

# ANÁLISIS DE LAS DOSIS EN EL TRANSPORTE DE RADIOFÁRMACOS CAMBIO DE PERSPECTIVA PARA SU REDUCCIÓN

V. Aceña<sup>1</sup>; F. Zamora<sup>1</sup>, E. Rubio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Consejo Seguridad Nuclear, Área de Transporte y Fabricación de Combustible Nuclear, C/ Pedro Justo Dorado Dellmans, nº11, 28040 Madrid

## RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis, que abarca un periodo de ocho años, de las dosis recibidas por los trabajadores del sector del transporte, principalmente del transporte por carretera de radiofármacos.

En el análisis se detallan las razones de las dosis recibidas por dichos trabajadores, las medidas que se han ido adoptando durante ese periodo para su reducción y las medidas adicionales que se precisarían para conseguir nuevas reducciones, teniendo en cuenta el aumento en los últimos años del número de este tipo de transportes y de los Índices de Transporte (IT) de algunos bultos.

**Palabras claves:** Análisis, Reducción, Dosis, Transporte, Radiofármacos.

## ABSTRACT

This paper presents a detailed analysis of doses received by workers during a period of eight years, in particular in the transport by road of radiopharmaceuticals.

The analysis identifies the cause of the doses, describes the measures adopted during the period to reduce them and presents the additional measures that would be required to achieve further reductions, taking into account the increase that has occurred in recent years in the number of transport operations of this kind and the Transport Indexes (TI) of certain packages.

**Key Words:** Analysis, Reduction, Doses, Transport, Radiopharmaceuticals.

## 1. Objetivos e introducción

En este trabajo se presenta un análisis de las dosis recibidas por los trabajadores del sector del transporte en España en el periodo de 2003 a 2010, y en particular del transporte por carretera de radiofármacos. En el análisis se detallan las razones de las dosis recibidas por dichos trabajadores, las medidas que se han ido adoptando durante ese periodo para su reducción y las medidas adicionales que se precisarían para conseguir nuevas reducciones, teniendo en cuenta el aumento en los últimos años del número de este tipo de transportes y de los Índices de Transporte (IT) de algunos bultos.

La mayoría de los transportes de material radiactivo en España son consecuencia del uso de este material en los ocho reactores nucleares y alrededor de 1200 instalaciones radiactivas médicas, industriales y de investigación en funcionamiento en el país, de la actividad de producción de elementos de combustible nuclear de la Fábrica de Juzbado y del traslado a la instalación de almacenamiento de El Cabril de los residuos de media y baja actividad generados en las citadas instalaciones y en el desmantelamiento de las centrales nucleares de Vandellós I y de José Cabrera.

Hasta la fecha no se ha realizado ningún análisis cuantitativo detallado del número de transportes que anualmente se pueden estar realizando en España, sin embargo sí se pueden mostrar de manera fidedigna órdenes de magnitud de los

---

\*vam@csn.es

diferentes tipos de transportes, lo que nos permite ubicar en cuales se están produciendo las mayores dosis a los trabajadores del transporte.

En la tabla 1 se recoge un resumen de los transportes de material radiactivo que se están realizando en España. En ella se puede ver el orden de magnitud del número de expediciones anuales para cada clase de transporte. Estas clases se diferencian en función de los tipos de bultos y de la aplicación final del material radiactivo que se transporta. Asimismo, se detallan los modos de transporte utilizados para cada clase y el tipo de empresas de transporte que intervienen.

**Tabla 1. Resumen de los tipos de transportes de material radiactivo realizados en España**

Tipo de bulto	Aplicación del material radiactivo	Transportes al año	Modos de transporte	Transportistas
Exceptuados <b>Tipo A</b>	Investigación Industria <b>Medicina</b>	<b>Miles</b>	Aire (importación)  <b>Carretera</b> (distribución)	Líneas aéreas de pasajeros y de carga  Transportistas no especializados (sólo bultos exceptuados) <b>Transportistas especializados</b> (todo tipo de bulto)
Industriales	Residuos	< 300	Carretera	ENRESA (residuos de las instalaciones radiactivas)  Transportistas especializados (residuos de las instalaciones nucleares)
Tipo B	Equipos de gammagrafia	Cientos	Carretera	Radiógrafos
	Fuentes de alta actividad	< 10	Aire (importación)  Carretera (distribución)	Líneas aéreas de carga  Transportistas especializados
Fisionables	Óxido de uranio Elementos combustibles	60	Mar  Carretera	Navieras de carga  Transportistas especializados

Como puede observarse, el mayor número de expediciones que se llevan a cabo son de bultos tipo A y Exceptuados que transportan material radiactivo destinado a la aplicación médica, industrial o para investigación, siendo la aplicación médica la que sin duda conlleva el mayor porcentaje de los destinos.

La mayor parte de ese material se importa diariamente por vía aérea, desde empresas productoras europeas, tanto en líneas aéreas de pasajeros como en líneas aéreas de carga. Posteriormente, desde los aeropuertos españoles se realiza la distribución final por carretera hasta las instalaciones usuarias. El ferrocarril no se está utilizando actualmente. Salvo algunos transportes de bultos Exceptuados, esa distribución por carretera la realizan empresas especializadas en el transporte de material radiactivo. Actualmente el número de estas empresas es muy pequeño, así como el número total de trabajadores involucrados en las operaciones de transporte.

Es en la distribución por carretera del material destinado a los centros médicos donde se están produciendo las dosis más significativas a los trabajadores del transporte. Esto se debe a que prácticamente todos esos bultos se manejan manualmente en los procesos de carga y descarga y que muchos, como los que contienen generadores de Mo-99/Tc-99m (en adelante Mo/Tc), son de la categoría de transporte III-Amarilla, presentando dosis significativas en la superficie y a un metro.

La propia dinámica del transporte de este tipo de materiales, con radioisótopos de vida media muy corta y, en consecuencia, la necesidad de una distribución muy rápida, obliga a un balance *peso(blindaje)/dosis en superficie* tal que permita agilidad en el suministro, siempre que no se superen los límites de dosis en el exterior de los bultos

establecidos en la reglamentación de transporte de mercancías peligrosas ADR (Acuerdo Europeo para el Transporte de Mercancías peligrosas por Carretera).

**2. Material y métodos**

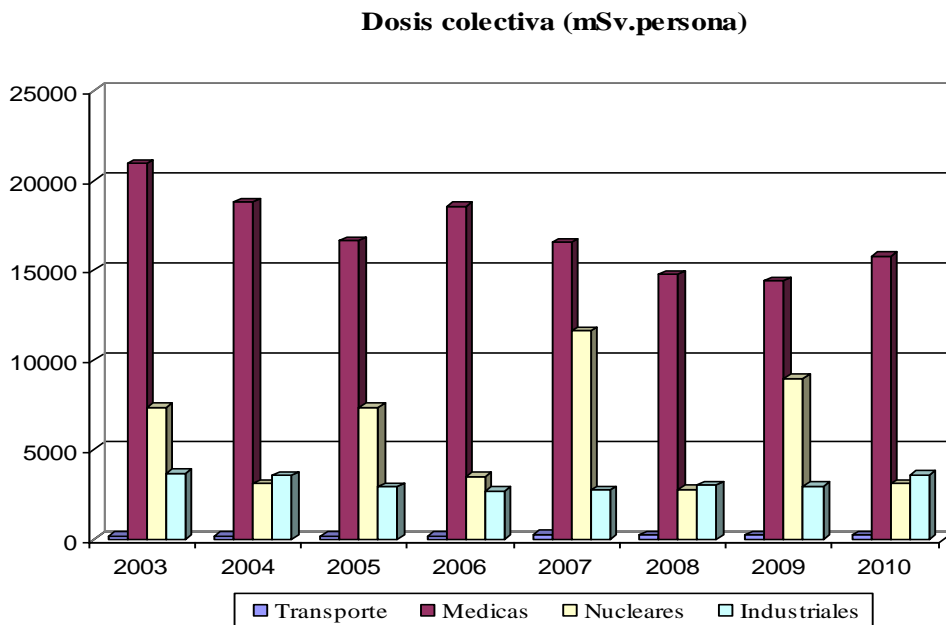
Los resultados de las dosis recogidas en el Banco Dosimétrico Nacional muestran que mientras las dosis colectivas en el sector del transporte se mantienen en valores muy bajos en comparación con otros sectores con exposición a las radiaciones ionizantes, la dosis individual media está entre las más altas. En la Figura 1 puede encontrarse una comparativa de dichas dosis entre los sectores del transporte, el médico, el industrial y el nuclear, desde el año 2003 al 2010. Como puede observarse la dosis colectiva en el transporte es insignificante frente a las de los otros sectores, oscilando en un estrecho intervalo entre 155 y 225 mSv.persona, a pesar de que el número de trabajadores controlados dosimétricamente se ha duplicado desde 2003.

Sin embargo, en la Figura 2 puede observarse que en la mayoría de esos años la dosis individual media más alta se ha dado en el sector del transporte, si bien también se ve una significativa reducción de estos valores en esos años, desde los 4,00 mSv de 2003 a los 2,23) mSv de 2010.

Estos datos de dosis de los primeros años del estudio llevaron al CSN a considerar prioritario el seguimiento de las actividades de transporte que estaban provocando mayores dosis individuales, es decir el suministro de radiofármacos, y requerir que los Programas de Protección Radiológica de las empresas de transporte recogieran medidas específicas para tratar de reducir esas dosis en aplicación del principio ALARA. Para el desarrollo de estos Programas de Protección Radiológica las empresas han seguido la Guía de Seguridad 6.2 <sup>1</sup> del CSN.

Además de los registros en el Banco Dosimétrico Nacional ha sido ese proceso de seguimiento realizado por el CSN el que ha permitido obtener la información necesaria para el análisis que se muestra en este trabajo sobre la evolución de las dosis, sus causas y las medidas necesarias para conseguir reducirlas.

Las dosis consideradas en este trabajo son las dosis profundas registradas en el control dosimétrico mensual de los trabajadores del sector. Se indica que el control dosimétrico realizado sobre muchos de los trabajadores del transporte no se hace sobre la base de su clasificación como trabajadores expuestos, de acuerdo con los criterios del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes sino de manera voluntaria por parte de sus empresas, al considerarlo el método más eficiente para un seguimiento preciso y adecuado de la dosis recibidas por su personal.



**Figura 1. Comparativa por sectores de las dosis colectivas**

### Dosis media individual (mSv)

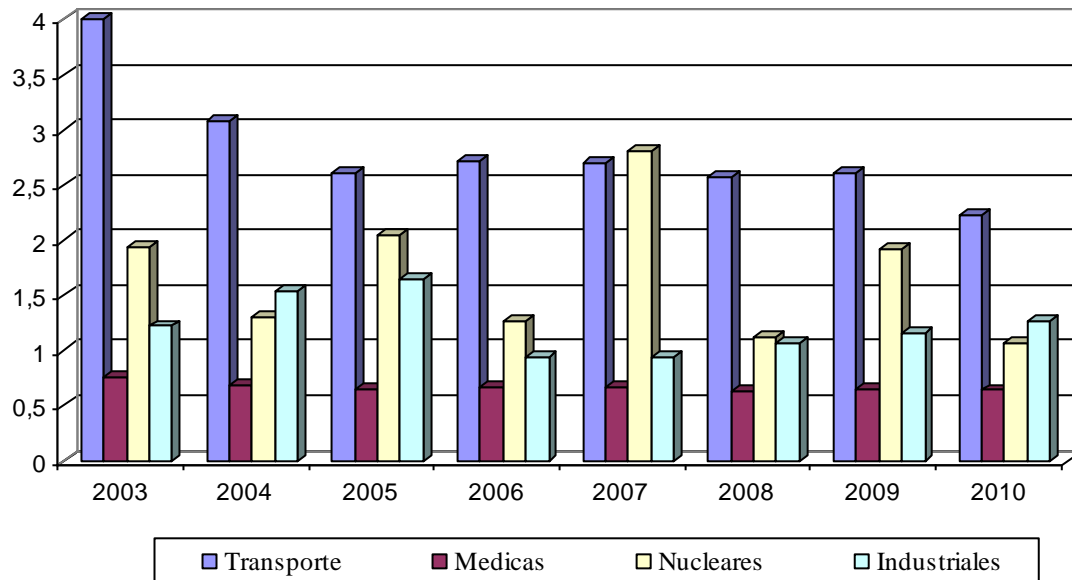


Figura 2. Comparativa por sectores de la dosis media individual

### 3. Resultados y discusión

Tras observar en el apartado anterior la comparativa global de las dosis recibidas por los trabajadores del transporte frente a los de otros sectores, vamos a comenzar el análisis en detalle de las dosis en el sector del transporte para después centrarnos en el área de ese sector donde las dosis son más altas, la del suministro de radiofármacos. Posteriormente, observaremos como han evolucionado las dosis en los últimos años en las dos empresas de transporte que más material radiofarmacéutico han transportado, teniendo en cuenta las medidas adoptadas en ese periodo para tratar de reducirlas.

#### 3.1. Análisis de las dosis recibidas en el sector del transporte y de sus causas

En la tabla 2 se muestra, para el periodo de 2003-2010, un análisis del número de trabajadores en diferentes intervalos de dosis entre 0 y 50 mSv. Antes de realizar el análisis, es importante decir que el número de empresas de transporte que han precisado realizar el control dosimétrico a los trabajadores ha ido aumentando en ese periodo y que en los últimos años no se incluye ninguna del sector aéreo, ya que las medidas realizadas durante varios años han mostrado que todos los trabajadores que intervienen en operaciones de transporte en ese sector se encuentran en valores claramente inferiores a 1 mSv/año.

Las principales conclusiones que se pueden extraer del análisis de los datos mostrados en la tabla son:

- Que el número de trabajadores total es muy bajo, si bien se ha producido un incremento significativo entre 2003 y 2010, desde 54 a 130 trabajadores.
- Que la mayoría de los trabajadores se encuentran en los intervalos inferiores de dosis, desde 0 a 2 mSv.
- Que el número de trabajadores en los intervalos desde 2 a 20 mSv se ha ido incrementando ligeramente en el periodo, manteniéndose entre 30 y 40, si bien el porcentaje de trabajadores en estos intervalos frente al total se ha ido reduciendo drásticamente entre 2003 (50%) y 2010 (29%).
- Que el número de trabajadores en los intervalos entre 6 y 20 mSv se mantiene alrededor de los diez y, aunque de la tabla no se puede deducir, se puede confirmar que suelen ser los mismos trabajadores, aquellos que realizan un tipo de actividad muy concreto.
- Que en ningún caso se ha llegado a producir una superación de los límites anuales de dosis, si bien las dosis máximas anuales, que se pueden observar en la última fila de la tabla, son muy altas y representan una importante fracción del límite anual de dosis.

En definitiva, se puede aseverar que, aunque la mayoría de los trabajadores de transporte se encuentran en los intervalos de dosis bajas, en el sector se están dando dosis altas de manera continuada, dosis que en general son recibidas por las mismas personas.

Además de las conclusiones que se pueden alcanzar por el simple análisis de los datos recogidos en la tabla 2, el seguimiento realizado por el CSN durante estos años ha mostrado:

- Que los trabajadores que reciben las dosis más altas son:
  - Los que realizan las recogidas de las remesas de materiales radiofarmacéuticos en los aeropuertos donde se centraliza la entrada de estos productos en España, por lo que manipulan remesas con un total de Índices de Transporte ( $\Sigma IT$ ) muy alto. Son esos mismos trabajadores los que a su vez transportan esas remesas de  $\Sigma IT$  alto hasta las dependencias centrales de sus empresas de transporte y participan en la descarga y segregación de los bultos radiactivos en función de sus destinos posteriores.
  - Los trabajadores que realizan transportes por carretera de remesas con  $\Sigma IT$  muy altos durante largas distancias.
- Que esas remesas incluyen numerosos bultos con generadores de Mo/Tc con un IT significativo.
- Que respecto a la posible medida de aumentar el número de trabajadores que realicen las operaciones que implican dosis altas, para reducir las dosis individuales, las empresas de transporte indican que tal opción podría suponer la inviabilidad económica del negocio.

Tabla 2. Número de trabajadores por intervalos de dosis y dosis máximas anuales en el sector del transporte

Intervalos de dosis (mSv)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0,00	9	14	16	16	25	33	27	39
0,00-1,00	14	21	24	29	33	31	40	39
1,00-2,00	8	9	11	7	14	14	15	14
2,00-3,00	3	4	6	8	9	14	10	12
3,00-4,00	3	3	4	8	4	4	3	8
4,00-5,00	2	3	6	3	6	4	3	5
5,00-6,00	3	1	0	1	5	5	1	4
6,00-10,00	6	6	7	5	9	7	9	7
10,00-20,00	6	4	3	5	3	2	3	2
20,00-50,00	0	0	0	0	0	0	0	0
Dosis máxima anual (mSv)	14,10	14,24	14,10	12,36	11,96	17,13	18,67	13,35

### 3.2 Evolución de las dosis en los principales transportistas de radiofármacos entre 2003 y 2010

Como ya se ha indicado, a lo largo del periodo 2003-2010 se ha observado una reducción de la dosis individual media en el sector del transporte, sin embargo es interesante profundizar en esta evolución para relacionarla con las medidas que durante este periodo se han implantado en las empresas para reducir las dosis.

Este análisis lo vamos a centrar en las dos principales empresas de transporte en el sector de material radiofarmacéutico. Identificaremos estas empresas como T1 y T2. La empresa T1 está prácticamente especializada en el suministro de radiofármacos, aunque realiza otros tipos de transportes que, en comparación, pueden calificarse como esporádicos. La empresa T2 realiza transportes de material radiactivo de todo tipo, si bien el número de transportes de radiofármacos es significativo respecto al total y además se han ido incrementando de manera importante a lo largo del periodo objeto de análisis.

En las Figuras 3 y 4 se puede observar la evolución de la dosis media individual y de la dosis colectiva en ambas empresas.

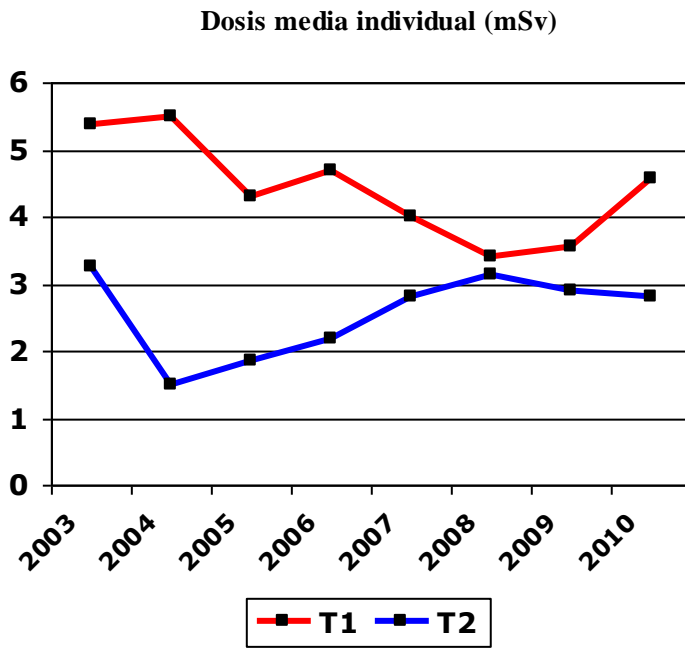


Figura 3. Evolución de la dosis media individual

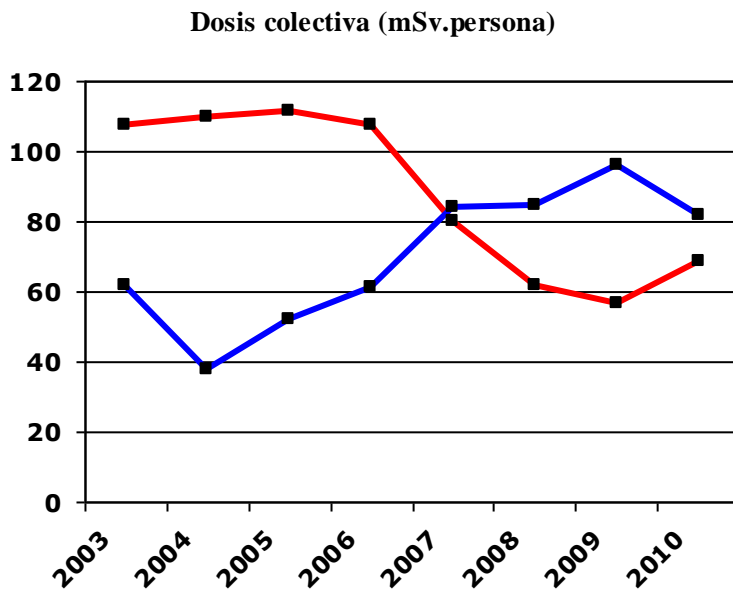


Figura 4. Evolución de la dosis colectiva

La dosis individual media en la empresa T1, prácticamente especializada en el transporte de radiofármacos, se ha reducido de manera importante desde los 5,38 mSv hasta los 3,55 mSv en el año 2009, observándose un despunte a 4,56 mSv en el último año. Se observa también la misma evolución en la dosis colectiva, aunque se ha reducido el número de trabajadores alrededor de la veintena a 15 en el 2010. Además es significativo señalar que el número de trabajadores en el intervalo de entre 10 a 20 mSv ha pasado desde alrededor de cinco en el periodo 2003-2006 a uno en los años 2009 y 2010.

En el periodo de estudio, la empresa T1 puso en vigor su Programa de Protección Radiológica, introduciendo medidas conducentes a la reducción de dosis tales como: evaluaciones dosis/tarea, definición precisa de niveles de dosis de referencia (registro, investigación e intervención), análisis anual de la evolución de las dosis, mejoras en los procedimientos de carga y descarga y otras operaciones con dosis significativas, utilización de mamparas de blindaje para separar la cabina de conducción y la zona de carga de los vehículos, estiba de los bultos en la zona más alejada de la cabina del vehículo, incremento de la formación de los trabajadores y rediseño de las instalaciones donde se realizaban operaciones de carga, descarga y segregación de los bultos radiactivos. Es importante señalar que la fase de reducción más significativa de las dosis coincide con un cambio en el diseño de las instalaciones, pasando a tener espacios más amplios que llevan a distancias mayores entre las zonas de almacenamiento de bultos radiactivos y las áreas donde los trabajadores realizan operaciones de carga, descarga y segregación de bultos.

También es fundamental señalar que esta reducción de dosis en la empresa T1 durante el periodo 2003-2007 se produce a pesar de que, en el mismo periodo de análisis, se incrementó el total anual de los IT de los bultos transportados ( $\Sigma$  IT anual), como puede observarse en la Figura 5. En particular, se han incrementado los IT en los bultos de generadores de Mo/Tc, suministrándose en algunos casos generadores con valores de IT a salida de las instalaciones del fabricante de hasta 4,5 (40,5  $\mu$ Sv/h a 1 metro del bulto). Posteriormente, en los años 2007-2010 se observa una reducción de los IT debido fundamentalmente a que se ha reducido el número de transportes de radiofármacos que realiza esta empresa. No obstante, a pesar de las medidas puestas en vigor, se observa un estancamiento de la dosis individual media de esta empresa alrededor de los 4 mSv.

En el caso de la empresa T2 la evolución ha sido diferente, incrementándose tanto la dosis media individual como la colectiva en el periodo 2004-2008, tras una repentina caída desde 2003, observándose que en los años 2009 y 2010 ha comenzado una pequeña reducción. El aumento gradual entre 2004 y 2008 se ha debido asimismo al paulatino incremento de la dedicación de esta empresa al transporte de radiofármacos y también a la realización de transportes por carretera de grandes remesas procedentes de Europa, remesas que anteriormente se transportaban por vía aérea. También en esta empresa se desarrolló y aplicó el Programa de Protección Radiológica en este periodo y se han aplicado medidas específicas de evaluación y reducción de las dosis similares a las de la empresa T1. Sin duda esas medidas han permitido mantener los valores de dosis media individual en niveles alrededor de los 3 mSv.

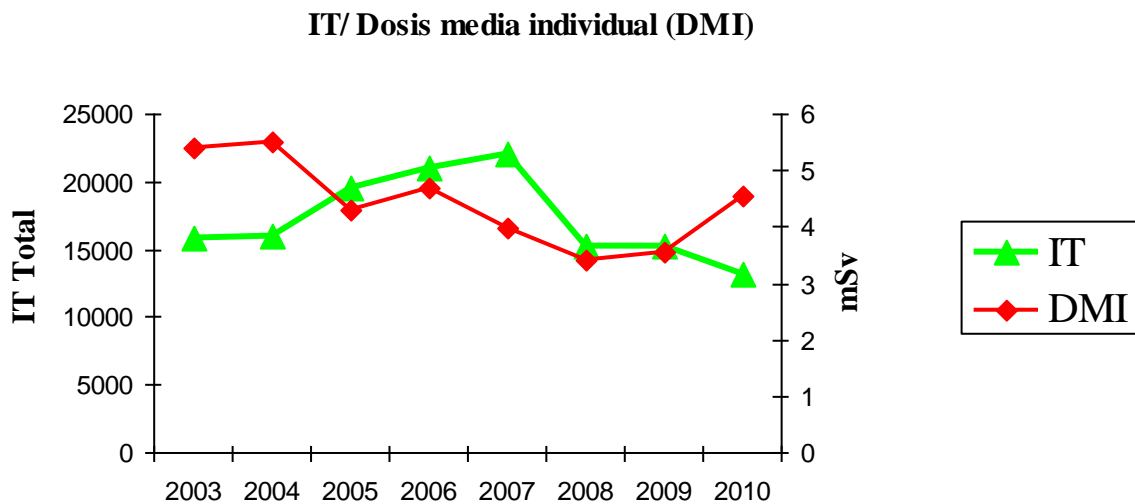


Figura 5. Evolución de la Dosis media individual (DMI) frente al  $\Sigma$  IT anual en la empresa T1



En definitiva, en general se observa que las medidas específicamente adoptadas por las empresas de transporte en aplicación de sus Programas de Protección Radiológica han sido efectivas para conseguir reducir las dosis ostensiblemente o al menos para evitar un importante incremento a pesar del aumento del número de transportes de material radiofarmacéutico. No obstante, independientemente de las variaciones que se puedan dar en las dosis individuales en casos concretos debido a la propia evolución en esta actividad de las diferentes empresas de transporte, se observa un claro estancamiento en los últimos años en los valores de dosis media individual de las empresas que más transportes realizan y del dato global de la dosis media individual del sector, que se mantiene alrededor de los 2,23 mSv.

Cabe pues preguntarse si es posible reducir aún más las dosis de los trabajadores del transporte en aplicación del principio ALARA. Al respecto, aunque las propias empresas de transporte pueden, sin duda, mejorar en la aplicación de las medidas que han diseñado para la reducción de las dosis a sus trabajadores y pueden seguir trabajando para el desarrollo de otras nuevas, en nuestra opinión, debido a la propia dinámica del mercado de los radioisótopos, que se puede resumir muy brevemente con el lema *obligación de agilidad y rapidez en el suministro*, difícilmente las empresas de transporte por sí solas conseguirán reducciones drásticas de las dosis de sus trabajadores, más cuando se evidencia un incremento paulatino de las expediciones de radiofármacos.

Sin embargo, es posible que se pudiera conseguir esa reducción drástica de las dosis con una mayor colaboración e implicación en el objetivo de los otros elementos básicos en la cadena del transporte: los suministradores y los receptores. Aunque se entiende que el sistema del suministro de radioisótopos en España no es muy diferente del implantado de manera globalizada en otros países, estimamos que por parte de los suministradores y los receptores cabe hacerse la pregunta básica de **si es posible una mayor optimización de la actividad transportada**. Es decir:

- ¿La actividad del material radiactivo que se transporta, particularmente en el caso de los generadores de Mo/Tc, es tan baja como razonablemente es necesaria para su uso final por el receptor?,
- ¿Es posible reducir los periodos de suministro (productor-receptor)?,
- ¿Es posible reducir los periodos de almacenamiento en tránsito desde el fabricante hasta el uso del material?,
- ¿Se aprovecha eficientemente toda la actividad suministrada?

Además de esas cuestiones, que se estiman como fundamentales en la discusión que aquí se presenta, existen otras medidas que tanto los suministradores como los centros médicos receptores podrían poner en práctica, tales como: un mayor uso en el transporte de generadores de Mo/Tc de blindajes de mayor densidad que el plomo, como el uranio empobrecido o el tungsteno, la facilitación del acceso a los centros médicos de los transportistas para evitarles largos recorridos hasta la dependencias que reciben el material radiactivo o incluso la implicación del propio personal de los centros médicos en la recepción de los bultos radiactivos.

En definitiva, la reducción drástica de las dosis probablemente pasaría por una combinación de medidas, que incluyeran no sólo las de las empresas de transporte sino también otras que podríamos denominar ‘medidas estructurales’ que afectarían al proceso global del transporte y en las que se implicaran los suministradores y los centros receptores de radiofármacos.

#### 4. Conclusiones

Del análisis efectuado se pueden extraer las conclusiones fundamentales siguientes:

- Las dosis más altas en el sector del transporte se reciben en el suministro por carretera de radiofármacos, en especial debido a las operaciones de carga, descarga y transporte de bultos de grandes remesas de estos materiales.

- Las dosis en el transporte de radiofármacos se pueden calificar como altas, aunque nunca superiores a los límites de dosis, y son recibidas por los mismos trabajadores, aquellos implicados en las actividades citadas en el punto anterior.
- En particular los bultos que contienen generadores de Mo/Tc, con valores de IT altos, contribuyen de manera importante a las dosis del sector.
- Las medidas adoptadas por las empresas de transporte en aplicación de sus Programas de Protección Radiológica se han demostrado efectivas en la reducción de las dosis de los trabajadores, a pesar del incremento de las expediciones de radiofármacos. Se ha demostrado como una de las medidas más eficientes un adecuado diseño de las instalaciones de almacenamiento, carga, descarga y segregación de bultos radiactivos.
- Una reducción más significativa de las dosis de los trabajadores que realizan las operaciones de mayor riesgo radiológico se conseguiría con la intervención de un mayor número de trabajadores y su rotación en esas operaciones; sin embargo, en muchos casos esta opción no es viable económicamente para las empresas.
- La reducción drástica de las dosis de los trabajadores del transporte podría conseguirse con una mayor implicación de los suministradores y de los centros receptores en el ámbito de sus propias actividades, fundamentalmente tratando de optimizar al máximo la actividad de material radiactivo que se transporta.

Por último, decir que el dibujo de las dosis en el sector del transporte en España aquí descrito no es muy diferente del de otros países con similares usos o aplicaciones del material radiactivo, en particular si nos centramos en el sector radiofarmacéutico, tal como se muestra en numerosas referencias<sup>2,3,4,5</sup>.

#### **REFERENCIAS**

- [1] Guía de Seguridad 6.2 sobre Programa de protección radiológica aplicable al transporte de materiales radiactivos. Consejo de Seguridad Nuclear. 2003.
- [2] J.S. Hughes, M.T. Lizot, S. Trivelloni, G. Schwarz, J.F.A. van Hienen. Statistics on the traffic of radioactive material, and the resulting radiation exposures, in the European Union and applicant countries. 14<sup>th</sup> International Symposium on the Packaging and Transportation of radioactive materials (PATRAM). 2004 September 20-24. Berlin. Germany.
- [3] F.D. Ferate II. The transport of radiopharmaceuticals in the United States. 14<sup>th</sup> International Symposium on the Packaging and Transportation of radioactive materials (PATRAM). 2004 September 20-24. Berlin. Germany.
- [4] J.S. Faile. Implementation of the radiation protection program for carriers in Canada. 15<sup>th</sup> International Symposium on the Packaging and Transportation of radioactive materials (PATRAM). 2007 October 21-26. Miami. Florida. USA.
- [5] J.D. Bemelmans, M.C. Barbosa Neves, H. Nogueira. Case study: occupational exposures in the transport of radioactive material – REM Industria e Comercio LTDA. Brazil. INAC 2007. Santos. Brazil.
- [6] J.F. Zamora, V. Aceña; E. Rubio. “Análisis de las dosis en el transporte de radiofármacos” XVII Congreso nacional de SEFM y XII Congreso nacional de SEPR . Alicante, 2-5 de junio de 2009.
- [7] J.F. Zamora, V. Aceña; E. Rubio. “Analysis of doses received by workers transporting radiopharmaceuticals in Spain” 16<sup>th</sup> International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials” (PATRAM). 2010 October 3-8 London (United Kingdom).