> Las figuras 1 y 2 han sido extraídas de: ARN. (2000). *Radioprotección en las aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes*. ARN – CADIME. Buenos Aires. Cap. 3, Pág. 31 y 30, respectivamente.

### 5.1.2. Equivalente de Dosis Personal $H_p(d)$

El ICRP 103 define: “Es una magnitud operacional: el equivalente de dosis en tejido blando (comúnmente interpretado como “la esfera ICRU<sup>22</sup>”) a una profundidad apropiada,  $d$ , por debajo de un punto especificado del cuerpo humano. La unidad del equivalente de dosis personal es el julio por kilogramo ( $J\ kg^{-1}$ ) y su unidad especial es el sievert (Sv). El punto especificado está usualmente determinado por la posición en la que se porta el dosímetro personal<sup>23</sup>. En la vigilancia radiológica de las exposiciones ocupacionales de la radiación externa, los dosímetros individuales miden el equivalente de dosis personal  $H_p(10)$ . Esta medición, presumiendo una exposición uniforme de todo el cuerpo, se toma como una evaluación de la dosis efectiva.<sup>24</sup>

Se observa que la dosis equivalente individual  $H_p(10)$  es aproximadamente la dosis efectiva que recibe una persona en el lugar, para radiación  $x$  y  $\gamma$  en las geometrías de irradiación presentadas en la Figura 1. Por lo tanto, calibrando adecuadamente dosímetros individuales en unidades de  $H_p(10)$  se dispone de un detector cuya medición nos permite estimar dosis efectiva en los campos de radiación estudiados.

No obstante, se debe tener cuidado en no generalizar esta afirmación a cualquier campo de radiación existente en la práctica. Por ejemplo, para una exposición inhomogénea la expresión anterior no es válida. En estos casos debe efectuarse un análisis del lugar de trabajo y determinar factores dosimétricos específicos para dicha práctica. Sin embargo muchas situaciones reales pueden aproximarse a alguna de las situaciones presentadas en la Figura 1. Para esos casos, puede considerarse que la dosis equivalente individual  $H_p(10)$  es un buen estimador de la dosis efectiva que recibe una persona en el lugar de trabajo.

---

<sup>22</sup> Definidas en la publicación ICRU 39. Comisión Internacional de Unidades y Medidas en Radiaciones. “*Determinación de Equivalentes de Dosis resultantes de Fuentes de Radiación Externa*”.1985.

<sup>23</sup> Sociedad Española de Protección Radiológica. (2008). *Op. Cit.*, pág. 23.

<sup>24</sup> Sociedad Española de Protección Radiológica. (2008). *Op. Cit.*, pág. 63.

## 5.2. Principios de la Protección Radiológica<sup>25</sup>

### 5.2.1. Principio de justificación

Cualquier decisión que altere la situación de exposición a radiación debería producir más beneficio que daño. Esto significa que toda decisión en virtud de la cual se introduzca una nueva fuente de radiación, se reduzca una exposición existente, o se reduzca el riesgo potencial de exposición, debería producir suficiente beneficio individual o social como para compensar el detrimento que causa dicha decisión.

La exposición médica de pacientes requiere un enfoque diferente y más detallado del proceso de justificación. El uso clínico de la radiación debería justificarse, como en cualquier otra situación de exposición planificada, pero dicha justificación recae más frecuentemente en la profesión médica que en el gobierno o la autoridad reguladora competente. El objetivo principal de las exposiciones médicas es beneficiar al paciente, teniendo en debida cuenta el detrimento radiológico asociado a la exposición del personal de radiología (en nuestro caso: MN) y de otros individuos. La responsabilidad por la justificación del uso de un procedimiento en particular recae en los facultativos médicos pertinentes, quienes necesitan tener una capacitación especial en protección radiológica.

### 5.2.2. Principio de optimización de la protección

La probabilidad de exposición a la radiación, el número de personas expuestas, y la magnitud de las dosis individuales deberían mantenerse tan bajas como sea razonablemente alcanzable, teniendo en cuenta factores económicos y sociales<sup>26</sup>. En el caso que el diseño de los sistemas de protección radiológica asegure que, en condiciones normales de operación, ningún trabajador puede recibir una dosis efectiva superior a 5 mSv en un año, que ningún miembro del público puede recibir una dosis efectiva superior a 100 µSv en un año, y que la dosis efectiva colectiva debida a un año de operación es inferior a 10 Sv hombre, no es necesario demostrar que los sistemas están optimizados, salvo que la Autoridad Regulatoria lo solicite expresamente. Pero en

<sup>25</sup> Sociedad Española de Protección Radiológica. (2008). *Op. Cit.*, pág. 77 a 79.

<sup>26</sup> La referencia a los factores económicos y sociales se aplica cuando los estudios de optimización se realizan mediante un análisis diferencial costo-beneficio. En ese caso, se utilizará un valor del coeficiente de proporcionalidad entre el costo social y la dosis colectiva, de 10.000 dólares estadounidenses por Sv hombre.



las prácticas que involucren la exposición médica de pacientes debe optimizarse el empleo de equipos y técnicas para que las dosis innecesarias, a los fines del procedimiento, resulten tan bajas como sea razonablemente alcanzable.

### 5.2.3. Principio de aplicación de límites de dosis

En situaciones de exposición planificada para fuentes reguladas, que no consistan en exposiciones médicas de pacientes, la dosis total de cualquier individuo no debería exceder los límites pertinentes recomendados por el ICRP.

### 5.3. Límites y Restricciones de Dosis para la Exposición Ocupacional

Para los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiación ionizante, los límites de dosis<sup>27</sup> son los siguientes: El límite de dosis efectiva es 20 mSv en un año. Este valor debe ser considerado como el promedio en 5 años consecutivos (100 mSv en 5 años), no pudiendo excederse 50 mSv en un único año. El límite de dosis equivalente es 150 mSv en un año para el cristalino y 500 mSv en un año para la piel<sup>28</sup>. (Ver expresión en Anexo 1: *Límite de Dosis*)

La restricción de dosis, es un valor anual que el ICRP 103<sup>29</sup> define en su glosario como “*Una restricción anticipada y relacionada a la fuente en la dosis individual debida a una fuente, que proporciona un nivel básico de protección para los individuos más expuestos a una fuente, y sirve como límite superior de la dosis en la optimización de la protección para esa fuente. Para las exposiciones ocupacionales, la restricción de dosis es un valor de la dosis individual usado para limitar la gama de opciones consideradas en el curso de la optimización. Para la exposición pública la restricción de dosis es el límite superior en las dosis anuales que los miembros del público debería recibir de la operación planificada de cualquier fuente controlada.*”

---

<sup>27</sup> Autoridad Regulatoria Nuclear. (2001). *Norma AR 10.1.1. Revisión 3. “Norma Básica de Seguridad Radiológica”*. D.3.3.1. Aprobada por Resolución del Directorio de la Autoridad Regulatoria Nuclear N° 22/01. Boletín Oficial N° 20/11/01. Buenos Aires.

<sup>28</sup> Recomendada en: ICRP Publication 60 (Annals of the ICRP, vol.21, N° 1-3) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 1990. Adoptada en: Norma AR 10.1.1. Revisión 3. “Norma Básica de Seguridad Radiológica”. Aprobada por Resolución del Directorio de la Autoridad Regulatoria Nuclear N° 22/01. Boletín Oficial N° 20/11/01. Buenos Aires. Argentina. Incluida en Legislación Laboral: Resolución 295/2003 MTEySS. Anexo II. Especificaciones técnicas sobre radiaciones. Radiación ionizante. Boletín oficial N° 30.282. 1ª sección. Pág. 18. Viernes 21 de noviembre de 2003.

<sup>29</sup> Sociedad Española de Protección Radiológica. (2008). *Op. Cit.*, Pág. 30.

En el mismo ICRP 103, se recomienda<sup>30</sup>: “(231) Si se excede una restricción de dosis resulta necesario determinar si se ha optimizado la protección, si se ha seleccionado la restricción de dosis adecuada y si resultaría oportuno tomar medidas adicionales para reducir las dosis a niveles aceptables...” y “(233) Para las exposiciones ocupacionales, la restricción de dosis es un valor de dosis individual utilizado para limitar el conjunto de opciones de modo que en el proceso de optimización sólo se consideren las opciones que se espera habrán de provocar dosis por debajo de la restricción...”

Las opciones y medidas a las que se refieren los párrafos del ICRP 103 citados arriba, son interpretados aquí de una forma amplia, abarcando desde los criterios de diseño de una instalación relevante, donde las características de los blindajes estructurales pueden resultar determinantes de las dosis recibidas; hasta los procedimientos con fuentes no selladas como los abordados en este estudio. Pues si bien la existencia de blindajes es condición formal para la obtención de la Licencia de Operación de un servicio de Medicina Nuclear, su utilización queda al arbitrio del usuario, ya que ésta se realiza en la intimidad de un habitualmente pequeño y frecuentemente solitario laboratorio.

Caben aquí algunas consideraciones sobre Límites y Restricciones de Dosis Individual:

*“Si bien los límites de dosis constituyen una referencia indispensable para la práctica de la Protección Radiológica, ya que marcan la frontera entre la dosis aceptable de la inaceptable, en la actualidad se considera que no radica en ellos el aspecto esencial de la Protección Radiológica, sino que la optimización y las restricciones de dosis son las que deben jugar una función relevante.”*<sup>31</sup>

La Restricción de Dosis establece la división entre **lo aceptable** y **lo tolerable**, mientras que el Límite de Dosis Individual marca la frontera entre **lo tolerable** y **lo inaceptable**, tal como se muestra en la Tabla 1.

---

<sup>30</sup> Sociedad Española de Protección Radiológica. (2008). *Op. Cit.*, Pág. 83.

<sup>31</sup> Autoridad Regulatoria Nuclear. *Manual del Curso de postgrado en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear*. V 1.0. ARN. Buenos Aires. 2000. pág. 463.




Concepto	Valor anual	Calificación
		<b>Inaceptable</b>
<b>Límite Individual</b>	<b>20 mSv</b>	
		<b>Tolerable</b>
<b>Restricción de Dosis</b>	<b>6 mSv</b>	
		<b>Aceptable</b>
<b>Optimización</b>	<b>ALARA</b>	

Tabla 1. Niveles de Dosis y sus calificaciones.

#### 5.4. Valores históricos de los Límites de Dosis Individual

Desde 1934, los valores de Límite de Dosis Individual se redujeron drásticamente<sup>32</sup>, (ver Tabla 2 y Figura 3). A efectos de poder comparar las cantidades y magnitudes, se considera al año laboral de 250 días o 50 semanas y se expresan las diferentes unidades en mSv<sup>33</sup>. A efectos ilustrativos, se incluye también la restricción de dosis de 6 mSv antes mencionada.

Año	Concepto	Valor	Equivalente mSv	Equivalente mSv/año
<b>1934</b>	Dosis tolerable	0,2 rad/día	20 mSv/día	500
<b>1950</b>	Dosis permisible	0,05 rad/día	5 mSv/día	125
<b>1958</b>	Dosis permisible	0,1 rem/semana	1 mSv/semana	50
<b>1977</b>	Límite de dosis	5 rem/año	50 mSv/año	50
<b>1990</b>	Límite de dosis (vigente)	20 mSv/año	20 mSv/año	20
<b>2000</b>	Restricción dosis MN (vigente)	6 mSv/año	6 mSv/año	6

Tabla 2. Valores históricos de Límites Individuales y Restricción de Dosis

<sup>32</sup> Instituto Balseiro. (2007). *Protección Radiológica. Fundamentos de la Protección Radiológica*. Introducción.

<sup>33</sup> Para fotones de todas las energías: 1 rad = 10 mSv y 1 rem = 10 mSv. Considerando un factor de ponderación de la radiación  $W_r=1$ .

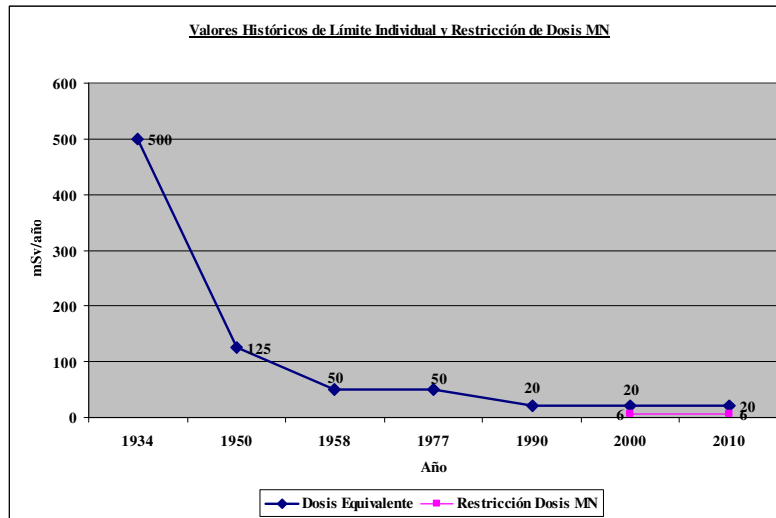


Figura 3. Valores históricos de límite individual y restricción de dosis en MN.

### 5.5. Técnicas básicas de protección de la irradiación externa

Como ya se dijo, la optimización procedimental se busca mediante la aplicación sistemática de las tres técnicas básicas de protección contra la exposición a las radiaciones: la minimización del **tiempo** de exposición, la maximización de las **distancias** a las fuentes y la utilización de los **blindajes** apropiados. La influencia que tienen estas variables en la dosis para el caso de una fuente puntual se observa en la **Expresión (1)**:

$$D = \frac{A \cdot \Gamma \cdot t}{d^2} \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (1)$$

Donde:

- D= Dosis de radiación gamma [mSv]
- A= Actividad [MBq]
- $\Gamma$ = Constante Específica de Radiación Gamma [mSv.m<sup>2</sup>/h.MBq]
- t= Tiempo de exposición a la radiación [h]
- d= Distancia a la fuente [m]
- $\mu$ = Coeficiente de atenuación lineal [1/cm]
- x= Espesor del atenuador (blindaje) [cm]

En el presente estudio, las magnitudes Actividad (A) y Constante Específica de Radiación Gamma ( $\Gamma$ ) (ver Glosario) no se consideran para la optimización procedimental por parte del usuario, dado que en MN tanto los radioisótopos gamma emisores utilizados como la actividad administrada, responden generalmente a decisiones médicas y/o de protección radiológica del paciente.

### ***5.5.1. Reducción del Tiempo de Exposición a la radiación***

El tiempo de exposición a la radiación está vinculado de manera lineal con la dosis por irradiación externa. Actuando sobre el tiempo de exposición, en general puede esperarse una reducción de la dosis directamente proporcional a la disminución del mismo. Por otra parte, la reducción del tiempo de exposición a la radiación debe ser compatible con la correcta realización de las operaciones necesarias.

### ***5.5.2. Aumento de la Distancia a la Fuente***

El aumento de la distancia a la fuente de radiación implica una reducción de la dosis. El fenómeno es particularmente notable en el caso de geometrías puntuales, es decir cuando las distancias punto-fuente son significativamente mayores que las dimensiones de la fuente. En esas condiciones se cumple la ley de la inversa de los cuadrados de las distancias.

En la práctica cotidiana de la MN, el aumento de la distancia a la fuente está fuertemente limitado por las dimensiones de los espacios de trabajo y sobre todo, por el tipo de operaciones a realizar.

### ***5.5.3. Blindaje***

Estas variables afectan la dosis en forma inversamente exponencial. Para un dado material absorbente, el coeficiente de atenuación lineal ( $\mu$ ) es función del número atómico, la densidad y la energía gamma incidente. El material de uso habitual en MN es el plomo y los espesores ( $x$ ) usuales de los blindajes comerciales para frascos y transporte de jeringas están entre los 0,8 y los 2,0 cm. En la práctica cotidiana de la MN, la utilización sistemática de blindajes resulta fundamental en la reducción de la dosis ocupacional<sup>34</sup>.

---

<sup>34</sup> A título ilustrativo, la utilización de blindajes comerciales para frascos o de blindajes para el transporte de jeringas, en operaciones con  $^{99m}\text{Tc}$ , significa un factor de atenuación entre  $10^{-9}$  y  $10^{-23}$ . En el caso del  $^{131}\text{I}$ , el factor de atenuación está entre  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ . Reducciones impracticables a expensas del tiempo o la distancia.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

Todas las prácticas se llevaron a cabo en un mismo servicio de MN hospitalario con Licencia de Operación extendida por la ARN, cumpliendo las instalaciones y equipamiento con las disposiciones vigentes. Los sistemas de protección<sup>35</sup> y control dosimétrico<sup>36</sup> utilizados en el presente trabajo, son los de uso habitual en el servicio de MN.

Los proveedores del servicio de dosimetría personal<sup>37</sup> remitieron mensualmente un informe de Equivalente de Dosis Personal (Hp(10)) en cuerpo entero, indicando para cada usuario el acumulado mensual y anual calendario. Esos informes proporcionaron los datos para el presente trabajo. Del total de 540 valores de Hp(10) (Anexo 5) considerados para el ensayo de los indicadores propuestos, 430 (79.6%) son registros dosimétricos personales (Anexo 4) y 110 (20.4%) valores interpolados por falta de lecturas<sup>38</sup>.

Se estudiaron dos grupos de tres usuarios cada uno, durante diez y cinco años respectivamente (Tabla 3). Los usuarios desempeñaron distintas tareas con material radiactivo (Anexo 3). Los datos de distribución de tareas surgen del reporte estadístico del Servicio.

El procesamiento de datos se realizó utilizando una planilla de cálculo Microsoft® Office Excel 2003, bajo sistema operativo Microsoft® Windows XP.

---

<sup>35</sup> Estuvieron disponibles para todos los usuarios los dispositivos de protección radiológica adecuados para las operaciones que involucran fuentes de radiación no selladas, tales como: búnkeres plomados para guarda de generadores; blindajes plomados para guarda y elusión; pantalla con vidrio plomado para fraccionamiento; porta jeringas plomado para transporte; delantal y protector tiroideo para la administración de radiofármacos y recipientes plomados para decaimiento de residuos radiactivos.

<sup>36</sup> En el Anexo 2, se encuentra una breve descripción de los sistemas de control dosimétrico utilizados.

<sup>37</sup> El Servicio de dosimetría personal por film monitor fue brindado por RX Asesores, desde 1996 a 2006 inclusive, y por RIAS, a través de dosimetría termoluminiscente (TLD), desde 2007 a 2011 inclusive.

<sup>38</sup> Se consideran lecturas dosimétricas mensuales faltantes, a las debidas tanto a las interrupciones del servicio de dosimetría por motivos administrativos, como por otros factores. Dado que se utilizan datos **anuales** de prácticas y Hp(10) en el ensayo de los indicadores, fue necesario completar las matrices de valores mensuales de Hp(10). Se decidió interpolar los valores faltantes (20,40 % del total) promediando la mediana de la fila con la mediana de la columna correspondiente al valor faltante, en la matriz de datos mensuales de cada usuario (Anexo 3). La mediana de la columna, está vinculada a las condiciones de trabajo y demanda específicas de ese año. La mediana de esa fila, representa a ese mismo mes en los demás años del estudio, dada la regularidad de la demanda de prácticas mensuales y el régimen de licencias de los usuarios estudiados. Se tomó la mediana como medida de centralización porque el Hp(10) informado es una variable discreta, por su robustez estadística y en función de la distribución de los valores, la cual se observa en los histogramas adjuntos a las respectivas matrices de datos.

	<u>Grupo 1</u>	<u>Grupo 2</u>
<b>Usuarios<sup>39</sup></b>	1; 2 y 3	2; 4 y 5
<b>Plazo de estudio</b>	120 meses Enero 1997 a Dic. 2006	60 meses Enero 2007 a Dic. 2011
<b>Método de registro dosimétrico</b>	Film monitor	TLD
<b>Valores analizados</b>	360	180
<b>Registros dosimétricos informados</b>	283 (78,6%)	149 (81,7%)
<b>Valores interpolados</b>	77 (21,4%)	31 (17,3%)
<b>Prácticas diagnósticas y/o terapéuticas</b>	11.915	3.271 <sup>40</sup>

**Tabla 3: Descripción de los Grupos.**

### 6.1. Variables analizadas

Las variables<sup>41</sup> analizadas para cada usuario fueron:

- Jornada laboral promedio ( $\bar{J}$ ).
- Cantidad de prácticas (Np).
- Equivalente de Dosis Personal (Hp(10)).

#### 6.1.1. Jornada laboral promedio ( $\bar{J}$ ) (Tabla 4).

	<u>Grupo 1</u>			<u>Grupo 2</u>		
	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 2	Usuario 4	Usuario 5
<b>Carga horaria semanal [h]</b>	20	15,5	18	15,5	18	5
<b>Jornada laboral media [h]</b>	4	3,1	3,6	3,1	3,6	1

**Tabla 4. Datos individuales de Jornada laboral promedio.**

<sup>39</sup> Los Usuarios 1 y 3 cesaron en sus funciones en 2009, mientras que los Usuarios 4 y 5 se incorporaron a partir de 2007. El Usuario 2 fue el único que participó de ambos grupos.

<sup>40</sup> De las 3271 prácticas que realizó el Grupo 2, el Usuario 5 participó en 159.

<sup>41</sup> Salvo aclaración en contrario, el intervalo temporal de acumulación ( $\Delta t$ ) de los datos y cálculo de resultados en el presente estudio es de 1 año calendario.

6.1.2. Cantidad de prácticas diagnósticas y terapéuticas realizadas por cada usuario, por año calendario (Np) (Fig. 4.1 y 4.2).

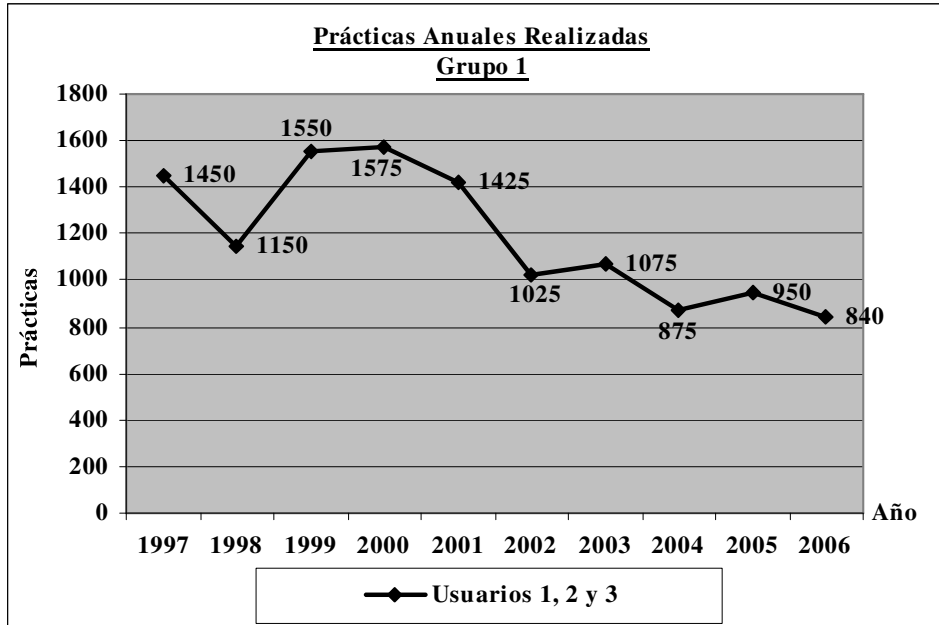


Figura 4.1: Prácticas anuales, Grupo 1.

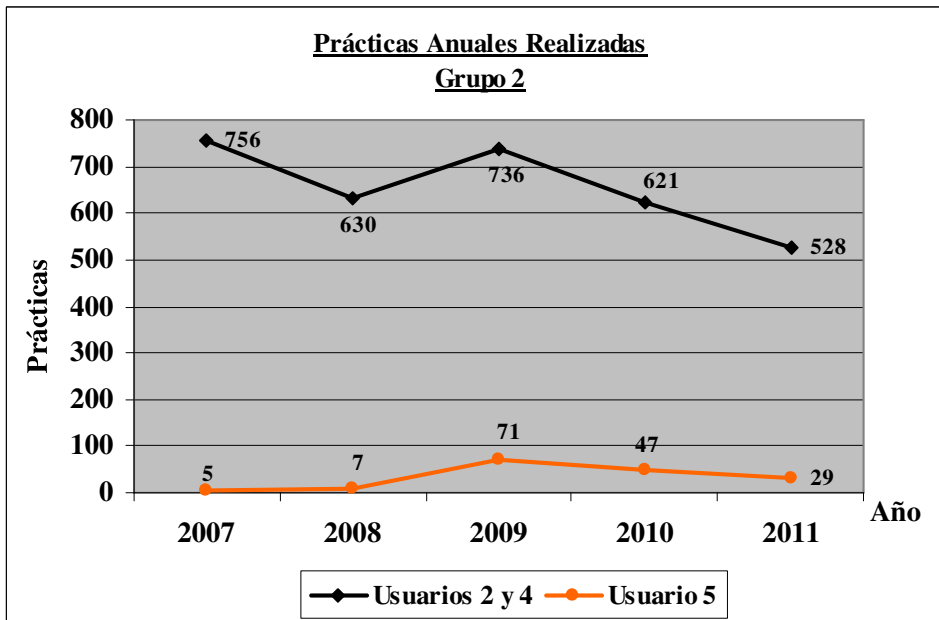


Figura 4.2: Prácticas anuales, Grupo 2.



6.1.3. Equivalente de Dosis Personal (Hp(10)) por año calendario (Fig.5.1 y 5.2)

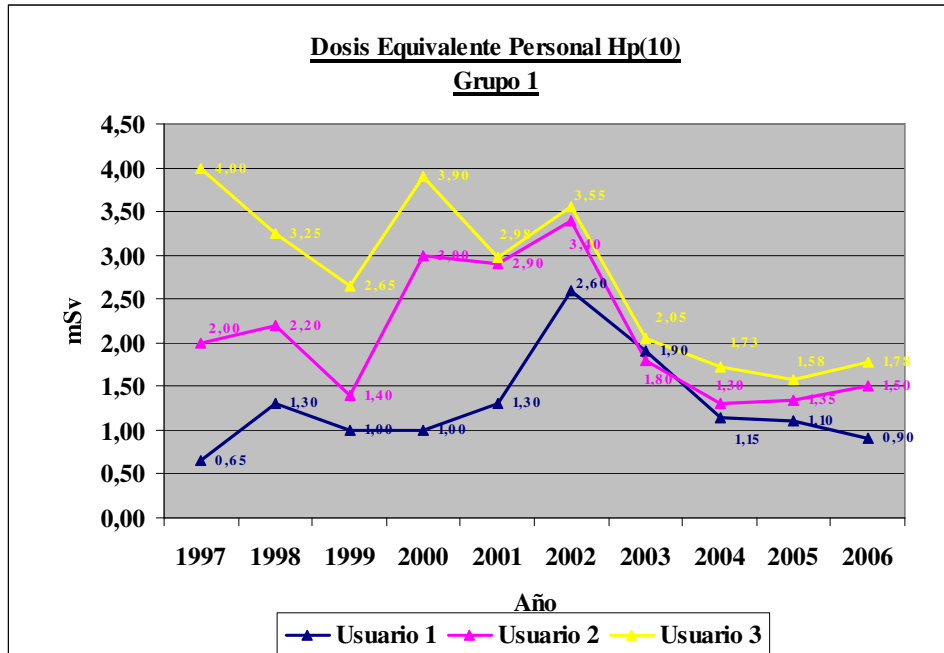


Figura 5.1. Valores de Equivalente de Dosis Personal (Hp(10)), Grupo1.

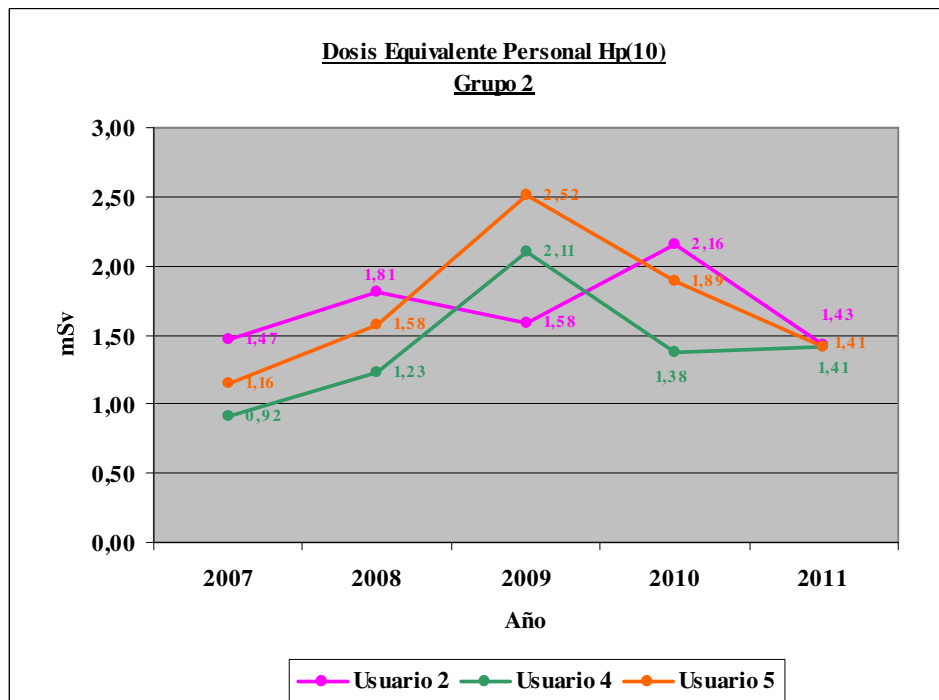


Figura 5.2. Valores de Equivalente de Dosis Personal (Hp(10)), Grupo2.

## 6.2. Metodología

Los valores de las variables analizadas, se estudiaron mediante los siguientes indicadores propuestos en este trabajo:

- **Aceptabilidad ( $P_{(\Delta t)}$ )**
- **Dosis Operativa ( $O_{(\Delta t)}$ ).**
- **Sistematicidad ( $Q_{(\Delta t)}$ ).**

### 6.2.1. Aceptabilidad ( $P_{(\Delta t)}$ )

Este indicador establece un criterio de cuantificación que relaciona el Equivalente de Dosis Personal ( $H_p(10)$ ) con la Restricción de Dosis de la Norma AR 8.2.4. Está asociado por ello a la Jornada Laboral promedio ( $\bar{J}$ ) de cada usuario, e indica su nivel de control integral y cotidiano sobre las variables físicas básicas de Protección Radiológica, tales como el **tiempo** de exposición, la **distancia** a la fuente y el uso de **blindajes** apropiados y permitiría, en consecuencia, siempre que no se alcancen los Límites de Dosis Individual, diferenciar una modalidad de trabajo entre “aceptable” y “tolerable”.

Dada la diferente duración de las jornadas laborales en MN, se ha adoptado para este estudio una Restricción Anual Normalizada, de 0,75 mSv para 1h de jornada de labor como la parte proporcional de los 6 mSv para 8 h de jornada de labor, tal como indica en la Norma AR 8.2.4.

El término “aceptable”, del que deriva su nombre ya existe en la bibliografía citada en la Introducción para designar niveles de Equivalente de Dosis Personal por debajo del valor de la Restricción de Dosis.

La Aceptabilidad ( $P_{(\Delta t)}$ ) (Expresión 2), es un indicador relativo adimensional.

$$P_{(\Delta t)} = \left( 1 - \frac{Hp(10)_{(\Delta t)}}{(0,75 \text{ mSv/h}) \cdot \bar{J}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Donde:

$P_{(\Delta t)}$  = Aceptabilidad.

$Hp(10)_{(\Delta t)}$  = Equivalente de Dosis Personal [mSv].

$\Delta t$  = Intervalo de Acumulación (1 año calendario).

0,75 mSv/h = 6 mSv @ 8 h (Restricción Anual Normalizada, de 0,75 mSv @ 1h jornada laboral).

$\bar{J}$  = Jornada laboral media [h].

**Interpretación:** Valores porcentuales crecientes ( $\leq 100\%$ ) indican mejores procedimientos de Protección Radiológica. Valores negativos indican modos inapropiados de realizar las prácticas desde la perspectiva de la Protección Radiológica, que resultan en Equivalentes de Dosis Personal que exceden la restricción de la Norma 8.2.4.

### 6.2.2. Dosis Operativa ( $O_{(\Delta t)}$ )

La Dosis Operativa ( $O_{(\Delta t)}$ ) relaciona el Equivalente de Dosis Personal ( $Hp(10)_{(\Delta t)}$ ) con el número de prácticas anuales ( $Np_{(\Delta t)}$ ) (Expresión 3)

$$O_{(\Delta t)} = \frac{Hp(10)_{(\Delta t)}}{Np_{(\Delta t)}} \quad (3)$$

Unidades: [mSv/práctica]

Donde:

$O_{(\Delta t)}$  = Dosis Operativa

$Hp(10)_{(\Delta t)}$  = Equivalente de Dosis Personal [mSv]

$Np_{(\Delta t)}$  = Número de prácticas totales [Prácticas].

$\Delta t$  = Intervalo de Acumulación (1 año calendario).

**Interpretación:** La Dosis Operativa, indica el valor promedio de Equivalente de Dosis Personal recibida por el Usuario, por cada práctica realizada en el periodo calculado.

### 6.2.3. Sistemática ( $Q_{(\Delta t)}$ )

La Sistemática ( $Q_{(\Delta t)}$ ) (Expresión 4) es un indicador relativo adimensional. Es función del

coeficiente de variación de Dosis Operativa.

$$Q_{(\Delta t)} = \left( 1 - \frac{\sigma_{O_{(\Delta t)}}}{\bar{O}_{(\Delta t)}} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Donde:

$Q_{(\Delta t)}$  = Sistemática de los procedimientos en el intervalo  $\Delta t$ .

$\sigma_{O_{(\Delta t)}}$  = Desvío Standard<sup>42</sup> de la Dosis Operativa [mSv/práctica].

$\bar{O}_{(\Delta t)}$  = Valor promedio de la Dosis Operativa en el intervalo  $\Delta t$  [mSv/práctica].

$\Delta t$  = Intervalo de Acumulación.

**Interpretación:** Este indicador expresa la aplicación sistemática de las medidas básicas de Protección Radiológica en los procedimientos de MN. Valores porcentuales crecientes ( $\leq 100\%$ ) indican menor dispersión en los valores de Dosis Operativa. Valores bajos indican mayor dispersión de valores de Dosis Operativa, lo que indica prácticas radioprotectivas menos consolidadas.

---

<sup>42</sup> La desviación estándar se calculó según la expresión:

$$\sigma_{o(\Delta t)} = \sqrt{\frac{\sum (O_{(t)} - \bar{O}_{(\Delta t)})^2}{n}}$$

$\sigma_{o(\Delta t)}$  = Desvío Standard de la Dosis Operativa en el intervalo  $\Delta t$  [mSv];  $O_{(t)}$  = Dosis Operativa anual [mSv];  $\bar{O}_{(\Delta t)}$  = Media de la Dosis Operativa en el intervalo  $\Delta t$  [mSv];  $\Delta t$  = Intervalo de acumulación;  $n$  = Número de lecturas realizadas en el intervalo  $\Delta t$ .

## 7. RESULTADOS

Al realizar los cálculos para determinar los valores de los indicadores propuestos en cada Grupo, se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales se resumen al final de esta sección (Tabla 8).

### 7.1. Aceptabilidad ( $P_{(A)}$ )

Calculados según la Expresión 2, los valores promedio de Aceptabilidad en el plazo estudiado y para cada usuario fueron (Tabla 5):

ACEPTABILIDAD					
Grupo 1 Promedio en 10 años			Grupo 2 Promedio en 5 años		
Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 2	Usuario 4	Usuario 5
57%	10%	-2%	27%	48%	-128%

Tabla 5. Valores individuales promedio de Aceptabilidad.

Los valores anuales para cada usuario fueron (Fig. 6.1 y 6.2):

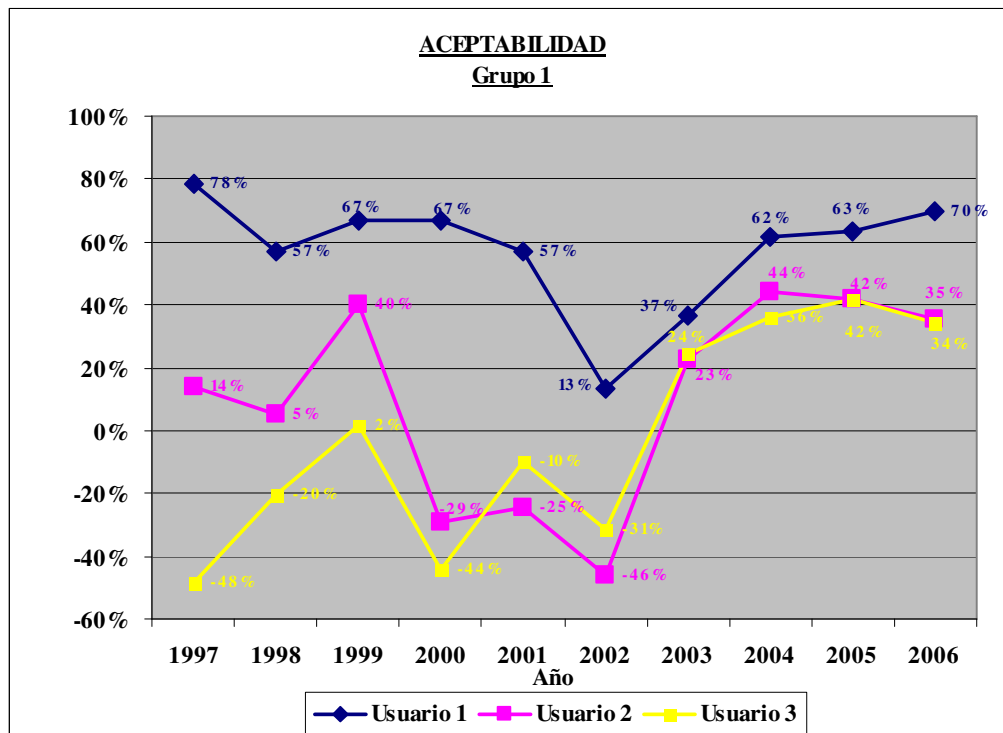


Figura 6.1. Valores anuales de Aceptabilidad, Grupo 1.

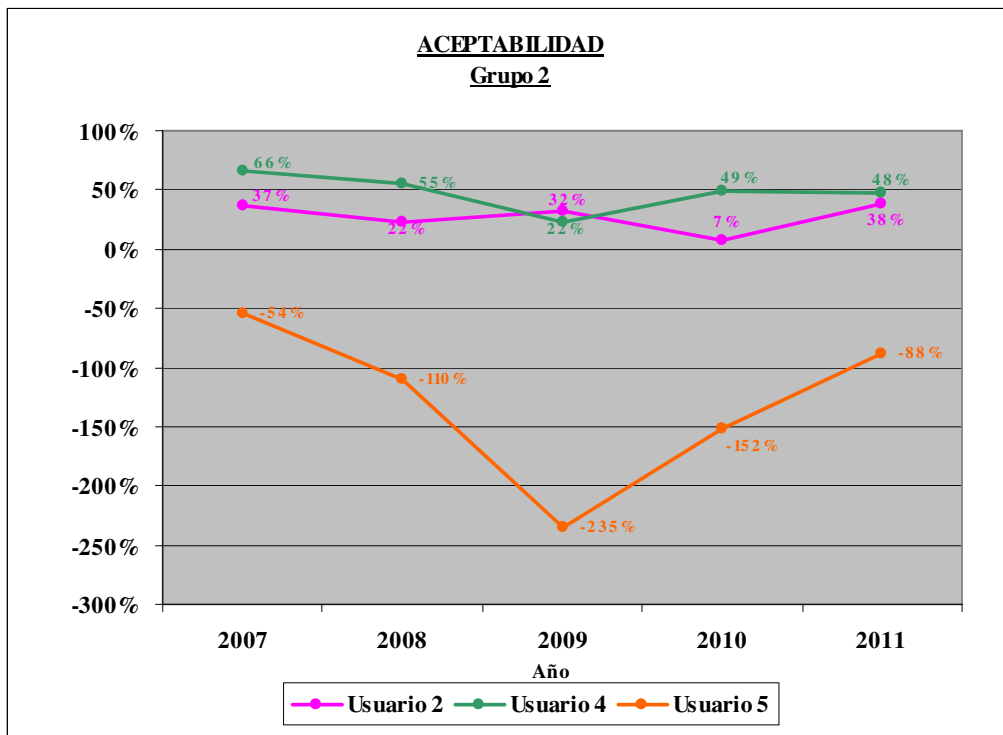


Figura 6.2. Valores anuales de Aceptabilidad, Grupo 2.

### 7.2. Dosis Operativa ( $O_{(\Delta t)}$ )

Se calcularon los valores de Dosis Operativa ( $O_{(\Delta t)}$ ) para cada usuario y por año calendario, según la Expresión 3. Se muestran los valores individuales promedio de Dosis Operativa en el plazo estudiado (Tabla 6). En la Fig. 7.1 se aplica una escala lineal en el correspondiente y una escala semi-logarítmica a la Fig. 7.2, a efectos de facilitar la visualización.

DOSIS OPERATIVA PROMEDIO [ $\mu\text{Sv/práctica}$ ]					
Grupo 1			Grupo 2		
Promedio en 10 años			Promedio en 5 años		
Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 2	Usuario 4	Usuario 5
1,2	1,8	2,3	2,6	2,2	120

Tabla 6. Valores individuales promedio de Dosis Operativa.

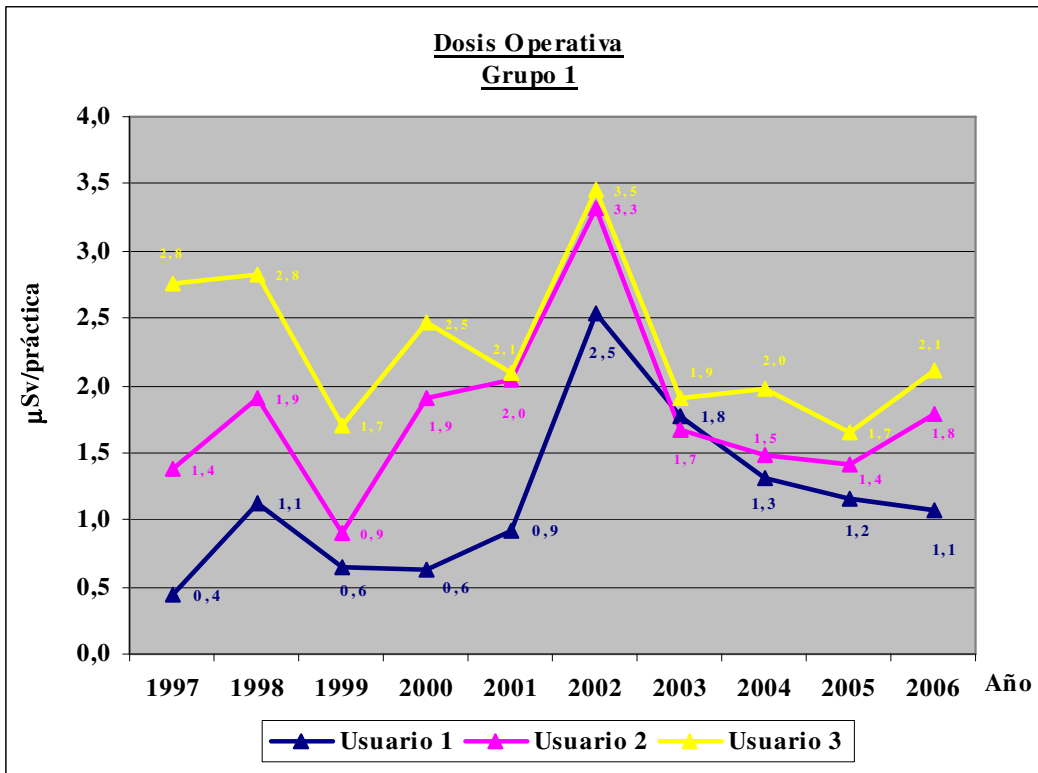


Figura 7.1. Valores individuales de Dosis Operativa, Grupo1.

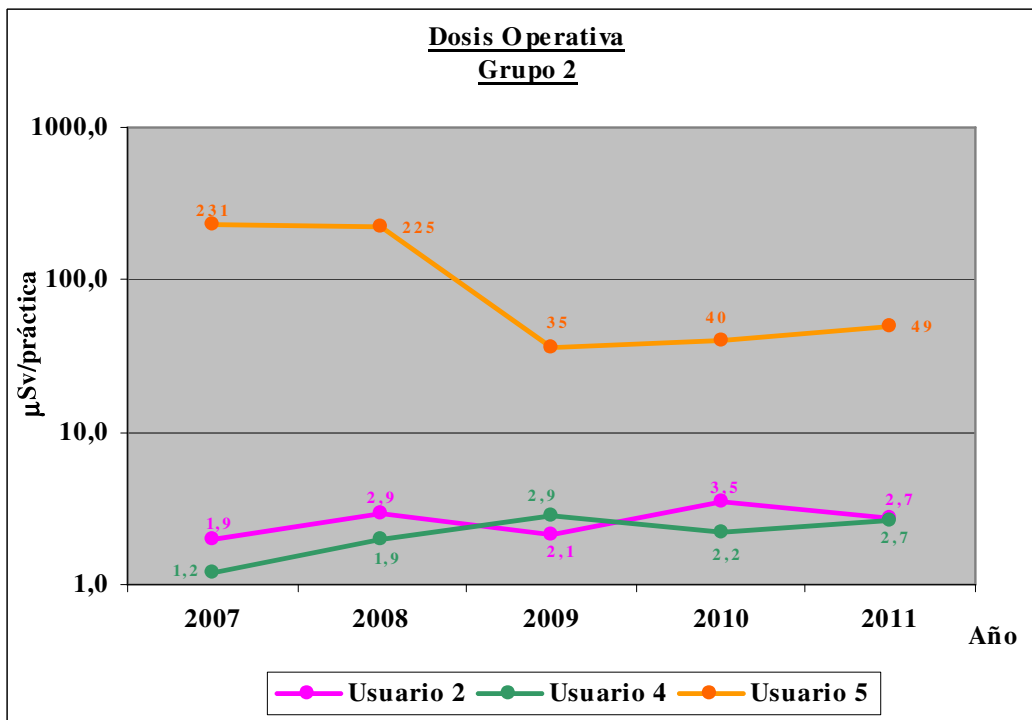


Figura 7.2. Valores individuales de Dosis Operativa, Grupo2.

### 7.3. Sistemática ( $Q_{(\Delta t)}$ )

En la Tabla 7 se muestran los valores de Sistemática ( $Q_{(\Delta t)}$ ), calculados según la Expresión 4.

SISTEMATICIDAD					
Grupo 1 ( $\Delta t=10$ años)			Grupo 2 ( $\Delta t=5$ años)		
Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 2	Usuario 4	Usuario 5
50%	66%	76%	79%	73%	21%

Tabla 7. Valores individuales de Sistemática.



## 7.4. Resumen de resultados.

<u>Grupo 1</u>	DOSIS EFECTIVA OPERATIVA [μSv/Práctica]			ACEPTABILIDAD		
	Año	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 1	Usuario 2
1997	0,4	1,4	2,8	78%	14%	-48%
1998	1,1	1,9	2,8	57%	5%	-20%
1999	0,6	0,9	1,7	67%	40%	2%
2000	0,6	1,9	2,5	67%	-29%	-44%
2001	0,9	2,0	2,1	57%	-25%	-10%
2002	2,5	3,3	3,5	13%	-46%	-31%
2003	1,8	1,7	1,9	37%	23%	24%
2004	1,3	1,5	2,0	62%	44%	36%
2005	1,2	1,4	1,7	63%	42%	42%
2006	1,1	1,8	2,1	70%	35%	34%
Media	1,2	1,8	2,3	57%	10%	-2%
DS	0,6	0,6	0,6			
SISTEMATICIDAD (Δt=10 años)						
	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3			
	50%	66%	76%			

<u>Grupo 2</u>	DOSIS EFECTIVA OPERATIVA [μSv/Práctica]			ACEPTABILIDAD		
	Año	Usuario 2	Usuario 4	Usuario 5	Usuario 2	Usuario 4
2007	1,9	1,2	231	37%	66%	-54%
2008	2,9	1,9	225	22%	55%	-110%
2009	2,1	2,9	35	32%	22%	-235%
2010	3,5	2,2	40	7%	49%	-152%
2011	2,7	2,7	49	38%	48%	-88%
Media	2,6	2,2	116	27%	48%	-128%
DS	0,6	0,6	92			
SISTEMATICIDAD (Δt=5 años)						
	Usuario 2	Usuario 4	Usuario 5			
	79%	73%	21%			

Tabla 8. Resumen de resultados.

## 8. DISCUSIÓN

Los indicadores propuestos deben validarse aún con metodologías y bases de datos que exceden las utilizadas en este trabajo. Asimismo sería necesario en el futuro la definición de niveles de referencia estadísticamente válidos de Dosis Operativa para las prácticas más frecuentes, a fin de ofrecer una guía para la optimización, complementaria a la aquí propuesta.

Por otra parte, los resultados calculados a partir de datos anuales pueden evidenciar ciertas características generales de cómo se realizan las prácticas con fuentes radiantes, no en relación a las diferentes tareas discriminadas entre sí, sino en una visión integral de lo que podría denominarse un estilo, una modalidad de trabajo.

A fin de analizar algunos de los factores que pueden influir sobre el Equivalente de Dosis Personal, se consideran las siguientes categorías:

- **Factores Organizacionales:** en los que se incluyen
  - Recursos Físicos
  - Formación de los RRHH
  - Prácticas anuales
  - Jornada Laboral
- **Factores Operativos:** en los que se considera el modo en que se desarrollan los Procedimientos.

### 8.1. *Factores Organizacionales*

#### 8.1.1. *Recursos Físicos*

Durante el presente estudio, las instalaciones del servicio de MN estuvieron habilitadas de acuerdo con la normativa vigente, siendo inspeccionadas periódicamente por la ARN. Estuvieron disponibles para todos los usuarios los dispositivos de protección radiológica adecuados para las operaciones que involucran fuentes de radiación no selladas.

Se considera que si las variaciones de Equivalente de Dosis Personal estuvieran relacionadas con la disponibilidad de Recursos Físicos, deberían afectar en común a todos los usuarios, lo cual no ha podido observarse en los resultados.

### 8.1.2. Formación y Habilitación de los Recursos Humanos

Los cinco usuarios poseen formación específica y trayectoria profesional adecuadas a las tareas que desarrollan. Cuatro de los cinco usuarios, cuentan con Permiso Individual de la ARN. El Usuario 1, sin Permiso Individual, recibió el entrenamiento básico indicado en la normativa<sup>43</sup> y estuvo asignado fundamentalmente a tareas administrativas y a la administración intravenosa de material marcado con <sup>99m</sup>Tc, tal como se puede observar en el Anexo 3. La posesión de Permiso Individual vigente es un requisito legal<sup>44</sup> y es tratada como una variable lógica a efectos de calcular el coeficiente de correlación<sup>45</sup> con el Equivalente de Dosis Personal (1=posee; 0=no posee). El valor de esa correlación para estos usuarios es de 0,39.

### 8.1.3. Prácticas Anuales.

Tratándose de un Servicio de Medicina Nuclear hospitalario, se considera la cantidad de prácticas diagnósticas y/o terapéuticas realizadas como una variable organizacional, dado que está afectada por las características y pautas institucionales, tales como dotación y políticas de personal, nivel de complejidad sanitaria del nosocomio, etc.

El diagrama de correlación de la Figura 8 muestra los valores Equivalente de Dosis Personal (Hp(10)) de cada usuario en relación al número de prácticas diagnósticas y terapéuticas (Np), registradas en cada uno de los años de estudio. Los coeficientes de correlación correspondientes a cada usuario, se muestran en la Tabla 9.

<sup>43</sup> NORMA AR 8.2.4. Revisión 1. Criterio 37, D.3. "Operación".

<sup>44</sup> NORMA AR 8.2.4. Revisión 1. Criterio 27, D.2.3. "Dotación de Personal".

<sup>45</sup> La expresión utilizada para el cálculo del coeficiente de correlación es:

$$\rho_{x,y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

donde  $x$  e  $y$  son los valores promedio de los rangos de valores  $X$  e  $Y$ , respectivamente. Estas variables pueden ser numéricas o lógicas.

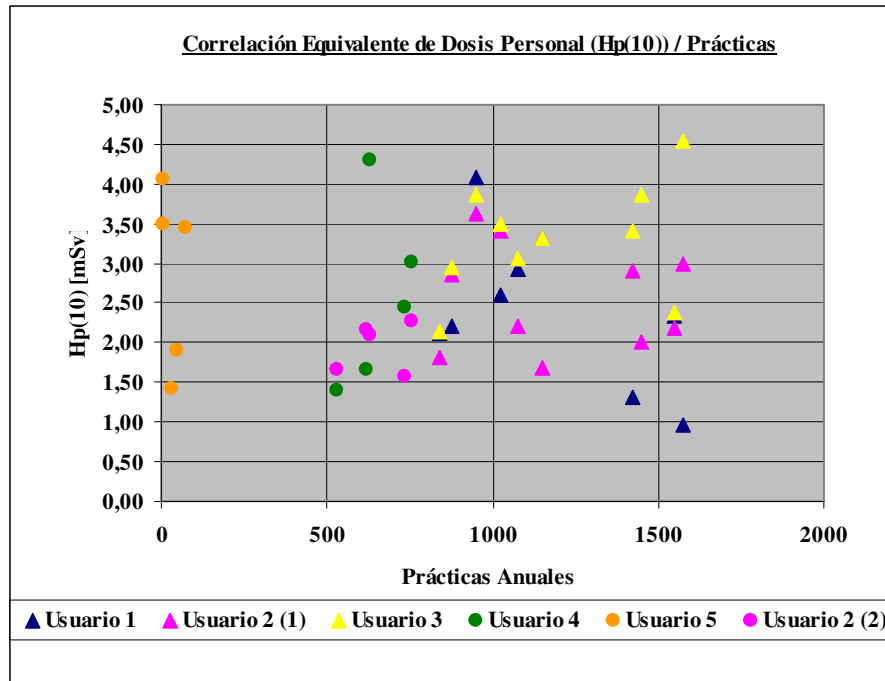


Figura 8. Gráfico de dispersión Np-Hp(10).

Nota: Usuario 2 (1) corresponde al Usuario 2 en el Grupo 1.  
 Usuario 2 (2) corresponde al Usuario 2 en el Grupo 2.

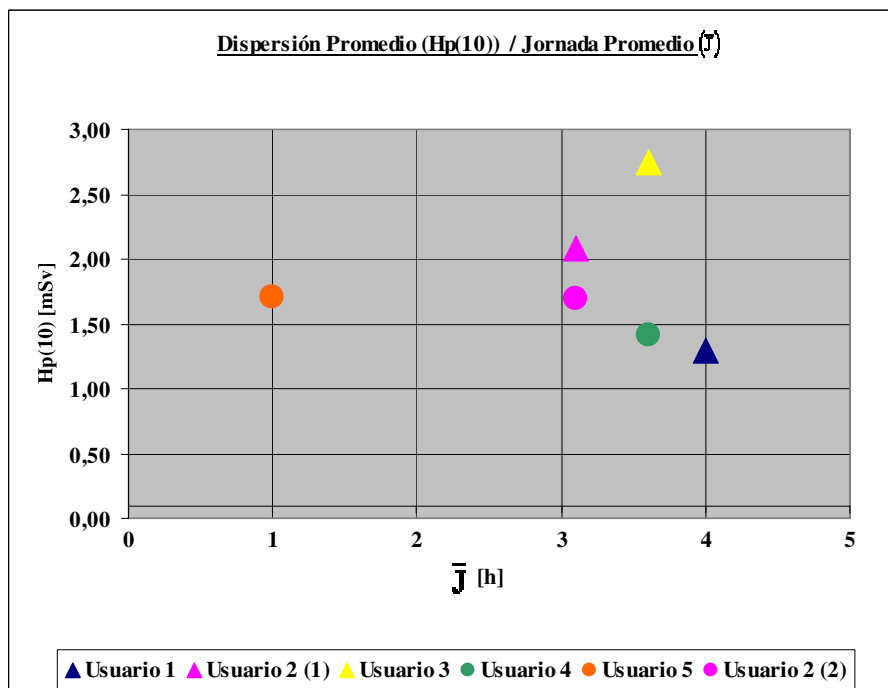
Grupo 1			Grupo 2		
Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 2	Usuario 4	Usuario 5
-0,31	0,37	0,70	-0,15	0,07	0,91

Tabla 9. Coeficientes de correlación Np- Hp(10).

El valor promedio de los coeficientes de correlación Np-Hp(10) es de 0,27 con una importante dispersión de valores. Se considera por esto que, contrariamente a lo que se podría suponer, para estos dos grupos de usuarios y durante la duración de este estudio, las variaciones de Equivalente de Dosis Personal no parecen estar determinadas fundamentalmente por el número de prácticas anuales, ya que la demanda de prácticas, en ese caso, debería afectarlos de modo similar dada la simultaneidad de su participación en la realización de las mismas.

#### 8.1.4. Jornada Laboral

Esta es la variable elegida en la Norma AR 8.2.4 para referir la restricción de dosis con fines de optimización del sistema de Protección Radiológica. El coeficiente de correlación entre la duración de la Jornada Laboral promedio y los valores anuales promedio de Equivalente de Dosis Personal es de 0,005. (Fig. 9)



**Figura 9. Gráfico de dispersión de valores promedio  $\bar{J}$  – Hp(10).**

Nota: Usuario 2 (1) corresponde al Usuario 2 en el Grupo 1.  
 Usuario 2 (2) corresponde al Usuario 2 en el Grupo 2.

En resumen: En los datos analizados no se puede establecer una correlación estadística significativa que sugiera que los Recursos Físicos, formación o habilitaciones de los usuarios, número de prácticas anuales realizadas o duración de la jornada laboral, sean los factores determinantes del Equivalente de Dosis Personal.

Queda entonces por analizar si el **modo** en que cada usuario realiza las operaciones es, efectivamente, el factor determinante del Equivalente de Dosis Personal recibida.

## 8.2. Factores Operativos

### 8.2.1. Procedimientos

La realización de prácticas optimizadas y sistematizadas, desde la perspectiva de la Protección Radiológica, es un objetivo del Sistema de Calidad en MN<sup>46</sup>.

La evaluación de un usuario desde el punto de vista de la optimización procedimental, requiere de la aplicación de los tres descriptores propuestos en este estudio. Significa la simultaneidad de valores altos de Aceptabilidad ( $\leq 100\%$ ), valores de Dosis Operativa tendientes a cero y con la menor dispersión posible, lo cual representa altos valores de Sistemática ( $\leq 100\%$ ).

En una primera aproximación, hasta tanto se realicen estudios más amplios, se adoptan ciertos valores de Aceptabilidad y Sistemática<sup>47</sup> para la indicación de la optimización procedimental en MN:

- **Procedimientos seguros:** El usuario presenta Aceptabilidad  $>0$  y Sistemática  $>50\%$ .
- **Procedimientos inseguros:** El usuario presenta Aceptabilidad  $>0$  y Sistemática  $\leq 50\%$ .
- **Procedimientos riesgosos:** El usuario presenta Aceptabilidad  $\leq 0$  y Sistemática  $\leq 50\%$ .
- **Procedimientos peligrosos:** El usuario presenta Aceptabilidad  $\leq 0$  y Sistemática  $>50\%$ .

Quedando definidas cuatro regiones en un mapa (Fig. 10)

		<u>Aceptabilidad</u>	
		$P_{(t)} \leq 0$ (Tolerable)	$P_{(t)} > 0$ (Aceptable)
<u>Sistematicidad</u>	Alta ( $Q_{(t)} > 50\%$ )	<b>Procedimientos peligrosos</b>	<b>Procedimientos seguros</b>
	Baja ( $Q_{(t)} \leq 50\%$ )	<b>Procedimientos riesgosos</b>	<b>Procedimientos inseguros</b>

Figura 10. Mapa de calificación de procedimientos.

<sup>46</sup> Norma AR8.2.4. Criterio 34: "La manipulación del material radiactivo debe realizarse exclusivamente en los locales correspondientes,(...) y en condiciones de seguridad que permitan minimizar las dosis por irradiación y la probabilidad de contaminación."

<sup>47</sup> La determinación de valores de referencia de Dosis Operativa, necesaria para una mejor evaluación de este indicador, excede los límites del presente estudio.

Se muestran los resultados de los indicadores propuestos para los dos grupos de usuarios estudiados, mediante pares ordenados (Aceptabilidad; Sistemática), aplicando los criterios de calificación procedimental adoptados. (Figura 11)

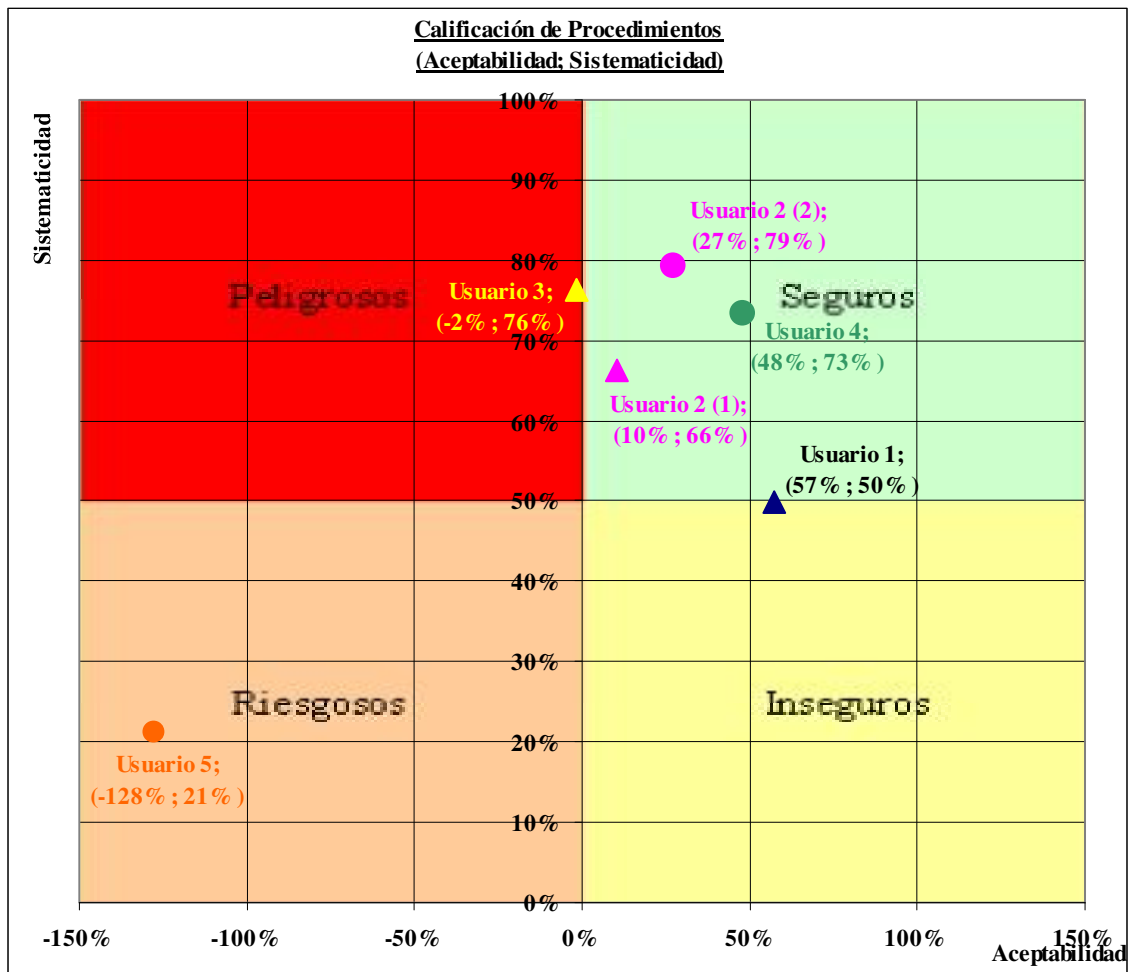


Figura 11. Calificación de los procedimientos de los Usuarios.

Nota: Usuario 2 (1) corresponde al Usuario 2 en el Grupo 1.  
Usuario 2 (2) corresponde al Usuario 2 en el Grupo 2.

## **9. CONCLUSIONES**

Como ya se indicó, la optimización de la Dosis Efectiva (E) recibida por un dado usuario, informada por el Servicio de Dosimetría Personal como Dosis Equivalente Personal (Hp(10)), implicaría la concurrencia de valores altos de Aceptabilidad ( $\leq 100\%$ ), valores de Dosis Operativa tendientes a cero y con un bajo coeficiente de variación (Sistematicidad  $\leq 100\%$ ). Esto nos permitiría asumir que ese usuario aplica **apropiada y sistemáticamente en cada procedimiento** las reglas “Tiempo, Distancia, Blindaje”. Obteniéndose una Dosis Efectiva (E) “tan baja como sea razonablemente posible” como resultado de un cierto MODO de trabajo.

Al analizar los valores de Aceptabilidad, Dosis Operativa y Sistematicidad de cada usuario (Tabla 8 y Fig.11) y relacionarlos con las tareas realizadas por cada uno (Anexo 3), es posible establecer que:

### **Grupo 1:**

**Usuario 1:** Tomando en cuenta que su tarea predominante con fuentes radiantes fue la aplicación endovenosa de radiofármacos marcados con  $^{99m}\text{Tc}$ , es posible colegir que habría recibido una dosis elevada asociada a una baja Sistematicidad. La utilización sistemática de blindajes disponibles para el transporte y aplicación de material radiactivo, junto a la adopción de un protocolo operativo para la inyección, hubiera mejorado los valores de Aceptabilidad, Dosis Operativa y Sistematicidad, redundando en una menor Dosis Efectiva.

**Usuario 2:** Se observan valores aceptables en relación a las tareas realizadas.

**Usuario 3:** Se observan niveles históricos de dosis tolerables, pero no aceptables en relación a las tareas realizadas y agravado por la alta Sistematicidad de esas prácticas. La utilización sistemática de blindajes disponibles en las operaciones de elusión y fraccionamiento de material radiactivo, junto a la adopción de un protocolo operativo, hubiera permitido mejorar los valores de Aceptabilidad, Dosis Operativa y Sistematicidad, redundando en una menor Dosis Efectiva.

### **Grupo 2:**

**Usuario 2:** Se observan valores aceptables en relación a las tareas realizadas.



**Usuario 4:** Se observan valores aceptables en relación a las tareas realizadas.

**Usuario 5:** Se observan niveles históricos de dosis tolerables, aunque no aceptables. Su Dosis Operativa resulta muy alta y la Sistemática baja. Los procedimientos utilizados aparentan no estar optimizados ni sistematizados. La utilización sistemática de blindajes disponibles y la adopción de protocolos operativos, permitiría mejorar los valores de Aceptabilidad, Dosis Operativa y Sistemática, redundando en una menor Dosis Efectiva.

El usuario 5 muestra claramente el potencial de los indicadores propuestos. Este Usuario presenta niveles de Equivalente de Dosis Personal (Hp(10)) similares a los del resto del plantel, participando de apenas un 5% de las prácticas del Grupo 2. Estos valores de Hp(10), como datos aislados, posiblemente no llamarían la atención del proveedor del servicio de dosimetría, del responsable de la Protección Radiológica de la instalación ni de la ARN. Pero aplicados estos indicadores y considerando además del Equivalente de Dosis Personal, la Jornada laboral y la cantidad de prácticas realizadas por este Usuario, se ponen en evidencia graves problemas de procedimientos que permitirían adoptar las acciones preventivas y/o correctivas que correspondan.

Para finalizar, se considera que tanto la potencialidad de estos indicadores como sus limitaciones están en consideración, hasta tanto no se lleven a cabo nuevos estudios con poblaciones más amplias. No obstante y en la medida que aquí se presentan, es posible concluir que son de utilidad y fáciles de aplicar, ya que tanto los datos como los materiales necesarios, están disponibles en cualquier servicio de Medicina Nuclear.

La optimización de los procedimientos a través de los indicadores aquí propuestos, no insume mayores costos operativos, en instalaciones o personal y permitiría aumentar la calidad de las prácticas y de la Protección Radiológica de las personas profesionalmente expuestas, aumentando el tan deseado beneficio neto positivo de esta actividad profesional.

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Lic. Jorge Muscio y a la Dra. Rosa Piotrkowski sus valiosos aportes en la dirección y co-dirección, respectivamente, del presente trabajo; a la Lic. Marcela Fabio, sus aportes al tratamiento estadístico de los datos y resultados aquí presentados y los atinados comentarios sobre los textos preparatorios brindados por el Ing. Gustavo Sánchez, y el Lic. Roberto Galli.

**ANEXO 1****Glosario**<sup>48</sup>**(En orden alfabético de términos)**

**Actividad, A:** Cantidad de desintegraciones por unidad de tiempo. Si bien la unidad es el Bequerel [Bq], la unidad usual en MN es el Curie [Ci].  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ ;  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .

**Constante Específica de Radiación Gamma,  $\Gamma$ :** Es función de la energía de la emisión gamma. Expresa la dosis que produce 1 MBq de actividad de ese emisor gamma, durante 1 hora de exposición, a 1 metro de distancia. Se indican abajo los valores de  $\Gamma$  correspondientes a los materiales utilizados en este estudio.

Isótopo	Constante Específica de Radiación Gamma ( $\Gamma$ ) [mSv.m <sup>2</sup> /h.MBq]
<sup>99m</sup> Tc	$3,317 \cdot 10^{-5}$
<sup>131</sup> I	$7,467 \cdot 10^{-5}$
<sup>67</sup> Ga	$3,004 \cdot 10^{-5}$

**Dosis:** Medida de la radiación recibida o absorbida por un órgano o cuerpo. Se utilizan, según el contexto, las magnitudes denominadas dosis efectiva, dosis equivalente, dosis colectiva y dosis efectiva comprometida. Los términos calificativos se suelen omitir cuando no son necesarios para precisar la magnitud de interés.

**Dosis Efectiva, E:**

Se define como:

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

donde,  $H_T$  es la dosis equivalente en el tejido u órgano T y  $W_T$  es el factor de ponderación del tejido T, según se indica a continuación:

<sup>48</sup> Basada en: ARN, (2001). *Norma AR 10.1.1. Revisión 3. "Norma Básica de Seguridad Radiológica"*; ARN. (2002). *Norma AR 8.2.4. Revisión 1. "Uso de Fuentes Radiactivas No Selladas en Instalaciones de Medicina Nuclear"*; Cherry et al. (2003). *"Physics of Nuclear Medicine"* 3<sup>o</sup> Edition.

TEJIDO U ÓRGANO <sup>49</sup>	W <sub>T</sub>
Gónadas	0,20
Médula ósea (roja)	0,12
Colon	0,12
Pulmón	0,12
Estómago	0,12
Vejiga	0,05
Mamas	0,05
Hígado	0,05
Esófago	0,05
Tiroides	0,05
Piel	0,01
Superficie ósea	0,01
Resto	0,05

### Dosis Equivalente, H<sub>T</sub>:

Se define como:

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

donde, D<sub>T,R</sub>, es la dosis absorbida promediada sobre el volumen de un tejido u órgano T debida a la radiación R; y W<sub>R</sub> es el factor de ponderación de la radiación correspondiente.

Los valores de W<sub>R</sub>, según el tipo de radiación e intervalo de energía, se indican a continuación:

<sup>49</sup> El Resto, a los efectos del cálculo, está compuesto de los siguientes tejidos y órganos adicionales: suprarrenales, cerebro, intestino grueso superior, intestino delgado, riñón, músculo, páncreas, bazo, timo y útero. En aquellos casos excepcionales en que un solo tejido u órgano del Resto recibe una dosis equivalente que excede a la dosis máxima en cualquiera de los doce órganos para los que se especifica el factor de ponderación, se asigna un valor de 0,025 al factor de ponderación para ese tejido u órgano y de 0,025 al factor de ponderación para la dosis equivalente media en lo que queda del Resto.

TIPO DE RADIACIÓN <sup>50</sup>	W <sub>R</sub>
Fotones, todas las energías	1
Electrones y muones, todas las energías <sup>51</sup>	1
Neutrones, con energías:	
< 10 keV	5
10 keV a 100 keV	10
>100 keV a 2 MeV	20
> 2 MeV a 20 MeV	10
>20 MeV	5
Protones, excluyendo los protones de retroceso, con energías >2 MeV	5
Partículas alfa, fragmentos de fisión, núcleos pesados	20

**Dosis Equivalente Personal, Hp(d)<sup>52</sup>:** Dosis equivalente en tejido blando a una profundidad d, debajo de un punto especificado sobre el cuerpo, definida para el monitoreo individual y para radiaciones tanto penetrantes como poco penetrantes. Se adopta d = 10 milímetros, para radiación penetrante y d = 0,07 milímetros, para radiación poco penetrante.

**Dosis Equivalente Personal, Hp(10, α) (radiación gamma):**

Se define como:

$$Hp(10, \alpha) = h_{pKa}(10, \alpha) \cdot K_a$$

Donde:

$h_{pKa}$  : factor de conversión de kerma en aire libre en dosis equivalente personal, Hp(10, α).

$K_a$ : kerma en aire libre medido; α: ángulo medido desde la normal a la superficie de incidencia.

**Justificación:** Análisis mediante el cual se evalúa si las actividades realizadas en una práctica originan un beneficio neto positivo para la sociedad.

<sup>50</sup> Para los tipos y energías de radiaciones ionizantes no incluidas en la tabla anterior, los valores correspondientes de W<sub>R</sub> pueden determinarse calculando el factor de calidad medio, Q, para la radiación de interés, conforme a la metodología recomendada por el ICRP.

<sup>51</sup> Excluyendo electrones Auger emitidos desde núcleos ligados al ADN.

<sup>52</sup> N. del A.: Esta definición es correspondiente a la presentada en la versión oficial en español del ICRP 103 como **Equivalente de dosis personal, Hp(d)**.

**Límite de Dosis:** Valor establecido por la Autoridad Regulatoria, de la dosis efectiva o de la dosis equivalente, que no debe ser superado durante un período determinado. Los límites de dosis para trabajadores se aplican a la dosis que ha sido comprometida durante un año de trabajo, y la manera de verificar el cumplimiento de tales límites, es mediante la expresión:

$$\frac{H_p(0,07)}{L_{D,T}} \leq 1$$

$$\frac{H_p(10)}{20\text{mSv}} + \sum_j \frac{I_j}{I_{L,j}} \leq 1$$

$H_p(0,07)$ : Equivalente de dosis personal a una profundidad de la piel de 0,07 milímetros integrada en un año;  $H_p(10)$ : Equivalente de dosis personal a una profundidad de 10 milímetros desde la superficie de la piel, integrada en un año;  $L_{D,T}$ : límite de dosis equivalente en piel o cristalino.

$I_j$ : incorporación del radionucleido  $j$  en un año;  $I_{L,j}$ : límite anual de incorporación para el radionucleido  $j$ , resultante de dividir 20 mSv por el factor dosimétrico de dosis efectiva comprometida, para trabajadores, por unidad de incorporación de dicho radionucleido.

**Medicina Nuclear:** Especialidad médica en la que se emplean fuentes radiactivas no selladas en seres humanos, con fines de diagnóstico o tratamiento.

**Optimización:** Procedimiento para reducir tanto como sea razonablemente alcanzable, teniendo en cuenta factores sociales y económicos, la dosis colectiva originada en una instalación o en una práctica.

**Práctica:** Toda tarea con fuentes de radiación que produzca un incremento real o potencial de la exposición de personas a radiaciones ionizantes, o de la cantidad de personas expuestas.

**Restricción de Dosis:** Restricción prospectiva de las dosis individuales, relacionada directamente con la fuente que la produce, y que sirve como confín para la optimización de la protección y la seguridad de la fuente.

**Sistema de Calidad:** Conjunto de actividades planificadas y desarrolladas para asegurar un nivel de calidad adecuado en una instalación o práctica.

**Usuarios:** En este estudio, personal ocupacionalmente expuesto que utiliza servicio de dosimetría personal.

## ANEXO 2

### Descripción y características de los dosímetros utilizados<sup>53</sup>

#### *Dosimetría por film monitor*

Respecto de las características técnicas del Servicio de dosimetría personal, el proveedor RX Asesores informa<sup>54</sup>: “El registro de la dosimetría personal se lleva a cabo mediante películas radiográficas marca AGFA. El sistema está compuesto por dos películas de distinta sensibilidad. La película radiográfica **D2** emulsionada a ambos lados, de baja sensibilidad y alto contraste. La segunda película radiográfica es de tipo **D10**, también con emulsión a ambos lados, de alta sensibilidad y alto contraste. Los film de monitoreo para dosimetría personal se proveen en envases de PVC “Softopac” que impiden el ingreso de humedad. El porta-dosímetro personal posee 3 filtros metálicos en su estructura. Este sistema es especialmente diseñado para el registro de radiación x, gamma y beta, cubriendo un rango de dosis desde 0,1mSv a 100 mSv.” (Figura a).



**Figura a: Dosímetro de solapa por film monitor.**

<sup>53</sup> Autoridad Regulatoria Nuclear. *Manual del Curso de postgrado en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear*. V 1.0. ARN. Buenos Aires. 2000. pág. 461/463. Una detallada explicación del sistema de dosimetría por film monitor, su principio de funcionamiento, procesamiento, medición, interpretación, ventajas y desventajas relativas, puede encontrarse en las páginas 197 a 201 inclusive.

<sup>54</sup> López, F., (2006), Comunicación privada del Gerente Técnico de RX Asesores, 26/7/2006.



### *Dosimetría por termoluminiscencia*

Respecto de la dosimetría por termoluminiscencia<sup>55</sup>, el detector dosímetro termoluminiscente (TLD) es también ampliamente utilizado para el monitoreo individual rutinario de la radiación externa y su funcionamiento se basa en el fenómeno de excitación producido por las partículas secundarias generadas por la radiación ionizante.

El TLD, tal como se muestra en la Figura b, consiste en una pastilla de un material que posee características luminiscentes apropiadas, como el fluoruro de litio o el sulfato de calcio con disprosio. Cuando la radiación incide sobre estos materiales algunos átomos de la red cristalina resultan excitados y no se desexcitan espontáneamente, sino que los electrones que fueron desalojados de sus bandas de valencia quedan retenidos en niveles energéticos metaestables conocidos como “trampas” y la cantidad de estas trampas ocupadas es directamente proporcional a la dosis de radiación recibida por la pastilla.



**Figura b: Formatos de detectores TLD.**

Cuando se desea rescatar la información almacenada se procede a inducir la desexcitación de los átomos por elevación de la temperatura de la pastilla, lo que incrementa la agitación térmica y posibilita el salto de los electrones desde los niveles trampas hacia los niveles energéticos originales. Este proceso va acompañado por la emisión de luz que es leída por un equipo especial a través de un fotomultiplicador (Figura c).

<sup>55</sup> Autoridad Regulatoria Nuclear. (2000). “Radioprotección en las aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes”. CD. Cap. 6, Pág. 83. ARN – CADIME. Buenos Aires.



**Figura c: Medición de detectores TLD.**

El detector TLD puede ser sumamente pequeño y resistente; su sensibilidad a electrones y radiaciones electromagnéticas es elevada y en general, permite obtener mejores resultados que los dosímetros de emulsión fotográfica. Hay que cuidar de no manipular los dosímetros con las manos descubiertas, para asegurar que estén libres de grasa u otra suciedad antes de la lectura.

#### *Sensibilidad de los métodos*

**Film monitor:** cuando los valores calculados resultaron menores a 0,10 mSv, se consideraron iguales a 0 mSv, respetando la sensibilidad del método informada por el proveedor.

**TLD:** El umbral de información en las lecturas mensuales es de 0,20 mSv (Error relativo =  $\pm 100\%$ )<sup>56</sup>, según lo informado por el proveedor. No obstante, los valores por debajo del umbral son integrados al acumulado anual.

#### *Controles de los proveedores del servicio de dosimetría personal*

El sistema dosimetría personal de los proveedores es calibrado anualmente en el Centro Regional de Referencia para Dosimetría (CRRD) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Centro Atómico Ezeiza. Asimismo, con frecuencia anual, participan en un ejercicio de intercomparación organizado en forma conjunta por la Gerencia de Apoyo Científico de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) y el Centro Regional de Referencia para Dosimetría de la Comisión Nacional de Energía Atómica. En dicho ejercicio de intercomparación, los distintos

<sup>56</sup> Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2001). *Radioprotección: Criterios y Límites de Habilitación Periódica de los Prestadores de dosimetría Personal para los RX y Gamma*. Norma IRAM- ISO 14146.

## Indicadores para la optimización procedimental en Medicina Nuclear



sistemas (Film Monitor, TLD, etc.) participan conjuntamente, siendo indistinto su uso en dosimetría personal en MN.

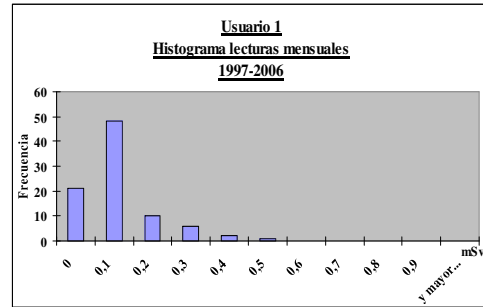
**ANEXO 3****Distribución de tareas con material radiactivo**

	Grupo 1			Grupo 2		
	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 2	Usuario 4	Usuario 5
<b>Permiso Individual ARN</b>	No	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Distribución de Tareas con <sup>99m</sup>Tc</b>						
Elusión y Fraccionamiento	-	-	100%	-	95%	5%
Administración Dosis I.V.	82%	10%	8%	3%	95%	2%
Adquisición de Imágenes	-	97%	3%	100%	-	-
Gestión de Residuos	-	20%	80%	80%	20%	-
<b>Distribución de Tareas con <sup>131</sup>I</b>						
Fraccionamiento	-	100%	-	100%	-	-
Administración Dosis Orales	-	100%	-	100%	-	-
Adquisición de Datos o Imágenes	12%	88%	-	100%	-	-
Gestión de Residuos	-	100%	-	100%	-	-
<b>Distribución de Tareas con <sup>67</sup>Ga</b>						
Fraccionamiento	-	-	100%	-	-	-
Administración Dosis I.V.	100%	-	-	-	-	-
Adquisición de Datos o Imágenes	-	100%	-	-	-	-
Gestión de Residuos	-	-	100%	-	-	-

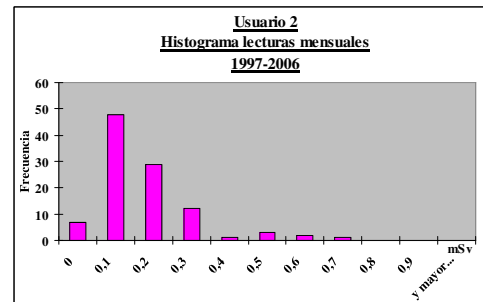
**ANEXO 4**

**Grupo 1: Equivalente de Dosis Personal [mSv] informado y sus respectivos histogramas.**

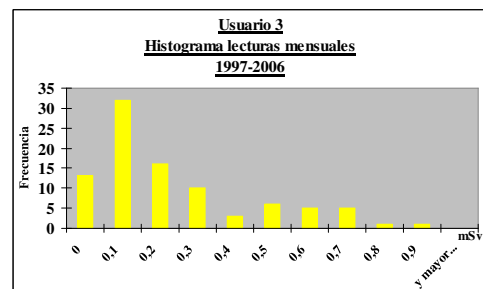
Usuario1	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Mediana
Enero	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,10	0,10	0,00
Febrero	0,10				0,10	0,30	0,10		0,00	0,00	0,10
Marzo	0,00		0,10	0,10	0,10	0,10	0,30		0,10	0,00	0,10
Abril	0,00	0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10		0,10	0,10
Mayo	0,10			0,10	0,10	0,30	0,40	0,10			0,10
Junio		0,00	0,00	0,10	0,20	0,30	0,10	0,10		0,10	0,10
Julio			0,10	0,20	0,10	0,10	0,10			0,10	0,10
Agosto	0,00		0,10	0,00	0,10	0,50	0,30			0,00	0,10
Septiembre	0,10	0,20			0,10	0,40	0,20	0,10		0,10	0,10
Octubre	0,00	0,20	0,00	0,10	0,30	0,20		0,10	0,10	0,10	0,10
Noviembre		0,10		0,00	0,10	0,10		0,10		0,10	0,10
Diciembre	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10		0,10			0,10
Mediana	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	
Suma	0,50	0,80	0,60	0,80	1,30	2,60	1,60	0,70	0,30	0,70	



Usuario2	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Mediana
Enero	0,30	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10		0,10	0,10	0,10
Febrero	0,20		0,20	0,10	0,20	0,30	0,20		0,10	0,10	0,20
Marzo	0,20	0,10		0,20	0,60	0,20	0,20		0,10	0,10	0,20
Abril	0,20	0,10	0,20	0,50	0,20	0,20	0,10	0,10		0,10	0,20
Mayo	0,20	0,10	0,30	0,20	0,30	0,30	0,20	0,10		0,10	0,20
Junio	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,10	0,10		0,10	0,10
Julio	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,10	0,10		0,10	0,10
Agosto	0,10	0,30		0,70	0,20	0,50	0,10	0,10		0,10	0,15
Septiembre	0,10	0,20		0,30	0,10	0,60	0,30	0,10		0,10	0,15
Octubre	0,10	0,20	0,00	0,20	0,30	0,40		0,10	0,10	0,20	0,20
Noviembre	0,20	0,10	0,10	0,20	0,50	0,20		0,10	0,10	0,30	0,20
Diciembre	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10		0,10	0,10		0,10
Mediana	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	
Suma	2,00	1,40	1,00	3,00	2,90	3,40	1,40	0,90	0,60	1,40	

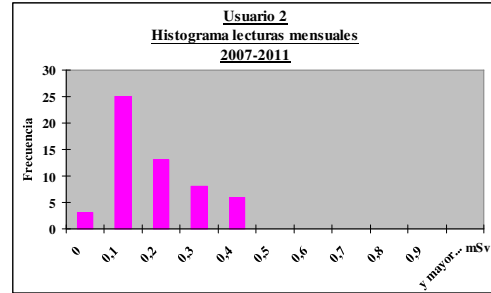


Usuario3	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Mediana
Enero	0,60	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00		0,10	0,10	0,10
Febrero	0,30		0,20	0,10	0,20		0,30		0,10	0,10	0,20
Marzo	0,70	0,50		0,20	0,30	0,30	0,20		0,10	0,60	0,30
Abril	0,90	0,60	0,10	0,70		0,20	0,10	0,10		0,10	0,15
Mayo	0,00	0,50	0,30		0,20	0,50		0,10		0,10	0,20
Junio		0,20	0,30	0,20	0,20	0,30	0,10	0,10		0,10	0,20
Julio	0,10		0,10	0,20	0,30	0,00	0,10	0,10		0,00	0,10
Agosto			0,70	0,70	0,00	0,60	0,40			0,10	0,50
Septiembre	0,40	0,30			0,10	0,40	0,20	0,10		0,10	0,20
Octubre	0,10	0,30	0,00	0,60	0,50	0,50			0,10	0,20	0,25
Noviembre		0,00	0,20	0,70	0,80	0,50		0,10	0,10	0,20	0,20
Diciembre	0,00	0,00	0,20	0,00	0,10	0,00		0,20	0,10		0,05
Mediana	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20	0,30	0,15	0,10	0,10	0,10	
Suma	3,10	2,40	2,20	3,50	2,80	3,30	1,40	0,80	0,60	1,70	

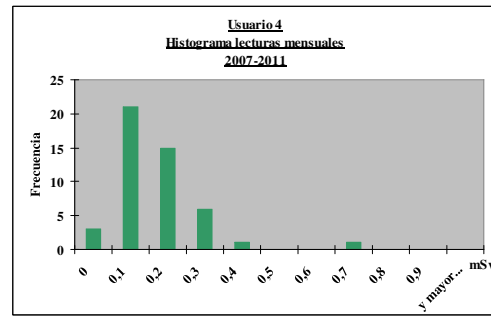


**Grupo 2: Equivalente de Dosis Personal [mSv] informado y sus respectivos histogramas.**

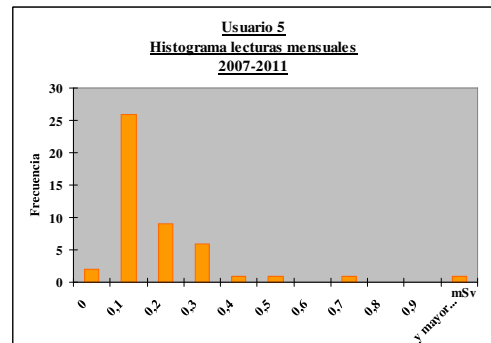
Usuario2	2007	2008	2009	2010	2011	Mediana
Enero		0,00	0,17	0,20	0,09	0,13
Febrero	0,12	0,33	0,04	0,15	0,09	0,12
Marzo	0,10	0,00	0,03	0,39	0,04	0,04
Abril	0,11	0,28	0,07	0,01	0,18	0,11
Mayo	0,05	0,16	0,10	0,34	0,07	0,10
Junio	0,05		0,27	0,19	0,08	0,14
Julio	0,05	0,00	0,33	0,10	0,04	0,05
Agosto	0,21	0,23	0,10	0,22	0,19	0,21
Septiembre	0,17		0,09	0,26	0,10	0,14
Octubre	0,21		0,31	0,06	0,10	0,16
Noviembre	0,21	0,20	0,06	0,14		0,17
Diciembre	0,08	0,16	0,01	0,10	0,32	0,10
Mediana	0,11	0,16	0,10	0,17	0,09	
Suma	1,35	1,36	1,58	2,16	1,30	



Usuario4	2007	2008	2009	2010	2011	Mediana
Enero		0,00	0,06		0,02	0,02
Febrero	0,16		0,06	0,15	0,08	0,12
Marzo	0,19		0,10	0,09		0,10
Abril	0,12		0,08	0,02	0,26	0,10
Mayo	0,03		0,14	0,14	0,00	0,09
Junio	0,03		0,27	0,07	0,18	0,13
Julio	0,03	0,13	0,1	0,10	0,12	0,10
Agosto	0,11	0,10	0,22	0,18	0,12	0,12
Septiembre	0,04		0,31	0,06	0,04	0,05
Octubre	0,00		0,69	0,24	0,12	0,18
Noviembre		0,20	0,02	0,21	0,23	0,21
Diciembre		0,07		0,06	0,13	0,07
Mediana	0,04	0,10	0,10	0,10	0,12	
Suma	0,71	0,50	2,02	1,32	1,30	



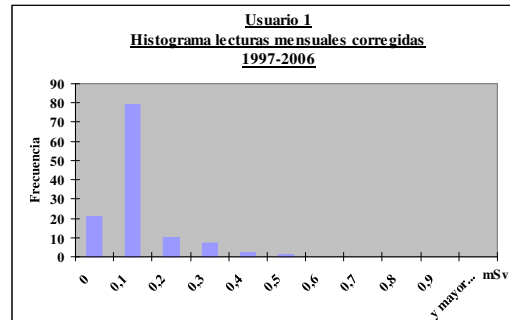
Usuario5	2007	2008	2009	2010	2011	Mediana
Enero		0,00	0,02	0,09	0,22	0,06
Febrero		0,68	0,06	0,14	0,04	0,10
Marzo	0,07		0,05	0,48	0,04	0,06
Abril	0,08		0,15	0,07	0,21	0,12
Mayo		0,03	0,19	0,31	0,04	0,12
Junio		0,10	0,20	0,05	0,15	0,13
Julio	0,09		0,0	0,05	0,02	0,04
Agosto	0,09	0,08		0,21	0,27	0,15
Septiembre	0,09			0,28	0,07	0,09
Octubre	0,20		1,37	0,04	0,14	0,17
Noviembre		0,05	0,23	0,08	0,13	0,11
Diciembre		0,20	0,02	0,09	0,08	0,09
Mediana	0,09	0,08	0,11	0,09	0,11	
Suma	0,62	1,14	2,29	1,89	1,41	



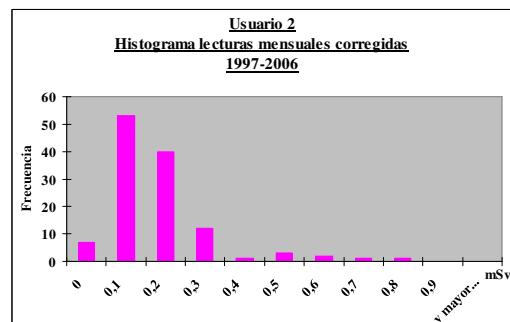
**ANEXO 5**

**Grupo1: Matrices de valores de Equivalente de Dosis Personal [mSv] considerados para el cálculo de los indicadores**

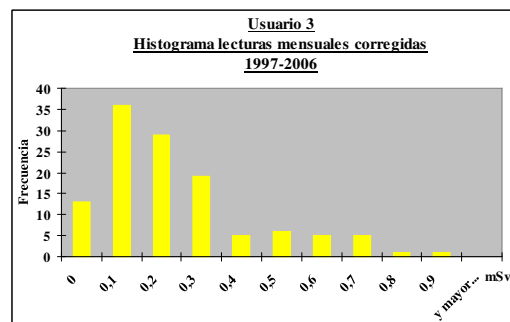
Usuario1	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Mediana
Enero	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10	0,10	0,03
Febrero	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10
Marzo	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	0,10	0,10	0,00	0,10
Abril	0,00	0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Mayo	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	0,40	0,10	0,10	0,10	0,10
Junio	0,05	0,00	0,00	0,10	0,20	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Julio	0,05	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Agosto	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10	0,50	0,30	0,10	0,10	0,00	0,10
Septiembre	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,40	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
Octubre	0,00	0,20	0,00	0,10	0,30	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Noviembre	0,05	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Diciembre	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Mediana	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	
Suma	0,65	1,30	1,00	1,00	1,30	2,60	1,90	1,15	1,10	0,90	



Usuario2	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Mediana
Enero	0,30	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Febrero	0,20	0,80	0,20	0,10	0,20	0,30	0,20	0,15	0,10	0,10	0,20
Marzo	0,20	0,10	0,15	0,20	0,60	0,20	0,20	0,15	0,10	0,10	0,20
Abril	0,20	0,10	0,20	0,50	0,20	0,20	0,10	0,10	0,15	0,10	0,20
Mayo	0,20	0,10	0,30	0,20	0,30	0,30	0,20	0,10	0,15	0,10	0,20
Junio	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15
Julio	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15
Agosto	0,10	0,30	0,13	0,70	0,20	0,50	0,10	0,10	0,13	0,10	0,20
Septiembre	0,10	0,20	0,13	0,30	0,10	0,60	0,30	0,10	0,13	0,10	0,20
Octubre	0,10	0,20	0,00	0,20	0,30	0,40	0,15	0,10	0,10	0,20	0,15
Noviembre	0,20	0,10	0,10	0,20	0,50	0,20	0,15	0,10	0,10	0,30	0,15
Diciembre	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Mediana	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	
Suma	3,40	2,20	1,40	3,00	2,90		1,80	1,30	1,35	1,50	

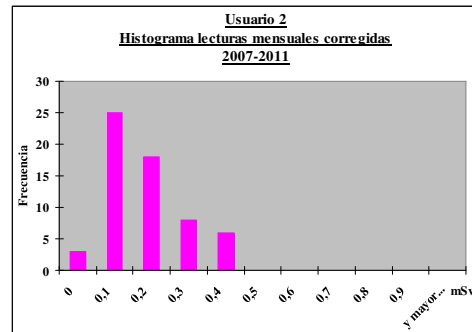


Uuario3	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Mediana
Enero	0,60	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10
Febrero	0,30	0,25	0,20	0,10	0,20	0,25	0,30	0,15	0,10	0,10	0,20
Marzo	0,70	0,50	0,25	0,20	0,30	0,30	0,20	0,20	0,10	0,60	0,30
Abril	0,90	0,60	0,10	0,70	0,18	0,20	0,10	0,10	0,13	0,10	0,20
Mayo	0,00	0,50	0,30	0,20	0,20	0,50	0,18	0,10	0,15	0,10	0,25
Junio	0,25	0,20	0,30	0,20	0,20	0,30	0,10	0,10	0,15	0,10	0,20
Julio	0,10	0,20	0,10	0,20	0,30	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10
Agosto	0,40	0,40	0,70	0,70	0,00	0,60	0,40	0,30	0,30	0,10	0,60
Septiembre	0,40	0,30	0,20	0,20	0,10	0,40	0,20	0,10	0,15	0,10	0,25
Octubre	0,10	0,30	0,00	0,60	0,50	0,50	0,20	0,18	0,10	0,20	0,30
Noviembre	0,25	0,00	0,20	0,70	0,80	0,50	0,18	0,10	0,10	0,20	0,20
Diciembre	0,00	0,00	0,20	0,00	0,10	0,00	0,10	0,20	0,10	0,08	0,05
Mediana	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20	0,30	0,15	0,10	0,10	0,10	
Suma	4,00	3,25	2,65	3,90	2,98	3,55	2,05	1,73	1,58	1,78	

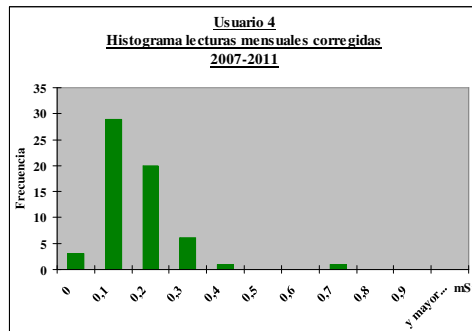


**Grupo2: Matrices de valores de Equivalente de Dosis Personal [mSv] considerados para el cálculo de los indicadores**

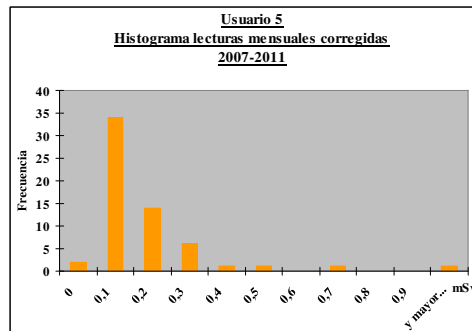
Usuario2	2007	2008	2009	2010	2011	Mediana
Enero	0,12	0,00	0,17	0,20	0,09	0,12
Febrero	0,12	0,33	0,04	0,15	0,09	0,12
Marzo	0,10	0,00	0,03	0,39	0,04	0,04
Abril	0,11	0,28	0,07	0,01	0,18	0,11
Mayo	0,05	0,16	0,10	0,34	0,07	0,10
Junio	0,05	0,15	0,27	0,19	0,08	0,15
Julio	0,05	0,00	0,33	0,10	0,04	0,05
Agosto	0,21	0,23	0,10	0,22	0,19	0,21
Septiembre	0,17	0,15	0,09	0,26	0,10	0,15
Octubre	0,21	0,16	0,31	0,06	0,10	0,16
Noviembre	0,21	0,20	0,06	0,14	0,13	0,14
Diciembre	0,08	0,16	0,01	0,10	0,32	0,10
Mediana	0,12	0,16	0,10	0,17	0,10	
Suma	1,47	1,81	1,58	2,16	1,43	



Usuario4	2007	2008	2009	2010	2011	Mediana
Enero	0,03	0,00	0,06	0,06	0,02	0,03
Febrero	0,16	0,11	0,06	0,15	0,08	0,11
Marzo	0,19	0,10	0,10	0,09	0,11	0,15
Abril	0,12	0,10	0,08	0,02	0,26	0,10
Mayo	0,03	0,09	0,14	0,14	0,00	0,09
Junio	0,03	0,11	0,27	0,07	0,18	0,15
Julio	0,03	0,13	0,1	0,10	0,12	0,08
Agosto	0,11	0,10	0,22	0,18	0,12	0,11
Septiembre	0,04	0,08	0,31	0,06	0,04	0,04
Octubre	0,00	0,14	0,69	0,24	0,12	0,00
Noviembre	0,12	0,20	0,02	0,21	0,23	0,20
Diciembre	0,06	0,07	0,09	0,06	0,13	0,07
Mediana	0,05	0,10	0,09	0,10	0,12	
Suma	0,92	1,23	2,11	1,38	1,41	



Usuario5	2007	2008	2009	2010	2011	Mediana
Enero	0,07	0,00	0,02	0,09	0,22	0,01
Febrero	0,10	0,68	0,06	0,14	0,04	0,37
Marzo	0,07	0,07	0,05	0,48	0,04	0,06
Abril	0,08	0,10	0,15	0,07	0,21	0,12
Mayo	0,10	0,03	0,19	0,31	0,04	0,11
Junio	0,11	0,10	0,20	0,05	0,15	0,15
Julio	0,06	0,06	0,0	0,05	0,02	0,09
Agosto	0,09	0,08	0,13	0,21	0,27	0,09
Septiembre	0,09	0,09	0,10	0,28	0,07	0,09
Octubre	0,20	0,13	1,37	0,04	0,14	0,20
Noviembre	0,10	0,05	0,23	0,08	0,13	0,05
Diciembre	0,09	0,20	0,02	0,09	0,08	0,20
Mediana	0,09	0,08	0,11	0,09	0,11	
Suma	1,16	1,58	2,52	1,89	1,41	





## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

Ademir Amaral, Christian Itié and Bernard Bok. (2007). *Dose Absorbed by Technologists in Positron Emission Tomography Procedures with FDG*. Brazilian Archives of Biology and Technology. Vol.50, Special Number: pp.129-134, September 2007.

Autoridad Regulatoria Nuclear, (2001). *Norma AR 10.1.1. Revisión 3. "Norma Básica de Seguridad Radiológica"*. Aprobada por Resolución del Directorio de la Autoridad Regulatoria Nuclear N° 22/01. Boletín Oficial N° 20/11/01. Buenos Aires.

Autoridad Regulatoria Nuclear. (2000). *Radioprotección en las aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes*. CD. Cap. 3, Pág. 29. ARN – CADIME. Buenos Aires.

Autoridad Regulatoria Nuclear. (2002). *Norma AR 8.2.4. Revisión 1. "Uso de Fuentes Radiactivas No Selladas en Instalaciones de Medicina Nuclear"*. Aprobada por Resolución del Directorio de la Autoridad Regulatoria Nuclear N° 18/02 (Boletín Oficial 22/7/02). Buenos Aires.

Autoridad Regulatoria Nuclear. (2000). *Manual del Curso de postgrado en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear*. V 1.0. ARN. Buenos Aires.

Ciucci Brazzano, L.; Gregori, B.N.; Papadópolos, S. y Carelli, J.L. (2004). *Caracterización de los Detectores Termoluminiscentes LiF:Mg,Cu,P. Aplicaciones a la dosimetría ambiental*. Presentado en: 89° Reunión de la Asociación de Física Argentina. Bahía Blanca, Argentina, 20-23 setiembre 2004. Memorias Técnicas 32.04. Buenos Aires. Autoridad Regulatoria Nuclear.

Di Trano, J.L.; Rojo, A.M.; Gomez Parada, I.M.; Gonzalez, M.; Grassi, E.A.; Gatica, N.A. y Kunst, J.J. (1998). *Dosis Debidas a Prácticas Terapéuticas con Iodo <sup>131</sup>I*. Publicación PI-9/98. Buenos Aires. Argentina. Autoridad Regulatoria Nuclear.

Einisman, C., (2006). *Nuevos indicadores para la optimización del sistema de protección radiológica en medicina nuclear*. Presentación en poster. XV Congreso Argentino de Biología y Medicina Nuclear. 10 al 12 de Noviembre de 2006. Buenos Aires, Argentina.

Einstein A., Moser K., Thompson R., Cerqueira M., Henzlova M. (2007). *Radiation Dose to Patients From Cardiac Diagnostic Imaging*. *Circulation*;116;1290-1305.

Ente Nacional Regulador Nuclear. (1997). *NORMA AR 3.6.1. Revisión 1. "Sistema de Calidad"*. Aprobada por Resolución ENREN N° 6/97. Boletín Oficial 13/5/97. Buenos Aires.

Gregori, B.N.,- Papadópolos, S.B.; Saraví, M.,- Kunst, J.J. (1998). *Programa de intercomparación de dosímetros personales en la República Argentina*. Presentado en: IV Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear. La Habana, Cuba. 19-23 octubre 1998.

Guillet B, Quentin P., Waultier S., Bourrelly M., Pisano P.,Mundler O. (2005). *Technologist Radiation Exposure in Routine Clinical Practice with 18F-FDG PET*. J Nucl Med Technol 2005; 33:175–179.

ICRP Publication 60 (Annals of the ICRP, vol.21, N° 1-3). (1990). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.

Instituto Balseiro. (2007). *Protección Radiológica*.

International Atomic. Energy Agency. (2006). *Nuclear medicine resources manual*. Vienna.

International Commission on Radiation Units & Measurements. (1993). *Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry*, ICRU Report 51, ICRU Publications, Bethesda, MD.

International Commission on Radiation Units & Measurements. (1998). *Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation*, ICRU Report 60, ICRU Publications, Bethesda, MD.

Lundberg T., Gray P., Bartlett M. (2002). Measuring and Minimizing the Radiation Dose to Nuclear Medicine Technologists. J Nucl Med Technol; 30:25–30.

Ministerio de Salud de la República Argentina. (1997). *Programa Nacional de Garantía de Calidad de la Atención Médica*. Resolución Ministerial N° 169/97. Buenos Aires.

Ministerio de Salud de la República Argentina. (2003). *Documento Marco Regulatorio para la formación y habilitación del Técnico Superior en Medicina Nuclear*, 3 de Noviembre de 2003.

Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social. Resolución 295/2003.

OIEA (1997). *Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección Contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación*. Viena. STI/PUB/996.

Pant G. ,Senthamizchelvan S. (2006). *Radiation Exposure to Staff in a PET/CT Facility*. IJNM, 21(4): 100-103.

Roberts F., et al. (2005). *Radiation Dose to Pet Technologists And Strategies to Lower Occupational Exposure*. Journal of Nuclear Medicine Technology. Volume 33, Number 1, March 2005.

Smart R. (2004). Task-specific monitoring of nuclear medicine technologists' radiation exposure. Radiat. Prot. Dosimetry, 109(3):201-9.

Sociedad Española de Protección Radiológica. (2008). ICRP 103. “*Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*”. Madrid. Senda Editorial S.A.

WY Ho, KK Wong, YL Leung, KC Cheng, FTH Ho. (2002). *Radiation Doses to Staff in a Nuclear Medicine Department*. J HK Coll Radiol;5:24-28.