

El transporte de material radiactivo





Transporte de residuos radiactivos y de combustible nuclear irradiado



El transporte de material radiactivo

Transporte de residuos radiactivos y de combustible nuclear irradiado



Referencia: MCA-02.16

Pubicado y distribuido por:

Consejo de Seguridad Nuclear Pedro Justo Dorado Dellmans, 11 28040 Madrid www.csn.es peticiones@csn.es

Diseño: Sendín & Asociados **Impresión**: Advantia

Depósito Legal: M-11791-2016

La presente publicación monográfica tiene por objeto proporcionar información divulgativa sobre el transporte de material radiactivo y, en particular, sobre el transporte de residuos radiactivos y de combustible nuclear irradiado.

Esta publicación responde a una recomendación formulada por el Comité Asesor para la Información y Participación Pública del Consejo de Seguridad Nuclear, que fue creado por el artículo 15 de la Ley 15/1980.

PRÓLOGO

El documento, tras identificar las principales fuentes de generación de residuos radiactivos y referir al proceso de gestión vigente en España, describe los requisitos definidos por la normativa para el transporte seguro del material radiactivo, señalando las particularidades para el caso de los residuos radiactivos y el combustible irradiado, y especialmente para el combustible gastado.

A lo largo de la exposición, además de identificar el marco regulador que se aplica al transporte de material radiactivo y los principales requisitos para un desarrollo seguro de la actividad, se resaltan las particularidades del transporte de residuos de muy baja, baja y media actividad, así como del combustible irradiado y de los residuos de alta actividad. Asimismo, se informa sobre los riesgos radiológicos en el desarrollo de los transportes de material radiactivo, especificando las dosis que pueden recibir los miembros del público y los trabajadores durante el desarrollo de las operaciones de transporte, así como sobre las incidencias en el desarrollo de esta actividad.

Esta publicación se apoya en documentos ya publicados por el Consejo de Seguridad Nuclear en relación con el transporte de material radiactivo, en la normativa vigente sobre la materia y en las referencias que se listan en la última sección.

Esta publicación recoge términos, conceptos y magnitudes de protección radiológica que no son objeto especificado de desarrollo.

- 7 Introducción
- 13 Marco legal del transporte de material radiactivo
- 19 Requisitos para el transporte seguro de los materiales radiactivos
- 39 El transporte de residuos radiactivos de muy baja, media y baja actividad
- 45 El transporte de combustible irradiado y de residuos de alta actividad
- Riesgos en el transporte: dosis a los trabajadores y al público
- 63 Sucesos en el transporte de material radiactivo
- 77 El sistema español de transporte de residuos radiactivos en el entorno internacional
- 83 Referencias

Introducción

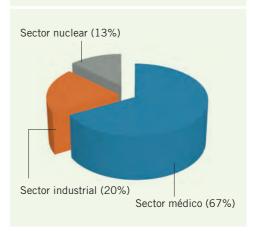
El material radiactivo es utilizado extensamente por la sociedad actual con fines médicos, industriales o de investigación, así como en las instalaciones relacionadas con el ciclo del combustible nuclear para la producción de energía. Como consecuencia de estas aplicaciones, cada año se transportan en el mundo decenas de millones de bultos conteniendo material radiactivo utilizando los cuatro modos de transporte: carretera, ferrocarril, aéreo y marítimo [1,2]. Aún así, el porcentaje de estos transportes respecto a los de mercancías peligrosas es muy pequeño.

Cantidad de transportes de material radiactivo frente a otras mercancías Fuente: [2]

Tipo de transporte	Fracción de mercancías peligrosas transportadas del total de mercancías	Fracción material radiactivo transportado del total de mercancías peligrosas	
Carretera	15%	<2%	
Ferrocarril	20%	<2%	
Aéreo	3-4%	<10%	
Marítimo	50%	<1%	

Distribución por sectores de los transportes de material radiactivo

Fuente: [3]



La generación de residuos es consustancial a la mayoría de las actividades desarrolladas por el ser humano y el uso del material radiactivo en las actividades antes citadas no es una excepción, generándose en consecuencia residuos radiactivos.

La gestión de los residuos radiactivos comprende una serie de actividades, desde que se generan hasta que se almacenan de forma temporal o definitiva, que también incluyen su transporte. El número de estos transportes supone una fracción muy pequeña frente al total de transportes de material radiactivo que se realizan en el mundo, ya que la mayoría se llevan a cabo dentro del suministro de radioisótopos en el sector médico y, más concretamente, en el ámbito de la medicina nuclear. En España, la gestión final de los residuos radiactivos está encomendada a la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, SA (Enresa) y el transporte de estos residuos forma parte de la misma. Las fuentes radiactivas fuera de uso suministradas desde otros países son, en general, devueltas al suministrador por los usuarios para su gestión definitiva, si bien el número de transportes asociados a esta actividad es muy inferior al de los realizados por Enresa.

En cuanto al combustible irradiado, su transporte puede ser necesario como consecuencia del desarrollo de actividades de investigación o bien para el reprocesado o la gestión como residuo radiactivo, que también está encomendada a Enresa.

El Consejo de Seguridad Nuclear ejerce la supervisión y el control de los residuos radiactivos generados en las instalaciones nucleares y radiactivas, cubriendo las fases de generación, acondicionamiento, transporte y almacenamiento. El objetivo de estos controles es garantizar que la gestión de los residuos sea segura y que no suponga un riesgo radiológico inaceptable para las personas y para el medio ambiente, tanto en el presente como en el futuro.

¿Qué es un residuo radiactivo?

En España el concepto de "residuo radiactivo" está definido en el artículo 2 de la Ley 25/1964 sobre energía nuclear [4]:

«Residuo radiactivo»: cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear.

El combustible nuclear irradiado (en adelante combustible irradiado) es una sustancia nuclear que ha sido irradiada en un reactor y que puede llegar a ser considerado "combustible gastado".

El concepto de "combustible gastado" se define en el Real Decreto 102/2014 para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos [5]:

«Combustible nuclear gastado»: El combustible nuclear irradiado en el núcleo de un reactor y extraído permanentemente de éste. El combustible nuclear gastado puede o bien considerarse un recurso utilizable que puede reprocesarse o bien destinarse al almacenamiento definitivo si se considera residuo radiactivo.

Por tanto, el combustible nuclear gastado (en adelante combustible gastado) puede ser considerado residuo radiactivo o no, en función de su posible reutilización.

El concepto "residuo radiactivo" no es utilizado en el ámbito de la normativa de transporte de material radiactivo

Tipos de residuos. Su gestión y transporte

Solo desde el punto de vista de su gestión final, los residuos radiactivos se clasifican en tres categorías, teniendo en cuenta su actividad inicial y el periodo de semidesintegración ($T_{1/2}$) de los radionucleidos que mayoritariamente contengan:

- 1. Residuos de muy baja actividad.
- De vida corta y media (T_{1/2} menores de 30 años)
- De vida larga (T_{1/2} mayores de 30 años)
- 2. Residuos de baja o media actividad.
 - De vida corta y media
- De vida larga
- 3. Residuos de alta actividad.

En la tabla se muestra la clasificación de los residuos radiactivos en España con sus vías de gestión ya operativas o previstas. Gran parte de estos residuos son transportados hacia el Centro de almacenamiento de El Cabril, cuyo titular es Enresa. Además, está previsto que en el futuro se transporten los residuos de alta actividad, que incluyen al combustible gastado, al Almacén Temporal Centralizado (ATC), que actualmente está en proceso de licenciamiento a solicitud de Enresa.

Es muy importante dejar claro que la clasificación antes descrita solo se realiza a los efectos de la gestión final del residuo, pero no aplica como tal al ámbito de transporte.

La normativa de transporte de mercancías peligrosas establece requisitos para el transporte de material radiactivo basándose en sus características físicas y radiológicas, de manera que los "residuos radiactivos" no se contemplan como un tipo de material específico para los que se definan requisitos particulares.

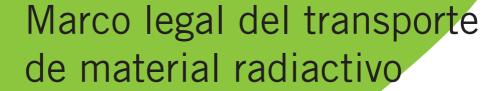
Clasificación de los residuos radiactivos. Vias de gestión					
	Periodo de semidesintegración				
Actividad inicial	Vida corta y media Principales elementos T _{1/2} <30 años	Vida larga Principales elementos T _{1/2} >30 años			
Muy baja actividad ^[1]	Almacenamiento en superficie existente: Centro de almacenamiento "El Cabril"	Estabilización "in situ" en los emplazamientos mineros			
Baja y media actividad ^[2]	Almacenamiento en superficie existente: Centro de almacenamiento "El Cabril"	Previsto en Almacén Temporal Centralizado en superficie (ATC)			
Alta actividad [3]	Almacenamiento "in situ", en Almacenes Temporales Individuales (ATI) Previsto en Almacén Temporal Centralizado (ATC) en superficie				

- [1] Contienen una cantidad muy baja de radionucleidos, del orden de 10 a 1.000 Bq/g
- [2] Contienen entre 1.000 y 1.000.000 de Bq/g, con menos de 10.000 Bq/g de radionucleidos de vida larga
- [3] Contienen cantidades de radiactividad muy elevadas y son generadores de calor. En España estos residuos son fundamentalmente los elementos combustibles una vez utilizados en las centrales nucleares (Combustible gastado)

Retirada de residuos radiactivos.

Fuente: Enresa





El transporte de material radiactivo ha de ajustarse a requisitos específicamente relacionados con el transporte y otros que con carácter general afectan a cualquier actividad que involucre material radiactivo.

El transporte de material radiactivo, y por tanto de los residuos radiactivos, ha de cumplir con dos conjuntos básicos de requisitos:

- Los enfocados específicamente al proceso de transporte, que incluyen disposiciones sobre el diseño de los embalajes, además de otros de carácter operativo, como los requisitos de señalización, de documentación o de licenciamiento.
- Los que, con carácter general, afectan a cualquier actividad en la que se utiliza un material radiactivo, como son los requisitos de protección contra las radiaciones de los trabajadores y el público o la protección física de ese material.

Recomendaciones relativas al TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS Reglamentación Modelo Actiones unidas NACIONES UNIDAS



Normativa específica sobre transporte de material radiactivo

El constante incremento a mediados del siglo XX de los transportes internacionales de mercancías peligrosas evidenció la necesidad de armonizar los requisitos para el transporte de estas mercancías, ya que eran enormes las dificultades que entrañaba su transporte interfronterizo debido a las diferentes estructuras reglamentarias de los países.

Por tal motivo, en los años 50 del pasado siglo surge en el seno de las Naciones Unidas (ONU) el proyecto de elaborar unas recomendaciones sobre el transporte de mercancías peligrosas que sirvieran de base para la elaboración de las reglamentaciones internacionales y nacionales en los diferentes modos de transporte. Así surgieron las *Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas* [6], cuya primera edición aparece en 1957 y que de manera coloquial han sido denominadas "Libro Naranja", por el color utilizado en sus tapas.

El Libro Naranja clasifica las mercancías peligrosas en 9 clases, de las cuales el material radiactivo es la clase 7.

Las disposiciones del Libro Naranja que se aplican al transporte del material radiactivo se extraen de las recogidas en un documento del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) denominado *Reglamento para el transporte seguro de material radiactivo* [7]. La primera edición de este reglamento fue publicada en 1961 y se ha ido modificando en sucesivas ediciones hasta la que se encuentra en vigor, que fue publicada en 2012 con la denominación SSR-6 (*Specific Safety Requirements* nº 6).

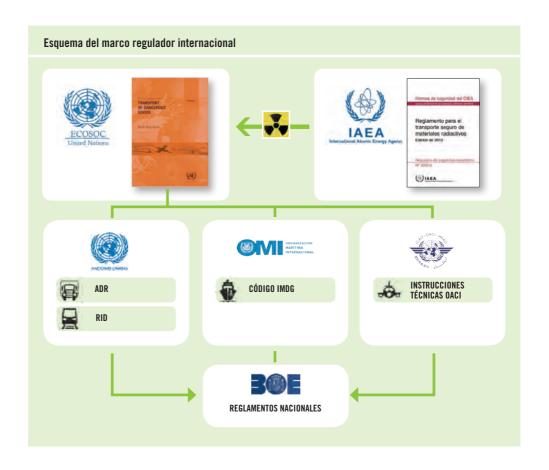
Las recomendaciones del Libro Naranja de la ONU, incluidas aquellas que se aplican al transporte de material radiactivo, se trasladan, ya con carácter de obligado cumplimiento, a los reglamentos internacionales y nacionales que regulan el transporte de mercancías peligrosas por carretera, ferrocarril, vía aérea y vía marítima. Por tanto, el Reglamento de transporte del OIEA es la fuente primordial de los requisitos sobre transporte de material radiactivo en todo el mundo.

En el caso concreto de España, nuestra legislación nacional sobre transporte de mercancías peligrosas por carretera, ferrocarril y vía aérea [8, 10, 12] remite al cumplimiento de los siguientes reglamentos internacionales basados en las recomendaciones del Libro Naranja y, por tanto, en las disposiciones del Reglamento de transporte del OIEA:

- Acuerdo europeo para el transporte de mercancías peligrosas por carretera (ADR) [9].
- Reglamento Internacional sobre el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril (RID) [11].
- Instrucciones técnicas para el transporte sin riesgo de mercancías peligrosas por vía aérea de la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) [13].
- Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas de la Organización Marítima Internacional (OMI) (Código IMDG) [14].



Los requisitos aplicables al transporte de material radiactivo están incluidos dentro de la normativa por la que se rige el transporte de las mercancías peligrosas.



El esquema de arriba resume el marco regulador internacional que se aplica al transporte de mercancías peligrosas y, por tanto, a la materia radiactiva.

Además de la citada normativa, el Consejo de Seguridad Nuclear ha publicado una serie de Instrucciones técnicas (*Instrucciones de Seguridad o IS*) que incluyen disposiciones que se aplican al transporte de material radiactivo: sobre aspectos operativos (IS-34); sobre modi-

ficaciones de diseño de bultos (IS-35); sobre formación de personal (IS-38) y sobre fabricación de embalajes (IS-39) [18, 26, 39, 40].

Las IS del CSN tratan de concretar aquellos aspectos que no están suficientemente especificados en la reglamentación sobre transporte de mercancías peligrosas.

Protección contra las radiaciones ionizantes

El transporte de material radiactivo es una actividad con riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes. En consecuencia, al transporte le afectan plenamente todos los

> requisitos recogidos en nuestra legislación nacional sobre la materia: el Reglamento sobre protección sanitaria contra las radiaciones

ionizantes [15]. Por tanto, cuestio-

nes como el principio ALARA (las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzcan exposiciones potenciales, deberán mantenerse en el valor más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores económicos y sociales) o los límites de dosis a los trabajadores y al público, que se aplican a la utilización del material radiactivo en las instalaciones nucleares y radiactivas, lo hacen de la misma manera a su transporte.

Protección física

Algunos materiales radiactivos tienen unas características tales que el concepto de seguridad no se ha de limitar a la seguridad tecnológica u operacional, que tiene como objeto evitar que estos materiales o las radiaciones que emiten escapen a las barreras que los contienen, sino que en ese concepto de seguridad también hav que tener en cuenta otros aspectos, como son los relativos a la protección física de esos materiales para impedir que sean objeto de sabotaje, robo o desvío para su uso indebido.

Los requisitos de protección física de los transportes de material radiactivo se establecen en el Real Decreto 1308/2011 [16].

NORMATIVA DE ÁMBITO GENERAL APLICABLE AL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIACTIVO

Requisitos para el transporte seguro de materiales radiactivos

Al tratarse de "materiales radiactivos", los requisitos para el transporte de residuos radiactivos y combustible irradiado están totalmente encuadrados en los requisitos definidos por la reglamentación citada en la sección 2.

TRANSPORTE
DE MATERIALES
RADIACTIVOS

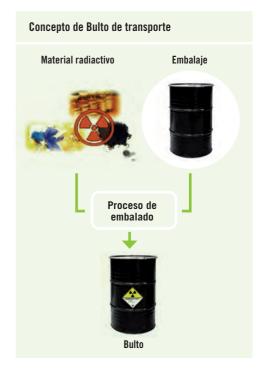
En esta sección se resumirán los requisitos fundamentales para el transporte de material radiactivo, resaltando su aplicación al caso particular de los residuos radiactivos y del combustible irradiado.

La seguridad en el trans-

porte se basa fundamentalmente en la seguridad del embalaje, teniendo carácter secundario los controles operacionales durante el desarrollo de las expediciones. Desde este punto de vista, la reglamentación se centra en los requisitos de diseño de los embalajes y en las normas que ha de cumplir el expedidor de la mercancía, que es quien prepara el bulto

(embalaje más contenido) para el transporte.

La seguridad en el transporte se basa fundamentalmente en la seguridad del embalaje. El Bulto de transporte es el embalaje más el contenido.



Objetivos de los requisitos

Los objetivos básicos de los requisitos para el transporte de material radiactivo se recogen en la tabla de la página siguiente.

Requisitos de diseño de bulto. Enfoque graduado según el riesgo. Tipos de bulto

La reglamentación se centra en los requisitos de diseño de los embalajes y en los que ha de cumplir el expedidor de la mercancía, que es quien prepara el bulto para el transporte.

Los requisitos de los embalajes son más exigentes al aumentar el riesgo del contenido. A mayor riesgo del contenido las condiciones de Los requisitos de los embalajes son más estrictos al aumentar el riesgo de su contenido y de las condiciones de transporte que han de soportar: rutinarias, normales o de accidente.

transporte que han de superar los bultos son más duras: rutinarias, normales (pequeñas incidencias) o accidentes. Basándose en ello los bultos se clasifican en cinco tipos: Exceptuados, Industriales, tipo A, tipo B o tipo C.

En el gráfico, abajo a la derecha, se describen los tipos de bulto en función de las condiciones de transporte que deben soportar. Como se puede observar, a partir de una determinada actividad del material radiactivo (A₁ o A₂: parámetros directamente relacionados con el riesgo) el bulto debe resistir condiciones de accidente grave, zonas roja y violeta del gráfico (bultos tipo B y C).

En la zona de color amarillo tenemos unos tipos de bulto (A, Industriales tipo 2 y 3) diseñados para soportar solo condiciones normales de transporte, que incluyen pequeñas incidencias. En la zona verde se sitúan los bultos que, al contener materiales de muy bajo riesgo, solo han de soportar las condiciones rutinarias de transporte (bultos Exceptuados e Industriales tipo 1).

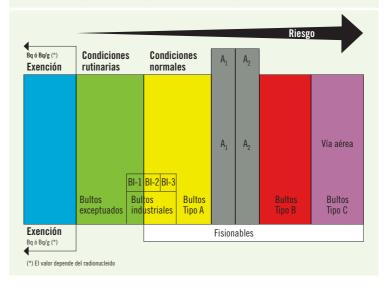
El área en azul indica que por debajo de cierta actividad (Bq) o actividad específica (Bq/g) del material radiactivo, su transporte queda exento de los requisitos reglamentarios y puede ser transportado como una mercancía no radiactiva, al no conllevar riesgos.

Además, cuando el contenido es hexafluoruro de uranio (UF₆) o materiales fisionables, se generan bultos que han de cumplir requisitos adicionales relacionados con los riesgos particulares de esas sustancias. Así, en el caso de los que contienen material fisionable, tendre-

Objetivos de los requisitos para el transporte de material radiactivo

Objetivo a cumplir	Cómo cumplirlo
La contención de los materiales radiacti- vos dentro de los embalajes, para impedir su dispersión y la posible contaminación de las personas y el medio ambiente.	A través de la resistencia mecánica del embalaje, que será más o menos exigente según el riesgo del contenido (enfoque graduado).
El control de la radiación externa en el exterior de los bultos para prevenir el riesgo de las radiaciones emitidas por los materiales radiactivos.	Utilizando materiales de blindaje en los bultos y advirtiendo de los niveles de radiación en su exterior mediante señalizaciones.
Evitar los daños derivados del calor que emiten ciertos bultos de transporte.	A través del diseño de los embalajes y de las condiciones de estiba de los bultos durante el transporte.
Evitar la posibilidad de una reacción en cadena (criticidad) cuando se transportan materiales fisionables.	Mediante un adecuado diseño de los embalajes y limitando el contenido de ma- terial fisionable de cada bulto y el número de bultos en cada envío.

Condiciones que han de cumplir los diferentes tipos de bulto

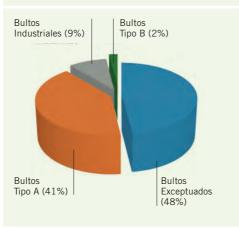


mos bultos Industriales Fisionables (IF), tipo A Fisionables (AF), tipo B Fisionables (BF) o tipo C Fisionables (CF).

La gran mayoría de los transportes (alrededor del 90%) se llevan a cabo en bultos Exceptuados o del tipo A (su diseño no precisa soportar accidentes graves). Ver el gráfico siguiente.

Distribución aproximada del uso de los tipos de bulto

Fuente: [3]





Bultos exceptuados

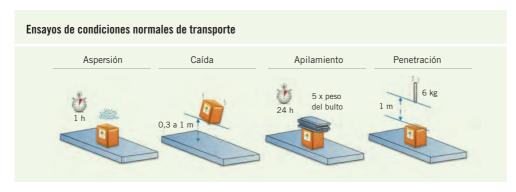
Contienen cantidades tan pequeñas de materiales radiactivos que se diseñan para soportar solo las condiciones rutinarias de transporte. Solo han de cumplir unas condiciones generales de diseño (fácil manipulación, posible sujeción, fácil descontaminación, etc.). Su transporte está exceptuado de la mayoría de los requisitos.

Normalmente contienen pequeñas cantidades de material radiactivo de uso en la investigación y en el diagnóstico médico o en productos de consumo como los detectores de incendios.

Bultos industriales

Se emplean para el transporte de materiales denominados de Baja Actividad Específica (BAE) y Objetos Contaminados Superficialmente (OCS). Hay tres subtipos:

- Bultos industriales tipo 1 (BI-1). Como los bultos Exceptuados, se diseñan para soportar sólo las condiciones rutinarias de transporte, pero tienen mayores requisitos de señalización y de documentación. En ellos se transportan minerales, uranio natural y materiales de muy baja actividad específica.
- Bultos industriales tipo 2 (BI-2). Tienen los requisitos de los BI-1 y además han de superar dos ensayos: caída libre y apilamiento.
- Bultos industriales tipo 3 (BI-3). Tienen los requisitos de los BI-2 y además han de superar dos ensayos adicionales: de aspersión con agua y penetración.



Los bultos Industriales son los más utilizados en el transporte de residuos radiactivos de baja y media actividad.



Bultos industriales utilizados pata el transporte de residuos de media y baja actividad (Fuente: Enresa)

Los ensayos a los que se someten los BI-2 y BI-3 simulan las condiciones normales de transporte, que incluyen incidencias como pequeñas caídas, golpes, apilamientos, lluvia, etc. (Ver el gráfico de arriba). No es preciso que el diseño de estos bultos soporte las condiciones de accidente grave, pues el riesgo de su contenido es muy limitado, ya que el material radiactivo está distribuido en una gran cantidad de otro material inactivo o en su superficie.

Muchos de estos embalajes son similares a bidones utilizados en la industria convencional y pueden llevar el contenido inmovilizado con una sustancia ligante como el hormigón.

Bultos de tipo A

Están previstos para transportar de modo seguro actividades relativamente pequeñas de materiales radiactivos, que no pueden ser calificadas como BAE u OCS.

Deben soportar todos los ensayos de los bultos BI-3 y someterse a algunas pruebas adicionales si el contenido es líquido o gaseoso.

Como su diseño no ha de soportar las condiciones de accidente, su contenido está limitado por unos valores máximos de actividad (A₁ ó A₂), que dependerán de si los materiales no se pueden dispersar porque están encapsulados en forma especial (A₁) o sí pueden hacerlo (A₂).

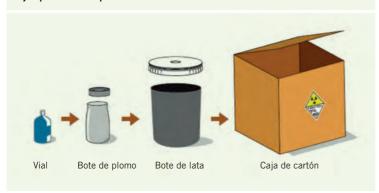
Material en forma especial: gracias al encapsulamiento el material
es de difícil dispersión o
disgregación, lo que se demuestra mediante ensayos
destructivos específicos. El
diseño de estos materiales
está sujeto a aprobación
previa.

Estos dos valores de actividad varían para cada radionucleido en función de su radiotoxicidad. Esta limitación implica que, en el caso de una pérdida de contención o blindaje de estos bultos, los riesgos por contaminación o irradiación externa serán bajos.

Los bultos del tipo A se utilizan ampliamente en el transporte de radiofármacos en el sector médico y de fuentes radiactivas en el sector industrial. También pueden utilizarse para transportar residuos radiactivos de media y baja actividad, fundamentalmente fuentes radiactivas fuera de uso.

Abajo, en la figura, se muestra una descripción genérica de un bulto tipo A. Si el material radiactivo fuera líquido, dentro del recipiente de plomo o entre este y la lata, se introduce un material absorbente que sea capaz de absorber el doble del contenido.

Ejemplo de bulto tipo A



Bultos tipo A utilizados pata el transporte de radiofármacos



Bultos tipo B

Son utilizados para transportar mayores actividades de materiales radiactivos (superiores a los valores de A₁ o A₂). Además de las condiciones normales de transporte, deben ser capaces de resistir los accidentes. Para ello se someten a ensayos de resistencia mecánica, térmica y de inmersión en agua, que simulan condiciones de accidentes graves (Ver gráfico en la parte superior de la página siguiente).

Los diseños de estos embalajes son muy diversos, pero, en general, el material radiactivo va en un recipiente que actúa de blindaje (plomo o uranio empobrecido) y éste a su vez en otro de acero. Entre ambos suelen utilizarse materiales aislantes térmicos y de amortiguación. En ocasiones existe un contenedor más externo de madera para absorber impactos. En estos embalajes los espesores de los materiales pueden ser considerables y sus sistemas de cierre deben evitar la apertura incluso ante accidentes muy graves. En el segundo gráfico de la página siguiente se muestra un diseño genérico.







Bultos tipo B utilizados para transportar fuentes de alta actividad de aplicación en la industria y la medicina

Ejemplo de bultos tipo B



Se utilizan para transportar fuentes radiactivas de alta actividad empleadas en la radioterapia del cáncer y la esterilización de material quirúrgico y para fuentes utilizadas en la gammagrafía industrial (detección de defectos en soldaduras y estructuras).

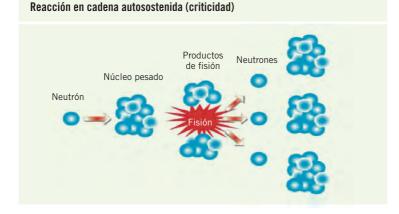
Los bultos tipo B pueden precisarse para el transporte de residuos de alta actividad no fisionables generados en el desmantelamiento de instalaciones nucleares o para el transporte

de fuentes radiactivas de alta actividad fuera de uso procedentes de instalaciones radiactivas. El diseño de estos bultos precisa de aprobación previa de la autoridad competente.

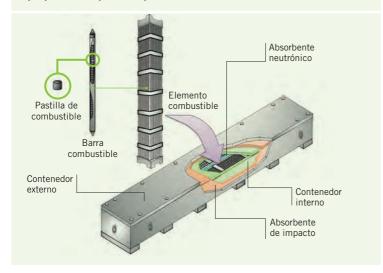
Bultos tipo C

Se utilizan para el transporte por vía aérea de actividades muy altas de material radiactivo. Tienen que superar ensayos más exigentes que los bultos de tipo B, que consideran el accidente aéreo.

Debido al riesgo de su contenido, los diseños de bultos tipo B y los de material fisionable precisan de aprobación de la autoridad competente. El concepto de diseño de estos embalajes es similar al del tipo B, pero con materiales y espesores que le dan una mayor resistencia mecánica y con sistemas de cierre que aseguran aún más la contención. El diseño también precisa de aprobación previa.



Ejemplo de bulto para transportar elementos combustibles sin irradiar



Bultos para transporte de materiales fisionables

El material fisionable tiene un riesgo adicional: en él se puede producir una reacción nuclear en cadena auto sostenida (criticidad). Las características radiológicas del material definen el tipo de bulto (tipo Industrial, A, B o C), mientras que su característica fisionable precisa evaluaciones y controles especiales: los ensayos a los que deben someterse deben demostrar que en condiciones de accidente el contenido fisionable no alcanzará nunca la criticidad. Los diseños de bultos para material fisionable precisan de aprobación.



Bulto tipo B para barras irradiadas y residuos de alta actividad no fisionables

En estos bultos se transporta, por ejemplo, el óxido de uranio enriquecido, materia prima para fabricar elementos de combustible nuclear, y los propios elementos sin irradiar hasta las centrales nucleares.

El combustible irradiado y los residuos de alta actividad con restos de material fisionable se transportarían en este tipo de bultos.

Bultos para hexafluoruro de uranio

El hexafluoruro de uranio (UF $_6$) es radiactivo, pero además es una sustancia que reacciona con el agua y el vapor de agua del aire para formar un compuesto muy tóxico y corrosivo, por lo que sus bultos han de cumplir requisitos adicionales para cubrir esos riesgos. Además, si el hexafluoruro de uranio cumple las características para ser clasificado como material fisionable, el bulto deberá ajustarse a los requisitos aplicables a ese tipo de bultos.



Bulto tipo B para combustible gastado



Bulto para Hexafluoruro de uranio (UF₆)

REQUISITOS

OPERACIONALES DE

TRANSPORTE DE

Para que un transporte sea lo más seguro posible y para proporcionar una adecuada protección radiológica de las personas, las dosis a los trabajadores del transporte y al público se limitan, además de por medios

intrínsecos al diseño de los bultos, aplicando procedimien-

tos administrativos y de operación, como la señalización externa del bulto y de los medios de transporte, que advierte de los riesgos radiológicos, restringien-MATERIAL RADIACTIVO do la contaminación superficial v los niveles de radiación en el exterior de bultos v vehículos. limi-

tando el número de bultos en el medio de transporte o estableciendo distancias de segregación entre los bultos radiactivos y las personas.

Requisitos de etiquetado de bultos

Las etiquetas que se requieren en el exterior de un bulto buscan advertir de su riesgo de irradiación externa e informan sobre el contenido. Las etiquetas identifican los bultos que contienen materiales radiactivos y orientan a los trabajadores a controlar la exposición a las radiaciones durante su manipulación y almacenamiento.

Dependiendo del nivel de radiación en la superficie v a un metro de un bulto (Índice de Transporte: IT), este se clasifica en una de las categorías de la figura que aparece a la izquierda y se le señaliza con la etiqueta correspondiente.

Salvo los bultos Exceptuados, todos los demás tipos de bulto deben llevar dos etiquetas de la categoría que les corresponda, situadas en los lados o posiciones opuestas de su superficie.

La etiqueta blanca indica que el riesgo de irradiación externa es muy bajo y que no se precisa adoptar medidas especiales en la manipulación de los bultos o establecer distancias de segregación respecto a las personas.

Categorías de bultos y etiquetado Nivel de radiación máximo en cualquier punto de la superficie externa Índice de transporte (IT) $(1 \text{ mSv/h}=1.000 \mu \text{Sv/h})$ Hasta 0,005 mSv/h [a] Si el IT no es mayor que 0.05, el IT se considera 0 Mayor que 0 pero Mayor que 0,005 mSv/h pero no no mayor que 1 mayor que 0,5 mSv/h Mayor que 1 pero Mayor que 0,5 mSv/h pero no mayor no mayor que 10 que 2 mSv/h Mayor que 10 [b] Mayor que 2 mSv/h pero no mayor que 10 mSv/h [b] [b] Deberá transportarse también bajo uso exclusivo: el vehículo es usado por un solo expedidor y todas las operaciones iniciales, intermedias y finales de carga y descarga y expedición se efectúan de conformidad con las instrucciones del expedidor o del destinatario, cuando la reglamentación así lo exija.

El índice de transporte (IT) incluido en la etiqueta del hulto nos informa de la intensidad de dosis máxima a un metro de su superficie IT x $10 = _{\mu Sv/h}$

Las etiquetas amarillas advierten a los trabajadores de que han de reducir el tiempo de manipulación al mínimo imprescindible, implican limitaciones en la estiba de los bultos en los vehículos y en su almacenamiento y requieren la consideración de distancias de segregación respecto a los trabajadores y al público.

Los bultos con residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad pueden ser de cualquiera de las tres categorías, dependiendo de los niveles de radiación en su exterior.

Además de ese etiquetado, los bultos con material fisionable han de llevar otra etiqueta que informa de su riesgo adicional (criticidad). A través del Índice de Seguridad con respecto a la Criticidad (ISC) que aparece en la etiqueta se controla la acumulación de estos bultos en los vehículos y en las zonas de almacenamiento.

Los bultos con combustible gastado y residuos de alta actividad con restos de material fisionable llevarán la etiqueta indicativa de material fisionable.



Etiqueta categoría II-Amarilla

Etiqueta bulto con material fisionable

Requisitos de marcado de bultos

Adicionalmente a las etiquetas, los bultos deben incorporar una serie de marcas en su exterior. En la tabla, abajo, se pueden observar las marcas necesarias en función del tipo de bulto (a más riesgo más marcas).

El marcado de los bultos con residuos de muy baja, baja o media actividad dependerá del tipo de bulto conformado. En el caso de los bultos con combustible irradiado o residuos de alta actividad con restos de material fisionable las marcas serían las indicadas en la última columna de la tabla

El riesgo de un bulto radiactivo no depende de su tamaño.

La única información fiable sobre su riesgo se obtiene de su etiquetado externo.

Marcado de los bultos con material radiactivo

Marca		Tipo de bulto					
mai ca	Exceptuado	Industrial	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Fisionables	
Expedidor y/o destinatario	•	•	•	•	•	•	
Número de Naciones Unidas (UN)	•	•	•	•	•	•	
Descripción de la materia según UN		•	•	•	•	•	
Tipo de bulto		•	•	•	•	•	
Código del país de origen del diseño		(salvo BI-1)	•	•	•	•	
Nombre del fabricante		(salvo BI-1)	•	•	•	•	
Peso bruto admisible (si es mayor de 50 kg)	•	•	•	•	•	•	
Marca de identificación del certificado de aprobación				•	•	•	
Número de serie				•	•	•	
Trébol indeleble 💮				•	•	•	

La marca identificada como "número UN" es un número de cuatro cifras asignado por el Comité de expertos de la ONU en el transporte de mercancías peligrosas, que identifica una mercancía concreta. Para las radiactivas hay 26 números y su objetivo es advertir a los servicios de emergencias del tipo de materia que contiene el bulto.

UN 2915 MATERIALES RADIACTIVOS, BULTOS DEL TIPO A, NO EN FORMA ESPECIAL, no fisionables o fisionables exceptuados

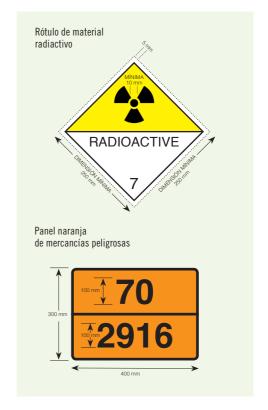
Ejemplo de marca del nº UN y la descripción de la materia

Requisitos de señalizaciones en vehículos

Las señalizaciones en los vehículos de carretera y ferroviarios advierten de la presencia de una materia peligrosa y más concretamente de la materia radiactiva.

Cuando transportan bultos diferentes a los Exceptuados se requiere un rótulo en los dos lados y en la parte trasera de los vehículos, que informa de que se transporta material radiactivo, y un panel naranja en la parte delantera y posterior que informa de que se transporta una mercancía peligrosa.

Según determinadas condiciones, el panel naranja puede llevar o no el número UN de la materia radiactiva transportada y el número de peligro de la materia peligrosa (70 si se trata de una materia radiactiva sin otro riesgo secundario)





Ejemplo de señalización de vehículos



Retirada de residuos en instalación radiactiva (Fuente Enresa)



Retirada de residuos en instalación nuclear (Fuente Enresa)

Requisitos sobre niveles de radiación

La radiación en el exterior de los bultos y de los vehículos se limita a unos valores que provienen de análisis radiológicos que consideran escenarios muy restrictivos para así garantizar que, en las condiciones rutinarias de transporte, el impacto radiológico a los trabajadores y al público sea muy bajo.

Los límites son independientes del contenido de los bultos (Ver tabla, a la derecha). Aparte de esa limitación, se han de aplicar procedimientos de optimización de las dosis que reciban las personas para que sean tan bajas como razonablemente sea posible (ALARA).

Límites de contaminación superficial

La contaminación desprendible también está limitada en la superficie de los bultos y de los medios de transporte. Como en el caso de los límites de los niveles de radiación, estos valores se han obtenido de análisis radiológicos restrictivos para asegurar que, en las condiciones rutinarias de transporte, el impacto radiológico a las personas por esta causa sea despreciable.

Límites de niveles de radiación en el exterior de bultos y vehículos

Bultos						
En la superficie del bulto Exceptuado	5 μSv/h					
En la superficie de otros tipos de bultos	2 mSv/h (no Uso exclusivo) 10 mSv/h (en Uso exclusivo)					
Índice de transporte máximo (IT) (tasa de dosis a 1 metro del bulto)	No en Uso exclusivo: 10 (100 μSv/h) En Uso exclusivo: Sin límite					
Vehículos						
En la superficie del vehículo	2 mSv/h					
A 2 metros de la superficie del vehículo	0,1 mSv/h					

Estos límites son, para cualquier tipo de bulto y de medio de transporte:

- 4 Bq /cm² para emisores β/γ ó α de baja toxicidad
- 0,4 Bq /cm² para el resto de emisores α

Requisitos de estiba de los bultos en el medio de transporte

Los bultos radiactivos, así como el resto de mercancías y cualquier otro elemento de la carga, deben ir sujetos en el interior de los vehículos para impedir su movimiento y así evitar que los bultos sufran daños.

Además, se establecen límites de acumulación de bultos en los medios de transporte con dos objetivos:

- Controlar los niveles de radiación totales en el vehículo, reduciendo así las dosis a la tripulación y a los trabajadores en la carga y descarga (Limitación en función de los IT de los bultos).
- Reducir el riesgo de criticidad por acumulación de bultos con material fisionable (Limitación en función de los ISC de los bultos).

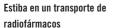
Requisitos de segregación de los bultos radiactivos

Para reducir las dosis que pudieran recibir los trabajadores y el público se definen unos criterios suficientemente restrictivos de dosis máximas anuales, que sirven de referencia para calcular las distancias de segregación entre bultos y personas:

- Para los trabajadores en zonas de trabajo normalmente ocupadas: 5 mSv/año
- Para individuos del público, en zonas a las que tengan normalmente acceso: 1 mSv/año.

En base a esos criterios, la normativa de transporte recoge unas tablas que, en función de la suma de los IT de los bultos, el tipo de zona donde se almacenan y el tiempo esperado de almacenamiento, determinan las distancias de segregación.







Estiba en un transporte de barras irradiadas

Requisitos de documentación de transporte

Cualquier remesa de material radiactivo ha de ir acompañada de una documentación que la describa ("carta de porte"), que el expedidor debe entregar a la empresa de transporte. Esta documentación ayudará al transportista en el desarrollo del transporte y a los servicios de intervención en caso de producirse una emergencia.

Además de la carta de porte, el expedidor ha de entregar al transportista unas disposiciones a tomar en caso de emergencia, considerando la naturaleza específica del envío, y la empresa de transporte debe proporcionar a la tripulación unas "Instrucciones escritas", que define la normativa para las diferentes clases de mercancías peligrosas, con medidas generales a tomar en caso de emergencia.

Requisitos de autorización, notificación y registro

Los requisitos de aprobación del diseño de los bultos, de autorización de las expediciones y de notificación previa de estas, tienen una relación directa con los riesgos del contenido de los bultos. En la tabla, a la derecha, se recoge un resumen de estos requisitos.

Las autorizaciones de los transportes y las aprobaciones de diseño de los bultos se conceden por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, previo informe preceptivo del Consejo de Seguridad Nuclear.

Como el 90% de bultos de material radiactivo que se transportan son Exceptuados o de tipo A, la mayoría de los bultos que se transportan no precisan de aprobación, ni tampoco sus expediciones.

La mayoría de los bultos y expediciones de residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad no precisarían ni de aprobación del bulto, ni de autorización de la expedición, ni de notificación previa, ya que involucran a bultos Exceptuados, Industriales o tipo A. Sin embargo, en el caso de los transportes de combustible irradiado y de residuos de alta actividad los bultos sí precisarían de aprobación de diseño y, en algunos casos, de autorización de expedición y notificación previa.

Requisitos de aprobación y notificación

Sólo requiere autorización o notificación previa una pequeña fracción de los transportes de material radiactivo que se efectúan.

Tipo de bulto	de bulto	Aprobación de expedición	de la expedición
Exceptuado	No	No	No
Industrial	No	No	No
Tipo A	No	No	No
	Valores de acti	vidad A1 y A2	
Tipo B (U)	Sí (unilateral)*	No	Si la actividad supera un valor prefijado
T D (84) +++	0′ /	Si la actividad supera	0/

Tipo B (U)	Sí (unilateral)*	No	Si la actividad supera un valor prefijado
Tipo B (M) ***	Sí (multilateral)**	Si la actividad supera un valor prefijado	Sí
Tipo C	Sí (unilateral)	No	Si la actividad supera un valor prefijado
Fisionable	Sí (multilateral)	Si el ISC total supera un valor prefijado	En ciertos casos

^{*} Aprobación unilateral: aprueba solo el país de origen del diseño

^{**} Aprobación multilateral: diseño aprobado por todos los países de tránsito del transporte

^{***} No cumple todos los requisitos requeridos para un bulto tipo B

En los certificados de aprobación se identifican los diseños de bulto con marcas específicas que informan del país de origen del diseño y del tipo de bulto.



Ejemplos de marca de identificación de diseños de bultos aprobados

En situaciones especiales, en las que se justifica que no pueden satisfacerse todos los requisitos reglamentarios, puede permitirse el transporte sujeto a una "aprobación bajo arreglos especiales" (o autorización especial). La seguridad de estos transportes se garantiza aplicando medidas compensatorias que han de ser aceptadas por la autoridad competente de cada uno de los países de tránsito del transporte.

Retirada de una fuente radiactiva fuera de uso bajo autorización especial de transporte. (Fuente Enresa)



Además de lo requerido por la normativa de transporte internacional, en España las empresas que transportan material radiactivo por carretera en bultos no Exceptuados tienen que declarar esta actividad inscribiéndose en el Registro de Transportistas de Material Radiactivo de la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria, Energía y Turismo [17].

La información sobre las empresas registradas es trasladada al Consejo de Seguridad Nuclear, quien ejerce las labores de inspección y control sobre sus actividades

Requisitos de formación del personal

Todas las personas implicadas en el transporte de material radiactivo, ya sean de empresas expedidoras, transportistas o destinatarias, precisan recibir una formación inicial y periódica sobre los requisitos que se aplican al transporte y sobre los riesgos de las radiaciones ionizantes y las medidas de protección.

Además de lo requerido por la normativa de transporte [9, 11, 13, 14] y de protección contra las radiaciones [15], el CSN ha publicado la Instrucción de Seguridad 38 sobre esta materia [18], que concreta los contenidos mínimos y la periodicidad de esta formación.

Requisitos de Garantía de Calidad

Todas las empresas que desarrollan actividades relacionadas con el transporte de material radiactivo (expedidores, transportistas, fabricantes, diseñadores de bultos, etc.) deben disponer de un Sistema de Gestión de la calidad que asegure el cumplimiento de los requisitos reglamentarios y los procedimientos operacionales. Este Sistema de Gestión incluye el desarrollo de auditorías internas y externas para confirmar el citado cumplimiento.

La complejidad de los Sistemas de Gestión de la calidad aumenta en relación con la complejidad de las actividades y los requisitos a aplicar, como sería el caso de los transportes de combustible irradiado y de residuos de alta actividad.

Requisitos de protección física

El Real Decreto 1308/2011 [16] establece medidas de protección física para el transporte de materiales nucleares, según sean de la categoría I, II o III (de mayor a menor riesgo desde el punto de vista de la protección física), y para fuentes radiactivas con una actividad relevante, que se clasifican en categorías 1, 2 y 3 (de mayor a menor riesgo). Se define también un régimen de aprobaciones de protección física para el transporte de los materiales nucleares y otro de notificaciones para los transportes de fuentes radiactivas categoría 1 y 2.

Las empresas que transportan estos materiales deben ser inscritas en un Registro que gestiona el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, previo informe favorable del CSN y del Ministerio del Interior.

Los transportes de combustible irradiado y de residuos de alta actividad y algunas retiradas de fuentes radiactivas de alta actividad fuera de uso estarán afectados por estos requisitos de protección física.

Itinerarios autorizados para el transporte de material radiactivo

No existen itinerarios específicos para el transporte de material radiactivo. Anualmente, la Dirección General de Tráfico define la Red de Itinerarios para Mercancías Peligrosas (RIMP), que incluye las vías de circulación por carretera donde se permite el transporte de mercancías peligrosas, incluida la materia radiactiva [19]. También se definen medidas especiales de regulación del tráfico o restricciones a la circulación de vehículos en determinadas fechas o coincidiendo con determinados eventos. Las Comunidades Autónomas de Cataluña y del País Vasco definen su red de itinerarios y las medidas de regulación de su tráfico [20, 21].





Red de itinerarios para el transporte de mercancías peligrosas. Arriba las de el País Vasco y Cataluña, debajo las del resto del Estado español.



Obligaciones de los expedidores y de los transportistas

Tras el diseño del embalaje, el segundo pilar sobre el que descansa la seguridad en el transporte de material radiactivo es la preparación de los bultos. Esta es una responsabilidad del expedidor, que ha de utilizar el embalaje idóneo, cargarlo siguiendo los procedimientos aprobados y proveerle del mantenimiento adecuado. También ha de etiquetar y marcar el bulto, comprobar el cumplimiento de los límites radiológicos y preparar la documentación de transporte.

Además, si fueran requeridas por la normativa, el expedidor es quien obtiene las autorizaciones de las expediciones y quien realiza su notificación previa.

En el caso de la gestión de los residuos radiactivos en España, Enresa siempre actúa como expedidor de los transportes desde las instalaciones generadoras hasta las instalaciones de almacenamiento. Por tanto, Enresa es la responsable de cumplir con todas las obligaciones citadas.

Por su parte, el transportista tiene la obligación de garantizar que sus medios de transporte cumplen las condiciones de seguridad y que disponen del equipamiento requerido por la normativa. También es responsable de que la tripulación de los vehículos tenga la formación y las cualificaciones definidas por esa normativa, del cumplimiento de las normas de circulación, de la señalización correcta de los vehículos y de la supervisión de la carga que le entregan los expedidores.

Para el transporte de los residuos radiactivos, Enresa actúa directamente como transportista o contrata esta función a una de las empresas de transporte inscritas en el *Registro de Transportistas de Material Radiactivo* del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. En este caso, en aplicación de su Sistema de Gestión de la calidad, Enresa debe aprobar a estas empresas como suministradores de servicios de transporte y realizarles auditorías periódicas para garantizar que cumplen los requisitos de la normativa.



El transporte de residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad

Una vez confirmado que el residuo generado en una instalación radiactiva o nuclear no es un residuo convencional, sino un residuo radiactivo (Ver definición de residuo radiactivo en la sección 1), se llevará a cabo

a sección 1), se llevará a cabo su gestión como tal y, en consecuencia, deberá ser transportado desde esas instalaciones hasta los centros de almacenamiento autorizados.

TRANSPORTE DE RESIDUOS RADIACTIVOS DE MUY BAJA, BAJA Y MFDIA ACTIVIDAD

Antes de realizar el transporte, al igual que para transportar cualquier material radiactivo, hay que clasificar el material de acuerdo con la normativa de transporte (Ver sección 2) y seleccionar el emba-

laje adecuado, que permita cumplir los requisitos de seguridad. La clasificación del material radiactivo para su transporte es independiente de su consideración como residuo y dependerá de los radionucleidos que contenga, de su actividad, de su concentración, de su forma química y de su estado físico, ya que el riesgo radiológico va asociado a esas características.

La mayor parte de los residuos radiactivos que se generan en España son de baja y media actividad y se generan en hospitales, centros de investigación, industrias y en las centrales nucleares en operación o en desmantelamiento. En el gráfico de abajo puede observarse el origen de esos residuos, de acuerdo con el 5º informe nacional de la Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y de los residuos radiactivos [22]. La figura informa también del porcentaje de los volúmenes de este tipo de residuos a gestionar en España, de acuerdo con las estimaciones del 6º Plan General de Residuos Radiactivos.

Origen de los residuos de baja y media actividad (vida corta y media) en España



Es importante que el sistema de gestión de residuos en las propias instalaciones tienda a minimizar la cantidad de residuos que se generen, así como su tamaño, pues, entre otras ventajas, reducirá el número de transportes. Los sistemas de gestión de residuos se basan en procesos de descontaminación, separación y clasificación en paralelo a su generación.

Clasificación de los residuos según los criterios de la normativa de transporte

La diversidad en el origen de los residuos de muy baja, baja y media actividad lleva a una gran variedad y disparidad en las características que pueden presentar: materiales líquidos, sólidos, encapsulados o no, con diferentes radionucleidos presentes y, por tanto, distintos tipos de radiación emitida. En base a esas características, de acuerdo a la normativa de transporte, la mayoría de estos residuos se clasifican como Materiales de baja actividad específica (BAE) o como Objetos contaminados en la superficie (OCS).

Materiales radiactivos de baja actividad específica (BAE)

Materiales radiactivos con una actividad específica limitada (Bq/g). El material radiactivo se encuentra distribuido de manera básicamente uniforme dentro de materiales no radiactivos.

Objeto contaminado en superficie (OCS)

Un objeto sólido que no es en sí radiactivo pero que tiene materiales radiactivos distribuidos en su superficie.

La normativa de transporte establece tres tipos de materiales BAE: BAE-I, BAE-II y BAE-III, según la actividad específica que presenten y otras características que afectan al riesgo, y dos tipos de OCS: OCS-I y OCS-II, según la contaminación transitoria y fija que se presente en las superficies accesibles y no accesibles de

los objetos. En ambos, al aumentar el número aumenta el riesgo radiológico.

La mayor parte de estos materiales se generan en actividades de mantenimiento y limpieza en operación normal y, en mayor medida, en el desmantelamiento de las instalaciones nucleares (Ver gráfico en la página anterior) y se corresponden con: guantes, calzos, ropa de trabajo, herramientas, cartones, plásticos, maderas, resinas, aceites, lodos, filtros de los sistemas de ventilación, materiales metálicos, restos de equipos, componentes eléctricos, etc., que por su actividad específica o la contaminación sobre su superficie suelen clasificarse como BAE-II o BAE-III o como OCS-I u OCS-II.

Bultos para el transporte de residuos de muy baja, baja y media actividad

Para el transporte de los materiales BAE y OCS normalmente se utilizan los bultos Industriales (Ver tabla de la página siguiente), que se clasifican en tres tipos según sea su contenido: tipo BI-1, tipo BI-2 y tipo BI-3. El riesgo del contenido y, por tanto, los requisitos que ha de cumplir el bulto, aumentan al aumentar el número (Ver tabla de la página siguiente). No obstante, también es posible, en base a las características de los residuos de muy baja, baja y media actividad, su transporte en bultos Exceptuados o del tipo A y, excepcionalmente, en bultos tipo B.

Los embalajes más utilizados como bultos Industriales BI-1, BI-2 y BI-3 son contenedores metálicos, no muy diferentes de los utilizados en la industria convencional. En muchos casos el contenido (BAE u OCS) de estos bultos va inmovilizado en una matriz de material ligante, como por ejemplo el hormigón.

Una gran parte de los residuos de baja y media actividad se clasifican como BAE u OCS y se transportan en bultos industriales.

Tipos de bulto para materiales BAE y OCS

Contenido radiactivo		Tipo de bulto industrial		
		Uso exclusivo	Uso no exclusivo	
BAF-I	Sólidos ^a	BI-1	BI-1	
BAE-I	Líquidos	BI-1	BI-2	
BAE II	Sólidos	BI-2	BI-2	
DAL II	Líquidos y gases	BI-2	BI-3	
BAE III		BI-2	BI-3	
OCS-I ^a		BI-1	BI-1	
OCS-II		BI-2	BI-2	

(a) Cumpliendo ciertas condiciones las materias BAE-I y OCS-I pueden ser transportadas sin embalar.



Arriba, bidón metálico de 220 litros utilizado para el transporte de residuos de baja y media actividad clasificados como BAE-III, conformando un Bulto Industrial BI-3. A su derecha, señalización de un vehículo que transporta residuos radiactivos de baja y media actividad (BAE-III).

A la derecha, ensayo de caída de un bulto para el transporte de residuos radiactivos de baja y media actividad





De acuerdo con la normativa de transporte, los bultos BI-1 solo han de soportar las condiciones rutinarias de transporte y los BI-2 y BI-3 las condiciones normales (Ver sección 3). En ningún caso han de diseñarse para soportar las condiciones de accidente, considerando el riesgo de su contenido.

Los diseños de bultos Industriales no precisan aprobación, ni sus expediciones han de ser autorizadas, considerando el riesgo de su contenido. En cuanto a los requisitos operacionales de transporte: etiquetado, señalización, documentación, etc., dependerán de las características del contenido, no de su consideración como residuo radiactivo (Ver sección 3).

Volumen de transportes de residuos de muy baja, baja y media actividad

En España la gestión final de los residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad se lleva a cabo por Enresa mediante su almacenamiento definitivo en el almacén centralizado de El Cabril, en la sierra de Albarrana, en la provincia de Córdoba, instalación diseñada para cubrir las necesidades de almacenamiento de este tipo de residuos generados en nuestro país, incluidos los procedentes del desmantelamiento de las centrales nucleares.

Enresa se encarga de recoger los residuos radiactivos en los emplazamientos, así como de su transporte, actuando como expedidor de las expediciones desde la salida de la instalación generadora del residuo hasta su destino en El Cabril.

A lo largo de un año Enresa realiza alrededor de 250 expediciones de residuos hasta El Cabril, de las que la mayoría proceden de instalaciones

El Cabril. Vista aérea de las plataformas de almacenamiento de residuos

nucleares, unas 200, y el resto de instalaciones radiactivas. La tabla, a la derecha, recoge los datos de los últimos cinco años, según se indica en los informes anuales del CSN al Parlamento.

En el año 2014 las centrales nucleares en explotación generaron 3.030 bultos de residuos radiactivos sólidos de muy baja, baja y media actividad, con una actividad estimada de 27.584,19 GBq que fueron acondicionados en bidones y contenedores metálicos. En ese mismo año Enresa retiró un total de 1.752 bultos de residuos radiactivos acondicionados por las propias centrales nucleares, que fueron trasladados hasta El Cabril, la mayoría calificados como bultos Industriales del tipo BI-2 o BI-3. En la tabla, a la derecha, se muestra el detalle por instalación.

Para los transportes desde instalaciones radiactivas es más común el uso de bultos Exceptuados y del tipo A y, en algún caso de bultos tipo B para la retirada de determinadas fuentes radiactivas.

Desde el año 2007, Enresa ha realizado varias retiradas de cabezales de radioterapia fuera de uso desde centros médicos, que han sido transportados hasta El Cabril con autorización de transporte bajo arreglos especiales (Ver sección 3). Esta autorización ha sido necesaria porque el fabricante de los embalajes utilizados para transportar estos cabezales no ha solicitado la renovación en el país de origen de los certificados de aprobación de los bultos tipo B utilizados en el pasado. Enresa ha utilizado para el transporte de estos residuos un sistema de transporte específicamente diseñado para estas expediciones y aceptado de acuerdo con esa autorización bajo arreglos especiales.



Transportes de residuos realizados por Enresa hacia el Cabril

	Desde instalaciones nucleares	Desde instalaciones radiactivas	Total
2010	186	32	218
2011	202	39	241
2012	222	56	278
2013	215	31	246
2014	188	41	229

Generación de bultos de residuos en centrales nucleares en explotación en 2014

Instalación	Bultos generados	Bultos trasladados a El Cabril
Santa María de Garoña	299	-
Almaraz I y II	580	251
Ascó I y II	874	240
Cofrentes	896	965
Vandellós 2	154	96
Trillo	227	200
Totales	3.030	1.752

El transporte de combustible irradiado y de residuos de alta actividad

En la actualidad, cerca del 20% de la energía eléctrica en España tiene un origen nuclear. Para esta generación, los siete reactores nucleares en funcionamiento en cinco emplazamientos necesitan combustible nuclear para su operación.

TRANSPORTE DE RESIDUOS DE ALTA ACTIVIDAD

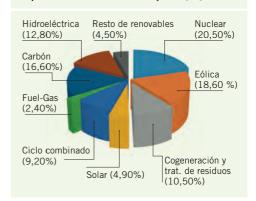
está formado por pastillas sinterizadas de dióxido de uranio enriquecido en el radionucleido U-235, encerradas en unas vainas para formar las barras de combustible. Un haz de estas barras, unidas mediante una estructura o "esqueleto", conforman el "elemento de combustible" (Ver gráfico de la página siguiente). Las barras de combustible son la primera barrera de contención del material radiactivo.

El combustible nuclear

utilizado en las centra-

les nucleares españolas

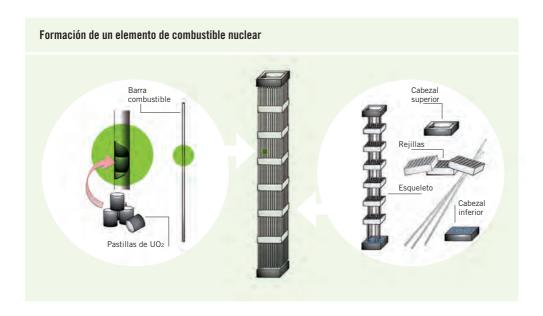
Distribución de la generación eléctrica en España en 2014. Fuente UNESA y REE [23]



En el reactor las fisiones de los núcleos de Uranio 235 del combustible nuclear generan el calor que será utilizado para producir finalmente la energía eléctrica. Durante ese proceso se generan los "productos de fisión", constituidos por diversos radionucleidos que en su decaimiento emiten radiación y calor (Ver el gráfico de la página siguiente). Este calor de desintegración o energía residual del combustible irradiado se sigue produciendo aunque el combustible ya no se encuentre en operación dentro del reactor.

A su vez, el material metálico de las vainas de las barras combustibles y los componentes metálicos del esqueleto del elemento combustible sufren una irradiación muy alta durante la operación del reactor, generándose radionucleidos como el Cobalto-60 (productos de activación).

El combustible nuclear permanece en operación entre tres y cinco años, aproximadamente,



Composición aproximada del combustible tras su uso en el reactor nuclear. Fuente: [24] Uranio-238 (94%) Otros productos (4%) Plutonio (1%)

hasta que la cantidad de uranio-235 es tan baja que ya no puede ser utilizado para producir energía y entonces se le considera "combustible gastado". Por tanto, en el combustible gastado existirán, además del óxido de uranio

Uranio-235+1n Producto de fisión Uranio-235+1n

inicial, muchos otros radionucleidos (productos de fisión y de activación) (Ver el gráfico en la página anterior).

Sin embargo, cerca del 96% del combustible gastado (uranio 238, uranio 235 y plutonio) podría ser reutilizado, por lo que existen dos vías para su gestión a largo plazo:

- El ciclo cerrado: tras un período de almacenamiento temporal se reprocesa el combustible para recuperar aquellos materiales que se pueden reutilizar en un reactor y el resto es tratado como residuo de alta actividad.
- El ciclo abierto: el combustible gastado es considerado un residuo radiactivo, que debe ser gestionado como tal.

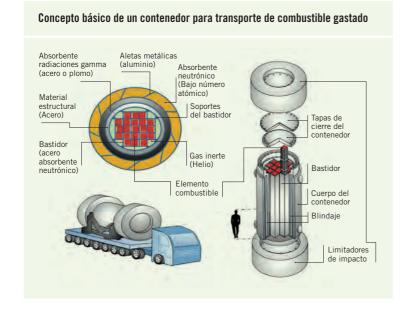
Actualmente, en España se ha optado por la segunda opción y el combustible gastado será gestionado como residuo radiactivo y trasladado al Almacén Temporal Centralizado (ATC), que está en proceso de licenciamiento a solicitud de Enresa. En tanto el ATC no entre en funcionamiento, el combustible gastado tiene que mantenerse almacenado en las centrales nucleares, dentro de sus piscinas de combustible o en contenedores en los Almacenes Temporales Individuales (ATI).

Además, durante la operación de una central nuclear los materiales estructurales del reactor sufren una alta irradiación, generándose productos de activación muy radiactivos. Estos materiales han de ser gestionados como residuos de alta actividad en el proceso de desmantelamiento de las centrales y trasladados también al ATC.

Bultos para el transporte de combustible irradiado y de residuos de alta actividad

La normativa de transporte no define requisitos específicos para los contenedores de combustible irradiado, sino que estos, en función de las características radiológicas de su contenido, se clasifican dentro de uno de los tipos de bulto y tienen que cumplir los requisitos establecidos para ese tipo concreto de bulto (Ver sección 3).

Debido a sus características radiológicas, lo habitual es que el combustible irradiado tenga que transportarse en bultos tipo B para materiales fisionables: bultos tipo BF. Para los residuos de alta actividad normalmente también se precisarán bultos tipo B y, si contienen restos de sustancias fisionables, bultos tipo BF.



Para satisfacer los requisitos que se imponen en el transporte (blindaje, contención, evacuación de calor y control de la criticidad) un bulto típico de transporte de combustible gastado suele disponer de los siguientes elementos (Ver el gráfico de la página anterior):

- Un bastidor o una cápsula, en donde se acondicionan los elementos combustibles, diseñados para mantener la geometría del combustible y evitar la posibilidad de que se produzca una reacción en cadena (criticidad) en cualquier condición de transporte (normal y accidental).
- Un cuerpo del contenedor en donde va alojado el bastidor o cápsula, para dar integridad estructural y protección térmica ante un accidente con incendio.
- Un sistema de cierre formado, en general, por una o dos tapas empernadas, diseñado para asegurar la contención del material radiactivo.
- Un blindaje dentro del cuerpo del contenedor que reduzca los niveles de radiación en el exterior por debajo de los límites reglamentados.
- Un diseño que favorezca la extracción del calor generado por el contenido.
- Un limitador de impacto en cada extremo, a fin de proteger el cuerpo del contenedor contra los impactos en caso de accidente y evitar posibles daños al combustible. Para los contenedores de doble propósito (almacenamiento y transporte), los limitadores de impacto solo se utilizan en la fase de transporte.

Requisitos para el transporte de combustible irradiado y residuos de alta actividad

No hay requisitos reglamentarios específicos para el transporte de este tipo de material. Se aplicarían los indicados de manera genérica en la sección 3 de este documento. No obstante se destaca lo siguiente:

- Al tratarse de bultos B o BF, su diseño precisa de un certificado de aprobación emitido por la autoridad competente, basado en un análisis de seguridad sobre aspectos estructurales, térmicos, de contención, de blindaje, de criticidad, de operación y de mantenimiento periódico. Todos esos aspectos se recogen en el Estudio de Seguridad del bulto, que incluye la demostración de que el diseño supera los ensayos que simulan las condiciones normales y de accidente en el transporte.
- · Los ensayos de condiciones de accidente se concibieron para producir en el bulto daños equivalentes a los que se darían en un accidente muy grave, pero no necesariamente el máximo concebible, ya que se tiene en cuenta la probabilidad de que ocurra un determinado accidente. De hecho, los ensayos definidos causan deterioros superiores a los asociados con la mayoría de los incidentes registrados, tanto si involucraron o no a bultos de materiales radiactivos. Así, análisis de riesgos y de accidentes ulteriores han demostrado que los ensayos reglamentados realmente representan accidentes de transporte muy graves [25].

Ensayo mecánico de caída de modelo a escala del contenedor ENUN 32P para combustible gastado

(Fuente: Equipos Nucleares SA y Sandia National Laboratory)

Debajo, en primer término, ensayo mecánico de caída en contenedor de combustible gastado

(Fuente: Enresa).

Más abajo, ensayo térmico en contenedor de combustible gastado

(Fuente: Enresa)









- Aunque la normativa solo requiere autorización del transporte en casos muy concretos, en las aprobaciones de diseño de
 los contenedores de combustible gastado
 emitidas en España se requiere que sus
 transportes se realicen bajo autorización, a
 fin de que el control sobre las expediciones
 sea más específico y exhaustivo.
- En estos transportes son fundamentales las verificaciones sobre el bulto, previas a su primera expedición y antes de cada una de ellas. Estas verificaciones deben ser realizadas por el expedidor para asegurar que las condiciones del contenedor, del contenido y del proceso de carga garantizan la seguridad durante el transporte.
- Las verificaciones iniciales están complementadas con las inspecciones llevadas a cabo tras la finalización del transporte y los programas de mantenimiento. Estos programas están diseñados para garantizar que se está en disposición de poder transportar el contenedor en cualquier momento con las condiciones de seguridad establecidas en su Estudio de Seguridad.
- En el caso de que el contenedor vaya a ser almacenado durante un período prolongado antes de su transporte, algunas de las verificaciones no se realizan previamente al transporte, sino durante el proceso de carga del contenedor. Por ello, durante su almacenamiento se controla que se mantienen las condiciones inspeccionadas durante la carga y se realizan inspecciones visuales periódicas para identificar posibles degradaciones del embalaje.



Proceso de carga de combustible gastado en el contenedor (Fuente: Enresa)

- La fabricación de estos contenedores se somete a una certificación periódica de conformidad de la producción para asegurar que los embalajes fabricados se ajustan al diseño aprobado. El procedimiento para la realización de la conformidad de la producción está definido por la Instrucción de Seguridad IS-39 del CSN [26].
- En el caso de bultos tipo B y BF la certificación debe ser realizada por un Organismo de Control (OC) independiente, acreditado por la Entidad nacional de acreditación (ENAC). Adicionalmente a esa certificación, el CSN realiza inspecciones a la fabricación de estos contenedores y a la aplicación de los Sistemas de Gestión de calidad de los fabricantes

Transportes de combustible irradiado y residuos de alta actividad en España

En España ya se realizaron en el pasado transportes de combustible gastado. En la década

de los años setenta, parte del combustible gastado de las centrales nucleares de José Cabrera, Sta. María de Garoña y Vandellós 1 se envió al Reino Unido y a Francia para ser reprocesado, sin que se exigiera la devolución de ningún tipo de residuo procedente de ese reprocesado.

Sin embargo, a partir de los años 80 se establecieron nuevas condiciones que implicaban el retorno de los residuos del reprocesado de los últimos envíos del combustible gastado de Vandellós 1. Estos residuos de alta actividad están pendientes de ser enviados a España desde Francia.

Desde entonces, solo se han realizado transportes puntuales de barras de combustible irradiado y material de alta actividad hacia laboratorios europeos especializados con motivo de proyectos de investigación para análisis de estos materiales (proyecto de combustible de alto quemado, proyecto de vainas avanzadas, proyecto ZIRP sobre los internos de la vasija a presión de la central nuclear de José Cabrera, etc.).



Operación de transporte de bulto con barras irradiadas desde CN Almaraz

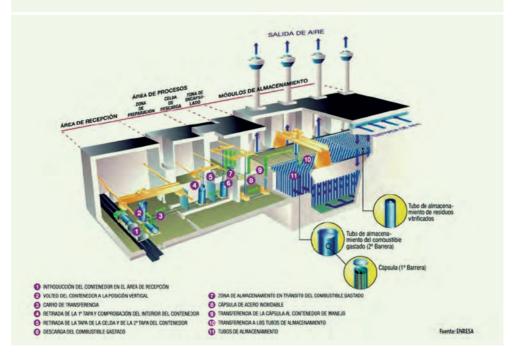
Una vez sea licenciado y entre en operación el ATC, previsiblemente comenzarán a realizarse de manera regular expediciones de combustible gastado desde las centrales nucleares en operación o en desmantelamiento y retornarán desde Francia los residuos de alta actividad procedentes del reproceso del combustible de Vandellós 1.

En el caso de que estos transportes se realizaran por carretera, las rutas se ajustarán a la Red de Itinerarios de Mercancías Peligrosas definida por la Dirección General de Tráfico (Ver sección 3) y previsiblemente, debido al peso de la carga y las dimensiones del vehículo, se precisará de una autorización de las autoridades de tráfico.

Los transportes de combustible gastado y de residuos de alta actividad serán operaciones complejas que implicarán la actuación y coordinación de las autoridades competentes en materia de tráfico, emergencias, protección física y del Consejo de Seguridad Nuclear.

Además, para el desarrollo de estas operaciones se aplicará la experiencia en el transporte de combustible gastado y residuos de alta actividad de países como Francia, Reino Unido, Alemania, Bélgica y Estados Unidos a lo largo de varias décadas.

Diseño conceptual del Almacén Temporal Centralizado (ATC)





Trabajos preparatorios de un transporte en la Central Nuclear de Trillo. (Fuente: Enresa)

Riesgos en el transporte: dosis a los trabajadores y el público La normativa de transporte ya impone unos límites a los niveles de radiación (tasa de dosis) en el exterior de los bultos y de los vehículos (carretera y ferrocarril) para garan-

> tizar que las radiaciones emitidas no produzcan daños a los trabajadores o al público durante el

> > transporte (Ver sección 3).
> > Estos límites se establecen de manera general para todos los bultos y vehículos, independientemente del tipo de bulto y del material transportado.

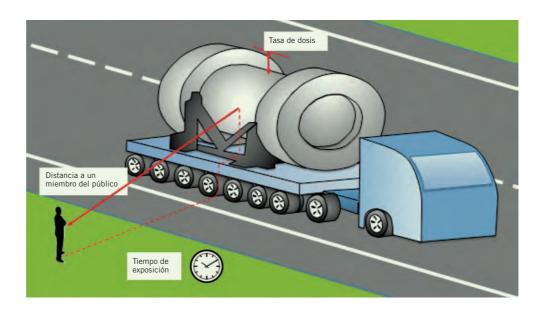
Por tanto, durante las operaciones de transporte (incluidas la carga/descarga y el almacenamiento en tránsito)

los trabajadores y el público podrán recibir dosis de radiación (frecuentemente expresadas en µSv), pero la magnitud de la exposición dependerá de las tasas de dosis (µSv/h) en el exterior de los bultos y vehículos, de la distancia y el blindaje entre esos bultos y vehículos y las personas y de la duración de esa exposición.

Los procedimientos de protección radiológica que se apliquen deben considerar todos esos factores para que, independientemente de los límites impuestos a las tasas de dosis en el exterior de bultos y vehículos, las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzcan exposiciones potenciales, se mantenga en el valor más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores económicos y sociales [15].

RIESGOS EN EL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIACTIVO

La magnitud de las dosis recibidas depende de las tasas de dosis en el exterior de los bultos y vehículos, de la distancia a ellos y de la duración de la exposición



En definitiva, el cumplimiento con los límites de tasa de dosis en el exterior de bultos y vehículos y la aplicación de procedimientos adecuados de protección radiológica garantizará que las dosis anuales que reciban los miembros del público y los trabajadores sean muy bajas y siempre inferiores a los límites de dosis definidos por la normativa [15].

Por otra parte, las tasas de dosis reales en el exterior de bultos y vehículos suele estar muy por debajo de los límites reglamentados. Así, por ejemplo, en el caso del combustible gastado, los análisis en el proceso de aprobación de los contenedores se realizan simulando que todo el combustible cargado en el bulto tiene unas características que conducirían a las peores condiciones desde el punto de vista radiológico. Aún en esas condiciones restrictivas, debe demostrarse que en el exterior del bulto se cumplirán los límites reglamentados. Sin embargo, solo un pequeño porcentaje del combustible que se puede cargar en el contenedor tendrá esas características limitantes. por lo que las tasas de dosis reales en su exterior serán normalmente menores a las previstas en su Estudio de Seguridad.

Dosis recibidas por los trabajadores y el público debido a operaciones de transporte

A continuación se recogerán datos sobre las dosis asociadas a la actividad de transporte, incluido el de residuos radiactivos y combustible irradiado.

Registros internacionales

La tabla de la siguiente página reúne datos de países europeos [27, 28] sobre las dosis recibidas por los trabajadores y el público a causa de diferentes tipos de transporte de material radiactivo. Los datos confirman que las dosis recibidas son muy inferiores a los límites de dosis reglamentarios [15] y que las dosis más altas se dan en los transportes realizados en el sector médico e industrial. Otras cuestiones destacables son:

- El número de bultos de combustible irradiado y, por tanto de sus transportes, es muy bajo respecto al total de expediciones anuales de material radiactivo.
- Los valores presentados en las tablas como promedio de dosis efectiva anual a los trabajadores engloban todas las fases del transporte: preparación del bulto, manejo (carga/descarga) y transporte. Las exposiciones mayores se dan en las operaciones de preparación y manejo de los bultos.
- Las dosis recibidas por los trabajadores son, en general, bajas y muy inferiores a los límites de dosis reglamentados [15].
- Las dosis estimadas para las personas del público son muy bajas, quedando muy por debajo de los límites de dosis reglamentados [15].

Las dosis en el sector nuclear son, en general, inferiores a las del sector médico o industrial.

Dosis en el transporte de material radiactivo en diversos países de la Unión Europea

País	Tipo de transporte	Bultos por año (valor aproximado)	Modo	Promedio Dosis efectiva anual trabajadores ^[m] [mSv]	Promedio Dosis efectiva anual al público ^[a] [mSv]
	Límite de dosis anuales reglamentarios			20 (100 mSv en cinco años consecutivos, sujeto a una dosis de 50 mSv/año)	1
Reino Unido	Combustible irradiado	863 ^[b]	Carretera Ferrocarril	0,5	<0,02 [c]
	Fuentes de uso industrial y médico	200.000	Carretera	0,6	
	Combustible irradiado	160 ^[d]	Carretera	1-2	<0,05
			Ferrocarril	<1	<0,1
Alemania	Residuos no nucleares		Carretera	<1	-
	Fuentes de uso industrial y médico	900.000	Carretera	10-14	<0,04
	ruentes de uso maustriai y medico	300.000	Aéreo	<1	-
Italia	Fuentes de uso industrial y médico	110.000 ^[e]	Carretera	1,01	$0,001^{[f]}$
	Combustible irradiado	31 ^[g]	Carretera	1,46	0,05
Países Bajos	Residuos del CCNN	876 ^[g]	Carretera	2,26 [h]	-
	Fuentes de uso industrial y médico	250.000	Carretera Aéreo	1	0,020
	Combustible irradiado	>100	Carretera	4	0,006 ^[i]
Francia	Oumbastible madiado	>100	Ferrocarril	4	0,0011 ^[i]
	Residuos de alta actividad vitrificados	-	Carretera Ferrocarril	2	0,00008 ^[j]
	Fuentes de uso médico	200.000 [k]	Carretera	8,09	0,84 ^[1]

[[]a] La dosis al público tiene en cuenta los grupos de población críticos, como los residentes o usuarios de las rutas de transporte.

[[]b] Combustible irradiado (datos del año 2001)

[[]c] Dato general para todos los transportes de material radiactivo. El valor esperado para el transporte del ciclo de combustible es inferior al 10% del estimado para el resto de radionúclidos. [30]

[[]d] Transportes relacionados con el ciclo del combustible (datos del año 1990).

 $[\]hbox{[e] Se incluyen bultos del tipo A y B. No se realizan transportes de combustible irradiado.}\\$

[[]f] Estudio realizado independientemente por tipo de bulto. El dato presentado es el máximo del promedio de dosis efectiva anual para el transporte de bultos tipo A, que es muy superior al promedio obtenido para bultos tipo B (0.0004 mSv/año)

[[]g] Datos de 2001

[[]h] Los datos proporcionados se corresponden con la dosis colectiva por envío, 2,26 mSv-persona en un envío con tres contenedores.

[[]i] Se han analizado diversos grupos críticos, calculándose diferentes valores en función de dichos grupos. Los datos incluidos representan las dosis individuales recibidas debidas a la parada del camión en un semáforo (200 transportes): 0,006 mSv, y las dosis individuales debidas al transporte a largas distancias por ferrocarril (200 transportes): 0,0011 mSv.

[[]j] El valor obtenido es el máximo para 10 transportes por ferrocarril, y engloba el análisis llevado a cabo por carretera.

[[]k] Se incluye en este número las fuentes médicas. Datos de 1997

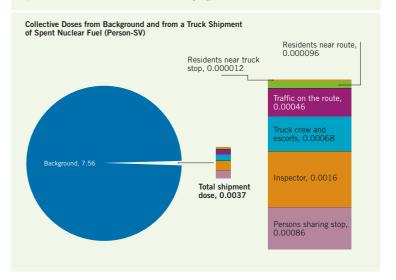
[[]I] El valor obtenido es el máximo para 4160 transportes de bultos tipo A.

[[]m] Los valores de esta columna se corresponden con los valores de tasa de dosis de todas las actividades relacionadas con el transporte: acondicionamiento del material en el embalaje, manejo del contenedor y conductores.

Por otra parte, el estudio realizado por la Nuclear Regulatory Commission de los Estados Unidos (USNRC) [29] concluye que la dosis que se estima recibirían los miembros del público durante un transporte de combustible gastado en condiciones rutinarias, incluyendo las paradas, es prácticamente indiscernible respecto a fondo de radiación natural. En el gráfico de la derecha se muestra una comparación de las dosis colectivas recibidas por el público y los trabajadores del transporte en los transportes de combustible gastado respecto a la que supone el fondo de radiación natural.

Existen otros datos que confirman que las dosis recibidas por los trabajadores y el público en el transporte de residuos y de combustible gastado se mantienen muy por debajo de los límites anuales de dosis para estos colectivos, como por ejemplo los reflejados en la publicación del World Nuclear Transport Institute (WNTI) [30], de la que se han extraído los datos reflejados en la tabla de la derecha.

Dosis colectivas debidas a un transporte de combustible gastado (Extraída del NUREG 2125 de la USNRC [29])



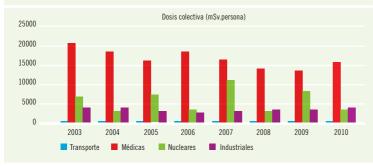
Dosis recibidas en el transporte por carretera de combustible gastado y residuos [30]

Límites	Máxima dosis recibida para transportes por carretera (mSv/año)				
Reglamentarios (mSv/año)	Personas Combustible gastado		Residuos de media y baja actividad		
20	Trabajadores de carga y descarga	<1	-		
20	Conductores	0,2-0,5	0,020-0,4		
1	Público	<0,004	<0,004		

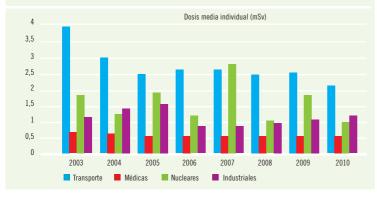
Dosis en el transporte de material radiactivo en España

Año	Dosis individual media (mSv/año)	Dosis colectiva (mSv.persona)	Nº de trabajadores
2010	2,23	196	130
2011	2,18	172	135
2012	2,37	163	132
2013	2,24	166	134
2014	2,14	175	155
2013	2,24	166	134

Comparativa de las dosis colectivas entre sectores de uso del material radiactivo (extraído de [31])



Comparativa de las dosis individuales medias entre sectores de uso del material radiactivo (Extraido de [31])



Análisis de dosis en los transportes de material radiactivo en España

En la tabla de la izquierda se recogen los datos de las dosis recibidas por los trabajadores en el transporte de material radiactivo en los últimos cinco años, de acuerdo con los informes del CSN al Parlamento. La dosis individual media en ese periodo se sitúa alrededor de los 2,2 mSv/año.

En los estudios realizados en el CSN [31] sobre las dosis recibidas por los trabajadores de transporte se concluye que las dosis más altas se reciben en los suministros por carretera de radiofármacos: sobre todo debido a las operaciones de carga/descarga y al transporte de remesas con gran cantidad de bultos, si bien nunca se ha dado una superación de los límites anuales de dosis. El hecho de que son muy pocas empresas las que transportan la mayoría de estos bultos, con muy pocos trabajadores involucrados en estas actividades, hace que la dosis individual media del sector sea mayor que en otros (Ver el segundo gráfico, a la izquierda), si bien su dosis colectiva es comparativamente menor (Ver primer gráfico, a la izquierda))

Respecto al transporte de residuos de muy baja, baja y media actividad, en general, las dosis individuales a los trabajadores se mantienen por debajo de 1 mSv/año. En el caso de los transportes de combustible irradiado, dado que las expediciones realizadas han tenido carácter esporádico y las empresas de transporte no se dedicaban en exclusiva a ese tipo de expediciones, no se dispone de datos específicos sobre las dosis recibidas en las operaciones.



Descarga de bulto de transporte con elementos combustibles no irradiados en una central nuclear.

Sucesos en el transporte de material radiactivo

Al igual que otros temas considerados en anteriores secciones, los sucesos ocurridos en el transporte de residuos radiactivos y combustible irradiado han de tratarse en el contexto general de las incidencias

en el transporte de material ra-

SUCESOS EN EL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIACTIVO

A pesar de una exhaustiva aplicación de los requisitos de seguridad, en cualquier actividad que entrañe riesgos pueden ocurrir sucesos no deseados, con un potencial impacto negativo sobre las personas y el medio ambiente. El transporte de material radiactivo no es una excepción al res-

to de actividades con riesgo que están aceptadas por nuestra sociedad y, por tanto, pueden suceder incidencias en su desarrollo. Sin embargo, una aplicación eficaz de los requisitos definidos por la normativa reducirá al máximo la probabilidad de ocurrencia de los sucesos y su impacto radiológico.

Históricamente no se han reportado sucesos en el transporte de material radiactivo con consecuencias radiológicas muy graves [1], lo que avala a los requisitos desarrollados a lo largo de más de 50 años en el seno del OIEA y trasladados a las normativas internacionales y nacionales sobre transporte de mercancías peligrosas. Estos buenos resultados indican también que la puesta en vigor de los requisitos y su seguimiento por las autoridades reguladoras ha tenido una alta eficacia. No obstante, cuando ocurre un suceso, independientemente de sus potenciales consecuencias radiológicas, han de aplicarse planes de actuación para tratar de minimizarlas.

Planes de actuación ante emergencias

Las pautas generales de actuación para los servicios de intervención inmediata (fuerzas de seguridad, servicios de extinción de incendios, apoyo médico) son las mismas para un accidente en el transporte de cualquier mercancía peligrosa. Por ello, la intervención ante una emergencia en un transporte de material radiactivo está integrada dentro de la general ante sucesos en el transporte de mercancías peligrosas. No obstante, cada clase de materia peligrosa puede precisar de acciones particulares asociadas a sus riesgos específicos, para lo que es muy importante el asesoramiento y la participación de organismos especializados como el Consejo de Seguridad Nuclear.

La Directriz Básica de Protección Civil aprobada en 1996 [32] regula la actuación en España ante un accidente con mercancías peligrosas en el transporte por carretera y ferrocarril. En esta norma la planificación de emergencias se establece en dos niveles: un primer nivel de respuesta con los planes de emergencia de las comunidades autónomas (CCAA) y un segundo nivel que establece un plan estatal ante el riesgo de accidentes que tengan un interés nacional y que define los mecanismos de apoyo a los planes de las CCAA.

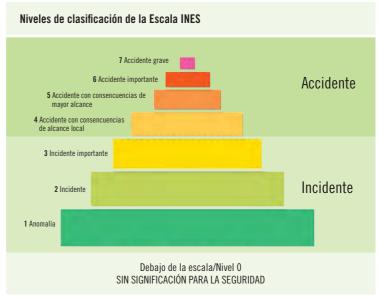
La Directriz Básica también recoge los requisitos de notificación y de colaboración con las autoridades de los expedidores y transportistas. En este sentido, los expedidores y transportistas de material radiactivo disponen de procedimientos de actuación ante emergencias, que incluyen las pautas generales de actuación y de comunicación con las autoridades competentes y con otros participantes en el transporte. En el caso concreto de los transportes de residuos radiactivos, Enresa dispone de un plan específico denominado *Plan de actuación ante contingencias o accidentes en transportes de residuos radiactivos.*

Adicionalmente, la normativa de transporte requiere que el expedidor de una remesa de material radiactivo entregue al transportista las disposiciones a considerar en caso de emergencia, según la naturaleza particular del envío. La Guía 6.3 del CSN [33] da las pautas para el desarrollo de estas disposiciones.

Clasificación de los sucesos según su importancia para la seguridad. Escala INES

La escala INES [34] es el instrumento más utilizado a escala mundial para informar al público de una manera sistemática sobre la importancia de los sucesos nucleares y radiológicos desde el punto de vista de la seguridad. Se aplica a una amplia gama de actividades, tales como el uso industrial y médico de fuentes de





radiación, la explotación de las instalaciones nucleares y el transporte de material radiactivo.

La escala INES clasifica los sucesos en siete niveles: del nivel 1 al 3 se denominan "incidentes" y de los niveles 4 al 7 se habla de "accidentes". Cuando los sucesos no revisten importancia para la seguridad se los denomina "desviaciones" y se clasifican por debajo de la escala como nivel 0 (sin importancia para la seguridad) (Ver el último gráfico de la página anterior).

Estadísticas sobre sucesos en el transporte de material radiactivo

Históricamente no se han reportado sucesos en el transporte de material radiactivo que hayan llevado a consecuencias radiológicas graves [1], por lo que la mayoría de los sucesos estarían ubicados en los niveles inferiores de la escala INES. A continuación se darán datos estadísticos concretos obtenidos de estudios realizados internacionalmente y en España.

Ejemplos de estadística de sucesos a nivel internacional

Uno de los estudios más completos es el realizado por la Health Protection Agency (HPA) del Reino Unido en 2006 [35], que abarca 46 años de actividad (1958-2004). Aunque los datos a lo largo de ese largo periodo pueden estar influidos por la evolución del procedimiento de notificación de sucesos y por el desarrollo del marco regulador, del estudio se pueden sacar datos globales y tendencias de mucho interés, que se han confirmado en gran parte por análisis realizados en otros países.

El estudio señala que en el momento de su publicación se estaban transportando en el Reino

Unido cerca de medio millón de bultos al año y que durante el periodo analizado fueron reportados un total de 806 sucesos (alrededor de 20 sucesos al año).

Otro estudio de interés es el realizado por el Institut de Radioprotection et de Sûrete Nucléaire (IRSN) en Francia [36] que abarca el periodo 1999-2011. El estudio indica que en Francia se transportan alrededor de 900.000 bultos al año y que en el periodo de estudio se notificaron 1.304 sucesos (alrededor de 100 sucesos al año).

En ambos estudios no solo se incluyen los accidentes en el transcurso del transporte o las incidencias en las operaciones de carga, almacenamiento en tránsito o descarga, sino también los incumplimientos de los requisitos reglamentarios, incluidos los de tipo administrativo. También se contabilizan los extravíos o robos de bultos en las distintas fases del transporte.

Independientemente de la diferencia en el número de sucesos entre ambos estudios, que puede deberse al volumen total de transportes en cada país, a los procedimientos de notificación aplicados y a los propios criterios para considerar lo que es suceso o no, muchas de las conclusiones del estudio del IRSN coinciden con las del HPA y confirman las tendencias. A continuación se recogen las conclusiones más destacables.

Tipología de los sucesos:

 Un gran número de sucesos fueron de carácter administrativo, como documentación incorrecta o inadecuada señalización de bultos y vehículos (16.4% en el estudio británico y 19% en el francés)

- La mayor parte de los sucesos ocurrieron en los transportes hacia el sector médico e industrial (47% en el británico; alrededor de 25 sucesos/año en el sector médico en Francia). Esto es coherente con el hecho de que en estos sectores es donde se realizan más transportes de material radiactivo.
- La mayoría de los sucesos involucraron a bultos Exceptuados, Industriales y del tipo
 A. Esto también es coherente con que sea en el sector médico e industrial donde más se utilizan este tipo de bultos.
- Muchos sucesos ocurrieron en los procesos de manipulación de los bultos, como la carga y descarga. En ambos estudios es significativo el número de sucesos en operaciones de carga/descarga en aeropuertos. La mayoría de estas incidencias afectan a bultos del sector médico, que utiliza con frecuencia el modo aéreo en las importaciones y exportaciones de radiofármacos. En el Reino Unido estos sucesos destacan en la década de los setenta, pero la tendencia se redujo drásticamente en los años posteriores con la mejora de los procedimientos de trabajo.
- El modo de transporte más afectado fue la carretera. Este dato también es coherente con que sea el medio de transporte más utilizado en la distribución de bultos en el sector médico e industrial.

Importancia para la seguridad:

- En Francia la gran mayoría de los sucesos fueron nivel 0 en la escala INES (sin importancia para la seguridad), mientras que en el nivel 1 (anomalía) se clasificaron 141 sucesos (11% de los reportados) y un solo suceso en el nivel 3 (incidente importante).
 Ver el gráfico de la página siguiente, extraído del estudio del IRSN.
- De los 142 sucesos clasificados en Francia en el nivel 1 o superior, se dieron 97 en los sectores médico e industrial y 44 en los transportes del ciclo del combustible nuclear (solo el 6% de todos los sucesos que ocurrieron en este sector). La mayoría de los bultos implicados en sucesos de nivel 1 o superior eran del tipo A destinados al sector médico.
- En Francia, gran parte de los sucesos nivel 1 o superior fueron robos o extravíos de bultos destinados al sector médico e industrial y daños en bultos durante operaciones de carga/descarga (fundamentalmente en aeropuertos). En el Reino Unido hasta un 14% fueron extravíos o robos de bultos.
- Aunque el estudio británico no incluye la clasificación INES sí se analizan las consecuencias radiológicas de los sucesos:
 - En la mayoría (63%) los bultos no sufrieron un daño significativo y en el 90% no se produjo pérdida de su blindaje o contención. Por ello, las consecuencias radiológicas no fueron apreciables (el 66% de los sucesos no tuvieron con-

secuencias y en un 30% fueron muy bajas). La tabla de la página siguiente reproduce en detalle estos datos.

Los sucesos con mayores consecuencias ocurrieron en el sector de la gammagrafía industrial (sobre todo alrededor de los años 70). En muchos casos, el suceso en el transporte es realmente una consecuencia de un suceso previo en la operación de gammagrafía (incorrecta retracción de la fuente al equipo). Estos sucesos y sus consecuencias se redujeron en los últimos años del periodo de estudio gracias a mejoras en la formación de los operadores de gammagrafía.

Análisis de los sucesos según el material transportado:

- En el estudio del IRSN no se hace este análisis, por lo que no se especifican los asociados al transporte de residuos radiactivos; sin embargo, en el británico sí se dan datos:
 - En el transporte de residuos los sucesos fueron únicamente el 7,8% del total.
 - En el transporte de combustible irradiado fueron 187 (23% del total), pero casi el 50% fueron de un solo tipo: superación de los límites de contaminación en la superficie de los contenedores o vehículos.
- Como en el caso británico, el IRSN también destaca los sucesos de contaminación su-

perficial de los contenedores y de los vehículos en los transportes de combustible irradiado:

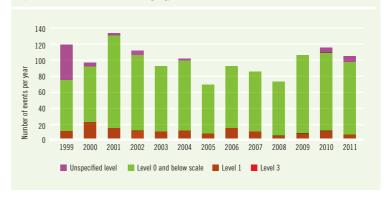
- Esta incidencia se debía a que, en la carga de los contenedores dentro de las piscinas de combustible, parte de la contaminación del agua de las piscinas se absorbía en la pintura de la superficie de los contenedores y, aunque tras la carga se sometían a una exhaustiva descontaminación, parte de la contaminación fija de su superficie migraba hacia el exterior, detectándose valores de contaminación superficial superiores a los límites reglamentarios en las instalaciones receptoras de los transportes.
- El fenómeno fue detectado también en otros países en los que se transportaba combustible irradiado, fundamentalmente a finales de los años 90, pero la adopción de medidas de reducción de la concentración de actividad en las piscinas de las plantas nucleares y las mejoras en el diseño de los contenedores y en los procedimientos de carga, ha conducido a una reducción importante de estos sucesos a partir de 2002.
- De acuerdo con el estudio del IRSN, la gran mayoría de estos sucesos suponían contaminaciones inferiores a 100 veces los límites y ninguna de estas incidencias provocó contaminación de los trabajadores. Solo en seis casos se alcanzó una clasificación INES de nivel 1.

Otras conclusiones generales de interés recogidas en el estudio del HPA:

- No ha habido evidencia de que los bultos que cumplían los requisitos de la normativa de transporte se comportaran inadecuadamente. Ningún suceso en el que se vio envuelto un bulto del tipo B, adecuadamente preparado y mantenido, dio lugar a pérdida de su contenido.
- Las causas principales de los sucesos se debieron a errores humanos y a una formación del personal insuficiente.
- Las lecciones aprendidas han llevado a la reducción ostensible de determinados tipos de sucesos, como los ocurridos en la manipulación de bultos en los aeropuertos, la contaminación superficial en los contenedores de combustible irradiado o los derivados de operaciones de gammagrafía industrial.
- En los últimos 20 años del estudio se produce una reducción de los sucesos graves, lo que implica una mejora en la seguridad de la actividad.

A nivel europeo se dispone del estudio realizado por la Comisión Europea en 1990, que abarca el periodo desde 1975 a 1986 [37]. Aunque en el propio estudio se reconoce una gran variabilidad en la información suministrada por los diferentes países que participaron en el análisis, las conclusiones más significativas coinciden con las resaltadas anteriormente en los análisis del HPA y el IRSN, destacando las siguientes de carácter general:





Consecuencias radiológicas de los sucesos según el material transportado en Reino Unido entre 1958-2004 Fuente: [35]

Tipo de material	Ninguna	Muy bajas o no analizadas	Dosis <1mSv	Dosis >1mSv	Total
Concentrados de Uranio	14	18	1	0	33
Óxido de Uranio	20	2	0	0	22
Combustible no irradiado	4	2	1	0	7
Combustible irradiado	69	32	0	0	101
Contenedores de combus- tible irradiado descargados	42	68	1	0	111
Residuos radiactivos	35	23	4	1	63
Radioisótopos de aplicación médica e industrial	282	81	10	3	376
Fuentes de gammagrafía industrial	48	13	2	15	78
Materiales no radiactivos	11	1	0	0	12
Productos de consumo/otros	2	1	0	0	3
Total	527	241	19	19	806

- La mayoría de los sucesos afectan a transportes de bultos Exceptuados, Industriales y tipo A con destino a los sectores médico e industrial, que utilizan el modo de carretera.
- Ningún suceso de los reportados dio lugar a consecuencias graves para las personas por causa de la naturaleza radiactiva del material transportado.
- En ninguno de los sucesos hubo evidencia de que los bultos que cumplían los requisitos de la normativa de transporte no ofrecieran suficiente protección en las condiciones de accidente.
- El número de sucesos es bajo frente al número de transportes realizado.

Estadística de sucesos en España

La notificación de los sucesos en el transporte de material radiactivo se encuadra en el procedimiento general establecido para el resto de mercancías peligrosas, como el definido para carretera y ferrocarril en la Directriz Básica de Protección Civil [32] y en el Real Decreto 97/2014 [8]. Asimismo, la vía aérea y la vía marítima tienen sus procedimientos de notificación particulares para la notificación de accidentes.

Sin perjuicio de lo anterior, en el caso del transporte de material radiactivo, las instalaciones nucleares y radiactivas, que actúan como expedidoras, y las empresas de transporte recogen en sus procedimientos la notificación al CSN de los sucesos. Al objeto de armonizar este proceso de notificación, el CSN está elaborando una Instrucción de Seguridad, que se espera publicar en 2016, con el objetivo de:

- Identificar los tipos de sucesos notificables y sus plazos de notificación.
- Concretar la información mínima a suministrar.
- Identificar a los responsables de la notificación e informe posterior.

En la primera tabla de la página siguiente se recoge un resumen de la cantidad de transportes que se realizan anualmente en España. Como se puede observar, la inmensa mayoría se realiza con destino al sector médico e industrial, utilizando bultos tipo A y Exceptuados. Los transportes de residuos solo suponen alrededor de 250 transportes al año y los de transporte de combustible irradiado son esporádicos (Ver también secciones 4 y 5 de este documento). Actualmente no se dan transportes de material radiactivo por ferrocarril.

La información periódica sobre los sucesos acaecidos en España se incluye en los informes anuales del CSN al Parlamento. En la segunda tabla de la página siguiente se recoge el resumen de los sucesos de los últimos 17 años (1999-2015). La tabla incluye la clasificación INES de estos sucesos

Partiendo de las premisas de que las actividades en el sector nuclear en España son diferentes a las del Reino Unido y Francia, pues no disponemos de todas las fases del ciclo de combustible nuclear, que aún no se realizan transportes de combustible gastado y que es menor el número de transportes en el resto de sectores (médico, industrial e investigación), como se verá a continuación se confirman muchas de las conclusiones alcanzadas en los estudios de la HPA británica y del IRSN francés [35, 36].

Es importante tener en cuenta que en los sucesos registrados no se tienen en cuenta los incumplimientos de requisitos de carácter documental, como se hace en el estudio británico y francés, sino solo aquellas incidencias que pudieran tener un impacto directo en la seguridad de los bultos o de las expediciones.

Transportes de material radiactivo en España				
Tipo de bulto	Aplicación del material radiactivo	Transportes año	Modos de transporte	
Exceptuados y Tipo A	Medicina, investigación, industria	~50.000 envíos (~100.000 bultos)	Aéreo-carretera Carretera	
Industrial	Residuos radiactivos Concentrados de Uranio	~250 ~10	Carretera Marítimo-carretera (desde Baleares y Canarias) Marítimo (tránsitos en puertos sin descarga)	
Тіро В	Equipos de gammagrafía Fuentes de alta actividad	Cientos ~5	Carretera Aéreo-carretera Carretera	
Fisionables	Óxido de Uranio y elemen- tos de combustible nuclear no irradiados	~70	Carretera Marítimo-carretera	

Resumen de sucesos en España entre 1999 y 2015																		
Tipo de incidente	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
Deficiencias en embalaje	0	0	0	0	0	2*	0	0	1*	3 (1/1/0)	0	0	0	0	0	0	0	6
Contenido inadecuado	1 (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (1)	1 (0)	0	0	0	0	0	0	3
Suceso en proceso de carga/descarga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0)	2 (0)	3
Contaminación embalajes	0	0	0	0	0	1 (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0)	0	2
No conformidad en etiquetado o marcado de bultos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0)	0	1 (0)	2
Incidentes en terminales de aeropuertos	6 (0)	3 (0)	2 (0)	1 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (1	2 (0)	0	0	0	0	0	0	1 (0)	1 (0)	0	21
Accidente de tráfico	2 (1/1)	0	0	1 (1)	1 (0)	0	5 (0)	3 (0)	2	3 (0)	1 (0)	3 (0)	1 (0)	1 (0)	4 (0)	2	1 (0)	30
Robo en el vehículo	2 (0/1)	0	0	0	1 (1)	1 (1)	2 (1/1)	1 (1)	0	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	0	0	0	0	11
Extravío	2 (0/1)	0	1 (1)	0	0	1 (0)	1 (0)	0	0	0	2 (0)	1 (0)	1 (0)	0	0	0	1 (0)	10
Total	13	3	3	2	4	7	9	6	3	8	5	5	3	1	6	5	5	88

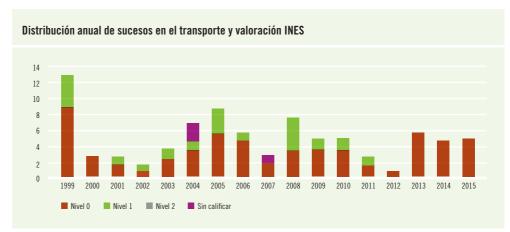
Entre paréntesis la clasificación INES correspondiente a los sucesos. (*) Clasificación INES realizada en el país de origen del transporte: el suceso fue detectado a recepción en España

Los puntos más resaltables de la estadística de sucesos en España son:

- En los últimos 17 años han ocurrido un total de 88 sucesos. Aunque el número de sucesos tiene cierta variabilidad, vienen ocurriendo alrededor de cinco al año.
- El 78% (69 sucesos) han sido sucesos clasificados en el nivel 0 de la escala INES (sin importancia para la seguridad) y el resto (19) como nivel 1 (anomalía). La mayoría de los nivel 1 han sido robos de bultos en vehículos (10) con destino al sector médico o industrial.
- La mayoría de las incidencias en procesos de carga/descarga han sucedido en los aeropuertos (21), que se destacan de manera particular en la tabla de la página anterior, pero a partir de 2006 se produce una reducción significativa por la mejora en los procedimientos aplicados en estas operaciones. Salvo en un caso, la clasificación INES fue nivel 0.

 La mayoría de los sucesos son accidentes de tráfico en carretera (30). La gran mayoría de estos sucesos se dieron en expediciones del sector médico e industrial. El incremento de estos sucesos va en línea con el aumento de las actividades de radiofarmacia y de las instalaciones de suministro de F-18 para diagnóstico médico en medicina nuclear. Solo en tres casos el





suceso fue clasificado en el nivel 1 INES. Prácticamente en todos los accidentes no se produjo daño a la carga.

- Se han dado un total de 21 sucesos de robo o extravío de bultos. A partir de 2011 se produjo una reducción de estos sucesos, que coincide con la adopción de medidas específicas como los requisitos recogidos en la Instrucción de Seguridad IS-34 del CSN [40].
- La gran mayoría de sucesos afectan a bultos Exceptuados y tipo A en el transporte hacia el sector médico (accidentes de tráfico, incidentes en aeropuertos, robos y extravíos).
- La mayor parte de los bultos tipo A involucrados en accidentes de carretera no han sufrido la pérdida de la contención o del blindaje, a pesar de que la normativa no exige la superación de las condiciones de accidente a este tipo de bultos.
- Se ha producido un suceso en el transporte de residuos (accidente de carretera) y otro en el de combustible irradiado (contaminación superficial en contenedor detectada a recepción), ambos clasificados como nivel 0 en la escala INES.
- Ningún suceso ha supuesto impacto radiológico significativo a las personas o al medio ambiente.
- Considerando el número de transportes de material radiactivo realizados anualmente, el número de sucesos ocurridos se considera muy baio.

Los sucesos en el transporte de material radiactivo en el contexto general de las mercancías peligrosas

En España, la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE) realiza análisis periódicos de las emergencias producidas en el transporte de mercancías peligrosas por carretera y ferrocarril. Estos análisis permiten ver dónde se encuentra la clase 7 (materia radiactiva) respecto al resto de clases de mercancías peligrosas en el ámbito de la accidentabilidad.

La tipología del suceso en los análisis de la DGPCE es más restringida que la considerada en los análisis estadísticos citados anteriormente para la materia radiactiva, ya que se centran exclusivamente en accidentes ocurridos durante el transporte y, dentro de estos, se descarta la avería o accidente en el que el vehículo queda inmovilizado, pero el continente de las materias peligrosas transportadas está en perfecto estado y no se ha producido vuelco o descarrilamiento. La mayoría de los accidentes de la clase 7 ocurridos están dentro de este último caso.

El último informe trienal [38] se centra en el periodo 2011-2013, pero también aporta datos de los últimos diez años a fin de analizar las tendencias en la ocurrencia de los accidentes.

De lo recogido en este informe se destaca:

 En los últimos 10 años se han notificado 1.273 accidentes, de los cuales 1.221 corresponden al transporte por carretera. Esto supone alrededor de 125 accidentes al año.

- En la tabla de abajo se muestran las mercancías peligrosas más afectadas por los sucesos y en el gráfico de la página siguiente se muestra una comparativa del número de accidentes en las diferentes clases de materias. De acuerdo con los criterios aplicados por la DGPCE, solo se identifican 3 accidentes de la clase 7 frente al total de 1.273 (0,2% del total).
- En el período 2004-2013 se notificaron 8 accidentes del tipo 5 (Explosión del contenido destruyendo el continente); 45 del tipo 4 (daños o incendio en el continente y fugas con llamas del contenido); 685 del tipo 3 (fuga o derrame del contenido); 535 del tipo 2 (sin fuga o derrame del contenido).
- En la tabla de la página siguiente se incluye el resumen de accidentes en función de las situaciones de emergencias declaradas. Ningún accidente de la clase 7 supuso la declaración de Situación de Emergencia superior a 0.

Por tanto, considerando el análisis periódico de la DGPCE se puede concluir que los registros de accidentes muestran una accidentabilidad muy baja para los transportes de la materia radiactiva en comparación con el resto de mercancías peligrosas.

Accidentes según la clase de mercancía peligrosa (2004-2013)

Nº de accidentes	%	Clase de materia	Información adicional
712	44,9	Clase 3. Líquidos inflamables	Principalmente gasóleos (406) y gasolinas (100)
356	22,4	Clase 2. Gases	Principalmente hidrocarburos gaseosos licuados en mezcla (111)
315	19,8	Clase 8. Materias corrosivas	Principalmente ácido clorhídrico. hidróxido sódico, hipoclorito en solución y ácido sulfúrico
83	5,2	Clase 9. Materiales y objetos peligrosos diversos	
38	2,4	Clase 6.1. Materias tóxicas	

Accidentes según la situación de emergencia declarada (2004-2013)

Nº de accidentes	%	Situación de emergencia	Información adicional
688	53,3	0	Sin peligro para las personas no relacionadas con las labores de intervención, ni para el medio ambiente, ni para bienes distintos de la propia red viaria en la que se ha producido el accidente.
476	36,9	1	Requiere de la puesta en práctica de protección para las personas, los bienes o el medio ambiente.
8	2,1	2	Prevé el concurso de medios de intervención no asignados al Plan de la Comuni- dad Autónoma, a proporcionar por la organización del Plan Estatal

El sistema español de transporte de residuos radiactivos en el entorno internacional

Los enfoques que se aplican a escala internacional para la gestión de los residuos radiactivos son diversos y afectan directamente a cómo se aborda su transporte. La elección

ENFOQUES EN LA GESTIÓN Y EL TRANSPORTE DE RESIDUOS RADIACTIVOS

de un tipo u otro de gestión puede basarse en consideraciones de estrategia económica, administrativa o política, pero siempre serán importantes cuestiones como el volumen de residuos generados, su tipo: solo de muy baja, baja o media actividad o también de alta actividad, y la clase de las instalaciones que los generan: solo instalaciones radiactivas o también instalaciones nucleares.

A grandes rasgos, se pueden encontrar los siguientes modelos de gestión:

- a) Los residuos permanecen en las instalaciones productoras. Esta situación se suele dar cuando el volumen de residuos es pequeño, no existe un ciclo de combustible nuclear o no se dispone aún de instalaciones centralizadas para la recogida de los residuos. En este caso se realizan pocos transportes de residuos, salvo en casos particulares como la devolución de fuentes radiactivas fuera de uso a sus países de origen.
- b) La gestión de los residuos la llevan a cabo entidades públicas o privadas (a veces con participación de los productores), que llevan a cabo el inventario de los residuos y la explotación de las instalaciones centralizadas para su recogida; sin embargo, no incluye el transporte de los residuos hasta esas instalaciones, sino que son los propios productores los que lo realizan: actúan como expedidores, eligen el medio de transporte y contratan a la empresa de transporte.
- c) Se realiza una gestión que podemos denominar integral, que incluye la recogida, el transporte y el almacenamiento de los residuos en instalaciones centralizadas de almacenamiento. Pueden llevarla a cabo entidades públicas o privadas. En este caso se reduce el número de expedidores y, por tanto, de responsables principales de la seguridad de los transportes, pues los productores hacen entrega de los residuos en sus instalaciones a una de esas entidades.

d) Una combinación de los casos anteriores.

Por tanto, el tipo de gestión de los residuos condiciona la de su transporte y, en consecuencia, el enfoque del seguimiento por parte de las autoridades reguladoras, ya que es diferente considerar a todos los productores de residuos como responsables de las condiciones de seguridad de los transportes o bien solo a unas pocas entidades encargadas de la gestión de los residuos radiactivos.

Algunos ejemplos europeos de estos diferentes enfoques de gestión

- En Irlanda, los residuos radiactivos permanecen almacenados en las instalaciones radiactivas médicas, industriales y de investigación donde se generan, a la espera de la construcción de un almacenamiento centralizado.
- En Italia, la empresa pública SOGIN está encargada de la gestión de los residuos procedentes de instalaciones nucleares y de la operación del futuro almacén temporal centralizado de residuos de media y baja actividad. Entre tanto, los residuos de instalaciones no nucleares se almacenan por los propios productores o por algunos operadores privados autorizados a los que aquellos los transportan.
- En Francia, el organismo público ANDRA (Agence national pour la gestion des déchets radioactives), es responsable de la gestión de los residuos, pero su transporte es realizado directamente por sus productores. ANDRA actúa como receptor de los residuos en sus centros de almacenamiento centralizados.

- En el Reino Unido, la entidad pública NDA (Nuclear Decommissioning Autority) asume la responsabilidad de la gestión de los residuos del sector nuclear, incluyendo su transporte. Existen además entidades de ámbito privado autorizadas para la gestión de residuos de baja actividad, que pueden realizar el transporte.
- En Suecia, la empresa SKB (Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company), propiedad de los operadores de centrales nucleares, es responsable de la gestión de sus residuos radiactivos, incluyendo su almacenamiento y transporte.
- En Alemania, la gestión de los residuos generados por las instalaciones nucleares es realizada principalmente por GNS (Gesellschaft für Nuklear Service), que es propiedad de los productores, y en algunos casos por la empresa pública EWN. La gestión incluye el transporte de los residuos. En cuanto a los residuos generados por instalaciones no nucleares, además de las anteriores, también llevan a cabo esa gestión y el transporte empresas privadas autorizadas a nivel de los estados federales.
- En Suiza, la responsabilidad de la gestión de los residuos recae en los productores.
 La gestión de los residuos procedentes de instalaciones nucleares se realiza en su nombre a través de NAGRA (National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste) y la de los residuos de instalaciones no nucleares por el Gobierno federal.

 En Bélgica, ONDRAF (Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies), y en Holanda, COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval), son entidades públicas que realizan la gestión integral de los residuos radiactivos, incluyendo su transporte.

En la mayoría de países se asegura la separación entre los agentes encargados de la implantación de los programas de gestión de los residuos radiactivos y los responsables del control de que estos se llevan a cabo siguiendo las normas aplicables y hay una clara división de responsabilidades entre los productores de residuos y los operadores de esos programas de gestión, que definen las condiciones en las que aquellos deben entregar los residuos para poder ser transportados y almacenados.

El enfoque y la experiencia española

En 1984, el Parlamento decidió crear una empresa pública para gestionar los residuos radiactivos que se producen en España, emitiéndose el Real Decreto 1522/1984 por el que se constituye Enresa [39]. La gestión afecta a cualquier tipo de residuo radiactivo procedente de las instalaciones nucleares, radiactivas o como resultado de incidencias al margen de esas instalaciones e incluye su transporte hasta las instalaciones de almacenamiento centralizado de las que también es titular Enresa.

Por tanto, en todos esos transportes es Enresa la que actúa como expedidor desde las instalaciones de los productores hasta las de almacenamiento y, en consecuencia, es responsable de las principales condiciones de seguridad, incluyendo la elección de los bultos y de los medios de transporte y la contratación de las empresas de transporte. Cuando se comiencen a realizar los transportes de combustible gastado desde las instalaciones nucleares hasta el ATC, Enresa también actuará como expedidor de esos transportes desde la salida de las instalaciones.

Se considera que la existencia de un solo expedidor de los transportes de residuos radiactivos hasta las instalaciones de almacenamiento tiene grandes ventajas desde el punto de vista de la seguridad porque:

 Se reduce el número de diseños de bultos utilizados para el transporte de los residuos y se aplican procedimientos normalizados en el desarrollo de la actividad, lo que facilita el seguimiento (licenciamiento, control e inspección) por parte del Consejo de Seguridad Nuclear.

- Al adquirir la actividad de transporte una dimensión significativa en ese único expedidor, se produce una mayor especialización en su desarrollo, mejorando la formación y la experiencia de su personal y de las organizaciones dedicadas a la actividad.
- Un solo interlocutor de carácter público facilita la colaboración con las autoridades reguladoras en actividades fundamentales para la seguridad de los transportes como el desarrollo de normativa o la actuación ante emergencias.

En ese sentido, la experiencia operativa del enfoque aplicado en España a la gestión de los transportes de residuos radiactivos se puede calificar de excelente, no habiéndose producido prácticamente incidencias en esta área, siendo las dosis anuales recibidas por los trabajadores del transporte muy bajas, o insignificantes en el caso del público, y existiendo una adecuada comunicación entre Enresa y las autoridades reguladoras que ha permitido introducir mejoras normativas y en la seguridad de los sistemas de transporte de estos materiales.



- [1]. Planning and preparing for emergency response to transport accidents involving radioactive material (2002). TS-G-1.2. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 2002.
- [2]. Training course series n°. 1: Safe Transport of Radioactive Material. Fourth Edition, IAEA, 2006.
- [3]. IAEA/PI/A.2E: Transport of radioactive material. IAEA. 1992.
- [4]. Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear.
- [5]. Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos.
- [6]. Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas. Reglamentación modelo. Naciones Unidas. Decimonovena edición revisada. 2015.
- [7]. SSR-6 Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos. Edición de 2012. Normas de Seguridad del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).
- [8]. Real Decreto 97/2014, de 14 de febrero, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español.
- [9]. Acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por

- carretera (ADR). Edición 2015. Comisión Económica para Europa de la ONU (UNECE).
- [10]. Real Decreto 412/2001, de 20 de abril, por el que se regulan diversos aspectos relacionados con el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril.
- [11]. Reglamento relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril (RID). Edición 2015. Anejo al Convenio relativo a los transportes internacionales por ferrocarril (COTIF). UNECE.
- [12]. Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativos comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y se modifica el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de circulación aérea.
- [13]. Instrucciones técnicas para el transporte seguro de mercancías peligrosas por vía aérea de la Organización de Aviación Civil Internacional (Documento OACI 9284/AN/905). Edición 2015.
- [14]. Código marítimo internacional de transporte de mercancías peligrosas (Código IMDG), de la Organización Marítima Internacional (OMI). Edición 2014. Enmienda 37-14.
- [15]. Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.

- [16]. Real Decreto 1308/2011, de 26 de septiembre, sobre protección física de las instalaciones y los materiales nucleares, y de las fuentes radiactivas.
- [17]. Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.
- [18]. Instrucción IS-38, de 10 de junio de 2015, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre la formación de las personas que intervienen en los transportes de material radiactivo por carretera.
- [19]. Resolución de 8 de enero de 2016, de la Dirección General de Tráfico, por la que se establecen medidas especiales de regulación del tráfico durante el año 2016.
- [20]. Resolución de 14 de diciembre de 2015, de la Dirección de Tráfico del Departamento de Seguridad, por la que se establecen medidas especiales de regulación de tráfico durante el año 2016 en la Comunidad Autónoma del País Vasco.
- [21]. Resolución INT/2882/2015, de 10 de diciembre, por la que se establecen las restricciones a la circulación durante el año 2016 en Cataluña.
- [22]. Quinto informe nacional de la Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de residuos radiactivos. Octubre 2014.

- [23]. Avance estadístico 2014. UNESA, Marzo 2015.
- [24]. The nuclear fuel of pressurized water reactors and fast neutron reactors. Design and behavior. Collection du Commissariat à L'énergie atomique. Ed. Lavoisier Publishing, 1999.
- [25]. Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of radioactive material. Specific Safety Guide n° SSG-26. 2012 edition, IAEA.
- [26]. Instrucción IS-39, de 10 de junio de 2015, del Consejo de Seguridad Nuclear, en relación con el control y seguimiento de la fabricación de embalajes para el transporte de material radiactivo.
- [27]. NRPB W66 Survey into the radiological impact of the normal transport of radioactive material in the UK by road and rail. S. J. Watson, W. B. Oatway, A. L. Jones and J. S. Hughes. 2005.
- [28]. Statistics on the transport of radioactive materials and statistical analyses. NRPB, GRS, ANPA, NRG, IRSN, CEPN. 2003.
- [29]. Spent Fuel Transportation Risk Assessment. NUREG-2125. US Nuclear Regulatory Commission (USNRC), 2014.
- [30]. Radiation Dose Assessment for the transport of nuclear fuel cycle materials. W.L. Wilkinson. World Nuclear Transport Institute. RAMTRANS Vol. 13 (2002). Nuclear Technology Publishing.

- [31]. Análisis de las dosis en el transporte de radiofármacos. Cambio de perspectiva para su reducción. V. Aceña, F. Zamora, E. Rubio. Consejo de Seguridad Nuclear. II Congreso conjunto SEFM-SEPR. 2011.
- [32]. Real Decreto 387/1996, de 1 de marzo, por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de accidentes en los transportes de mercancías peligrosas por carretera y ferrocarril.
- [33]. Guía de Seguridad 6.3 (Rev. 1). Guía de ayuda para la elaboración de las disposiciones a tomar en caso de emergencia aplicables al transporte de materiales radiactivos por carretera. Consejo de Seguridad Nuclear. 2012.
- [34]. Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES). Manual de usuario. Edición 2008. OIEA.
- [35]. HPA-RPD-014. Review of events involving the transport of radioactive materials in the UK, from 1958 to 2004, and their radiological consequences. J.S. Hughes, D. Roberts and S.J. Watson. 2006.
- [36]. Assessment of events involving transport of radioactive materials in France, 1999-2011. Institut de Radioprotection et de Sûréte Nucléaire (IRSN). IRSN REPORT 2013-003E.
- [37]. Review, analysis and report on the radiological consequences resulting from accidents and incidents involving radioactive

- materials during transport in the period 1975-1986 by and within member states of the European communities. EUR 12768 EN. Commission of the European Communities. 1990.
- [38]. Informe trienal 2011-2013 sobre emergencias producidas en el transporte de mercancías peligrosas por carretera y ferrocarril. Dirección General de Protección Civil y Emergencias.
- [39]. Real Decreto 1522/1984, de 4 de julio, por el que se autoriza la constitución de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S. A. (ENRESA).
- [40]. Instrucción IS-34, de 18 de enero de 2012, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios en relación con las medidas de protección radiológica, comunicación de no conformidades, disponibilidad de personas y medios en emergencias y vigilancia de la carga en el transporte de material radiactivo.
- [41] Instrucción IS-35, de 4 de diciembre de 2013, del Consejo de Seguridad Nuclear, en relación con el tratamiento de las modificaciones de diseño de bultos de transporte de material radiactivo con certificado de aprobación de origen español y de las modificaciones físicas o de operación que realice el remitente de un bulto sobre los embalajes que utilice.