

---

---

GRUPO DE EFLUENTES  
DEL FORO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL MEDIO HOSPITALARIO  
INFORME DE ACTIVIDADES

---

---

Agosto 2002

Marisa Chapel Gómez  
Nati Ferrer García  
Lucila M<sup>a</sup> Ramos Salvador  
Marina Sánchez Sánchez

---

## ÍNDICE

<b>1. Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Grupo de efluentes.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Bases para el establecimiento de nuevos límites de vertido .....</b>	<b>6</b>
3.1 Criterios para el establecimiento de límites de vertido en las II RR .....	6
3.2 Determinación de límites derivados .....	7
3.3 Impacto radiológico del material radiactivo liberado al sistema de alcantarillado .....	8
3.4 Medidas experimentales .....	9
3.5 Establecimiento de nuevos límites de vertido.....	10
<b>4. Propuesta de especificación de vertido .....</b>	<b>11</b>
<b>ANEXO 1: Características de los residuos y sistemas de tratamiento .....</b>	<b>12</b>
<b>ANEXO 2: Escenarios .....</b>	<b>14</b>
<b>ANEXO 3: Estimación del impacto radiológico .....</b>	<b>15</b>

---

## 1. Antecedentes

La transposición a la legislación española de la Directiva 96/29/EURATOM ha supuesto la revisión de los Reglamentos de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (1999) y de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (RPSRI), aprobado en julio de 2001. Los nuevos límites de dosis efectiva para la protección del público se fijan en 1 mSv/a, lo que supone la reducción en un factor de cinco respecto a los anteriores.

En las instalaciones españolas, tanto nucleares como radiactivas, el sistema de limitación de vertidos incluye límites de concentración, definidos a partir de los LIA para los miembros del público, que debían ser modificados para su adaptación al nuevo RPSRI. Por otra parte, en el CSN se había considerado conveniente efectuar una revisión de las especificaciones de vertido en las II RR, estableciendo un sistema coherente con el implantado en las instalaciones nucleares y las radiactivas del ciclo del combustible nuclear, a fin de aplicar criterios similares de protección a todos los miembros del público potencialmente afectados por las descargas de las distintas instalaciones.

Mientras el Reglamento de 1992 contenía los LIA para los trabajadores y el público en general (adulto), el Reglamento de 2002 recoge los valores de dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación por ingestión e inhalación (factores de dosis), a partir de los cuales pueden determinarse los LIA y los límites derivados de concentración en aire y en agua (LDC). Aunque el cálculo de estos límites derivados a partir del límite de dosis para el público y de los factores de dosis y tasas de incorporación es inmediato, parecía conveniente disponer de un documento que recogiese los LIA y LDC a fin de facilitar la vigilancia y control de las descargas de sustancias radiactivas en todas las instalaciones.

Las fuentes radiactivas no encapsuladas se utilizan fundamentalmente en el ámbito de la medicina y la investigación biomédica, siendo los centros hospitalarios donde se generan residuos radiactivos de cierta entidad. Por esta razón, se estimó oportuno constituir un Grupo de Trabajo sobre efluentes radiactivos en el Foro de protección radiológica en el medio hospitalario encargado, en una primera fase, de analizar la incidencia en estas instalaciones de los nuevos LIA y, posteriormente, de considerar la problemática planteada por los nuevos límites determinados por el CSN.

## 2. Grupo de efluentes

### *Composición*

Según lo acordado en la reunión del Foro de junio de 2001, el Grupo de Efluentes lo han integrado los siguientes miembros:

Marisa Chapel Gómez (Hospital Ntra. Sra. De la Candelaria de Tenerife)  
Nati Ferrer García (Hospital Ramón y Cajal de Madrid)  
Lucila M<sup>a</sup> Ramos Salvador (Subdirección de PR Ambiental del CSN)  
Marina Sánchez Sánchez (Subdirección de PR Operacional del CSN)

### **Objetivo**

Se establecen como objetivos del Grupo de efluentes:

- Valorar la influencia de los nuevos LIA, estimados por el Consejo junto con los LDC, en los límites de vertido vigentes en las instalaciones radiactivas, y poner a disposición de los miembros del Foro un documento que recopile los valores de estos parámetros para los seis grupos de edad que contempla el nuevo Reglamento.

Esta primera fase se debía completar en 2001 a fin de que pudieran adaptarse los límites vigentes al nuevo Reglamento en el momento de su entrada en vigor.

- Analizar los límites de vertido genéricos que elabore el CSN y su incidencia en el control de los efluentes, realizando una propuesta consensuada de especificación de vertido.

### **Resumen de las actividades realizadas**

El Grupo se constituyó y mantuvo su primera reunión el 3 de Julio de 2001, habiendo celebrado un total de 5 reuniones, la última de las cuales ha tenido lugar el 10 de julio de 2002.

En la primera reunión se concretaron los objetivos del Grupo y se determinaron las actividades a realizar, tomando como punto de partida los LIA derivados del Reglamento del 2002 y la propuesta de nuevos límites. Las actividades previstas fueron las siguientes:

En relación con los LIA y LDC:

- Comprobar que la Directiva 96/29/Euratom y el nuevo RPSRI recogen todos los isótopos de uso habitual en las instalaciones radiactivas, ya que en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas se ha identificado la ausencia de algunos isótopos
- Recopilar información sobre los factores de conversión de actividad a dosis de los posibles isótopos no incluidos en dichos documentos
- Completar la información de los LIA con los datos obtenidos
- Realizar un análisis comparativo de los LIA del RPSRI de 1992 y los nuevos, para los isótopos habituales en las instalaciones radiactivas

En relación con los futuros límites de vertido

- Analizar la propuesta del CSN y su incidencia en el control de los efluentes que realizan las instalaciones, teniendo en cuenta las características específicas de los residuos generados y de los sistemas de control de vertido
- Elaboración de las conclusiones del grupo de trabajo

La segunda reunión del Grupo de efluentes tuvo lugar el 27 de septiembre de 2001, estando disponibles los nuevos LIA y los límites derivados de concentración calculados por el CSN, tal como se había acordado. Una vez comprobado que el nuevo Reglamento contenía todos los isótopos de uso habitual en las instalaciones, se acordó realizar antes de la siguiente reunión el análisis comparativo con los valores del Reglamento de 1992.

Se comentaron los límites establecidos en los países de la UE y USA, a fin de establecer un marco de referencia, poniéndose de relieve que existe una cierta diversidad, tanto en los criterios como en la formulación concreta de los límites. Se indicó que la propuesta del CSN contemplará límites

---

de actividad anual y de concentración, analizando para estos últimos la incidencia de considerar valores derivados de 1/10 de los LIA y de los LIA, teniendo en cuenta las características de los sistemas de vigilancia y control de los efluentes de las instalaciones.

La *tercera reunión* se celebró el 14 de noviembre y en la misma se identificaron los principales isótopos no encapsulados utilizados en medicina, industria e investigación y docencia en las instalaciones radiactivas españolas, y se realizó una primera valoración de las actividades utilizadas anualmente según sus usos, y de los volúmenes anuales de vertido y dilución, y se examinaron los sistemas más habituales de almacenamiento y evacuación de residuos radiactivos líquidos. Se acordó ampliar y completar toda esta información para la próxima reunión. Se analizó la propuesta preliminar de límites de vertido elaborada por el CSN, que se revisará cuando se complete toda la información sobre los residuos líquidos en las distintas instalaciones y se realice una estimación de su impacto radiológico.

Se presentaron también los resultados del análisis comparativo de los LIA, poniéndose de manifiesto que la diferencia es inferior a un orden de magnitud para la mayoría de los isótopos de interés en las II RR. Se acordó utilizar en los límites de vertido los LIA para el individuo adulto. Los nuevos LIA por ingestión e inhalación para los seis grupos de edad se remitieron por correo electrónico en esa misma fecha al Presidente de la Sociedad Española de Física Médica, según se había acordado con el Foro, a fin de que estuviesen disponibles antes de la entrada en vigor del nuevo RPSRI.

La *cuarta reunión* tuvo lugar el 18 de marzo de 2002 y en la misma, teniendo en cuenta la nueva información recopilada, se definieron la composición isotópica y actividad anual a considerar en la determinación de los límites, quedando pendiente de revisión algunos de los datos propuesto. Se analizó, así mismo, información detallada relativa a los sistemas de control y a las descargas de diversos centros hospitalarios, relevantes para conocer los vertidos reales de las instalaciones. Los datos adoptados finalmente se resumen en el Anexo 1.

Se revisó la relación de 11 posibles escenarios a tener en cuenta en la estimación del impacto radiológico de las descargas al sistema de alcantarillado, quedando pendiente de concretar los que serían aplicables a la situación española, tras recabar información sobre el tratamiento dado en España a los lodos generados en el proceso de depuración de las aguas residuales. En el Anexo 2 se incluyen los nueve escenarios considerados tras valorar la información obtenida.

Se consideró, así mismo, la incidencia de la proximidad de varios centros hospitalarios en grandes ciudades, que podrían dar lugar a valores superiores al establecido como criterio de dosis para derivar los límites de vertido, y la incorporación directa a la red sanitaria de las orinas, principal vía de eliminación de la actividad incorporada a los pacientes. Para valorar en términos cuantitativos estos factores se tendrían en cuenta los resultados de un estudio piloto sobre los niveles de radiactividad en el sistema de depuración de las aguas residuales que el CSN ha llevado a cabo en la ciudad de Valencia; dado que el Ayuntamiento lleva a cabo un programa de medidas en las plantas depuradoras de agua de Madrid, se estimó conveniente solicitar información sobre sus resultados.

Se acordó que la propuesta inicial de límites se revisaría una vez completada la información pendiente y tras realizar una valoración del impacto radiológico de acuerdo con los últimos datos.

---

*La última reunión* se celebró el 10 de julio de 2002, y en la misma se presentó y comentó un estudio del CSN que soporta la propuesta final de límites de vertido, cuyos aspectos más relevantes se incluyen en el apartado siguiente. En dicho estudio, se realiza un análisis del sistema de limitación de efluentes en España y en otros países de nuestro entorno, se definen los criterios aplicados para establecer los límites de vertidos y se realiza, teniendo en cuenta toda la información recabada por el Grupo de Efluentes, una estimación de las dosis en los distintos escenarios considerados debidas a la actividad incorporada al sistema de alcantarillado, tanto la eliminada por vía directa a través de las orinas de los pacientes en régimen ambulatorio como por los vertidos efectuados por las instalaciones desde los tanques de control de efluentes.

El Grupo efectuó un análisis detallado del estudio y de las implicaciones prácticas de su aplicación, adoptándose una versión final de los límites de vertido.

### **3. Bases para el establecimiento de nuevos límites de vertido**

Se resumen a continuación los aspectos considerados en el desarrollo de los nuevos límites de vertido de aplicación a las II RR.

#### **3.1 Criterios para el establecimiento de límites de vertido en las II RR**

##### Criterios generales:

- Los límites deberán garantizar que las dosis recibidas por la población potencialmente afectada por las descargas serán inferiores a los límites de dosis al público, y tan bajas como sea razonablemente posible, tal como requiere el RPSRI
- El sistema de limitación será coherente con el fijado para las centrales nucleares y otras instalaciones del ciclo del combustible, adaptado a las características específicas de las instalaciones radiactivas. Este sistema incluye límites instantáneos en términos de concentración para efluentes líquidos y de tasa de dosis para efluentes gaseosos, derivados de los límites de dosis al público (LIA) y límites integrados en un año, expresados en términos de dosis; el límite establecido es 0,1 mSv/a para el total de los efluentes vertidos, tanto por vía líquida como por vía gaseosa.
- Los límites se formularán de modo que se simplifique el sistema de vigilancia y control necesario para garantizar su cumplimiento y en su implantación se tendrá en cuenta la práctica seguida en otros países de nuestro entorno.

##### De acuerdo con dichos criterios generales, se definen los siguientes criterios específicos:

- *Como criterio de dosis para establecer los límites de vertido se adopta un valor de 0,1 mSv/a*

La utilización de una fracción del límite de dosis al público para determinar los límites de vertido es una práctica habitual que obedece a la necesidad de considerar la posible exposición a otras fuentes de radiación y la aplicación del criterio ALARA.

---

Se considera adecuado fijar un valor equivalente al establecido para las instalaciones del ciclo del combustible, a fin de proporcionar un mismo nivel de protección al público potencialmente expuesto a las descargas de todas las instalaciones. Este valor se aplica exclusivamente a la exposición debida a los vertidos líquidos ya que en las instalaciones consideradas los vertidos por vía gaseosa, si existen, no son significativos.

➤ *En la formulación de los límites se utilizarán magnitudes derivadas*

El establecimiento de límites secundarios derivados de los límites básicos de dosis es una práctica habitual, ya que al ser de aplicación más inmediata simplifican el proceso de vigilancia y control de los vertidos.

En las centrales nucleares los límites instantáneos de concentración y tasa de dosis sirven de base para el establecimiento de los puntos de tarado de la instrumentación de vigilancia de los vertidos, cuya superación supone el corte automático de las descargas. Respecto a los límites integrados, no se han determinado valores derivados de 0,1 mSv/a, y los titulares deben estimar mensualmente las dosis y verificar el cumplimiento de este límite. La aplicación de este sistema a las instalaciones radiactivas no parece adecuada, ya que requeriría una infraestructura de cálculo y una sistemática de control de los vertidos poco acordes con las características de las II RR. Se considera, por tanto, más adecuado establecer límites derivados, teniendo en cuenta todos los escenarios que darían lugar a la exposición de la población a los vertidos realizados.

➤ *Los límites incluirán valores máximos de actividad anual y de concentración de actividad*

Como límites anuales de actividad se fijarán valores derivados del criterio de dosis seleccionado (0,1 mSv/a). Los límites de concentración se establecen para facilitar la vigilancia y control de los efluentes y en su determinación pueden aplicarse diferentes criterios, siempre que se garantice el cumplimiento del límite anual de actividad, que es el “auténtico” límite.

Ambos límites son complementarios: el límite de actividad supone una restricción al límite de concentración, ya que de otro modo podría descargarse una actividad ilimitada en función de los volúmenes vertidos, con la única condición de que se respetase el límite de concentración; por otra parte, el límite de concentración previene descargas puntuales muy elevadas, que supusieran el vertido de toda la actividad anual autorizada.

### **3.2 Determinación de límites derivados**

El establecimiento de valores derivados de los límites de dosis implica un conocimiento del término fuente, de los modelos de dispersión y principales vías de transferencia de los radionucleidos en el medio ambiente, así como de los usos de la tierra y el agua y hábitos de la población potencialmente afectada por las descargas. Es por tanto necesario:

- a) Definir las características radiológicas de los vertidos

Los isótopos considerados se recogen la tabla 1. del Anexo 1, y son los que se utilizan habitualmente en las II RR.

- b) Considerar todos aquellos escenarios en que tendría lugar la exposición de la población como consecuencia de las descargas al sistema de alcantarillado (Anexo 2)
- c) Estimar las dosis debidas a la emisión de una actividad unitaria de cada isótopo en los escenarios considerados

Se asume, por razones prácticas, el vertido de 1 GBq/a de cada isótopo y se calculan las dosis a que daría lugar. De acuerdo con las estimaciones realizadas, los escenarios donde se producen dosis mayores son los relacionados con las actividades laborales llevadas a cabo en el propio sistema de alcantarillado y en el tratamiento, utilización y eliminación de los lodos. En todos ellos la vía crítica es la exposición externa y el trabajador el individuo crítico. Cuando la exposición del público se produce en actividades no laborales (resto de escenarios), las dosis resultantes son hasta dos órdenes de magnitud inferiores.

Los trabajos en una planta depuradora en las zonas donde se manipulan los lodos son los que dan lugar a dosis más elevadas, siendo el isótopo crítico el I-131; la dosis efectiva total estimada en este escenario para el vertido de 18 GBq/a (1 por GBq por isótopo) es 33  $\mu$ Sv/a.

- d) Determinar la relación entre las dosis calculadas y el criterio de dosis establecido (100  $\mu$ Sv/a), para estimar el límite derivado

Los valores derivados de actividad se determinan considerando las dosis debidas al vertido de la actividad unitaria de cada isótopo en los escenarios considerados, y el criterio de dosis establecido. Los límites derivados de actividad de cada isótopo corresponderían a los valores mínimos obtenidos.

### 3.3 Impacto radiológico del material radiactivo liberado al sistema de alcantarillado

Se ha realizado una estimación de las dosis debidas a la incorporación de material radiactivo a la red del alcantarillado, tanto desde los sistemas de control de efluentes de las instalaciones como directamente a través de las orinas de los pacientes. Teniendo en cuenta que el escenario 2 es el que da lugar a los valores más elevados, las dosis se han estimado para dicho escenario exclusivamente. A continuación se presenta un resumen de los cálculos y resultados obtenidos.

*Descarga desde los tanques de control de vertido:*

Se supone que toda la actividad eliminada por los pacientes en las prácticas para tratamiento y diagnóstico, así como los residuos generados en los laboratorios, se recogen en los tanques de control y se vierten de forma controlada a la red pública de alcantarillado después de un período de almacenamiento de tres meses. Las actividades estimadas para cada isótopo se resumen en el Anexo 3 (Tabla 3.1.). Los valores globales resultan ser :

<b>Actividad total vertida:</b>	9,74E+09	Bq/a
<b>H-3</b>	7,60E+09	Bq/a
<b>C-14</b>	1,12E+09	Bq/a
<b>Resto</b>	1,02E+09	Bq/a

De acuerdo con las estimaciones efectuadas el valor de dosis resultante en el escenario 2, considerando todos los isótopos, es 5,5  $\mu$ Sv/a.

#### *Incorporación directa a la red de la actividad eliminada por las orinas:*

La actividad eliminada en las aplicaciones para diagnóstico “in vivo” y tratamientos en régimen ambulatorio se canaliza al sistema de control de efluentes solo en algunos casos. **A menudo esta actividad se incorpora directamente a la red sanitaria tras un corto espacio de tiempo a través de las orinas de los pacientes, sin que se contabilice en los vertidos de la instalación.** Esta situación afecta a los siguientes isótopos: Ga-67, I-123, I-131 (parcialmente), In-111, Tc-99m, Tl-201 y Sr-89. En la Tabla 3.2. del Anexo 3 se resumen los resultados obtenidos en el cálculo de la actividad incorporada a la red en este caso, que resulta ser:

Actividad total diaria:	2,55E+09 Bq
Actividad total anual:	9,31E+11 Bq

La dosis calculada para el escenario 2, como consecuencia del vertido de toda la actividad eliminada por esta vía, sería 0,72 mSv/a, valor estimado de forma conservadora, ya que la actividad incorporada a la red se ha calculado seleccionando valores de actividad por aplicación y número de aplicaciones anuales elevados. El CSN tiene previsto realizar un estudio específico detallado y efectuar una estimación realista de estas dosis para valorar de forma más precisa el impacto radiológico de los aportes realizados por esta vía y determinar la conveniencia de adoptar medidas para reducir los mismos.

### **3.4 Medidas experimentales**

Se ha realizado un análisis de los valores estimados de actividad en los vertidos, en la red sanitaria y en los sistemas de depuración, teniendo en cuenta los datos disponibles de los vertidos de diversos hospitales y los resultados obtenidos en el estudio sobre los niveles de contaminación radiactiva de las aguas residuales de Valencia<sup>1</sup>. De la comparación de las estimaciones realizadas con las medidas experimentales disponibles puede concluirse lo siguiente:

- La actividad vertida desde los tanques de control de efluentes líquidos de los hospitales es hasta dos órdenes de magnitud inferior a la considerada en el estudio
- Las concentraciones de actividad estimadas en la red de alcantarillado y en una planta depuradora están dentro del intervalo de valores medidos en la ciudad de Valencia. A esta actividad contribuyen los vertidos controlados y la actividad liberada en las orinas, siendo esta última el principal contribuyente

<sup>1</sup> Los datos sobre los programas de vigilancia de la radiactividad en las depuradoras de Madrid se solicitaron oficialmente al Ayuntamiento, y no se dispone aún de los mismos.

- No es previsible que las concentraciones en una depuradora donde se traten las aguas residuales de una población mayor sean superiores a las obtenidas en el estudio realizado

### 3.5 Establecimiento de nuevos límites de vertido

La propuesta de límites para los vertidos líquidos efectuados de modo controlado por las instalaciones radiactivas a la red pública de alcantarillado se basa en los criterios establecidos y los resultados de las estimaciones realizadas para determinar el impacto radiológico de las descargas.

#### Límites de actividad

Aunque se podrían determinar para todos los radionucleidos de interés los valores de actividad derivados de 0,1 mSv, se considera más adecuado establecer límites de actividad total, considerando globalmente los radionucleidos utilizados en las instalaciones españolas. Si se fijasen límites individuales sería necesario determinar los valores derivados de actividad para un espectro más amplio de elementos o bien ampliar este cuando se utilizasen en las instalaciones radioisótopos distintos a los considerados; por otra parte, este sistema facilita control de las descargas. Como límite de actividad total se selecciona el valor más restrictivo; el valor mínimo de la actividad corresponde al I-131, con 9,5 GBq/a. El  $^{14}\text{C}$  y  $^3\text{H}$ , dada su baja radiotoxicidad, presentan valores de actividad mucho más elevados (9,02E+03 y 2,36E+06 GBq/a respectivamente), por lo que sería demasiado restrictivo aplicarles el mismo valor; por esta razón se fijarán valores específicos para los mismos.

De acuerdo con las estimaciones conservadoras realizadas, la actividad anual que potencialmente podría descargar al sistema de alcantarillado un centro hospitalario sería 10 GBq, correspondiendo aproximadamente 8 GBq al  $^3\text{H}$ , 1 al  $^{14}\text{C}$  y 1 a todos los radionucleidos restantes. La información disponible indica que, en la práctica, las descargas efectuadas de modo controlado son en general inferiores a estos valores.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, y considerando la radiotoxicidad y período de semidesintegración del  $^{14}\text{C}$  y el  $^3\text{H}$ , así como la incertidumbre de los cálculos, se proponen los siguientes límites de actividad anual.

- 10 GBq de  $^3\text{H}$ ,
- 1 GBq de  $^{14}\text{C}$
- 1 GBq para el conjunto de los restantes radionucleidos

#### Límites derivados de concentración

Los límites de concentración tienen como función facilitar la vigilancia y control de los vertidos, y pueden establecerse de acuerdo con diferentes criterios siempre que se garantice el cumplimiento del límite anual de actividad. Estos límites tienen un carácter instantáneo frente a los límites de dosis y de actividad derivada, que son valores integrados en un año. Cuando ambos tipos de límites se establecen juntos, los valores de concentración derivan generalmente de dosis iguales o superiores a los límites para el público.

---

Los límites vigentes establecen valores máximos de concentración derivados de la centésima parte de los LIA para miembros del público, considerando como única vía de exposición la ingestión de agua, y no se tienen en cuenta, por tanto, otras vías que contribuyen significativamente a las dosis. La aplicación de la centésima parte del LIA introduce un factor de conservadurismo con un doble objetivo: compensar la posible influencia del modelo simplista utilizado al derivar los valores de concentración, y prevenir la descarga de valores elevados de actividad, ya que no se imponen restricciones al volumen de vertido. Este sistema plantea el problema de que los valores establecidos pueden ser similares o inferiores a los niveles habituales de detección.

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, se propone establecer límites de concentración derivados del límite de dosis al público, calculándose los mismos a partir de los LIA para el individuo adulto obtenidos con los Factores de Dosis del nuevo RPSRI y con las tasas de consumo definidas para dicho grupo de edad en ICRP-23.

#### **4. Propuesta de especificación de vertido**

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se propone la siguiente especificación:

*Las descargas de efluentes líquidos al sistema de alcantarillado público deberán cumplir los siguientes requisitos:*

*El material liberado estará en forma soluble en agua, o se tratará de material biológico fácilmente dispersable*

*La actividad total de material radiactivo vertido al alcantarillado público en un año no superará 10 GBq de  $^3\text{H}$ , 1 GBq de  $^{14}\text{C}$  y la suma de las actividades de los restantes radionucleidos será inferior a 1 GBq.*

*La concentración de actividad en el punto final de vertido a la red general de alcantarillado no superará, en cada descarga, los límites de concentración obtenidos al dividir los límites de incorporación por ingestión para el grupo de edad "mayor que 17 años", entre la tasa de ingestión anual de agua para el individuo adulto (600 l).*

*Si se descarga más de un radionucleido, la suma de las fracciones obtenidas al dividir el valor de concentración de cada radionucleido por el correspondiente límite de concentración no superará la unida.*

## ANEXO 1: Características de los residuos y sistemas de tratamiento

### 1. Características de los vertidos de las II RR

El número de isótopos no encapsulados autorizados en nuestro país para su aplicación en el campo de la medicina, investigación e industria ascendería a unos 60 de acuerdo con la información recopilada. Estos datos proceden de los informes anuales y autorizaciones de numerosas instalaciones (hospitales, centros de investigación e instalaciones industriales) así como de los informes anuales de las principales empresas comercializadoras.

En la práctica, el número de isótopos utilizado es sensiblemente menor, ya que muchos de los isótopos autorizados se emplean en técnicas consideradas hoy obsoletas o de uso muy esporádico, siendo por tanto las actividades involucradas muy pequeñas.

En la Tabla 1 se presentan los principales isótopos no encapsulados que se utilizan con actividades significativas en las instalaciones radiactivas. Para cada isótopo se especifican los valores estimados de actividad administrada por prueba, nº de pruebas anuales, actividad anual administrada, fracción eliminada y actividad anual eliminada.

**Tabla 1: Isótopos no encapsulados utilizados con actividades significativas en las II RR**

	Actividad por Aplicación MBq	Nº Pruebas Año	Actividad Utilizada GBq/a	Fracción Eliminada	Actividad Eliminada GBq/a
<b>DIAGNOSTICO MEDICO "IN VIVO"</b>					
Ga-67	111	200	22,20	70%	15,54
I-123	500	500	250,00	70%	175,00
I-131	296	150	44,40	80%	35,52
In-111	50	750	37,50	30%	11,25
Mo-99-Tc99m	555	5000	2775,00	30%	832,50
Tl-201	200	180	36,00	4%	1,44
			3165,10		1071,25
<b>TRATAMIENTO MÉDICO</b>					
I-131	7400	100	740,00	80%	592,00
I-131 ambulatorio	555	125	69,38	70%	48,56
Re-188	3330	5	16,65	70%	11,66
Sm-153	3330	15	49,95	50%	24,98
Sr-89 (Ambulatorio)	150	10	1,50	50%	0,75
Y-90	4400	4	17,60	80%	14,08
			895,08		692,02
<b>TÉCNICAS "IN VITRO"- INVESTIGACION-DOCENCIA-INDUSTRIA</b>					
C-14	5	250	1,25	90%	1,13
Co-57	0,02	25	0,0005	50%	0,00025
Cr- 51	37	20	0,74	30%	0,22
H-3	3,7	500	1,85	90%	1,67
I-125	0,15	5000	0,75	90%	0,68
P-32 y 33	10	120	1,20	60%	0,72
S-35	3,7	50	0,19	60%	0,11
Se-75	3,7	310	1,15	90%	1,03
			7,12		5,55

---

## 2. Sistemas de vertido en las II RR

### 1.- DESAGÜE directo de la instalación a la red general

Existe en ocasiones, en las instalaciones de medicina nuclear, un equipo de dilución controlada (Poco frecuente).

### 2.- SISTEMA DE VERTIDO CONTROLADO

Se utiliza principalmente para la recogida de las orinas procedentes de terapia metabólica. Constan en general de:

- bidé especial de recogida de orina (a veces separa de las heces), ubicado en la habitación donde está el paciente y conectada con el depósito
- a veces existe otra conexión para recogida de residuos líquidos de radioinmunoanálisis
- depósitos de almacenamiento blindados. Generalmente son dos, lo que permite el decaimiento de uno mientras el otro se llena. La capacidad depende del número de tratamientos previstos, pero en general permiten un almacenamiento superior a tres meses (mas de 8 semividas de I-131). Una capacidad de 5000 l puede ser suficiente considerando dos habitaciones de terapia, una estancia de tres días y un volumen de orina de 2 litros día por paciente. Algunos sistemas permiten recoger exclusivamente la orina del bidé (sin el agua del flushing), por lo que la capacidad necesaria de los tanques es menor (del orden de 500 l). Los depósitos están ubicados generalmente en un almacén en la planta sótano, con acceso controlado y señalizado.
- un dosificador proporcional al caudal de agua de la red circulante
- toma de muestras
- dispositivo de seguridad de actividad de salida

Principio de funcionamiento: Mediante un sistema de bombeo los residuos de cualquiera de los dos orígenes pasarán al depósito seleccionado para decaimiento, antes de vertido diluido y controlado a la red general. Mediante sondas de nivel y de detección se podrá saber el nivel de llenado y el número de cuentas en un tiempo seleccionado.

---

## ANEXO 2: Escenarios

### Escenarios considerados en la estimación de la exposición debida a la actividad incorporada al sistema de alcantarillado públicos

---

#### 1: Trabajador que inspecciona el sistema de alcantarillado

- Vías de exposición consideradas:
- radiación externa debida a los líquidos vertidos
  - contaminación interna por inhalación de material

#### 2: Trabajador de una planta depuradora (Manipulación de lodos)

- Vías de exposición:
- radiación externa debida a los lodos
  - contaminación interna por inhalación de material resuspendido

#### 3: Miembro del público afectado por el vertido de aguas residuales a un río

- Vías de exposición:
- radiación externa por depósitos de orilla, actividades recreativas, y depósitos en el suelo debidos al riego con agua contaminada
  - Contaminación interna por la ingestión de agua, peces y alimentos contaminados, y por la inhalación por resuspensión.

#### 4: Trabajador de una planta de incineración

- Vías de exposición:
- radiación externa debida a las cenizas en la planta
  - contaminación interna por inhalación de polvo

#### 5: Miembro del público afectado por los efluentes gaseosos de una incineradora

- Vías de exposición:
- radiación externa debida a los depósitos en el suelo
  - contaminación interna por inhalación de polvo e ingestión de alimentos contaminados por la deposición en los cultivos locales

#### 6: Conductor de camión que transporta cenizas de incineración para su almacenamiento

- Vías de exposición:
- radiación externa debida a las cenizas transportadas
  - contaminación interna por inhalación de polvo

#### 7: Miembro del público que utiliza de los lodos como abonos en labores agrícolas

- Vías de exposición:
- radiación externa debida a a los lodos depositados en el suelo
  - contaminación interna por inhalación de polvo e ingestión de alimentos contaminados por los abonos

#### 8: Miembro del público que utiliza de los lodos como abonos en labores no agrícolas

- Vías de exposición:
- radiación externa debida a los lodos depositados en el suelo
  - contaminación interna por inhalación de polvo resuspendido

#### 9: Trabajador de una instalación dedicada al almacenamiento de lodos y cenizas

- Vías de exposición:
- radiación externa debida a los lodos almacenados
  - contaminación interna por inhalación

### ANEXO 3: Estimación del impacto radiológico

#### 1. Recogida en los tanques de control de todos los residuos y vertido controlado a la red

Se supone un centro dotado de un sistema de control de vertidos como el descrito en el Anexo 1, que utilizase todos los radioisótopos considerados y recogiese en los tanques de control de efluentes todos los residuos generados. En la Tabla 3.1 se presenta los valores estimados de la actividad vertida anualmente para cada isótopo; estos datos se han obtenido suponiendo que:

- La instalación recibe al mes 1/12 de la actividad que utiliza anualmente, e incorpora al tanque la fracción residual de cada isótopo.
- No se da crédito al decaimiento antes de la incorporación de los efluentes al tanque
- Se considera un tiempo de llenado del tanque de 3 meses, durante los cuales se vierten al tanque 3/12 de la actividad anual generada como residuo
- El período de almacenamiento de cada tanque tras su llenado es de tres meses, estimándose el decaimiento en dicho período
- Se vierten 4 tanques al año

**Tabla 3.1: Estimación de los vertidos efectuados desde el Sistema de Control de efluentes**

ISOTOPOS	Act/aplic Bq/a	Nº Apl.	Actividad utilizada Bq/a	% Elimi.	Actividad incorporada S. Tratam. (Bq/a)	Actividad final mes 1 (Bq/mes)	Actividad final mes 2 (Bq/mes)	A. Total recogida en 3 meses	Actividad tras 3 mes. almacenam.	Actividad anual vertida (4 tanques/a) (Bq/a)
<b>Diagnóstico médico "in vivo"</b>										
<b>Ga-67</b>	1,11E+08	200	2,22E+10	0,70	1,55E+10	2,20E+06	3,73E+03	1,30E+09	6,34E+00	2,54E+01
<b>I-123</b>	5,00E+08	500	2,50E+11	0,70	1,75E+11	5,55E-07	2,11E-23	1,46E+10	8,02E-40	3,21E-39
<b>I-131</b>	2,96E+08	150	4,44E+10	0,80	3,55E+10	2,23E+08	1,68E+07	3,20E+09	1,37E+06	5,46E+06
<b>In-111</b>	5,00E+07	750	3,75E+10	0,30	1,13E+10	6,04E+05	3,89E+02	9,38E+08	2,51E-01	1,00E+00
<b>Tc-99m</b>	5,55E+08	5000	2,78E+12	0,30	8,33E+11	6,88E-26	6,82E-62	6,94E+10	6,77E-98	2,71E-97
<b>Tl-201</b>	2,00E+08	180	3,60E+10	0,04	1,44E+09	1,28E+05	1,37E+02	1,20E+08	1,47E-01	5,88E-01
			3,17E+12					8,95E+10	1,37E+06	<b>5,46E+06</b>
<b>Tratamiento médico</b>										
<b>I-131</b>	7,40E+09	100	7,40E+11	0,80	5,92E+11	3,71E+09	2,80E+08	5,33E+10	2,28E+07	9,10E+07
<b>I-131 (A)</b>	5,55E+08	125	6,94E+10	0,70	4,86E+10	3,05E+08	2,29E+07	4,37E+09	1,87E+06	7,47E+06
<b>Re-188</b>	3,33E+09	5	1,67E+10	0,70	1,17E+10	1,73E-04	3,08E-17	9,71E+08	5,48E-30	2,19E-29
<b>Sm-153</b>	3,33E+09	15	5,00E+10	0,50	2,50E+10	4,87E+04	1,14E+00	2,08E+09	2,66E-05	1,06E-04
<b>Sr-89 (A)</b>	1,50E+08	10	1,50E+09	0,50	7,50E+08	4,14E+07	2,74E+07	1,31E+08	3,82E+07	1,53E+08
<b>Y-90</b>	4,40E+09	4	1,76E+10	0,80	1,41E+10	4,86E+05	2,02E+02	1,17E+09	8,37E-02	3,35E-01
			8,95E+11					6,21E+10	6,28E+07	<b>2,51E+08</b>
<b>Técnicas "in vitro"-investigación-docencia-Industria</b>										
<b>C-14</b>	5,00E+06	250	1,25E+09	0,90	1,13E+09	9,37E+07	9,37E+07	2,81E+08	2,81E+08	1,12E+09
<b>Co-57</b>	2,00E+04	25	5,00E+05	0,50	2,50E+05	1,93E+04	1,79E+04	5,80E+04	4,61E+04	1,84E+05
<b>Cr 51</b>	3,70E+07	20	7,40E+08	0,30	2,22E+08	8,73E+06	4,12E+06	3,14E+07	3,30E+06	1,32E+07
<b>H-3</b>	3,70E+06	500	1,85E+09	0,90	1,67E+09	1,38E+08	1,65E+09	1,93E+09	1,90E+09	7,60E+09
<b>I-125</b>	1,50E+05	5000	7,50E+08	0,90	6,75E+08	3,98E+07	2,82E+07	1,24E+08	4,40E+07	1,76E+08
<b>P-32/33</b>	1,00E+07	120	1,20E+09	0,60	7,20E+08	1,40E+07	3,27E+06	7,73E+07	9,85E+05	3,94E+06
<b>S-35</b>	3,70E+06	50	1,85E+08	0,60	1,11E+08	7,29E+06	5,75E+06	2,23E+07	1,09E+07	4,37E+07
<b>Se 75</b>	3,70E+06	310	1,15E+09	0,90	1,03E+09	7,23E+07	6,08E+07	2,19E+08	1,30E+08	5,21E+08
			7,12E+09					2,40E+09	2,37E+09	<b>9,48E+09</b>

(A): Tratamiento ambulatorio

**Actividad total vertida: 9,74E+09 Bq/a**

**H-3 7,60E+09 Bq/a**

**C-14 1,12E+09 Bq/a**

**Resto 1,02E+09 Bq/a**

### 3.2. Descarga directa a la red de los residuos generado en aplicaciones ambulatorias

Como se ha indicado anteriormente, solo en algunos casos la actividad eliminada en las aplicaciones para diagnóstico “in vivo” y tratamientos en régimen ambulatorio se canalizan al sistema de control de efluentes. A menudo esta actividad se incorpora directamente a la red del alcantarillado red sanitaria tras un corto espacio de tiempo a través de las orinas de los pacientes, sin que se contabilice en los vertidos de la instalación. Esta situación afecta a los siguientes isótopos: Ga-67, I-123, I-131 (Parcialmente), In-111, Tc-99m, Tl-201 y Sr-89.

En la Tabla 3.2 se presentan los valores estimados de la actividad incorporada al sistema de alcantarillado por esta vía. Para el I-131 este valor resulta ser 3,53E10 Bq/a, que daría lugar a una concentración de 8,4E2 Bq/l, suponiendo que la eliminación se produce en el centro hospitalario.

**Tabla 3.2: Estimación de la actividad incorporada al sistema sanitario directamente**

ISOTOPOS	T1/2	Act/apl.	Nº Aplic. año	Actividad utilizada Bq/a	Actividad utilizada Bq/día	% Elimi.	Actividad eliminada pacientes (Bq/d)	Actividad vertida pacientes 2h decay (Bq/d)	Actividad vertida pacientes (Bq/a)	
<b>Diagnóstico médico "in vivo"</b>										
Ga-67	3,26	d	1,11E+08	200	2,22E+10	6,08E+07	0,70	4,26E+07	4,18E+07	1,53E+10
I-123	13,20	h	5,00E+08	500	2,50E+11	6,85E+08	0,70	4,79E+08	4,32E+08	1,58E+11
I-131	8,04	d	2,96E+08	150	4,44E+10	1,22E+08	0,80	9,73E+07	9,66E+07	3,53E+10
In-111	2,83	d	5,00E+07	750	3,75E+10	1,03E+08	0,30	3,08E+07	3,02E+07	1,10E+10
Tc-99m	6,02	h	5,55E+08	5000	2,78E+12	7,60E+09	0,30	2,28E+09	1,81E+09	6,61E+11
Tl-201	3,04	d	2,00E+08	180	3,60E+10	9,86E+07	0,04	3,95E+06	3,87E+06	1,41E+09
<b>Tratamiento médico</b>										
I-131 (A)	8,04	d	5,55E+08	125	6,94E+10	1,90E+08	0,70	1,33E+08	1,32E+08	4,82E+10
Sr-89 (A)	50,50	d	1,50E+08	10	1,50E+09	4,11E+06	0,50	2,05E+06	2,05E+06	7,49E+08
							<b>3,07E+09</b>	<b>2,55E+09</b>	<b>9,31E+11</b>	
<b>Actividad total diaria vertida</b>				<b>2,55E+09</b>						
<b>Actividad total anual vertida</b>				<b>9,31E+11</b>						