

Análisis de los sucesos ocurridos en el transporte de materiales radiactivos en España desde 2000 hasta 2020

CSN

Colección
Otros Documentos
44.2022

Análisis de los sucesos ocurridos en el transporte de materiales radiactivos en España desde 2000 hasta 2020

Eneko Zugazagoitia Hernando, María del Sol Ramírez Rayo y Fernando Zamora Martín

Colección Otros Documentos
ODE-06.01

Copyright 2022, Consejo de Seguridad Nuclear
Edita y distribuye:
Consejo de Seguridad Nuclear
C/ Justo Dorado, 11. 28040 Madrid. España
www.csn.es
peticiones@csn.es
Maquetación: Grafo, S.A.
Depósito legal: M-14170-2022

Índice

Resumen	7
I. Introducción	11
II. Objetivo	15
III. Alcance	19
IV. Definiciones	23
V. Transporte de materiales radiactivos en España	29
V.1. Marco legal.....	29
V.1.1. Transporte de mercancías peligrosas	29
V.1.2. Protección contra las radiaciones ionizantes	30
V.1.3. Protección física	30
V.1.4. Autorizaciones en el transporte de materiales radiactivos	31
V.1.5. Notificación de sucesos	31
V.1.6. Notificación de no conformidades.....	32
V.2. Actividades en las que se transporta material radiactivo.....	33
V.3. Modos de transporte.....	34
V.4. Tipos de bultos	35
V.5. Resumen de los tipos de transporte de material radiactivo.....	36
VI. Registro e información de los sucesos	43
VI.1. Registro de los sucesos.....	43
VI.2. Información global de los sucesos. Sucesos tipo.....	44
VI.2.1. Sucesos tipo.....	49
VII. Análisis de sucesos	53
VII.1. Según el tipo de material radiactivo transportado.....	57
VII.2. Según los sectores de actividad	64
VII.3. Según el modo de transporte	69
VII.4. Según la fase de transporte.....	74
VII.5. Según las causas del suceso.....	78

VIII. Gravedad de los sucesos. Clasificación según la escala INES	83
VIII.1. Clasificación INES de los sucesos de transporte en el periodo 2000-2020	85
VIII.2. Conclusiones del análisis de sucesos según su clasificación INES	93
IX. Consecuencias de los sucesos	97
IX.1. Daños a la carga y al medio de transporte	97
IX.1.1. Daños a la carga.....	97
IX.1.2. Daños al medio de transporte	100
IX.1.3. Puntos destacables de los sucesos con daño a la carga y al medio de transporte	101
IX.2. Daños físicos a las personas	102
IX.3. Consecuencias radiológicas	103
IX.4. Sucesos destacables.....	105
IX.4.1. Accidente de carretera ocurrido en 2002 en el km. 212 de la N-IV.....	105
IX.4.2. Incorrecta manipulación de bultos en 2004 en una terminal de aeropuerto.....	106
IX.4.3. Accidente de carretera ocurrido en 2006 en el km. 142 de la A-45	107
IX.4.4. Deficiencias detectadas en 2008 en el embalaje de varios bultos en tránsito en un aeropuerto.....	109
X. Análisis de tendencias	113
XI. Comparativa con el contexto internacional	117
XII. Conclusiones.....	123
XIII. Referencias	129

Resumen

Resumen

El transporte de material radiactivo, encuadrado dentro del transporte de mercancías peligrosas, desempeña un papel esencial en un amplio número de sectores de actividad fundamentales para la sociedad actual, como el médico, el industrial, la investigación y el ciclo de combustible nuclear.

En el desarrollo de las fases que comprende el transporte pueden darse diversos tipos de incidentes o sucesos, que tras su notificación al [Consejo de Seguridad Nuclear](#) (CSN) son registrados en su base de datos *Gestión de transportes*.

En el presente documento, una vez caracterizado el transporte de material radiactivo en España e identificado el marco legal al que queda sujeto, se analizan en detalle los 100 sucesos acontecidos en ese ámbito en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2020.

El análisis, que se aborda teniendo en cuenta las características más relevantes de los transportes, identifica los sucesos tipo más destacables y considera la gravedad de los sucesos según la Escala INES del [Organismo Internacional de Energía Atómica](#) (OIEA), así como sus consecuencias.

El análisis informa también de las lecciones aprendidas y las acciones derivadas para una serie de sucesos destacables en el periodo y, finalmente, evalúa las tendencias de los sucesos y compara las conclusiones alcanzadas en el marco nacional respecto al contexto internacional.

I. Introducción

I. Introducción

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 resto de actividades con riesgo que están aceptadas por nuestra sociedad y, por tanto, pueden sobrevenir 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 a escala internacional sucesos en el transporte de material radiactivo con consecuencias radiológicas muy graves [1], lo cual avala a los requisitos desarrollados a lo largo de más de 50 años en el seno del OIEA, que se trasladan 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.

El análisis de los sucesos que ocurren en el desarrollo de una actividad con riesgo es uno de los mecanismos más importantes para tratar de reducirlo, pues de ese análisis se puede obtener información muy importante (lo que comúnmente denominamos «lecciones aprendidas»), que puede utilizarse para modificar los procedimientos de operación de las entidades implicadas, para reenfocar los procesos de control de las autoridades competentes e incluso para definir nuevos requisitos reglamentarios. Todo ello con el objetivo de reducir la probabilidad de ocurrencia de sucesos similares.

Además del análisis de las lecciones aprendidas de cada suceso en particular, puede ser de gran utilidad la realización de análisis globales de los ocurridos en un determinado periodo de tiempo. Estos estudios globales permiten determinar cuestiones como qué sucesos ocurren con mayor frecuencia y porqué, si hay repetitividad en sus causas, cómo evolucionan a lo largo del tiempo en función de los cambios de la práctica en la que suceden o si hay factores en los escenarios de los sucesos que tienen mayor impacto en su ocurrencia.

Las conclusiones de estos análisis globales permiten obtener una imagen del nivel de riesgo de una determinada actividad, como el transporte de material radiactivo, concretar los sectores en los que se desarrolla la actividad en los que ese riesgo es más significativo y, desde el punto de vista de un organismo regulador como el CSN, ayudar a la planificación de actuaciones reguladoras tan importantes como la emisión de normativa y el desarrollo de sus actividades de supervisión y control.

II. Objetivo

II. Objetivo

Esta publicación tiene el objetivo de informar sobre los sucesos ocurridos en el transporte de material radiactivo en España desde el año 2000 hasta el 2020 y de realizar un análisis detallado de los mismos. Para ello se considerarán parámetros asociados a los sucesos, tales como el tipo de material radiactivo y de embalaje involucrados, el modo y la fase del transporte en la que sucedieron o los sectores de actividad afectados dentro de las diferentes aplicaciones del material radiactivo.

El análisis incluirá un estudio de las causas principales de los sucesos y de sus consecuencias e importancia para la seguridad radiológica, de sus escenarios y de las principales tendencias observadas en esos sucesos a lo largo del periodo de análisis.

Por último, se realizará una comparativa de la casuística de los sucesos sucedidos en España frente a la analizada en otros estudios internacionales similares.

Este análisis permitirá identificar las lecciones extraídas de los sucesos y las acciones reguladoras desarrolladas por el CSN en respuesta a los mismos, analizando la adecuación e impacto de las mismas en la reducción de las tendencias de los sucesos más significativos.

III. Alcance

III. Alcance

El análisis afectará a los sucesos ocurridos en el transporte de material radiactivo que han sido notificados al CSN entre el año 2000 y el 2020, ambos incluidos, en cumplimiento de los requisitos reglamentarios establecidos. Este periodo coincide básicamente con el periodo en el que los sucesos se han venido registrando en la base de datos de incidencias incluida dentro de la aplicación informática corporativa del CSN, denominada *Gestión de Transportes*.

Los sucesos objeto de análisis incluyen aquellos que quedan dentro de la definición de *suceso en el transporte de material radiactivo*, recogida en la Instrucción del CSN IS-42 [2], que también se incluye en el apartado de definiciones de esta publicación.

En el análisis también se incluirán algunos de los tipos de *no conformidades* reguladas por el artículo 5 de la Instrucción IS-34 del CSN [3], que se han dado a partir de la fecha de su publicación (4 de febrero de 2012), y que tienen mayor importancia para la seguridad. En concreto, las siguientes:

- Cuando se haya detectado la superación de cualquiera de los límites de la reglamentación de transporte de mercancías peligrosas en relación con la intensidad de la radiación o la contaminación.
- Cuando se haya observado alguna incidencia o daño significativo en los bultos que pudiera comprometer su seguridad.
- Cuando el tipo de embalaje utilizado no haya sido el adecuado para el contenido transportado.

Quedan fuera del alcance de este análisis y, por tanto, de la consideración de suceso, los incumplimientos detectados en los procesos de inspección ejecutados por el CSN, como los relacionados con el etiquetado y marcado de los bultos, la señalización de los vehículos, la documentación de transporte o la estiba en los vehículos. Estos incumplimientos son objeto de análisis particulares, como los informes sobre los resultados de los programas anuales de inspecciones en el ámbito del transporte de material radiactivo, que se publican periódicamente en la [página web del CSN](#).

IV. Definiciones

IV. Definiciones

Bulto (norma SSR-6 del OIEA [4]): el producto completo de la operación de embalaje, que consiste en el *embalaje* y su contenido preparados para el transporte.

Ciclo de combustible nuclear (CCN) (glosario del OIEA [5]): conjunto de todas las operaciones relacionadas con la producción de energía nuclear, que comprenden:

- a) la extracción y el procesamiento de minerales de uranio o torio;
- b) el enriquecimiento del uranio;
- c) la fabricación del combustible nuclear;
- d) la explotación de los reactores nucleares (incluidos los reactores de investigación);
- e) el reprocesamiento del combustible gastado;
- f) todas las actividades de gestión de desechos (incluida la clausura) relativas a operaciones asociadas a la producción de energía nuclear;
- g) cualesquiera actividades de investigación y desarrollo conexas.

Combustible gastado (IS-29 del CSN [6]): combustible nuclear irradiado y extraído permanentemente del núcleo de un reactor.

Defensa en profundidad (IS-37 del CSN [7]): consiste en el despliegue jerárquico, a diferentes niveles, de estructuras, sistemas y componentes diversos y de procedimientos para impedir la escalada de los sucesos operativos previstos o los accidentes, y para mantener la eficacia de las barreras físicas que cumplen funciones de seguridad situadas entre una fuente de radiación o los materiales radiactivos y los trabajadores, miembros del público o el medio ambiente.

Elemento de combustible nuclear: conjunto ensamblado de barras de combustible nuclear y cualesquiera otros componentes asociados necesarios para formar una unidad estructural.

Embalaje (norma SSR-6 del OIEA): uno o varios recipientes y todos los demás elementos o materiales necesarios para permitir al recipiente cumplir con su función de retención y cualquier otra función de seguridad.

Expendedor (remitente) (norma SSR-6 del OIEA): toda persona, organización u organismo oficial que prepare una remesa para su transporte.

Material radiactivo (norma SSR-6 del OIEA): por materiales radiactivos se entenderá todo material que contenga radionucleidos en los casos en que tanto la concentración de actividad como la actividad total de la remesa excedan de los valores especificados en los párrafos 402 a 407 de la norma SSR-6 del OIEA.

Modo de transporte (párrafo 106 de la norma SSR-6 del OIEA): modalidades de transporte por vía terrestre (carretera, ferrocarril), acuática (aguas interiores, marítima) o aérea de materiales radiactivos.

No conformidad (IS-34 del CSN): incumplimiento de un requisito recogido en la reglamentación de transporte de mercancías peligrosas o desviación respecto del diseño de un bulto que pueda comprometer su seguridad.

Óxido de uranio: material utilizado para la fabricación de las barras que conforman los elementos de combustible nuclear.

Protección física (IS-26 del CSN [8]): acondicionamiento y mantenimiento de instalaciones y actividades en condiciones de seguridad por medio de medidas encaminadas a impedir, detectar y responder a accesos no autorizados o a acciones no autorizadas que afecten a materiales nucleares y otros materiales radiactivos o a instalaciones asociadas.

Productos de consumo (glosario del OIEA): dispositivo, tal como un detector de humos, un cuadrante luminoso o un tubo generador de iones, que contiene una pequeña cantidad de sustancias radiactivas.

Remesa (norma SSR-6 del OIEA): cualquier bulto o bultos o carga de materiales radiactivos que presente un remitente para su transporte.

Residuos radiactivos (Ley 15/1964 sobre energía nuclear [9]): 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 y Energía¹, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

Suceso en el transporte de material radiactivo (IS-42 del CSN): todo incidente o accidente que se produzca o se detecte en el proceso de carga, transporte, almacenamiento en tránsito o descarga y que pueda o haya podido afectar a la seguridad radiológica de los bultos o de la expedición.

Sustancias fisiónables (norma SSR-6 del OIEA): toda sustancia que contenga cualquiera de los nucleidos fisiónables. Se excluyen de la definición de sustancias fisiónables:

- a) El uranio natural o el uranio empobrecido no irradiados;
- b) El uranio natural o el uranio empobrecido que hayan sido irradiados solamente en reactores térmicos;
- c) Una cantidad total máxima de 0,25 g de sustancias con nucleidos fisiónables;
- d) Cualquier combinación de a), b) y/o c);
- e) Estas exclusiones sólo son válidas si no hay otras sustancias con nucleidos fisiónables en el bulto o en la remesa, si ésta se expide sin embalar.

1. En la actualidad: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Transporte (párrafo 106 de la norma SSR-6 del OIEA): el transporte abarca todas las operaciones y condiciones relacionadas con el traslado de materiales radiactivos e inherentes al mismo, tales como el diseño, la fabricación, el mantenimiento y la reparación de embalajes, y la preparación, expedición, carga, acarreo, incluido el almacenamiento en tránsito, la expedición después del almacenamiento, la descarga y la recepción en el destino final de cargas de materiales radiactivos y bultos.

En relación con el término «transporte», se hace notar que a lo largo del documento podrá utilizarse en un sentido general, considerando todas las fases que se indican en la anterior definición, o bien en el sentido de acarreo o traslado, en cuyo caso se indicará expresamente.

V. Transporte de materiales radiactivos en España

V. Transporte de materiales radiactivos en España

En este capítulo se identifica en primer lugar el marco normativo al que está sujeto el transporte de material radiactivo. Una vez definido, se detallarán las características de los aspectos más relevantes del transporte, esto es, las actividades en las que se desarrolla, los modos de transporte utilizados, los tipos de bultos empleados y las clases de materiales transportados.

V.1. Marco legal

El transporte de material radiactivo se encuadra dentro del transporte de mercancías peligrosas, pero, debido a su naturaleza particular, también debe ajustarse a los requisitos que se aplican a cualquier actividad que involucre material radiactivo. En este apartado se presenta toda la normativa de la que emanen los requisitos a los que debe dar cumplimiento esta actividad.

V.1.1. Transporte de mercancías peligrosas

La primera publicación en relación con el transporte de materias peligrosas nació en el seno de Naciones Unidas: *Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas*. Reglamentación modelo, cuya primera edición se publicó en 1957.

Las disposiciones de esta publicación, que se aplican al transporte del material radiactivo, se extraen de las recogidas en un documento del OIEA denominado *Reglamento para el transporte seguro de material radiactivo*. La primera edición de esta norma fue publicada en 1961 y se ha ido modificando en sucesivas ediciones hasta la que se encuentra en vigor, que fue publicada en 2018 con la denominación SSR-6 (*Specific Safety Requirements* nº 6).

En el caso concreto de España, nuestra legislación nacional sobre transporte de mercancías peligrosas por carretera, ferrocarril y vía aérea remite al cumplimiento de una serie de reglamentos internacionales basados en las recomendaciones de las publicaciones citadas, o bien, como en el caso de la vía marítima, el reglamento internacional se aplica directamente. Se trata de los siguientes:

- Acuerdo para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR) [10].
- 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) [12].
- Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (Código IMDG) de la Organización Marítima Internacional (OMI) [13].

Además de la citada normativa, el CSN ha publicado una serie de instrucciones (IS), que son normas técnicas de carácter vinculante, que incluyen disposiciones que se aplican al transporte de material radiactivo: sobre aspectos operativos (IS-34); sobre modificaciones de diseño de bultos (IS-35) [14]; sobre formación de personal (IS-38) [15]; sobre fabricación de embalajes (IS-39) [16] y sobre criterios de notificación de sucesos al CSN (IS-42).

Las IS del CSN tratan de desarrollar en detalle aquellos aspectos que no están suficientemente especificados en la reglamentación sobre transporte de mercancías peligrosas para el transporte de material radiactivo.

V.1.2. Protección contra las radiaciones ionizantes

El transporte de material radiactivo es una actividad con riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes. En consecuencia, le afectan plenamente todos los requisitos recogidos en nuestra legislación nacional sobre la materia: el Reglamento sobre protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes [17]².

Por tanto, cuestiones como el principio ALARA³ 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, también se han de cumplir en su transporte.

V.1.3. 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 hay 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 [18].

2. A fecha de elaboración de este documento, esta reglamentación está en fase de revisión con motivo de la trasposición de la Directiva 2013/59/EURATOM *por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom.*

3. 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.

V.1.4. Autorizaciones en el transporte de materiales radiactivos

Aparte de las aprobaciones de los diseños de bultos y de materiales radiactivos y de las autorizaciones de expediciones de transporte, que requieren las reglamentaciones de transporte de mercancías peligrosas de los cuatro modos de transporte, el Reglamento de instalaciones nucleares y radiactivas [19] establece que los transportistas de materiales radiactivos en bultos no Exceptuados deben declarar esta actividad inscribiéndose en el [Registro de Transportistas de Materiales Radiactivos](#) establecido por la Dirección General de Política Energética y Minas.

La Dirección General comunica al CSN el registro de estas empresas y cualquier variación que se produzca en el mismo, de manera que pueda llevar a cabo sus funciones de seguimiento y control de sus actividades en el ámbito de sus competencias. En la fecha de elaboración de esta publicación, se encuentran inscritos en el registro un total de 39 transportistas: 26 nacionales y 13 extranjeros.

V.1.5. Notificación de sucesos

La notificación de los sucesos en el transporte por carretera y ferrocarril de material radiactivo se encuadra en la siguiente reglamentación sobre transporte de mercancías peligrosas:

- 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 [20].
- 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 [21].

El transporte por vía aérea y por vía marítima tienen sus procedimientos particulares para la notificación de accidentes.

Además, y sin detrimento de lo anterior, para el caso particular del transporte de material radiactivo, el CSN publicó en 2016 la instrucción IS-42, que tiene el objetivo de:

- Identificar los tipos de sucesos en el transporte de material radiactivo que deben ser notificados al CSN y sus plazos de notificación.
- Concretar la información mínima a suministrar en una notificación.
- Identificar a los responsables de la notificación y del informe posterior sobre el suceso.

A continuación, se enumeran los sucesos en el transporte de material radiactivo que deben comunicarse al CSN y sus periodos de notificación:

- La desaparición (extravío o robo) de material radiactivo en bultos Exceptuados, bultos Industriales o bultos del tipo A, producida o detectada durante el transporte, el almacenamiento en

tránsito, el paso intermedio por aeropuertos, puertos, etc., así como la detectada a la recepción en el destino final. Este tipo de suceso se debe notificar antes de 24 horas a contar desde el momento en que sea conocida la incidencia.

Antes de notificar cualquier desaparición de este tipo de bultos se debe confirmar que se han realizado las gestiones oportunas para la localización de los bultos sin que se hayan obtenido resultados.

- La desaparición (extravío o robo) de material radiactivo en bultos del tipo B(U), bultos del tipo B(M), bultos del tipo C o bultos de material fisionable, producida o detectada durante el transporte, el almacenamiento en tránsito, el paso intermedio por aeropuertos, puertos, etc., así como la detectada a la recepción en el destino final, deberá ser notificado con carácter inmediato, antes de una hora, una vez conocida la incidencia.
- La avería del medio de transporte que suponga su detención, si se advierte que ha habido una pérdida de cualquier barrera de seguridad de los bultos de material radiactivo o no se puede garantizar el nivel suficiente de seguridad de la expedición se debe notificar con carácter inmediato, antes de una hora, una vez conocida la incidencia.
- El accidente durante el transporte, si se sospecha o advierte que ha habido una pérdida de cualquier barrera de seguridad de los bultos de material radiactivo o no se puede garantizar el nivel suficiente de seguridad de la expedición se debe notificar con carácter inmediato, antes de una hora, una vez conocida la incidencia.
- El accidente durante el transporte en el que no se sospecha ni advierte que ha habido una pérdida de cualquier barrera de seguridad de los bultos de material radiactivo y se puede garantizar el nivel suficiente de seguridad de la expedición se debe notificar antes de 24 horas a contar desde el momento en que sea conocida la incidencia.
- La caída u otro incidente ocurrido durante la manipulación de los bultos de transporte de material radiactivo en operaciones de carga y descarga, si se sospecha o advierte que ha habido una pérdida de cualquier barrera de seguridad de los bultos de material radiactivo se debe notificar con carácter inmediato, antes de una hora, una vez conocida la incidencia.
- La amenaza a la protección física del transporte, tal como la producida por intento de intrusión o sabotaje en el medio de transporte, la degradación intencionada de la seguridad física, el bloqueo de vías de circulación o la amenaza verosímil de bomba, se debe notificar con carácter inmediato, antes de una hora, una vez conocida la incidencia.

Las notificaciones deben efectuarse a la [Sala de Emergencias \(Salem\) del CSN](#). La notificación inicial debe realizarse telefónicamente, pero posteriormente debe presentarse por escrito, mediante fax o correo electrónico.

V.1.6. Notificación de no conformidades

En 2012 el CSN publicó la instrucción IS-34, en cuyo artículo 5, relativo a las actuaciones a seguir en cuanto a la detección y comunicación de no conformidades (NC), establece que si el transportista de

material radiactivo, a lo largo del transporte, o el destinatario de dicho material, a su recepción, detectaran alguna de las no conformidades que a continuación se incluyen, deben comunicárselas al expedidor y notificarlas al CSN una vez constatadas, dentro de los plazos que se indican:

- Que se supere cualquiera de los límites de la reglamentación de transporte de mercancías peligrosas en relación con la intensidad de la radiación o la contaminación. Se notificará antes de 24 horas a contar desde el momento en que sea conocida la NC.
- Que los bultos no dispongan de las preceptivas etiquetas indicativas de los riesgos radiológicos (24 horas).
- Que el etiquetado no sea acorde con la categoría del bulto (24 horas).
- Que se observe alguna incidencia o daño significativo en los bultos que pudiera comprometer su seguridad, inmediatamente una vez conocida la incidencia.
- Que el tipo de embalaje utilizado no sea el adecuado para el contenido transportado (24 horas).

Al igual que en el caso de los sucesos, las notificaciones deben efectuarse a la Sala de Emergencias (Salem) del CSN.

V.2. Actividades en las que se transporta material radiactivo

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. Este uso requiere su transporte desde los suministradores a las instalaciones usuarias y, posteriormente, de los residuos radiactivos generados por éstas hasta los centros de tratamiento.

El envío de materiales radiactivos supone alrededor del 2% de los transportes internacionales de mercancías peligrosas. La mayor parte de estos transportes contienen pequeñas cantidades de materiales radiactivos, que se usan con fines de diagnóstico médico, en ciertas aplicaciones industriales o con fines de investigación. Otros envíos corresponden a fuentes radiactivas de gran actividad utilizadas fundamentalmente en la terapia contra el cáncer.

El transporte de material radiactivo en España sigue esas líneas generales. Así, se pueden realizar expediciones desde o hacia alrededor de 1.000 instalaciones radiactivas⁴ (unas 300 de aplicación médica, unas 600 de aplicación industrial y unas 100 de investigación). También se realizan transportes hacia o desde 7 centrales nucleares: cinco en operación, una en cese de explotación y una en desmantelamiento; una instalación nuclear de fabricación de combustible nuclear y una instalación de almacenamiento temporal de residuos radiactivos de media y baja actividad. En el apartado V.5 de este documento se encontrará más detalle sobre estos transportes.

4. Se ofrecen números redondeados solo para dar idea del orden de magnitud, ya que pueden ir variando a lo largo del tiempo debido a las altas y bajas de estas instalaciones.

Figura 5.2.1. Mapa de las instalaciones nucleares españolas



V.3. Modos de transporte

Como consecuencia del uso del material radiactivo en aplicaciones con fines médicos, industriales o de investigación, así como en las instalaciones relacionadas con el ciclo del combustible nuclear (CCN), cada año se transportan en el mundo decenas de millones de bultos conteniendo material radiactivo utilizando los diferentes modos de transporte.

La elección del modo de transporte depende principalmente de las características del material radiactivo y las características físicas del bulto. La mayoría del material radiactivo está relacionado con aplicaciones médicas que utilizan embalajes de pequeño tamaño y sus transportes se realizan principalmente por vía aérea, ya que este material radiactivo tiene un decaimiento rápido y precisa ser enviado de forma urgente. Posteriormente, estos materiales son transportados por carretera hasta su destino final en los centros médicos.

El transporte marítimo y el de ferrocarril son utilizados habitualmente para trasladar a largas distancias grandes cantidades de materiales o bultos muy pesados, normalmente asociados al ciclo de combustible nuclear: minerales, concentrados, hexafluoruro de uranio, óxido de uranio, elementos de combustible nuclear no irradiado, combustible nuclear irradiado y residuos radiactivos de alta actividad.

También son muy frecuentes los transportes multimodales como el aéreo/carretera (a/c), especialmente en los transportes de material radiactivo con destino a aplicaciones médicas, y los marítimo/carretera (m/c) en el ciclo de combustible nuclear.

El transporte de material radiactivo en España sigue esas líneas generales, siendo los modos de transporte por carretera y aéreo los más utilizados, sin que actualmente se utilice el transporte por ferrocarril. En el apartado V.5 de este documento se encontrará más detalle a este respecto.

V.4. Tipos de bultos

La reglamentación de transporte 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 siguen un enfoque graduado: son más exigentes al aumentar el riesgo del contenido. Así, a mayor riesgo del contenido son más duras las condiciones de transporte que han de superar los bultos: rutinarias (tal cual es el transporte sin incidencias), normales (incluyen pequeñas incidencias) o de accidente.

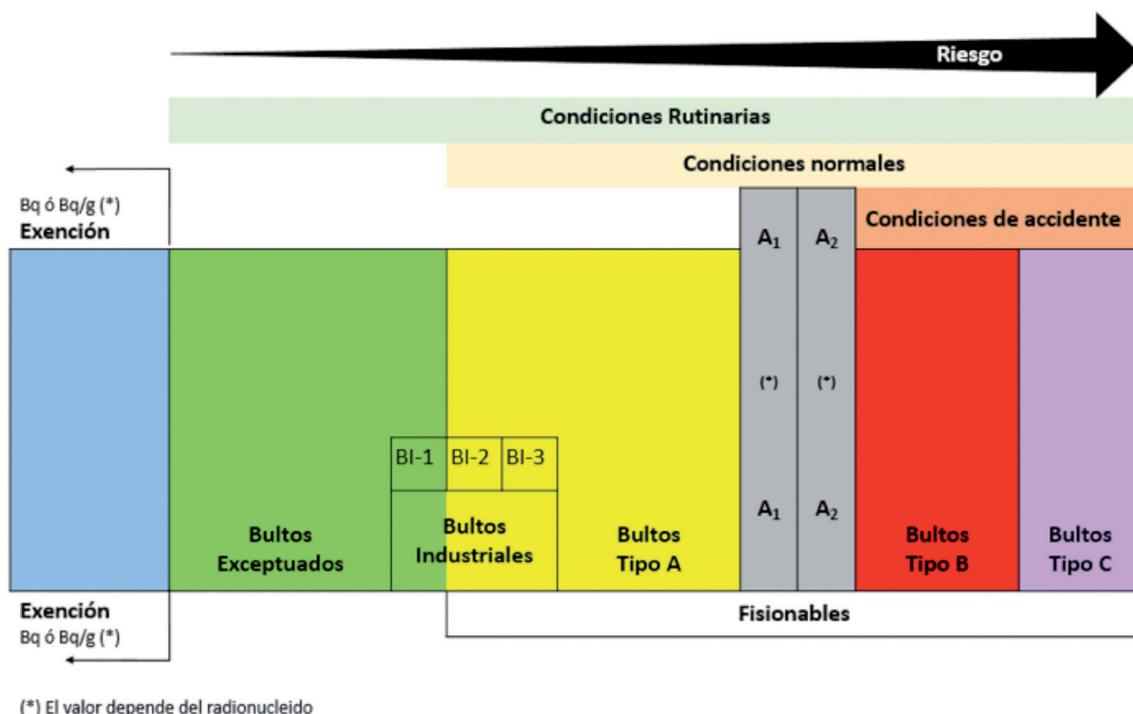
Basándose en ese enfoque graduado, los bultos se clasifican en cinco tipos: Exceptuados, Industriales, tipo A, tipo B y tipo C.

En la figura 5.4.1 se describen los tipos de bulto en función de las condiciones de transporte que deben soportar. Como se puede observar, a partir de unos determinados valores de actividad del material radiactivo (A_1 o A_2 ; 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 se encuadran unos tipos de bulto (A, Industriales tipo 2 y 3) diseñados para soportar 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 (a los efectos del transporte no se les considera materiales radiactivos: ver definición en este documento).

Figura 5.4.1. Tipos de bulto. Enfoque graduado



Además, cuando el contenido incluye sustancias fisionables, se generan bultos que han de cumplir requisitos adicionales relacionados con los riesgos particulares de esas sustancias. Para su transporte se emplean bultos Industriales Fisionables (IF), tipo A Fisionables (AF), tipo B Fisionables (BF) o tipo C Fisionables (CF).

No obstante, es importante señalar que la gran mayoría de los transportes (alrededor del 90%) se llevan a cabo en bultos Exceptuados o del tipo A, cuyo diseño no precisa soportar accidentes graves.

V.5. Resumen de los tipos de transporte de material radiactivo

Antes de realizar una estimación de los sucesos ocurridos en España en el periodo de análisis, es conveniente identificar los tipos de transportes de material radiactivo que se realizan anualmente en el país y la estimación de su volumen.

Como se puede observar en la tabla 5.5.1, al igual que en el resto del mundo, la inmensa mayoría de los transportes están relacionados con los sectores médico e industrial, utilizando bultos tipo A y Exceptuados. Esos transportes se realizan bien de forma multimodal, vía aérea y carretera (a/c), o solo por carretera. No hay una estadística precisa del número de transportes de este tipo en España, no obstante, sobre la base de la información de los principales operadores de transporte de este tipo de

materiales, se estima que anualmente se realizan alrededor de unos 100.000 envíos en los que se transportan más de 200.000 bultos.

Dentro del citado sector industrial son destacables los transportes de equipos de medida de densidad y humedad de suelos utilizados en la construcción de carreteras y otras obras públicas. Estos equipos se transportan por carretera en sus desplazamientos a las obras y van contenidos en bultos clasificados como tipo A. Esta actividad puede implicar decenas de miles de transportes al año.

Los transportes de residuos radiactivos, en su mayor parte transportados en bultos clasificados como Industriales, suponen alrededor de 250 transportes al año y se realizan principalmente por carretera desde las instalaciones radiactivas y nucleares hasta la instalación de almacenamiento temporal de residuos radiactivos que [Enresa](#) posee en El Cabril (Córdoba). Además, los transportes de residuos desde las Islas Baleares y Canarias se realizan por vía multimodal, marítima y carretera (m/c).

También en bultos del tipo Industrial se realizan alrededor de una decena de tránsitos de concentrados de uranio al año a través de los puertos españoles, en general con destino a Europa.

Los transportes de equipos de gammagrafía industrial pueden suponer unos diez mil movimientos al año, que se realizan normalmente por carretera utilizando bultos del tipo B. También se transportan en bultos del tipo B las fuentes de alta actividad para utilización en el sector médico y alimentario, pero estos transportes son esporádicos y utilizan la carretera o la vía multimodal aérea y carretera (a/c), así como la marítima, con tránsitos en los puertos españoles.

Los transportes de óxido de uranio y de elementos de combustible nuclear no irradiados suponen aproximadamente 70 transportes al año y se realizan utilizando bultos de sustancias fisionables.

El óxido de uranio proviene en su totalidad del extranjero y tiene como destino la fábrica de combustible nuclear de Juzbado (Salamanca) de [Enusa Industrias Avanzadas](#) (Enusa). En su mayor parte se transporta por vía marítima hasta los puertos españoles y a partir de ahí por carretera hasta dicha instalación. Actualmente, los principales países proveedores de este material son el Reino Unido y Estados Unidos de América.

A partir del óxido de uranio, la instalación de Enusa en Juzbado fabrica elementos combustibles para centrales nucleares españolas y europeas. En España el transporte se realiza por carretera, mientras que los transportes con destino a otros países europeos suelen ser por carretera o mediante transporte multimodal carretera y marítimo (m/c).

En cuanto a los transportes de combustible irradiado, entre los que se encuentran los de combustible nuclear gastado, salvo movimientos esporádicos de barras irradiadas dentro de programas de investigación, actualmente no se dan en España. El combustible nuclear gastado permanece almacenado en las centrales nucleares, bien en sus piscinas de combustible o en contenedores de almacenamiento en seco, en tanto no sea autorizada una instalación de almacenamiento temporal centralizado para ese combustible.

Finalmente, hay que indicar que el ferrocarril prácticamente no se ha utilizado en el transporte de material radiactivo en España en el período que cubre el análisis de este documento.

En definitiva, se puede considerar que anualmente se realizan en España más de 100.000 transportes de material radiactivo, ya que la inmensa mayoría de transportes se realizan con destino al sector médico e industrial, tal y como evidencia la figura 5.5.1.

Figura 5.5.1. Volumen de envíos anuales por tipo de bulto



Tabla 5.5.1. Resumen de los transportes de material radiactivo en España

Tipo de Bulto	Aplicación del material radiactivo	Transportes al año	Modos de transporte
Exceptuados y Tipo A	Medicina, investigación, industria	~ 100 000 envíos ~ 200 000 bultos	Carretera Multimodal a/c
Industrial	Residuos radiactivos	~ 250	Carretera Multimodal m/c (desde Baleares y Canarias)
	Concentrados de Uranio	~ 10	Marítimo (tránsitos en puertos sin descarga)
Tipo B	Equipos de gammagrafía	~ 10 000	Carretera
	Fuentes de alta actividad	~ 5	Carretera Multimodal a/c Marítimo (tránsitos en puertos sin descarga)
Fisionables	Óxido de uranio y elementos de combustible nuclear no irradiados	~ 70	Carretera Multimodal m/c

VI. Registro e información de los sucesos

VI. Registro e información de los sucesos

En el presente capítulo se describe la metodología seguida por el CSN para llevar a cabo el registro de los sucesos acontecidos en el transporte de material radiactivo. Asimismo, se establece una clasificación de los sucesos basada en su tipología, identificando de manera detallada las características de los más comunes.

VI.1. Registro de los sucesos

Los sucesos ocurridos en el transporte de material radiactivo y toda la información asociada se registran en la base de datos sobre *Gestión de incidencias* que está incluida en la aplicación corporativa del CSN sobre *Gestión de transportes*. Esta aplicación informática, utilizada en el CSN desde finales de los años 90 del siglo pasado para facilitar la gestión de las actividades reguladoras relacionadas con el transporte de material radiactivo (procesos de licenciamiento, de control e inspección y de tratamiento de sucesos), fue considerada como una «buena práctica» en las conclusiones del [informe final de la misión IRRS](#) realizada por el OIEA en España en 2018 [22].

La base de datos sobre *Gestión de incidencias* tiene una serie de secciones cuyo objetivo es registrar los datos fundamentales de un suceso. Así, para cada suceso se registra una descripción general (ver figura 6.1.1), que incluye el lugar y fecha de ocurrencia, su duración, el número de bultos implicados, su clasificación INES (ver apartado VIII) y las conclusiones y el resumen de las acciones adoptadas por el CSN. Junto a esta descripción general, a lo largo de varias secciones (pantallas) de la base de datos, se incluyen una serie de campos que recogen con detalle las principales características del suceso:

- Causas.
- Escenario del suceso, tipología del material radiactivo y del bulto y modo de transporte.
- Características del envío: origen, destino, expedidor, transportista, tipo de medio de transporte y daños sufridos, momento del proceso de transporte en el que ocurre el suceso, etc.
- Consecuencias. Se consideran las consecuencias radiológicas en personas (público y trabajadores clasificados como expuestos), la contaminación superficial en objetos y superficies y la contaminación del medio ambiente.
- Daños no radiológicos a las personas implicadas en el transporte y a los miembros del público, identificando el alcance de dichos daños de forma cualitativa.
- Bultos dañados: se identifican las características del embalaje, los detalles del contenido y los daños sufridos en el suceso.
- Medidas adoptadas: se consideran, entre otras, las medidas de intervención, el tratamiento de personas, la gestión del material radiactivo o de los residuos, de haberse generado, la limpieza de las áreas afectadas y las medidas adoptadas con el vehículo de transporte.

Figura 6.1.1. Pantalla principal de la base de datos *Gestión de Incidencias* de la aplicación *Gestión de Transportes*

VI.2. Información global de los sucesos. Sucesos tipo

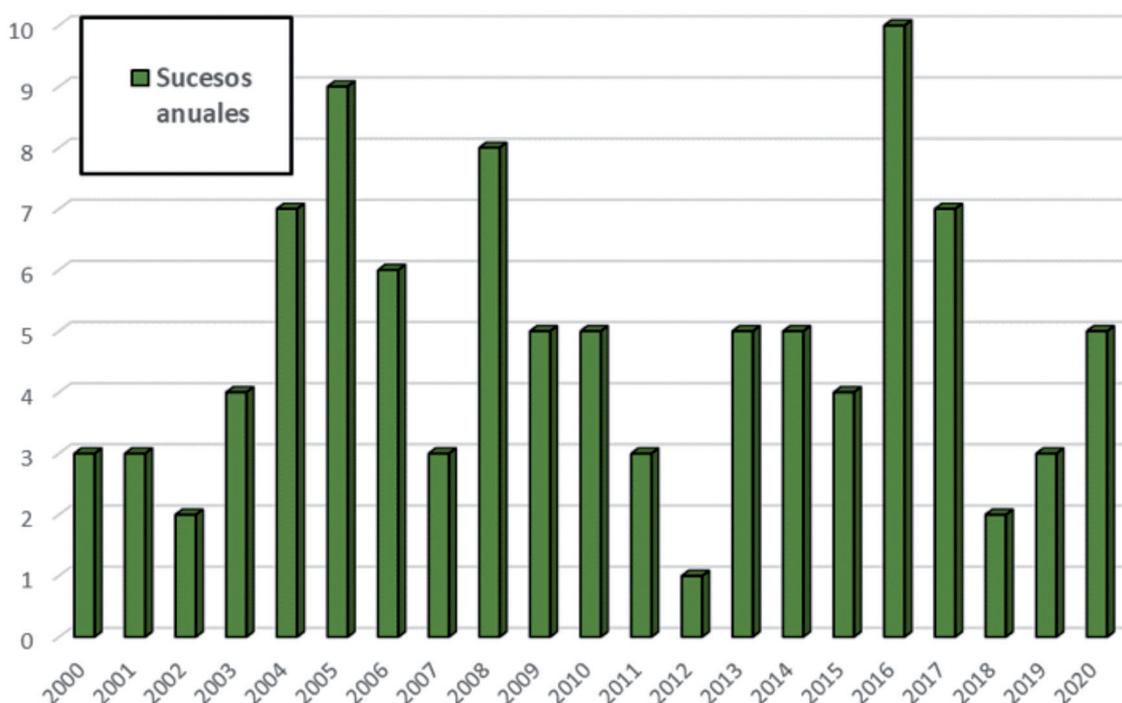
La información sobre los sucesos acaecidos anualmente en España en el transporte de material radiactivo se ha ido incluyendo en los [informes anuales del CSN](#) al Congreso de los Diputados y al Senado.

Entre 2000 y 2020 se han producido un total de 100 sucesos, cuyo desglose por año puede observarse en la figura 6.2.1. Por otra parte, en la tabla 6.2.1 y en la figura 6.2.2 se recoge el resumen global de las clases de sucesos en ese periodo, y en la figura 6.2.3 la proporción de cada clase de suceso respecto al total.

Tabla 6.2.1. Resumen de sucesos en España. Periodo 2000-2020

CLASE DE SUCESO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	TOTAL
Deficiencias en el embalaje	0	0	0	0	2	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Contenido inadecuado del bulto	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Suceso en procesos de carga/descarga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	5
Superación límites de contaminación (NC IS-34 CSN)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Superación límites de radiación (NC IS-34 CSN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	3
Incidencias en terminales de aeropuertos	3	2	1	2	2	1	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	4	1	0	0	22
Accidente de tráfico	0	0	1	1	0	5	3	2	3	1	3	1	1	4	2	1	2	1	1	0	2	34
Robo de bultos	0	0	0	1	1	2	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	2	1	0	1	2	15
Extravío de bultos	0	1	0	0	1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	10
Protección física	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
TOTAL	3	3	2	4	7	9	6	3	8	5	5	3	1	5	5	4	10	7	2	3	5	100

Figura. 6.2.1. Sucesos anuales en el periodo 2000-2020



Las clases de sucesos que han ocurrido y que se han registrado en la base de datos del CSN son las siguientes:

a) Deficiencias en el embalaje

Se trata de deficiencias tales como daños en el embalaje o falta de algunos de sus elementos con potencial impacto en la seguridad. También se incluyen los casos en los que se haya utilizado un tipo de embalaje no acorde con los requisitos reglamentarios para un determinado contenido.

Estas deficiencias pueden detectarse en cualquiera de las fases del transporte, si bien lo más frecuente es que se detecten a la recepción de los bultos.

Se trata de sucesos de mucho interés, ya que la seguridad en el transporte se basa fundamentalmente en la seguridad del embalaje como parte del bulto y la reglamentación se centra en mantener su integridad siguiendo un enfoque graduado: mayores requisitos a medida que aumenta el riesgo del contenido.

b) Contenido inadecuado del bulto

El contenido del bulto no se corresponde con lo establecido en el diseño del bulto o con la información inicialmente descrita por el expedidor en los documentos de transporte y/o en el etiquetado y marcado del bulto.

c) Suceso en procesos de carga/descarga

Se trata de incidencias como una incorrecta preparación de los bultos, daños en algún componente interno del bulto en los procesos de carga, detección de contaminación interna en los bultos en su descarga o caídas de los bultos durante la carga o descarga en los medios de transporte.

d) Superación de límites de contaminación reglamentados

Incluyen la detección de contaminación superior a los límites reglamentados en los embalajes o vehículos. A partir de la publicación de la IS-34 del CSN, estos sucesos se pasaron a tratar como no conformidades (NC), pero al ser unas NC que afectan directamente a la seguridad, se les ha incluido en el presente análisis, tal y como se indica en el alcance del documento.

e) Superación de límites de radiación reglamentados

Incluyen la detección de niveles de radiación superiores a los límites reglamentados en las superficies externas de los bultos o de los vehículos. Al igual que los sucesos de superación de límites de contaminación, a partir de la publicación de la IS-34 del CSN, estos sucesos se pasaron a tratar como NC, pero se les ha incluido en el análisis al afectar de manera directa a la seguridad.

f) Incidencias en terminales de aeropuertos

Se trata de incidencias en la manipulación de bultos radiactivos en el proceso aeroportuario: carga y descarga de aeronaves y traslado de bultos desde aquellas hacia las terminales de carga o viceversa y operaciones en los almacenes de las terminales. Aunque parte de ellos se podrían haber englobado en la categoría general de *sucesos en procesos de carga/descarga*, se ha considerado oportuno destacarlos de manera independiente, dada la singularidad de estos sucesos y su frecuencia.

g) Accidente de tráfico

Se trata de accidentes en el transporte de carretera, durante el transporte (traslado). Incluyen alcances entre vehículos, salidas de la vía o fallos mecánicos de los vehículos con riesgo real o potencial para la seguridad radiológica.

h) Robo de bultos

Se trata de robos de bultos radiactivos a lo largo de alguna de las fases del transporte, normalmente en los vehículos de carretera o de estos directamente.

i) Extravío de bultos

Incluyen sucesos en los que se produce una deslocalización temporal o una pérdida definitiva de algún bulto radiactivo a lo largo de alguna de las fases del transporte.

j) Protección física

Incluyen amenazas a la seguridad física del transporte, tal como la producida por intento de intrusión o sabotaje en el medio de transporte, la degradación intencionada de la seguridad física, el bloqueo de vías de circulación o la amenaza verosímil de bomba.

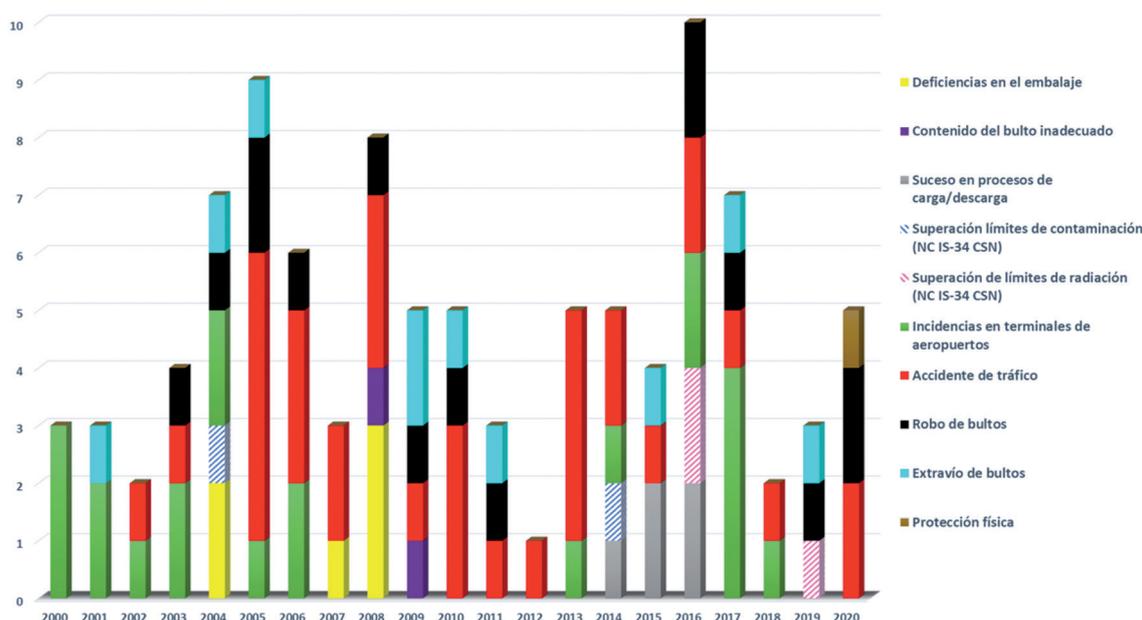
Analizando los sucesos ocurridos desde el año 2000 hasta el año 2020 se puede comprobar que, dentro de la variabilidad, el valor medio de sucesos por año es aproximadamente de 5. Si consideramos esa media de sucesos y el número aproximado de transportes de material radiactivo que anualmente se realizan en España (más de 100.000), tendríamos un índice de sucesos/nº de envíos anuales inferior a 5×10^{-5} ; es decir menos de 1 suceso por cada 20.000 transportes.

Puede observarse, asimismo, que los sucesos más frecuentes han sido los accidentes de tráfico (34%), las incidencias ocurridas en los terminales de los aeropuertos (22%) y los robos (15%) y extravíos de bultos (10%). Para estos sucesos:

- El valor medio de los accidentes de tráfico es de aproximadamente 2 sucesos/año.
- El valor medio de incidencias ocurridas en terminales de aeropuerto es de aproximadamente 1 suceso/año.
- El valor medio de robos y extravíos de bultos es de aproximadamente 1 suceso cada dos años.

En este punto se considera de interés comparar la ocurrencia de sucesos en el transporte de material radiactivo con los que afectan a todas las mercancías peligrosas.

Figura 6.2.2. Resumen de sucesos en España. Periodo 2000-2020



Atendiendo a los datos proporcionados por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agencia Urbana [23], desde el año 2008 se promedian algo más de 110 accidentes anuales para el global de movimientos de mercancías peligrosas por carretera. Es decir, considerando la media por año de accidentes de tráfico que involucran material radiactivo, estos sucesos no llegan al 2% de la media de los accidentes que involucran a todas las mercancías.

Figura. 6.2.3. Proporción de cada clase de suceso en el periodo 2000-2020



VI.2.1. Sucesos tipo

Para los casos que se dan con más frecuencia, se considera de interés mostrar su tipología básica. A continuación, se describe el «suceso tipo» de cada uno de ellos:

Suceso tipo de accidente de tráfico

- Se da mayoritariamente en el transporte de radiofármacos con bultos del tipo A y Exceptuados.
- En carreteras de la Red de itinerarios para mercancías peligrosas (RIMP).
- Se producen daños en el vehículo, pero sin daños a la carga.
- El conductor puede quedar inhabilitado por daños físicos.
- La empresa de transporte aplica su plan de emergencia, comunica el suceso al CSN y envía otro vehículo para recoger la carga y hacerla llegar a los destinatarios inicialmente previstos.
- Interviene la Guardia Civil de Tráfico.
- Ocurren durante la noche (en horas muy tempranas del día).

Suceso tipo en incidencias en las terminales de aeropuertos

- Sucesos en los almacenes de las terminales de carga o en la pista del aeropuerto.
- Caídas de bultos Exceptuados y tipo A, sin liberación de material, en el proceso de manipulación y de traslado desde las terminales a las aeronaves y viceversa o en las operaciones dentro de los almacenes de las terminales. Puede darse aplastamiento de los bultos al ser arrollados por el vehículo de traslado.
- Comunicación del operador aeroportuario (*handling*) al aeropuerto (en aplicación de su plan de emergencia interior), al CSN y al expedidor.
- En algunos casos existe una actuación de los servicios de intervención del aeropuerto (bomberos, Guardia Civil).

Sucesos tipo de robo y extravío de bultos

- Los robos de bultos se suelen producir en vehículos de carretera aparcados fuera de instalaciones.
- Los robos más habituales son de equipos radiactivos móviles (medidores de densidad y humedad de suelos conformando un bulto tipo A o gammágrafos industriales conformando un bulto tipo B). En menor medida de radiofármacos en bultos Exceptuados y tipo A. Todos ellos relacionados con el ámbito de las instalaciones radiactivas.
- Los transportistas o los expedidores presentan inmediatamente la denuncia ante la policía.
- Los extravíos son más frecuentes en el transporte aéreo: manipulación en rampa (pista del aeropuerto) y almacenes de las terminales de carga.
- Los extravíos suelen ser de bultos Exceptuados y del tipo A con radiofármacos.
- En ambos casos (una vez confirmados) el CSN difunde nota de prensa para advertir a la población.

Aparte de lo indicado en relación con los sucesos más frecuentes, cabe destacar que en el periodo de análisis se han dado muy pocos casos de superación de los límites de radiación y contaminación reglamentados, tan solo en un 5% de los sucesos.

Aunque se han dado con poca frecuencia, dada la importancia que tiene el bulto para la seguridad del transporte, son destacables los sucesos relacionados con su incorrecta preparación, como la detección de deficiencias en el embalaje utilizado (6% de los sucesos) o la carga del embalaje con un contenido inadecuado (2%), ya que podrían acarrear un incremento en las tasas de dosis del bulto durante su transporte.

En cuanto a los sucesos en procesos de carga y descarga, aparte de los considerados dentro de las incidencias en aeropuertos, la mayoría han consistido en daños en el vial de vidrio (que actúa como contenedor primario del material radiactivo líquido) cuando se realizaba su carga en bultos con destino al sector médico.

VII. Análisis de sucesos

VII. Análisis de sucesos

Una vez introducida la naturaleza general de los sucesos, en este capítulo se abordará su análisis sistemático, tomando como referencia varias de las características claves del transporte que se registran en la base de datos del CSN.

En primer lugar, en las tablas 7.0.1, 7.0.2 y 7.0.3 se puede observar la relación entre los diferentes tipos de sucesos ocurridos en los 21 años de estudio con las clases de materiales radiactivos transportados, los sectores en los que se realizaban los transportes y los tipos de bulto involucrados, respectivamente.

Desde el punto de vista de los materiales transportados, la casuística de los sucesos evidencia que la mayoría involucran a radiofármacos (70%) y fuentes radiactivas de aplicación industrial (16%). En el caso de los radiofármacos, el 41% de los sucesos se deben a accidentes de tráfico, el 30% a incidencias en terminales de aeropuertos y el 14% a extravíos de los propios bultos. Por lo que respecta a las fuentes industriales, el suceso más común es el robo de los bultos (69%), seguido de los accidentes de tráfico (19%).

Atendiendo a los sectores en los que se realizan los transportes, una amplia mayoría de los sucesos se produjeron en el ámbito médico (74%), seguido de otras aplicaciones industriales⁵ (14%) y actividades ligadas al ciclo de combustible nuclear - CCN (7%). En el sector médico, prácticamente todos los sucesos involucraron a radiofármacos, y la mayor parte se debieron a accidentes de tráfico (39%), incidencias en terminales de aeropuertos (28%) y extravío de bultos (14%). En el caso de las aplicaciones industriales, destaca el robo de los bultos (71%) y los accidentes de tráfico (21%). Por último, los sucesos acontecidos dentro del CCN se han debido mayormente a deficiencias en el embalaje (43%) y a la superación de los límites de contaminación superficial (29%).

Por último, el análisis de los sucesos según la tipología del bulto utilizado muestra que los del tipo A son los más frecuentes (77%), seguidos de los bultos Exceptuados (12%). Quedan muy por debajo los bultos de mayor riesgo: de sustancias fisionables (4%) y del tipo B (2%). La prevalencia en el uso de los bultos tipo A y Exceptuados para el transporte de radiofármacos en el sector médico da lugar a que sean los que con mayor frecuencia se ven involucrados en los sucesos de transporte. Considerando los bultos Exceptuados y tipo A en su conjunto, se puede observar que la mayoría (34%) se han visto involucrados en accidentes de tráfico, seguidos de incidencias en terminales de aeropuertos (24%) y en robos (16%) y extravíos (11%).

5. Aplicaciones diferentes a la gammagrafía industrial.

7.0.1. Materiales radiactivos involucrados en los diferentes tipos de sucesos

Clase de suceso	Radiofármacos	Material radiactivo usado en investigación	Fuentes terapia médica	Fuentes industriales	Óxido de Uranio	Combustible irradiado	Residuos radiactivos	OCS	Total
Deficiencias en el embalaje	2	0	0	1	3	0	0	0	6
Contenido del bulto inadecuado	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Suceso en procesos de carga/descarga	5	0	0	0	0	0	0	0	5
Superación límites de contaminación (NC IS-34 CSN)	0	0	0	0	0	1	0	1	2
Superación límites de radiación (NC IS-34 CSN)	0	0	3	0	0	0	0	0	3
Incidencias en terminales de aeropuertos	21	0	0	1	0	0	0	0	22
Accidente de tráfico	29	0	0	3	0	0	2	0	34
Robo de bultos	3	1	0	11	0	0	0	0	15
Extravío de bultos	10	0	0	0	0	0	0	0	10
Protección física	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Total	70	1	4	16	4	1	3	1	100

7.0.2. Sectores en los que se transportaban los materiales radiactivos involucrados en los sucesos

Clase de suceso	Médico	Investigación	Gammagrafía industrial	Otras aplicaciones industriales	CCN ⁶	Gestión residuos radiactivos	Total
Deficiencias en el embalaje	2	0	0	1	3	0	6
Contenido del bulto inadecuado	1	0	0	0	1	0	2
Suceso en procesos de carga/descarga	5	0	0	0	0	0	5
Superación límites de contaminación (NC IS-34 CSN)	0	0	0	0	2	0	2
Superación de límites de radiación (NC IS-34 CSN)	3	0	0	0	0	0	3
Incidencias en terminales de aeropuertos	21	0	1	0	0	0	22
Accidente de tráfico	29	0	0	3	0	2	34
Robo de bultos	3	1	1	10	0	0	15
Extravío de bultos	10	0	0	0	0	0	10
Protección física	0	0	0	0	1	0	1
Total	74	1	2	14	7	2	100

6. No incluye la gestión de los residuos radiactivos

7.0.3. Tipos de bultos involucrados en los sucesos

Clase de suceso	Exceptuado	Industrial	A	Varios ⁷ NA	B(U)	B(M)	Fisionable	No embalado	Total
Deficiencias en el embalaje	0	0	3	0	0	0	3	0	6
Contenido del bulto inadecuado	0	0	1	0	0	0	0	1	2
Suceso en procesos de carga/descarga	0	0	5	0	0	0	0	0	5
Superación límites de contaminación (NC IS-34 CSN)	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Superación de límites de radiación (NC IS-34 CSN)	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Incidencias en terminales de aeropuertos	2	0	19	0	1	0	0	0	22
Accidente de tráfico	0	2	30	2	0	0	0	0	34
Robo de bultos	3	0	11	0	1	0	0	0	15
Extravío de bultos	3	0	7	0	0	0	0	0	10
Protección física	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	12	2	77	2	2	0	4	1	100

7. Diversos tipos de bultos no sujetos a aprobación del diseño (Exceptuado, Industrial o tipo A)

Finalmente, dentro de este apartado general de análisis de los sucesos ocurridos, se considera interesante señalar que el 35% de ellos tuvieron lugar en alguna de las fases de un transporte internacional, esto es, su origen o destino se ubicaba fuera de España. En estos sucesos:

- El modo predominante de transporte fue el aéreo (57%), junto con el transporte por carretera (17%) y el multimodal a/c (14%).
- Implicaron principalmente a bultos de tipo A (63%) y Exceptuados (23%).
- Los materiales radiactivos involucrados pertenecían al ámbito médico (radiofármacos en un 63% y fuentes de terapia en un 11%) y en menor medida al CCN (11% - transporte de óxido de uranio).
- La mayoría de las causas de los sucesos se distribuyen entre una incorrecta manipulación de los bultos (31%), su extravío (20%) y su incorrecta preparación (14%), si bien debe resaltarse que en un 23% de los casos no se pudieron confirmar las causas.

Adicionalmente a este análisis general, a continuación se incluyen varios apartados en los que se realizará un estudio detallado de interrelación de diferentes parámetros que definen el escenario de los sucesos, tales como el tipo de material radiactivo transportado, el sector en el que se utiliza ese material, el medio de transporte utilizado, la fase del transporte en la que ocurrieron los sucesos, la zona donde ocurrieron y las causas que los originaron.

VII.1. Según el tipo de material radiactivo transportado

Como se recogía en la introducción de esta sección, la mayoría de los sucesos ocurridos han involucrado a radiofármacos y, en menor medida, a fuentes industriales.

En este apartado se realizará un análisis de los sucesos considerando los tipos de materiales radiactivos que se transportan en España frente a los tipos de bulto involucrados en los sucesos, los modos de transporte utilizados, la fase del transporte en la que ocurrió el suceso y las causas de estos.

Los tipos de materiales radiactivos que se citan a continuación no están definidos como tal en la reglamentación que se aplica al transporte de material radiactivo, simplemente se identifican en este documento al objeto de relacionar los sucesos con los principales sectores en los que se utilizan. Así, se han considerado los siguientes tipos de materiales radiactivos:

- Radiofármacos: material radiactivo de aplicación mayoritaria en el diagnóstico médico (medicina nuclear).
- Material radiactivo usado en investigación.
- Fuentes radiactivas encapsuladas utilizadas en terapia médica.
- Fuentes industriales: fuentes radiactivas encapsuladas utilizadas en procesos industriales, tales como la medida de la densidad y humedad de suelos y la gammagrafía industrial (detección de defectos en soldaduras y estructuras).

- Mezcla no nuclear: transporte de diversos materiales radiactivos no considerados sustancias fisionables.
- Minerales del ciclo de combustible nuclear (CCN) y concentrados de uranio.
- Hexafluoruro de uranio (UF₆).
- Óxido de Uranio.
- Combustible nuclear no irradiado: barras y elementos de combustible.
- Combustible nuclear irradiado. Puede llegar a ser considerado «combustible gastado».
- Residuos radiactivos. Generados en las instalaciones radiactivas y nucleares.
- Objetos contaminados superficialmente (OCS). Se trata de herramientas y equipamientos que, no siendo radiactivos, están contaminados en la superficie y no son considerados como residuos radiactivos.

Tipo de material vs. tipo de bulto utilizado

Analizando los sucesos ocurridos según el tipo de bulto y el material transportado (ver tabla 7.1.1), se destaca que el 77% de ellos ocurrieron transportando bultos de tipo A que, a su vez, en el 79% de los casos contenían radiofármacos y en el 18% fuentes industriales (normalmente incorporadas en equipos de medida de densidad y humedad de suelos).

En el resto de sucesos que afectaron a fuentes industriales (2%) intervenía un bulto del tipo B (equipos de gammagrafía industrial). Dicho de otro modo: en el 88% de los sucesos relacionados con fuentes industriales se vieron involucrados equipos móviles de medida de densidad y humedad de suelos y solo en el 12% equipos móviles de gammagrafía industrial.

Tipo de material vs. modo de transporte

Del análisis de los sucesos según el tipo de material y el modo de transporte, recogido en la tabla 7.1.2, resulta que la mayoría de los sucesos ocurrieron en el transporte por carretera (61%), de los cuales en un 67% se transportaban radiofármacos y en un 23% fuentes industriales (sobre todo equipos de medida de densidad y humedad de suelos).

Solo un 5% de los sucesos en carretera ha estado relacionado con el transporte de residuos radiactivos y menos de un 2% con el sector nuclear (un único suceso que afectó a un transporte de óxido de uranio).

Por su parte, en las actividades relacionadas con el transporte aéreo sucedieron un 29% de los sucesos, fundamentalmente en actividades de *handling*, que involucraron en su práctica totalidad al transporte de radiofármacos (97%).

Tipo de material vs. momento del suceso

Antes de realizar el análisis de los sucesos incluidos en la tabla 7.1.3, que muestra la relación entre el tipo de material transportado y la fase de transporte o momento del suceso, es importante dejar claro que el transporte no solo comprende el traslado de los materiales radiactivos de un punto a otro, sino que abarca todas las operaciones y condiciones inherentes al mismo, tales como la carga de los embalajes con el contenido (preparación del bulto), la carga/descarga en/desde el medio de transporte, la manipulación en las terminales de carga de los aeropuertos y en los puertos, el almacenamiento en tránsito, etc.

Los sucesos que han ocurrido durante el transporte propiamente dicho (traslado) han supuesto el 35% del total y, de ellos, el 83% involucraron a radiofármacos.

Es destacable también el porcentaje de sucesos en las operaciones de carga/descarga y en la manipulación de los bultos en las terminales de carga de los aeropuertos, un 22% en cada uno de ellos. La mayoría de los sucesos en las terminales de carga han involucrado a bultos con radiofármacos y solo hubo un caso de fuentes industriales. En cuanto a la carga y descarga al margen de las terminales aéreas, los sucesos están más repartidos desde el punto de vista del material transportado, pero el 50% han ocurrido con radiofármacos.

Por último, hay que señalar que un 14% de los sucesos han sucedido cuando el vehículo estaba aparcado, en su mayoría robos, de los cuales el 79% de los casos afectaron a fuentes industriales, sobre todo equipos de medida de densidad y humedad de suelos.

Tipo de material vs. causas del suceso

En la tabla 7.1.4 se muestra la relación tipo de material transportado/causas del suceso. De su análisis se deduce, en primer lugar, que las causas de los sucesos acaecidos en el periodo de estudio son múltiples.

Las más frecuentes son el alcance de otro vehículo en un accidente de carretera (21%) y la manipulación incorrecta de los bultos (20%), fundamentalmente en procesos de carga y descarga y en manipulaciones en las terminales de carga aéreas, que afectaron principalmente al transporte de radiofármacos.

Son destacables, asimismo, los robos (15%), en su mayoría de fuentes industriales; los extravíos de bultos (9%), en su mayoría de radiofármacos, y la incorrecta preparación de los bultos (10%), que ha afectado al sector médico fundamentalmente (radiofármacos y fuentes de terapia médica) y en menor medida al industrial y nuclear.

Por otra parte, considerando la importancia del diseño del bulto para la seguridad del transporte, es resaltable que solo en dos sucesos la causa fue atribuida a que el bulto utilizado no era acorde con el diseño, afectando al transporte de radiofármacos y fuentes de terapia médica.

Adicionalmente, se hace notar que en un 18% de los sucesos no ha sido posible determinar fehacientemente sus causas.

Tabla 7.1.1. Sucesos según el tipo de material y los tipos de bulto utilizados

Tipo de material	Tipo de bulto								TOTAL Sucesos
	Exceptuado	Industrial	A	Varios ⁸ NA	B(U)	B(M)	Fisionable	No embalado	
Radiofármacos	7	0	61	2	0	0	0	0	70
Material radiactivo usado en investigación	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Fuentes terapia médica	3	0	1	0	0	0	0	0	4
Fuentes industriales	0	0	14	0	2	0	0	0	16
Mezcla no nuclear	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minerales del CCN y Concentrados de Uranio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UF ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Óxido de Uranio	1	0	0	0	0	0	3	0	4
Combustible no irradiado	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combustible irradiado	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Residuos radiactivos	0	2	0	0	0	0	0	1	3
OCS	0	0	1	0	0	0	0	0	1
TOTAL Sucesos	12	2	77	2	2	0	4	1	100

8. Diversos tipos de bultos no sujetos a aprobación del diseño (Exceptuado, Industrial o tipo A)

Tabla 7.1.2. Sucesos según el tipo de material y los modos de transporte

Tipo de material	Modo de Transporte							TOTAL sucesos	
	Carretera	Aéreo	Aéreo (h) ⁹	Marítimo	Marítimo (p) ¹⁰	Ferrocarril	Multimodal a/c ¹¹		Multimodal m/c ¹²
Radiofármacos	41	8	20	0	0	0	1	0	70
Material radiactivo usado en investigación	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Fuentes terapia médica	0	0	0	0	0	0	4	0	4
Fuentes industriales	14	0	1	0	0	0	1	0	16
Mezcla no nuclear	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minerales del GCN y Concentrados de Uranio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UF ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Óxido de Uranio	1	0	0	0	0	0	0	3	4
Combustible no irradiado	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combustible irradiado	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Residuos radiactivos	3	0	0	0	0	0	0	0	3
OCS	1	0	0	0	0	0	0	0	1
TOTAL Sucesos	61	8	21	0	0	0	6	4	100

9. El suceso se produce en las operaciones de traslado, carga o descarga dentro de la pista o las terminales de carga de un aeropuerto (operaciones de *handling*)

10. El suceso se produce en las operaciones de traslado, carga o descarga dentro de un puerto marítimo

11. Transporte multimodal: aéreo-carretera

12. Transporte multimodal marítimo-carretera

Tabla 7.1.3. Sucesos según el tipo de material y el momento del suceso

Tipo de material	Momento del Suceso (Fase de Transporte)							TOTAL sucesos
	Carga /Descarga ¹³	Transporte	Manipulación terminal de carga ¹⁴	En Almacén	Vehículo aparcado	Otros	Desconocido	
Radiofármacos	11	29	21	0	2	1	6	70
Material radiactivo usado en investigación	0	0	0	0	1	0	0	1
Fuentes terapia médica	4	0	0	0	0	0	0	4
Fuentes industriales	1	3	1	0	11	0	0	16
Mezcla no nuclear	0	0	0	0	0	0	0	0
Minerales del CCN y Concentrados de Uranio	0	0	0	0	0	0	0	0
UF ₆	0	0	0	0	0	0	0	0
Óxido de Uranio	3	1	0	0	0	0	0	4
Combustible no irradiado	0	0	0	0	0	0	0	0
Combustible irradiado	1	0	0	0	0	0	0	1
Residuos radiactivos	1	2	0	0	0	0	0	3
OCS	1	0	0	0	0	0	0	1
TOTAL Sucesos	22	35	22	0	14	1	6	100

13. No en terminales de carga de aeropuertos

14. Manipulación de bultos radiactivos en las terminales de carga aeroportuaria (incluye operaciones de traslado en pista)

Tabla 7.1.4. Sucesos según tipo de material y las causas del suceso

Tipo de material	Causas del suceso										TOTAL sucesos
	Alcance con otro vehículo	Fallo mecánico del vehículo	Robo	Incorrecta preparación del bulto	Incorrecta manipulación de los bultos	Bulto no acorde a diseño	Otras causas/desconocidas	Extravío del bulto	Circunstancias meteorológicas	Estado de la carretera	
Radiofármacos	17	2	3	5	19	1	12	9	1	1	70
Material radiactivo usado en investigación	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Fuentes terapia médica	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	4
Fuentes industriales	3	0	11	1	1	0	0	0	0	0	16
Mezcla no nuclear	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minerales del CCN y Concentrados de Uranio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UF ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Óxido de Uranio	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	4
Combustible no irradiado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combustible irradiado	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Residuos radiactivos	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
OCS	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
TOTAL Sucesos	21	3	15	10	20	2	18	9	1	1	100

Conclusiones del análisis según el tipo de material radiactivo transportado

Las conclusiones principales del análisis son:

- La mayoría de los sucesos involucran a bultos de tipo A que transportan radiofármacos.
- La mayoría de los sucesos con fuentes industriales están relacionados con el transporte de equipos de medida de densidad y humedad de suelos.
- La mayoría de los sucesos ocurren en el transporte por carretera de radiofármacos.
- El traslado es la fase de transporte en la que más sucesos ocurre, si bien también son resaltables la fase de carga, descarga y manipulación de los bultos.
- La mayor parte de los robos en vehículos han afectado a bultos que transportaban equipos de medida de densidad y humedad de suelos.
- Las causas de los sucesos en transporte han sido muy variadas, si bien se destacan los alcances del vehículo de transporte con otros vehículos en accidentes de carretera y una manipulación incorrecta de los bultos en procesos de carga, descarga y traslado dentro de terminales de carga de aeropuertos.

VII.2. Según los sectores de actividad

Como se indicaba al inicio de esta sección, la mayoría de los sucesos se produjeron en el ámbito médico y ya en menor medida en las aplicaciones industriales y las actividades ligadas al CCN.

A continuación, se realiza un análisis de los sucesos tomando como referencia los sectores de actividad a los que van dirigidos los materiales radiactivos que se transportan. A través de varias tablas se correlacionarán los sucesos ocurridos en esos sectores con el momento del suceso o fase del transporte en el que ocurrieron, con la causa de los sucesos y con los modos de transporte.

Los sectores de actividad que se citan a continuación no están definidos como tal en la reglamentación que se aplica al transporte de materiales radiactivos, simplemente se han identificado en este documento al objeto de relacionar los sucesos con los principales sectores en los que se utilizan esos materiales. Así, se han considerado los siguientes sectores:

- Médico.
- Investigación.
- Irradiadores industriales.
- Gammagrafía industrial.
- Otras aplicaciones industriales.
- Ciclo del Combustible Nuclear (CCN).
- Gestión de residuos radiactivos.
- Productos de consumo.

Sector de actividad vs. momento del suceso

En la tabla 7.2.1 se han recogido los sucesos ocurridos en los diferentes sectores de actividad según la fase de transporte o momento del suceso en la que ocurrieron.

Del análisis de los resultados recogidos en la tabla, se puede concluir que la mayoría de los sucesos han ocurrido en la fase de transporte (35%) y casi en su totalidad en el sector médico (83%).

Han existido el mismo número de sucesos tanto en las operaciones de carga/descarga como en las de manipulación de los bultos en las terminales de carga de los aeropuertos, un 22% en ambos. En el caso de los sucesos en las terminales de carga, se relacionan mayoritariamente con el sector médico, puesto que, como ya hemos visto en el apartado anterior, los sucesos en esas operaciones están relacionados con el transporte de radiofármacos. Por su parte, en la carga y descarga, el 68% de los sucesos también están vinculados al sector médico, pero asimismo se observa que un 27% de ellos ocurrieron en el CCN y el 5% restante en otras aplicaciones industriales.

En cuanto a los sucesos ocurridos en el momento en el que el vehículo está aparcado, afectaron fundamentalmente al sector industrial (79%).

Cabe reseñar también que solo un 2% de los sucesos han afectado al sector de los residuos, habiendo ocurrido todos ellos en la fase de transporte.

Por último, hay que indicar que en un 6% de los sucesos no ha sido posible determinar el momento exacto en el que acontecieron.

Sector de actividad vs. causas del suceso

En la tabla 7.2.2 se relaciona la causa del suceso con el sector de actividad para el que se realizaba el transporte. A la vista de los datos de la tabla, se evidencian unos resultados bastante diversificados.

Dentro del sector médico, en el que se producen la mayoría de los sucesos, un 26% ocurrieron por una incorrecta manipulación de los bultos, un 23% como consecuencia del alcance con otro vehículo en un accidente de carretera, un 9% por una incorrecta preparación del bulto y un 16% por el extravío o robo de bultos. En un 18% de los sucesos ocurridos en el sector médico las causas no pudieron confirmarse.

En el siguiente sector con más sucesos, el de otras aplicaciones industriales, pero ya a bastante distancia del anterior, la causa más común fue el robo de los bultos.

Sector de actividad vs. modo de transporte

En la tabla 7.2.3 se recogen los sucesos ocurridos según el modo de transporte y el sector de actividad.

El 61% de los sucesos ocurrieron en el transporte por carretera y de ellos el 67% fueron transportes en el sector médico y el 21% en el sector de las aplicaciones industriales. En cuanto al modo aéreo, donde ocurrieron el 29% de los sucesos (en el transporte aéreo en sí mismo y en las operaciones de *handling*) prácticamente la totalidad (96%) se corresponden con el sector médico.

Tabla 7.2.1. Sucesos según el sector de actividad y el momento del suceso

Sector de Actividad	Momento del Suceso (Fase de Transporte)							TOTAL sucesos
	Carga / Descarga	Transporte	Manipulación terminal de carga ¹⁵	En Almacén	Vehículo aparcado	Otros	Desconocido	
Médico	15	29	21	0	2	1	6	74
Investigación	0	0	0	0	1	0	0	1
Irradiadores industriales	0	0	0	0	0	0	0	0
Gammagrafía industrial	0	0	1	0	1	0	0	2
Otras aplicaciones industriales	1	3	0	0	10	0	0	14
CCN	6	1	0	0	0	0	0	7
Gestión residuos radiactivos	0	2	0	0	0	0	0	2
Productos de consumo	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL Sucesos	22	35	22	0	14	1	6	100

15. Manipulación de bultos radiactivos en los terminales de carga aeroportuaria (incluye operaciones de traslado en pista)

Tabla 7.2.2. Sucesos según el sector de actividad y las causas del suceso

Sector de Actividad	Causas del suceso											TOTAL suceso
	Alcance con otro vehículo	Fallo mecánico del vehículo	Robo	Incorrecta preparación del bulto	Incorrecta manipulación de los bultos	Bulto no acorde a diseño	Otras causas desconocidas	Extravío del bulto	Circunstancias meteorológicas	Estado de la carretera		
Médico	17	2	3	7	19	2	13	9	1	1	74	
Investigación	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
Irradiadores industriales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gammagrafía industrial	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	
Otras aplicaciones industriales	3	0	10	1	0	0	0	0	0	0	14	
CCN	0	0	0	2	0	0	5	0	0	0	7	
Gestión residuos radiactivos	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
Productos de consumo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL Sucesos	21	3	15	10	20	2	18	9	1	1	100	

Tabla 7.2.3. Sucesos según el sector de actividad y el modo de transporte

Sector de Actividad	Modo de transporte									TOTAL sucesos
	Carretera	Aéreo	Aéreo (h) ¹⁶	Marítimo	Marítimo (p) ¹⁷	Ferrocarril	Multimodal a/c ¹⁸	Multimodal m/c ¹⁹		
Médico	41	8	20	0	0	0	5	0	0	74
Investigación	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Irradiadores industriales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gammagrafía industrial	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Otras aplicaciones industriales	13	0	0	0	0	0	1	0	0	14
CCN	3	0	0	0	0	0	0	0	4	7
Gestión residuos radiactivos	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Productos de consumo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL Sucesos	61	8	21	0	0	0	6	4	0	100

16. El suceso se produce en las operaciones de traslado, carga o descarga dentro de la pista o los terminales de carga de un aeropuerto (operaciones de *handling*)

17. El suceso se produce en las operaciones de traslado, carga o descarga dentro de un puerto marítimo

18. Transporte multimodal: aéreo-carretera

19. Transporte multimodal marítimo-carretera

Conclusiones del análisis según los sectores de actividad

Las conclusiones principales del análisis son:

- La mayoría de los sucesos están relacionados con el transporte por carretera hacia el sector médico.
- La mayoría de esos sucesos han ocurrido en la fase de transporte como consecuencia de accidentes por alcances entre vehículos de carretera.
- Es significativo el número de sucesos en las operaciones de carga/descarga en las terminales de carga de los aeropuertos debido a incorrectas manipulaciones de los bultos, sucesos que también se relacionan mayoritariamente con el sector médico.
- Los sucesos que ocurren cuando el vehículo de transporte está aparcado afectan fundamentalmente al sector industrial (robos de bultos).

VII.3. Según el modo de transporte

A continuación, se realiza un análisis de los sucesos tomando como referencia principal el modo de transporte. A través de varias tablas, se correlacionarán los sucesos ocurridos en esos modos de transporte con el tipo de población más cercana al suceso, el medio de transporte utilizado y las causas del suceso.

Modo de transporte vs. tipo de población cercana

En la tabla 7.3.1 se han recogido los sucesos según el modo de transporte y el tipo de población cercana a donde ocurrieron.

Podemos observar que la mayoría de los sucesos han ocurrido en el modo de carretera (61%), de los cuales un 34% ocurrieron en campo abierto (sin habitantes) y un 54% en zonas habitadas: en una ciudad (28%), en sus alrededores (15%) o en un pueblo (11%).

En el otro modo de transporte con más sucesos, el aéreo (29%), prácticamente todos han ocurrido en los aeropuertos.

Por último, hay que señalar que un 14% de los sucesos se produjeron debido a una inadecuada operación en una instalación nuclear o radiactiva o se detectaron en estas cuando se recibió la carga, estando relacionados la mayoría con un transporte por carretera o multimodal a/c o m/c.

Modo de transporte vs. medio de transporte

En la tabla 7.3.2 se recogen los sucesos según el modo de transporte y el medio utilizado para su realización.

Como ya se ha ilustrado en apartados anteriores, el 61 % de los sucesos ocurrieron en el modo de carretera. De ellos, el 74% involucraron a vehículos de tonelaje menor a 1.5 Tm, habitualmente utilizados para el transporte de pequeños bultos con radiofármacos y equipos radiactivos móviles. Solo en el 8% de estos sucesos se vieron involucrados grandes vehículos, mayores de 3,5 Tm, habitualmente utilizados para el transporte en el CCN.

De los sucesos ocurridos en el modo aéreo (29% del total), en el 31% de los casos se vio involucrado un montacargas o carretilla elevadora, medios habitualmente utilizados en los procesos de carga y descarga en las terminales. Ninguno de los sucesos del modo aéreo implicó un accidente aéreo en sí mismo o afectó a la aeronave, la tripulación o los pasajeros, la mayoría ocurrieron en la manipulación de bultos radiactivos en las operaciones de *handling* (aéreo-h) y el resto fueron extravíos de bultos o no conformidades detectadas a lo largo del proceso de transporte aéreo.

Un 6% ocurrieron en transporte multimodal a/c, en la fase de carretera. La mitad de ellos sucedieron utilizando vehículos de carretera de tonelaje menor a 1.5 Tm y el resto en vehículos de mayor tonelaje.

Por último, es destacable que no se dio ningún suceso en las operaciones en puertos marítimos.

Modo de transporte vs. causas del suceso

En la tabla 7.3.3 se han recogido los sucesos que han ocurrido según el modo de transporte y las causas del suceso.

Se observa que, de los 61 sucesos ocurridos en el modo de carretera, 21 de ellos (34%) se produjeron por el alcance entre vehículos y solo 5 casos (8%) fueron debidos a la avería del vehículo, circunstancias meteorológicas o al estado de la carretera. En segundo lugar, son destacables en este modo de transporte los robos de bultos, bien desde el vehículo o del propio vehículo conteniéndolos (25% de los sucesos). En un 19% de los sucesos ocurridos en este modo no pudieron determinarse fehacientemente las causas.

Por su parte, en el modo aéreo, con un total de 29 sucesos, la mayoría (el 69%) ocurrieron por una incorrecta manipulación de los bultos en las actividades aeroportuarias. También es destacable que el 21% de los casos fueron extravíos de bultos en el proceso de transporte aéreo: desde su salida en el aeropuerto de origen hasta su entrega en la terminal de carga del aeropuerto de llegada.

Tabla 7.3.1. Sucesos según el modo de transporte y el tipo de población cercana

Modo de transporte	Tipo de población cercana									TOTAL sucesos
	Pueblo	Ciudad	Alrededores de ciudad	Aeropuerto	Campo abierto / sin habitantes	Instalación nuclear o radiactiva ²⁰	Desconocido	No aplica ²¹	TOTAL sucesos	
Carretera	7	17	9	1	21	6	0	0	0	61
Aéreo	0	0	0	6	0	0	2	0	0	8
Aéreo (h)²²	0	0	0	21	0	0	0	0	0	21
Marítimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marítimo (p)²³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ferrocarril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Multimodal a/c	0	0	0	1	0	4	0	1	0	6
Multimodal m/c	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4
TOTAL Sucesos	7	17	9	29	21	14	2	1	0	100

20. El suceso se produce debido a una inadecuada operación en una instalación o se detecta en esta cuando se recibe la carga

21. No aplica quiere decir que se trata de un suceso que no se puede asociar directamente a un tipo de población o que fueron varios tipos a lo largo del trayecto. El único caso aquí identificado se refiere a un contenido inadecuado del bulto de transporte

22. El suceso se produce en las operaciones de traslado, carga o descarga dentro de la pista o los terminales de carga de un aeropuerto (operaciones de *handling*)

23. El suceso se produce en las operaciones de traslado, carga o descarga dentro de un puerto marítimo

Tabla 7.3.2. Sucesos según modo de transporte y medio de transporte

Modo de transporte	Medio de transporte							TOTAL sucesos
	Avión de pasajeros	Montacargas ²⁴	No especificado	Otros	Vehículo de carretera < 1.5 Tm	Vehículo de carretera ≥ 1.5 Tm ≤ 3.5 Tm	Vehículo de carretera > 3.5 Tm	
Carretera	0	0	0	1	45	10	5	61
Aéreo	4	0	3	1	0	0	0	8
Aéreo (h) ²⁵	6	9	2	4	0	0	0	21
Marítimo	0	0	0	0	0	0	0	0
Marítimo (p)	0	0	0	0	0	0	0	0
Ferrocarril	0	0	0	0	0	0	0	0
Multimodal a/c	0	0	0	1	3	1	1	6
Multimodal m/c	0	0	0	1	0	0	3	4
TOTAL Sucesos	10	9	5	8	48	11	9	100

24. Carretilla elevadora, grúa horquilla, montacargas, toro

25. El suceso se produce en las operaciones de traslado, carga o descarga dentro de la pista o los terminales de carga de un aeropuerto (operaciones de *handling*)

Tabla 7.3.3. Sucesos según el modo de transporte y las causas del suceso

Modo de transporte	Causas del suceso											TOTAL sucesos
	Alcance con otro vehículo	Fallo mecánico del vehículo	Robo	Incorreción preparación del bulto	Incorreción manipulación de los bultos	Bulto no acorde a diseño	Otras causas desconocidas	Extravío del bulto	Circunstancias meteorológicas	Estado de la carretera		
Carretera	21	3	15	5	0	0	12	3	1	1	1	61
Aéreo	0	0	0	0	2	1	0	5	0	0	0	8
Aéreo (h)	0	0	0	0	18	0	2	1	0	0	0	21
Marítimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marítimo (p)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ferrocarril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Multimodal a/c	0	0	0	3	0	1	2	0	0	0	0	6
Multimodal m/c	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	4
TOTAL Sucesos	21	3	15	10	20	2	18	9	1	1	1	100

Conclusiones del análisis según el modo de transporte

Las conclusiones principales del análisis son:

- La mayoría de los sucesos han ocurrido en el modo de carretera y en segundo lugar en el modo aéreo, fundamentalmente en los aeropuertos.
- Gran parte de los sucesos en carretera han ocurrido en zonas habitadas o en sus alrededores, pero también es significativo el número de los ocurridos en campo abierto.
- La gran mayoría de los sucesos en el modo de carretera involucraron a vehículos de menos de 1.5 Tm, vehículos habitualmente utilizados para el transporte de radiofármacos y equipos radiactivos móviles.
- En el modo aéreo han sido frecuentes los sucesos en los que, de una u otra forma, se han visto involucrados vehículos utilizados en los procesos de carga y descarga o de traslado de los bultos en la pista o en los almacenes del aeropuerto.
- En el modo de carretera el suceso más frecuente se debe al alcance entre vehículos, siendo destacable en segundo lugar los robos de bultos, bien desde el vehículo o bien del propio vehículo.
- En el modo aéreo destacan los casos de incorrecta manipulación de bultos (procesos de carga y descarga y traslado en pista) y en segundo lugar los extravíos de bultos a lo largo del proceso de transporte aéreo.

VII.4. Según la fase de transporte

A continuación, se realiza un análisis de los sucesos tomando como referencia principal el momento en el que ocurre el suceso a lo largo del proceso de transporte; es decir, la fase del transporte.

Como fase del transporte debe entenderse no solo el acarreo del material radiactivo de un punto a otro (traslado), sino otras actividades asociadas al transporte, como la carga y descarga del material en o desde los medios de transporte, las operaciones dentro de un almacenamiento en tránsito y los sucesos que ocurren con el vehículo aparcado, como es el caso de los robos.

En relación con los sucesos en la carga y descarga, como ya se ha indicado anteriormente, se dan datos independientes para el caso de las operaciones en las terminales de carga de los aeropuertos, dada la singularidad de estos sucesos y su frecuencia.

Siguiendo el mismo mecanismo que en los apartados anteriores, a través de varias tablas, se relacionarán los sucesos ocurridos en las diferentes fases del transporte con el tipo de bulto involucrado en el suceso y con sus causas.

Fase de transporte vs. tipo de bulto

Como ya se señaló al inicio de este capítulo, los bultos del tipo A son los que se han visto implicados en la mayor parte de sucesos, seguidos de los bultos Exceptuados, quedando muy por debajo los de mayor riesgo: de sustancias fisionables y del tipo B.

En la tabla 7.4.1, se cruza la información sobre los tipos de bultos con la fase de transporte en la que ocurrió el suceso.

En el caso de los bultos del tipo A, el 39% de los sucesos en los que estuvieron involucrados sucedieron durante el transporte (traslado). El resto se repartió entre la fase de manipulación en terminales de carga de aeropuertos (25%), la carga/descarga (17%) y la fase de estacionamiento del vehículo de carretera (13%), fundamentalmente robos.

En el caso de los bultos Exceptuados, la fase más destacable ha sido la carga y descarga y la manipulación en terminales de carga (50% de los sucesos que afectaron a este tipo de bultos). También es resaltable frente al total de casos que afectaron a estos bultos que un 25% ocurrieron con el vehículo aparcado (fundamentalmente robos).

Finalmente, en los transportes de bultos de sustancias fisionables, solo involucrados en un 4% de los sucesos, todos ocurrieron en la fase de carga y descarga, ninguno en la de transporte.

Fase de transporte vs. causas que originan los sucesos

En cuanto a la relación entre la fase de transporte en la que ocurren los sucesos y sus causas, en la tabla 7.4.2 se puede observar que:

- el 60% de los sucesos ocurridos durante el transporte se han producido por el alcance con otro vehículo,
- el 90% de los debidos a una incorrecta manipulación de los bultos se produjeron en los terminales de carga de aeropuertos,
- el 93% de los robos se produjeron en un vehículo, y
- en la mayoría de los extravíos de bultos (55%) es difícil determinar la fase del transporte en la que se producen.

Las fases de transporte en las que ha sido más difícil determinar las causas del suceso fueron la de transporte (traslado) y la de carga/descarga, fases en las que han ocurrido más sucesos. En la fase de manipulación de bultos en los terminales de aeropuerto también han sucedido numerosos sucesos, sin embargo, en muy pocos de ellos no se han podido confirmar las causas.

Tabla 7.4.1. Sucesos según la fase de transporte y el tipo de bulto

Momento del Suceso (Fase de Transporte)	Tipo de bulto										TOTAL sucesos
	Exceptuado	Industrial	Tipo A	Varios bultos NA	B(U)	B(M)	Fisionable	No embalado			
Carga/descarga	4	0	13	0	0	0	4	1			22
Transporte	1	2	30	2	0	0	0	0			35
Manipulación terminal carga	2	0	19	0	1	0	0	0			22
En almacén	0	0	0	0	0	0	0	0			0
Vehículo aparcado	3	0	10	0	1	0	0	0			14
Otros	1	0	0	0	0	0	0	0			1
Desconocido	1	0	5	0	0	0	0	0			6
TOTAL Sucesos	12	2	77	2	2	0	4	1			100

Tabla 7.4.2. Sucesos según fase de transporte y causas que los originan

Momento del Suceso (Fase de Transporte)	Causas del suceso										TOTAL sucesos
	Alcance con otro vehículo	Fallo mecánico del vehículo	Robo	Incorrecta preparación del bulto	Incorrecta manipulación de los bultos	Bulto no acorde a diseño	Otras causas desconocidas	Extravío del bulto	Circunstancias meteorológicas	Estado de la carretera	
Carga/descarga	0	0	1	10	1	2	7	1	0	0	22
Transporte	21	3	0	0	0	0	9	0	1	1	35
Manipulación terminal carga	0	0	0	0	18	0	1	3	0	0	22
En almacén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vehículo aparcado	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	14
Otros	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Desconocido	0	0	0	0	1	0	0	5	0	0	6
TOTAL Sucesos	21	3	15	10	20	2	18	9	1	1	100

Conclusiones del análisis según la fase de transporte

Las conclusiones principales del análisis anterior son:

- La mayoría de los sucesos en los que se vieron involucrados bultos tipo A y Exceptuados sucedieron en la fase de transporte (traslado) o en la de manipulación en terminales de carga de aeropuertos o carga/descarga.
- Todos los sucesos en los que intervinieron bultos de sustancias fisiónables sucedieron en la fase de carga y descarga.
- La mayoría de los sucesos ocurridos en la fase de transporte se produjeron por el alcance con otro vehículo.
- Prácticamente todos los sucesos causados por una incorrecta manipulación de los bultos se produjeron en los terminales de carga de aeropuertos.
- Prácticamente la totalidad de los robos de bultos sucedieron en vehículos de carretera aparca-dos (bien de los bultos o del mismo vehículo).
- En muchos extravíos es muy difícil concluir la fase de la operación de transporte en la que ocurren.
- En los sucesos ocurridos en los terminales de carga aeroportuaria normalmente es sencillo determinar las causas del suceso.

VII.5. Según las causas del suceso

En los apartados anteriores se han relacionado las causas de los sucesos con el modo de transporte, con el tipo de material transportado, con el sector de actividad al que ese material radiactivo iba destinado y con la fase o momento en el que ocurrió el suceso a lo largo de todas las actividades relacionadas con el transporte. Para finalizar con este ejercicio de cruce de parámetros asociados a los escenarios de los sucesos, se ha considerado interesante realizar también un análisis de la relación causas/medio de transporte involucrado. Los resultados de ese análisis se recogen en la tabla 7.5.1.

Como puede observarse, la mayoría de sucesos involucraron a vehículos de carretera (68%), fundamentalmente vehículos ligeros (< 1.5 Tm), con un 48% respecto al global de sucesos. Como ya se indicó anteriormente, estos vehículos son los más utilizados en el transporte de bultos conteniendo radiofármacos (en general pequeñas cantidades de bultos), así como equipos móviles de aplicación industrial (medidores de densidad y humedad de suelos y gammágrafos). Dentro de este tipo de vehículos, las causas mayoritarias de los sucesos fueron tanto el alcance con otro vehículo (29%) como el robo, bien de los bultos transportados o bien del propio vehículo (29%). Cabe señalar que en el 21% de los casos no llegaron a determinarse con certeza las causas del suceso.

También es de interés destacar los datos correspondientes a los vehículos de carretera de entre 1.5 y 3.5 Tm. Estos vehículos también se usan frecuentemente para el transporte de radiofármacos, pero en este caso de grandes cantidades de bultos, así como para el transporte de fuentes radiactivas encapsuladas destinadas a la terapia médica o a aplicaciones industriales. En este caso vuelve a destacar como causa del suceso el alcance entre vehículos (54%).

Tabla 7.5.1. Sucesos según las causas que lo originaron y el medio de transporte involucrado

Causas del suceso	Medio de transporte							TOTAL sucesos
	Avión de pasajeros	Montacargas ²⁶	No especificado	Otros	Vehículo de carretera < 1.5 Tm	Vehículo de carretera ≥ 1.5 Tm ≤ 3.5 Tm	Vehículo de carretera > 3.5 Tm	
Alcance con otro vehículo	0	0	0	0	14	6	1	21
Fallo mecánico del vehículo	0	0	0	0	2	0	1	3
Robo	0	0	0	0	14	1	0	15
Incorrecta preparación del bulto	0	0	0	2	3	2	3	10
Incorrecta manipulación de los bultos	5	8	3	4	0	0	0	20
Bulto no acorde a diseño	1	0	0	0	0	1 ²⁷	0	2
Otras causas desconocidas	0	1	0	2	10	1	4	18
Extravío del bulto	4	0	2	0	3	0	0	9
Circunstancias meteorológicas	0	0	0	0	1	0	0	1
Estado de la carretera	0	0	0	0	1	0	0	1
TOTAL Sucesos	10	9	5	8	48	11	9	100

26. Carretilla elevadora, grúa horquilla, montacargas, toro

27. Detectado en un transporte multimodal carretera-aéreo (avión de pasajeros)

En definitiva, el alcance entre vehículos es la causa más común en los sucesos en los que se ven envueltos vehículos de carretera, sean del tipo que sean, si bien cabe destacar que solo se ha dado un suceso de este tipo que afectara a un vehículo de gran tamaño (de más de 3.5 Tm), habitualmente utilizados en los transportes relacionados con el CCN.

El otro punto destacable en este análisis está relacionado con el transporte aéreo. El 10% de los sucesos involucraron a un transporte realizado en un avión de pasajeros, pero ninguno se debió a un accidente aéreo, sino a una incorrecta manipulación del bulto en alguna de las fases del transporte (50% de los casos) o a un extravío de los bultos en dicho proceso (40%). Asimismo, en el caso de los sucesos con montacargas (9%), la mayoría sucedió en operaciones de *handling* en el transporte aéreo y su práctica totalidad se debió a una incorrecta manipulación de los bultos.

VIII. Gravedad de los sucesos. Clasificación según la escala INES

VIII. Gravedad de los sucesos. Clasificación según la escala INES

La Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES), elaborada por expertos del OIEA junto a la [Agencia de Energía Nuclear](#) (NEA) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), comenzó a utilizarse a partir de 1990 para clasificar sucesos ocurridos en centrales nucleares y se amplió y adaptó posteriormente para su aplicación a toda instalación asociada con la industria nuclear civil y con los materiales radiactivos.

La edición de 2008 del manual INES [24] ya aplicaba plenamente al uso de las fuentes radiactivas (instalaciones radiactivas) y al transporte de cualquier tipo de material radiactivo. Todos los sucesos del periodo de análisis (2000-2020) han sido clasificados de acuerdo con los criterios de la citada edición del manual INES.

La escala INES se emplea para comunicar al público de manera rápida y coherente la importancia desde el punto de vista de la seguridad de sucesos asociados a las fuentes de radiación. El alcance de la escala aplica a cualquier suceso asociado al transporte, almacenamiento y uso de materiales radiactivos y fuentes de radiación, con independencia de que ocurra o no en una instalación. La escala abarca, por tanto, un amplio espectro de prácticas, incluidos los usos industriales, el empleo de fuentes de radiación en hospitales, las actividades en instalaciones nucleares y, por supuesto, el transporte de materiales radiactivos.

El uso de la escala también incluye la pérdida o el robo de fuentes o bultos radiactivos, así como el hallazgo de fuentes huérfanas, quedando excluidos sucesos relacionados con la protección física, actos dolosos dirigidos a exponer a radiación a las personas o sucesos derivados de aplicaciones militares.

Con arreglo a esta escala, los sucesos se clasifican en siete niveles (ver figura 8.1). Los sucesos de los niveles 1 a 3 se denominan «incidentes», mientras que en el caso de los niveles 4 a 7 se habla de «accidentes». Cuando los sucesos no revisten importancia para la seguridad se considera que quedan por «debajo de la escala» y se les adjudica el nivel 0.

Figura. 8.1. Escala INES



Tabla 8.1. Sucesos ocurridos entre 2000 y 2020 y su clasificación INES²⁸

Tipo incidente	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total	
Deficiencias en el embalaje	0	0	0	0	2 (1) ²⁹	0	0	1 (1) ³⁰	3 (1/0/0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Contenido inadecuado del bulto	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (1)	1 (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Suceso en procesos de carga/descarga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0)	2 (0)	2 (0)(1)	0	0	0	0	0	5
Superación límites de contaminación (NC IS-34 CSN)	0	0	0	0	1 (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0)	0	0	0	0	0	0	0	2
Superación de límites de radiación (NC IS-34 CSN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 (0)(1)	0	0	0	1 (1)	0	3
Incidencias en terminales de aeropuertos	3 (0)	2 (0)	1 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (0)	2 (0)	0 (0)	0	0	0	0	0	1 (0)	1 (0)	0	2 (0)	4 (0)	1 (0)	0	0	0	22
Accidente de tráfico	0	0	1 (1)	1 (0)	0	5 (0)	3 (0)	2 (0)	3 (0)	1 (0)	3 (0)	1 (0)	1 (0)	4 (0)	2 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	0	0	2 (0)	34
Robo de bultos	0	0	0	1 (1)	1 (1)	2 (1)	1 (1)	0	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	0	0	0	0	2 (0)(1)	1 (1)	0	1 (1)	2 (0)	0	15
Extravío de bultos	0	1 (1)	0	0	1 (0)	1 (1)	0	0	0	2 (0)	1 (0)	1 (0)	0	0	0	1 (0)	0	1 (0)	0	1 (0)	0	0	10
Protección física	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0)	1
Total	3	3	2	4	7	9	6	3	8	5	5	3	1	5	5	4	10	7	2	3	5	100	

28. Se indica entre paréntesis la clasificación INES de los sucesos

29. Se detectan a recepción en instalación española. Clasificación INES en el país de origen

30. Se detecta a recepción en instalación española. Clasificación INES en el país de origen

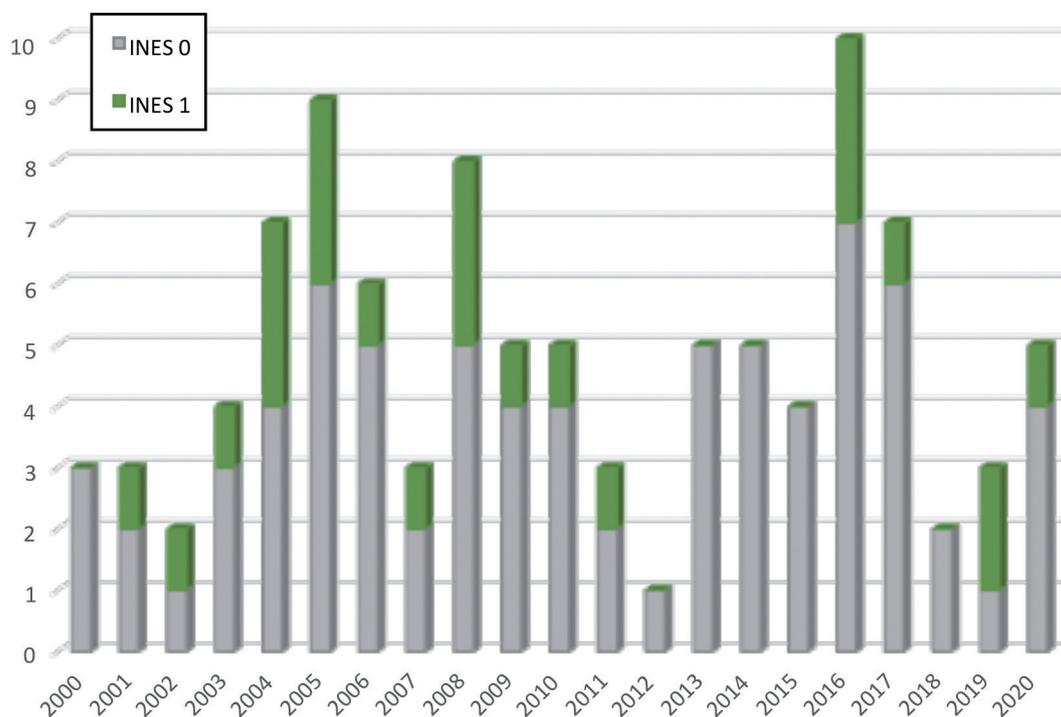
Asimismo, al objeto de que el público valore de manera rápida la importancia para la seguridad del suceso, a cada nivel de la escala INES se le asigna una expresión distinta, en orden creciente de gravedad: anomalía (1), incidente (2), incidente importante (3), accidente con consecuencias de alcance local (4), accidente con consecuencias de mayor alcance (5), accidente importante (6) y accidente grave (7).

La clasificación de un suceso en un determinado nivel se realiza en referencia a su impacto en tres áreas: los efectos en las personas y el medio ambiente; los efectos en las barreras y los controles radiológicos en las instalaciones; y los efectos en la defensa en profundidad.

VIII.1. Clasificación INES de los sucesos de transporte en el periodo 2000-2020

En la figura 8.1.1 se pueden observar los niveles INES asignados a los sucesos ocurridos en España entre el año 2000 y el 2020, ninguno de los cuales ha superado el nivel 1 (anomalía). Por su parte, en la tabla 8.1 se recoge en detalle la tipología de los sucesos y su clasificación INES para el periodo objeto de análisis.

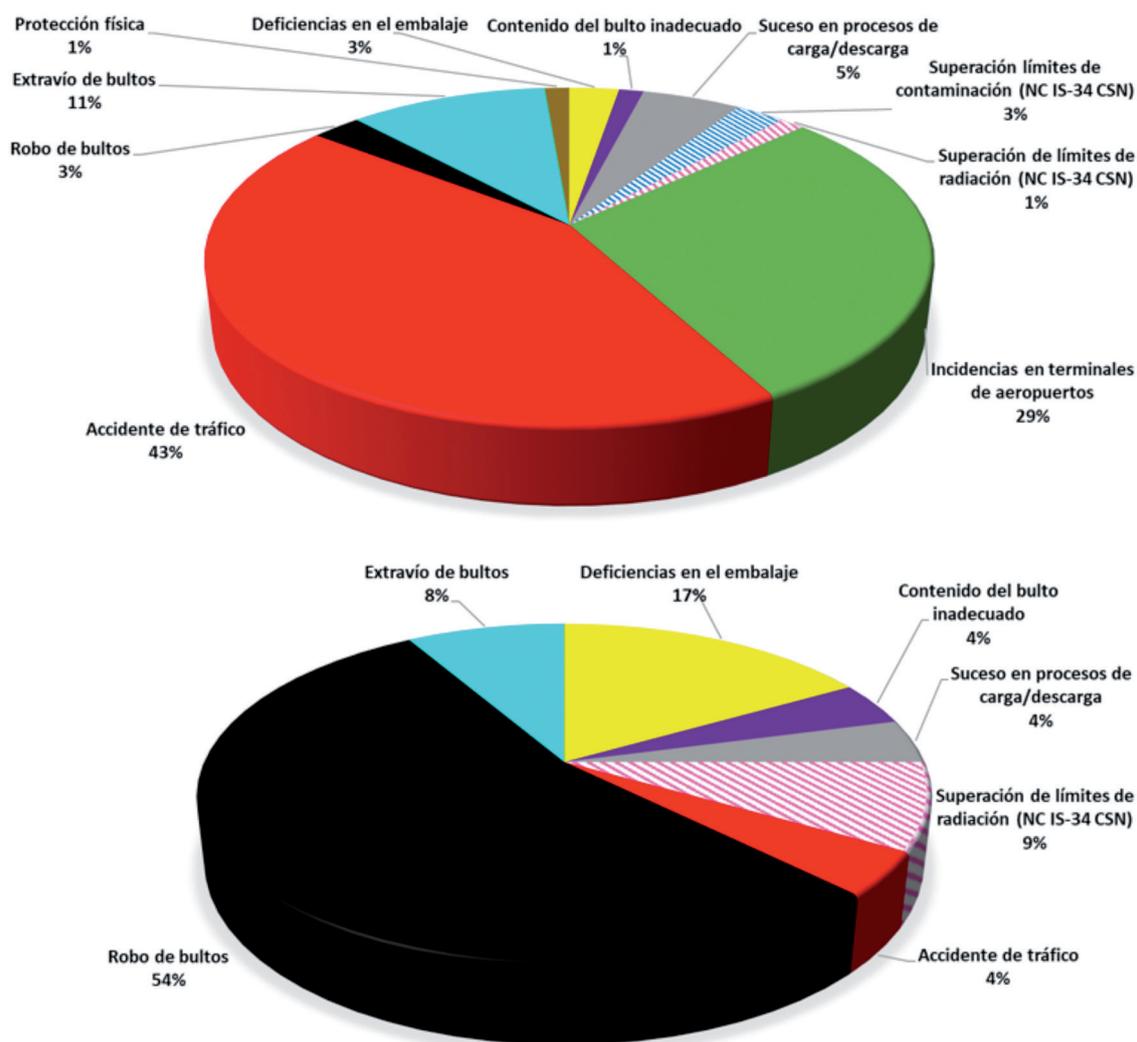
Figura 8.1.1. Nivel INES de los sucesos ocurridos entre 2000 y 2020



En total se han producido 76 sucesos de nivel 0 (sin importancia para la seguridad / por debajo de escala) y 24 de nivel 1 (anomalía).

Respecto a la tipología del suceso (ver figura 8.1.2), aproximadamente el 43% de los sucesos INES 0 fueron accidentes de tráfico, el 29% incidencias en terminales de aeropuerto y el 11% extravíos de bultos. En cuanto a los sucesos categorizados como INES 1, el 62 % se debieron a robos (54%) y extravíos de bultos (8%) y ya en menor medida (17%) a deficiencias en el embalaje. Es importante tener en cuenta que, además de considerar el riesgo del material radiactivo involucrado, en el caso de los robos y extravíos de bultos la escala INES penaliza en su clasificación los sucesos en los que los bultos no llegan a encontrarse.

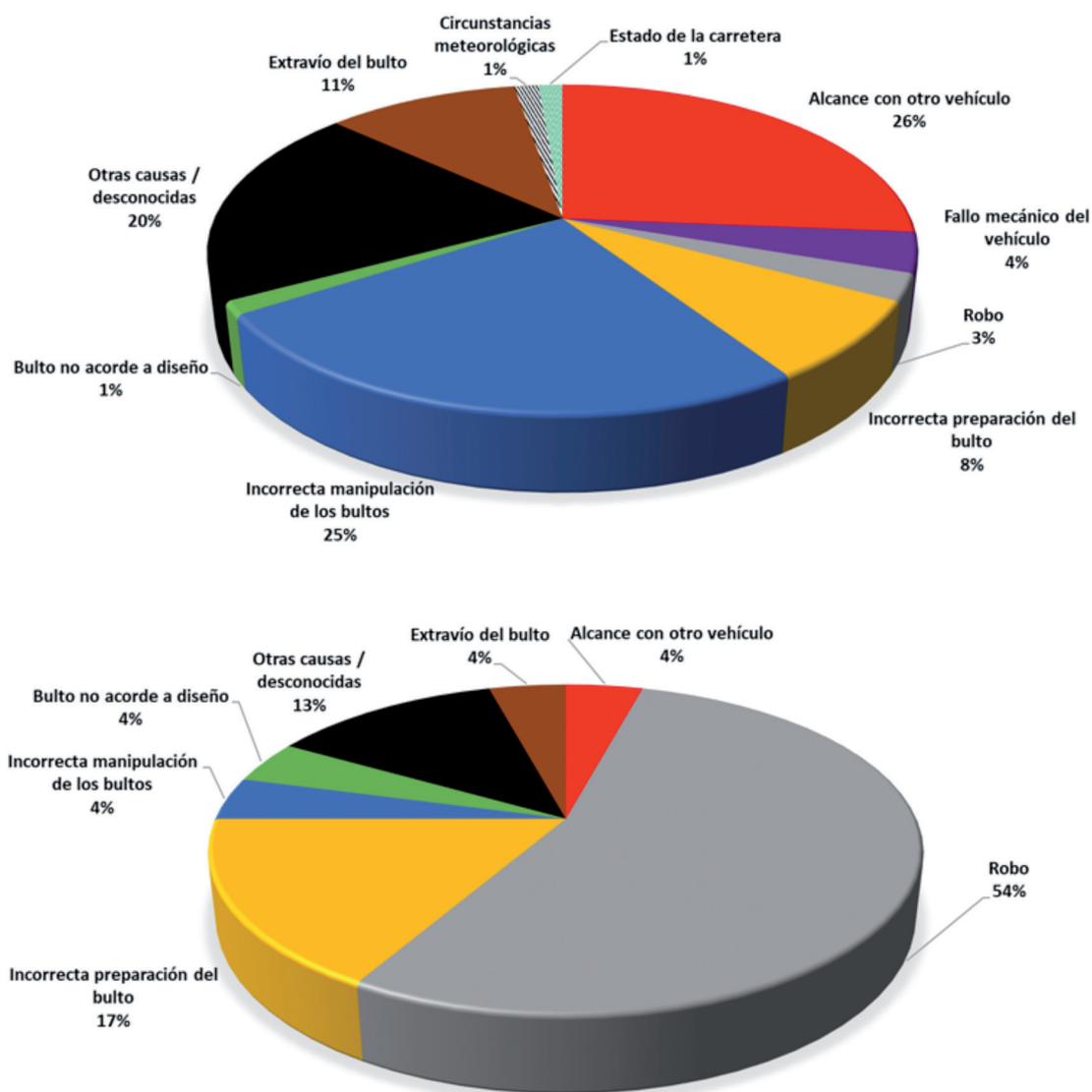
Figura. 8.1.2. Clases de sucesos clasificados como INES 0 (superior) e INES 1 (inferior)



Desde el punto de vista de las causas del suceso (figura 8.1.3), aproximadamente el 26% de los 76 sucesos de nivel 0 fueron causados por el alcance con otro vehículo en un accidente de carretera, el 25% por una incorrecta manipulación de los bultos, el 11% por su pérdida y en un 8% por su incorrecta preparación. Se destaca que el 20% de sucesos se debieron a «otras causas»: no consideradas en la base de datos o que no pudieron confirmarse fehacientemente.

Por otra parte, el robo constituye la causa principal de los sucesos categorizados como INES 1 (54%), seguida de una incorrecta preparación del bulto (17%). El 13% de los sucesos nivel 1 se debieron a «otras causas».

Figura. 8.1.3. Causas de los sucesos clasificados como INES 0 (superior) e INES 1 (inferior)



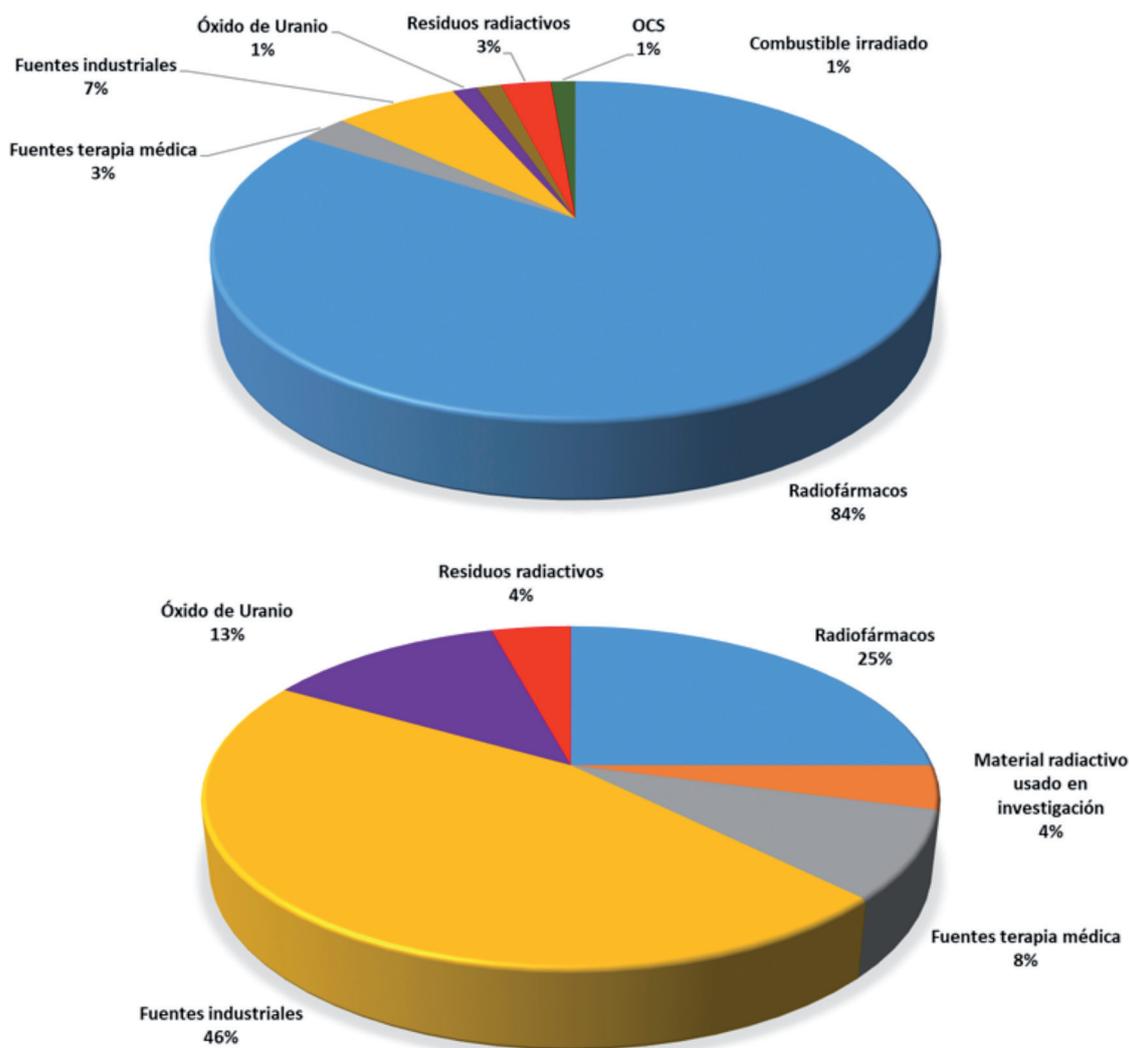
A continuación se realiza un análisis de los resultados de la clasificación INES de los sucesos respecto a diferentes parámetros asociados al transporte: material transportado, tipo de bulto, sector de actividad, modo de transporte y fase del transporte.

Según el material transportado

Atendiendo a la clasificación de los sucesos según el material radiactivo (figura 8.1.4), como ya se identificó en el capítulo anterior, los radiofármacos son el material implicado mayoritariamente en los sucesos (70%), de los cuales el 84% fueron clasificados como INES 0.

Por otra parte, se observa que son las fuentes industriales las que han dado lugar a la mayoría de sucesos clasificados como INES 1, en un 46% de los casos, y a continuación los radiofármacos en un 25%. Nuevamente cabe señalar que el número tan elevado de niveles 1 en las fuentes industriales es porque se relacionan con robos de equipos radiactivos móviles.

Figura. 8.1.4. Tipo de material radiactivo implicado en sucesos clasificados como INES 0 (superior) e INES 1 (inferior)

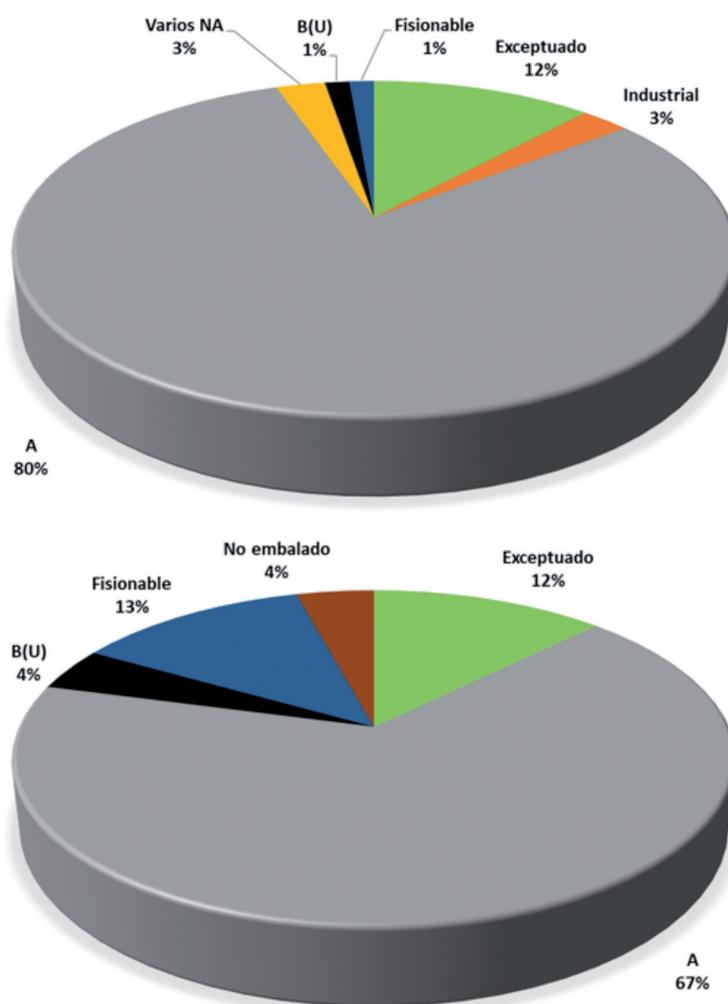


Únicamente se han producido tres sucesos involucrando residuos radiactivos, dos clasificados como INES 0 (3%), causados por sendos accidentes de tráfico, y uno clasificado como INES 1 (4%) a consecuencia de un contenido inadecuado del bulto (residuos metálicos que deberían haber sido considerados radiactivos por una instalación nuclear y embalados en consecuencia).

Por su parte, el transporte de óxido de uranio ha dado lugar a cuatro sucesos, uno clasificado como INES 0, vinculado a un suceso de protección física sin consecuencias, y tres clasificados como INES 1 (13%), derivados de deficiencias detectadas en los embalajes en la recepción de los bultos.

Según el tipo de bulto

Figura. 8.1.5. Tipo de bulto implicado en sucesos clasificados como INES 0 (superior) e INES 1 (inferior)



Por lo que respecta al tipo de bulto (figura 8.1.5), puesto que los bultos tipo A son los mayoritariamente empleados en el transporte de radiofármacos y fuentes industriales, son estos los que asumen el

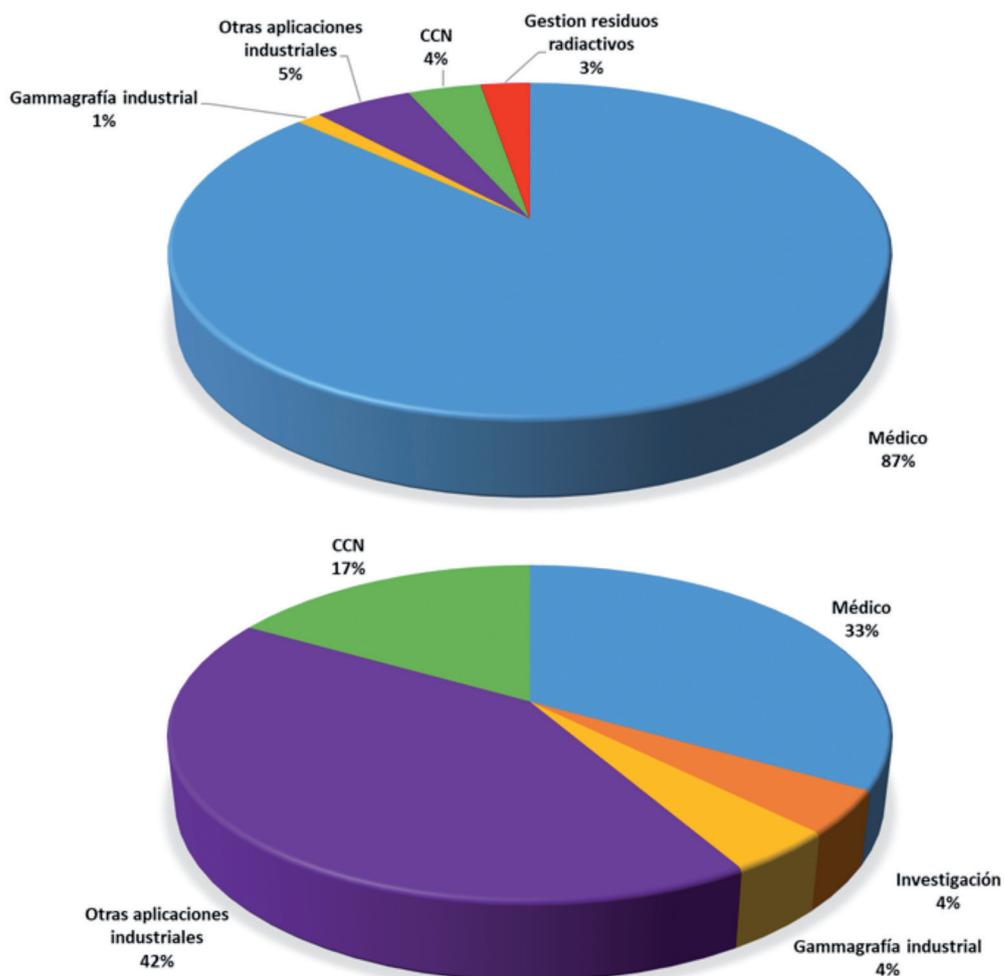
grueso de sucesos INES 1, con aproximadamente un 67% del total, seguidos a partes iguales por bultos Exceptuados y de sustancias fisionables con un 13%.

Por similares razones, los bultos del tipo A son los que se han visto involucrados en la inmensa mayoría de los sucesos de nivel 0.

Según el sector de actividad

El análisis INES tomando como referencia los sectores de actividad implicados (figura 8.1.6) muestra que la mayoría de los sucesos nivel 0 ocurrieron en el sector médico (87%), que registró el 74% del total de sucesos en el periodo 2000-2020.

Figura. 8.1.6 Tipo de sector de actividad en el que se producen sucesos clasificados como INES 0 (superior) e INES 1 (inferior)

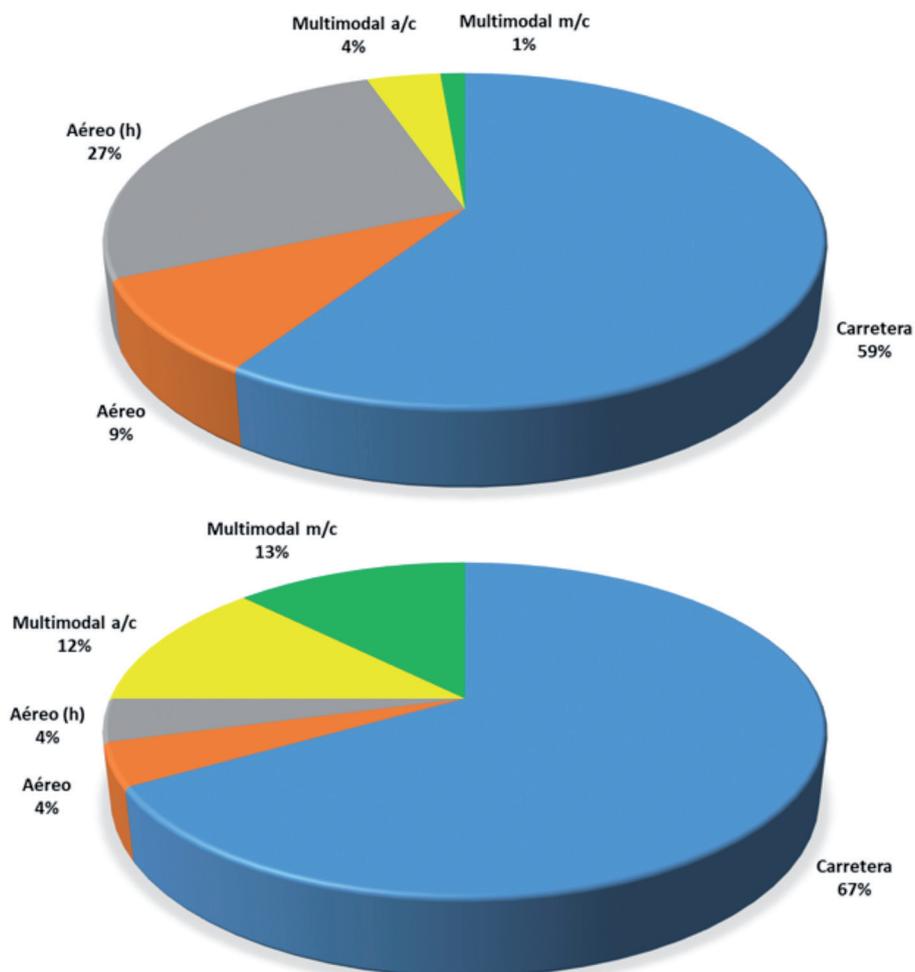


Los 24 sucesos clasificados como INES 1 se distribuyen en su mayoría entre otras aplicaciones industriales (42%, ocasionados en su totalidad por el robo de los bultos), sector médico (33%, derivados de múltiples causas) y el CCN (17%, la mitad de ellos causados por una incorrecta preparación de los bultos).

Según el modo de transporte

La distribución de casos según el modo de transporte (figura 8.1.7) evidencia que el grueso de sucesos INES 0 se debe al transporte por carretera (59%) y al transporte aéreo (35%). Dentro del transporte aéreo, los INES 0 ocurren mayoritariamente en las operaciones de *handling* aeroportuario (26%), que, como ya se ha ido observando a lo largo de este documento, están relacionados mayoritariamente con los procesos de carga y descarga en las terminales de carga y los traslados en pista de los aeropuertos.

Figura. 8.1.7 Modo de transporte en el que se producen sucesos clasificados como INES 0 (superior) e INES 1 (inferior)

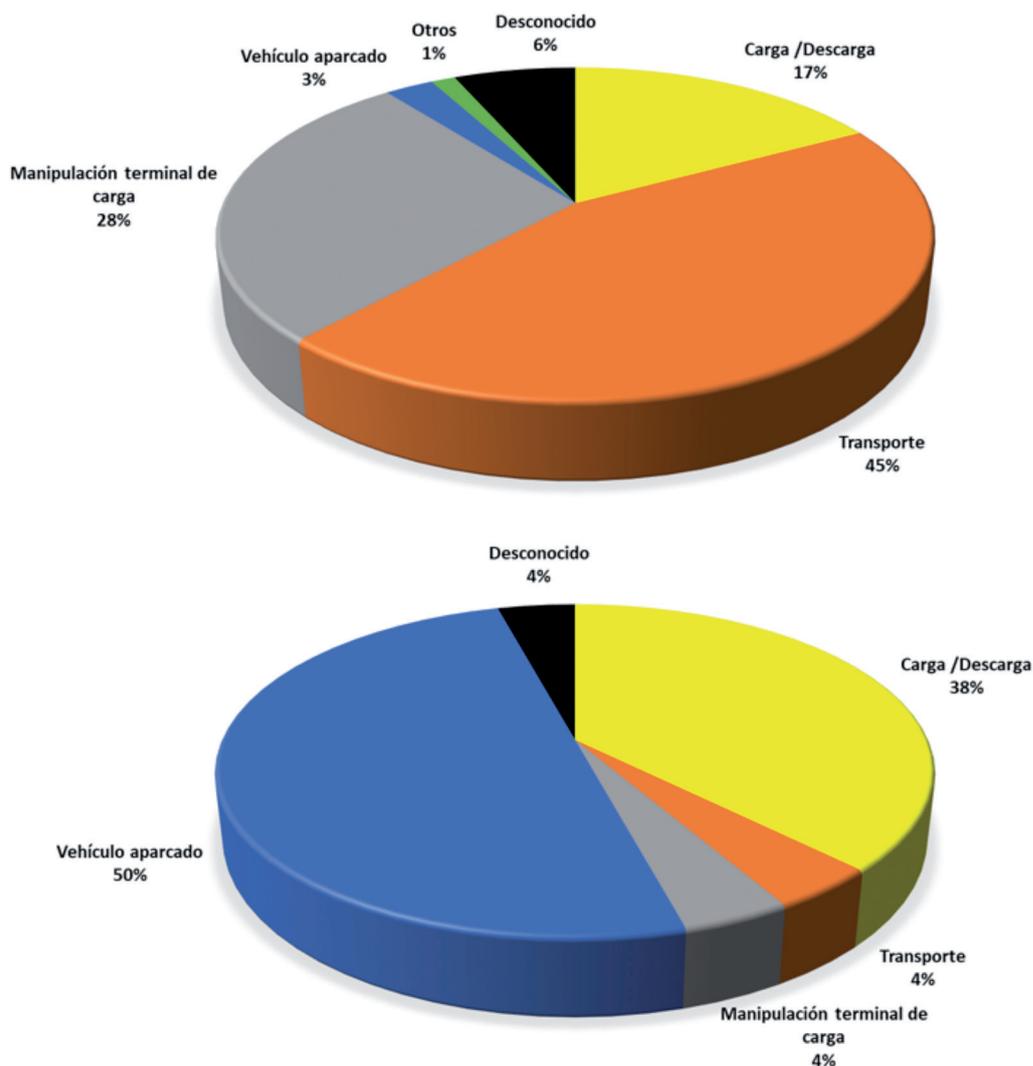


En cuanto a los sucesos INES 1, el transporte por carretera acumula el mayor número (67%) como consecuencia del robo de los bultos en vehículos estacionados, seguido del transporte multimodal (25%), con tres sucesos para el multimodal a/c y otros tres para el multimodal m/c, que se debieron a deficiencias en los embalajes o a la superación de límites de radiación de los bultos.

En el caso del transporte por vía aérea, únicamente se produjeron dos sucesos clasificados como INES 1, ocasionados ambos por el extravío de bultos.

Según la fase de transporte

Figura. 8.1.8 Fase del transporte en el que se producen sucesos clasificados como INES 0 (superior) e INES 1 (inferior)



Analizando los datos conforme a la fase del transporte en la cual se produjo el suceso (figura 8.1.8), casi la totalidad de los sucesos de nivel 0 ocurrieron durante el transporte (45%), la manipulación en las terminales de carga aeroportuaria (28%) y la carga o descarga de los bultos (17%).

En el caso de los sucesos clasificados como INES 1, la mitad ocurrió con el vehículo aparcado, como consecuencia del robo de los bultos, seguido de la fase de carga/descarga (38%) debidos a causas de diversa índole.

VIII.2. Conclusiones del análisis de sucesos según su clasificación INES

Del análisis realizado en el punto anterior, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- Ningún suceso ha superado el nivel 1 (anomalía).
- El 76% de los sucesos han sido del nivel 0 (sin importancia para la seguridad / por debajo de la escala).
- La mayoría de los sucesos nivel 0 se dieron en el modo de carretera y en segundo lugar en el aéreo.
- La mayoría de los sucesos nivel 0 fueron accidentes de tráfico debidos a alcances de vehículos e incidencias en el proceso de manipulación de los bultos en el *handling* aeroportuario.
- Casi todos los sucesos nivel 0 implicaron a bultos del tipo A transportando radiofármacos para el sector médico.
- La mayoría de los sucesos nivel 1 se debieron a robos de bultos del tipo A que contenían equipos radiactivos móviles de aplicación industrial mientras el vehículo se encontraba aparcado en un transporte por carretera.

IX. Consecuencias de los sucesos

IX. Consecuencias de los sucesos

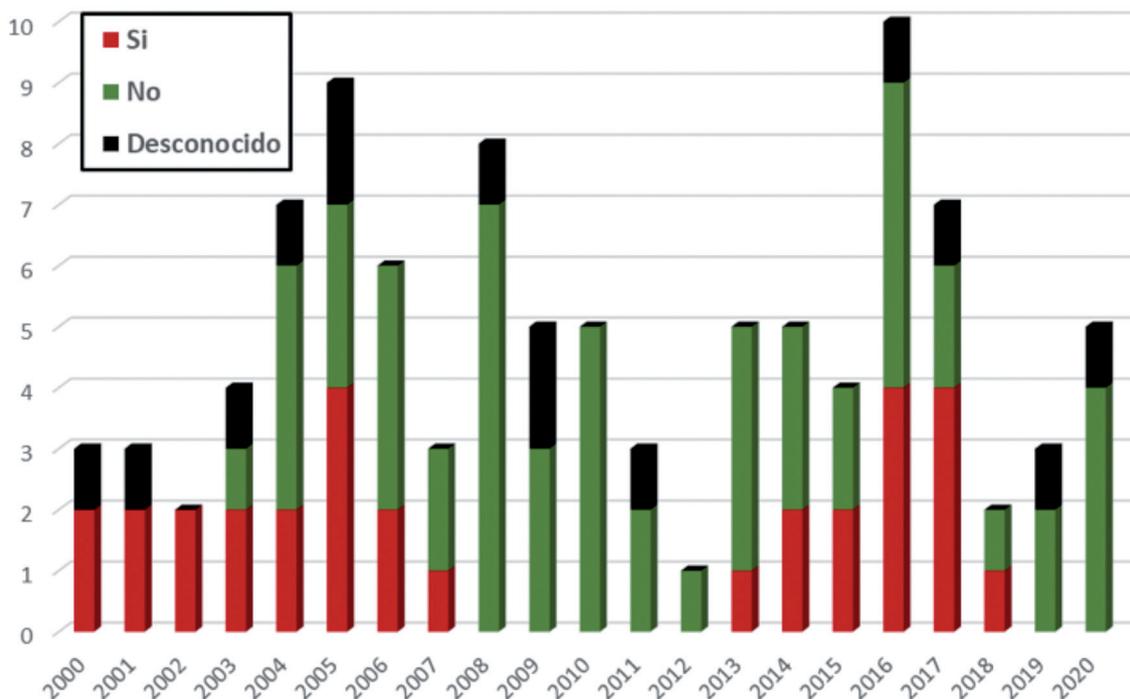
Una vez realizado un análisis detallado de la tipología de los sucesos ocurridos en el periodo de estudio, teniendo en cuenta los parámetros fundamentales del proceso de transporte, a continuación nos centraremos en las consecuencias de los sucesos, tanto sobre la carga como sobre el medio de transporte, así como los daños físicos a las personas y, por supuesto, las consecuencias radiológicas. Por último, se presentarán los detalles de algunos de los sucesos del periodo de estudio que se consideran más significativos, incluyendo las lecciones aprendidas tras su análisis.

IX.1. Daños a la carga y al medio de transporte

IX.1.1. Daños a la carga

De los 100 sucesos ocurridos en el periodo objeto de análisis, se produjeron daños a la carga en 31 casos (ver figura 9.1). Se considera que también cumplen el criterio de daños a la carga los sucesos en los que se produjeron solo pequeños daños, como abolladuras en el embalaje exterior de los bultos, y que no impidieron que la remesa pudiera ser entregada en el destino inicialmente previsto.

Figura 9.1. Daños a la carga



Se hace notar que en 15 de los sucesos los bultos no llegaron a recuperarse, por lo que no pudo confirmarse si llegaron a sufrir daños, exceptuando un suceso en el cual se constató el daño a la carga como consecuencia de la rotura del embalaje externo y la subsiguiente pérdida del contenedor interno. De esos 14 sucesos con consecuencias desconocidas para la carga, la mayoría (10) se corresponden con robos de bultos y el resto con su extravío a lo largo del proceso de transporte (3) y con incidencias en terminales de aeropuerto (1).

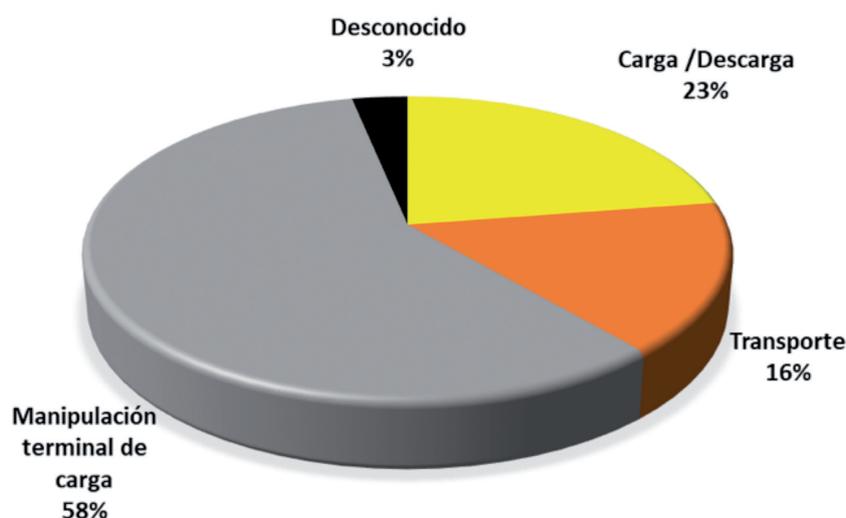
Esto supone que la media de sucesos con daños a la carga fue de aproximadamente dos al año (de manera conservadora se incluyen en este cómputo los sucesos en los que los bultos no llegaron a recuperarse y para los que no pudo confirmarse que no se produjeran daños). Asimismo, es interesante destacar que de los 31 sucesos en los que se confirmó el daño a la carga, en la mayoría (77%) se vio afectado un único bulto, siendo cinco el número máximo de bultos que se vieron afectados en un solo suceso.

Adicionalmente, es destacable que de esos 31 sucesos en los que se constató el daño a la carga, el 64% se debió a incidencias en las terminales de aeropuertos. En segundo lugar, pero en un número claramente inferior, están los sucesos en procesos de carga/descarga al margen de esas terminales y los accidentes de tráfico, que representan cada uno de ellos en torno al 16% de los sucesos.

Fases del transporte en las que ocurrieron sucesos con daño a la carga

Si analizamos la fase del transporte en la que sucedieron sucesos con daño a la carga (figura 9.2), la mayor parte ocurrieron en la fase de manipulación de los bultos en las terminales de carga aeroportuaria (58%), seguidos de aquellos ocurridos en la fase de carga/descarga (23%) y en la de transporte (16%). En un 3% de los casos no pudo confirmarse la fase exacta del transporte en la que se produjo el suceso.

Figura 9.2. Fases del transporte en las que ocurrieron sucesos con daño a la carga



Cabe señalar que los sucesos en los que no se pudo confirmar si hubo daño a la carga, al estar vinculados a robos y extravíos, en su mayoría se produjeron en la fase de transporte (traslado), estando el vehículo aparcado (64%), o en una fase desconocida (29%).

Materiales radiactivos y tipos de bultos involucrados en sucesos con daño a la carga

El 97% de los sucesos con daño a la carga ocurrieron en el transporte de radiofármacos y el 3% restante en el de fuentes industriales. Los bultos eran en un 93% del tipo A y en un 7% Exceptuados.

En cuanto a los sucesos donde se desconoce la existencia de consecuencias, en el 57% se transportaban fuentes industriales, en el 36% radiofármacos y en el 7% restante material radiactivo utilizado en investigación. Por otra parte, los tipos de bultos eran en un 86% del tipo A, en un 7% Exceptuados y en otro 7% del tipo B.

Modos de transporte en los que ocurrieron sucesos con daño a la carga

Dos han sido los modos de transporte en los cuales se han dado sucesos con daño a la carga: el aéreo, en un 68% de los casos (fundamentalmente en las terminales de aeropuerto), y la carretera, en un 32% (principalmente accidentes de tráfico).

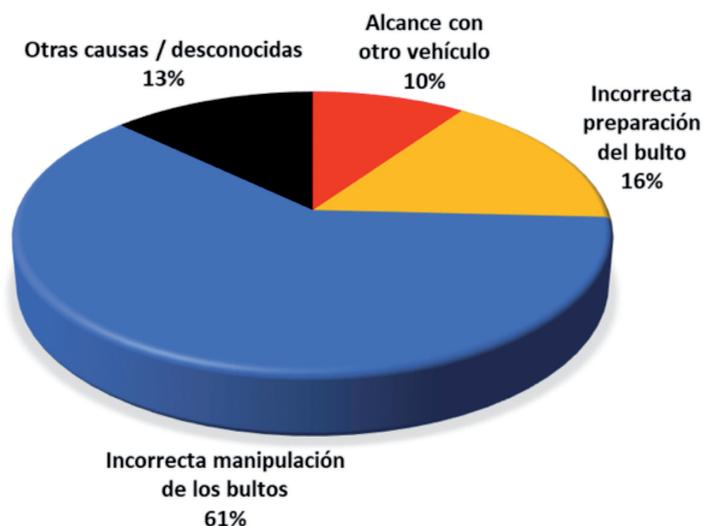
Aquellos sucesos con consecuencias desconocidas para la carga se vinculan mayoritariamente al transporte por carretera (79%), que es donde se han producido la mayoría de los robos de bultos, mientras que el 21% se ha dado en la vía aérea, que es donde se han producido casi todos los extravíos de bultos.

Causas de los sucesos en los que se dio daño a la carga

Finalmente, si analizamos los sucesos donde se ha confirmado el daño a la carga frente a las causas del suceso (figura 9.3), la incorrecta manipulación del bulto fue la causa del 61% de los sucesos, seguida de la incorrecta preparación de este (16%) y el alcance entre vehículos (10%).

Para los sucesos con consecuencias desconocidas, nuevamente las causas se distribuyen entre un 71% de robos y un 29% de extravíos.

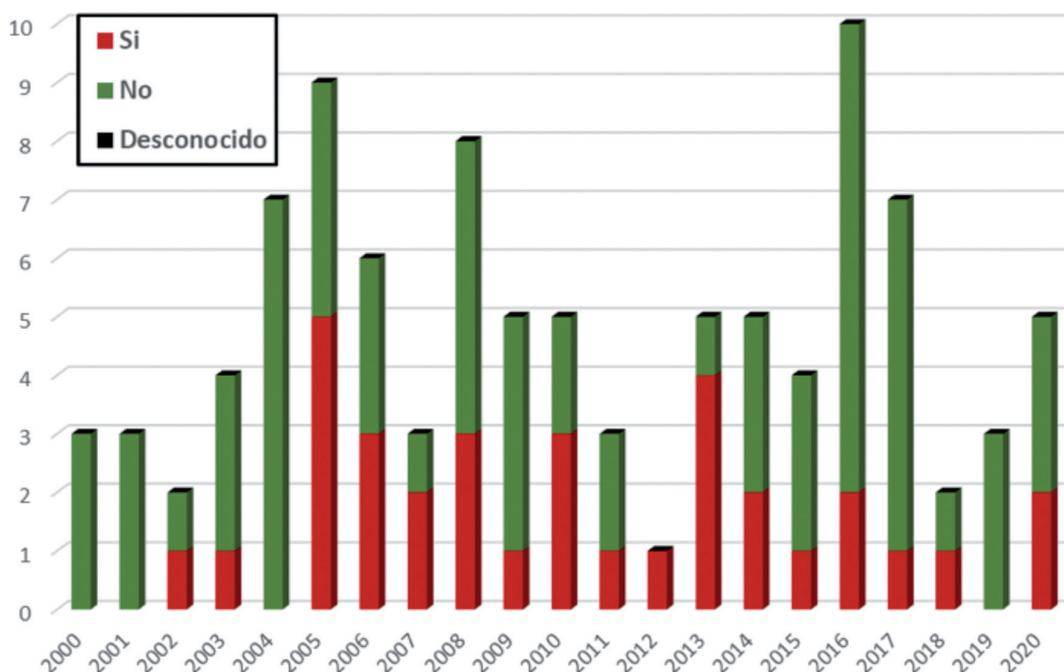
Figura 9.3. Causas de los sucesos que provocaron daño a la carga



IX.1.2. Daños al medio de transporte

El análisis de los sucesos según los daños en el medio de transporte (ver figura 9.4) muestra que estos se produjeron en 34 casos de los 100. Como es de esperar, el 100% de los daños ocurrieron durante la fase de transporte (traslado) y, más concretamente, en accidentes de tráfico durante el transporte por carretera.

Figura 9.4. Sucesos con daños al medio de transporte



En general, los daños al vehículo de transporte provocaron su inmovilización; es decir, el vehículo no pudo continuar el transporte, teniendo que ser sustituido por otro. No obstante, en algunos casos esa inmovilización, y la consecuente sustitución, fueron realizadas por la empresa de transporte aplicando un principio de precaución, no porque el vehículo no pudiera continuar la marcha.

Un 73% de los vehículos de carretera que han sufrido daños eran de menos de 1.5 Tm, es decir, vehículos ligeros utilizados de manera habitual para el transporte de radiofármacos y equipos radiactivos móviles de aplicación industrial; un 21% de los vehículos eran de entre 1.5 y 3.5 Tm, habitualmente utilizados para el transporte de grandes cantidades de radiofármacos y otras fuentes radiactivas de aplicación médica e industrial; y el 6% restante de más de 3.5 Tm, en concreto se trataba de un vehículo que transportaba residuos radiactivos procedentes de una central nuclear.

Si analizamos las causas de los sucesos que conllevaron daños en el vehículo, la mayor parte (62%) fueron por alcance con otro vehículo. Y en cuanto al lugar del suceso, la mayoría sucedieron en campo abierto/sin habitantes (62%), seguido de los alrededores de una ciudad (21%), es decir, en zonas donde los vehículos transitan a mayor velocidad.

Finalmente, se destaca que de los 34 sucesos en los cuales se produjo el daño del vehículo de transporte, únicamente en 4 de ellos existió daño a la carga.

IX.1.3. Puntos destacables de los sucesos con daño a la carga y al medio de transporte

Considerando lo antes indicado, las conclusiones más resaltables de este análisis son:

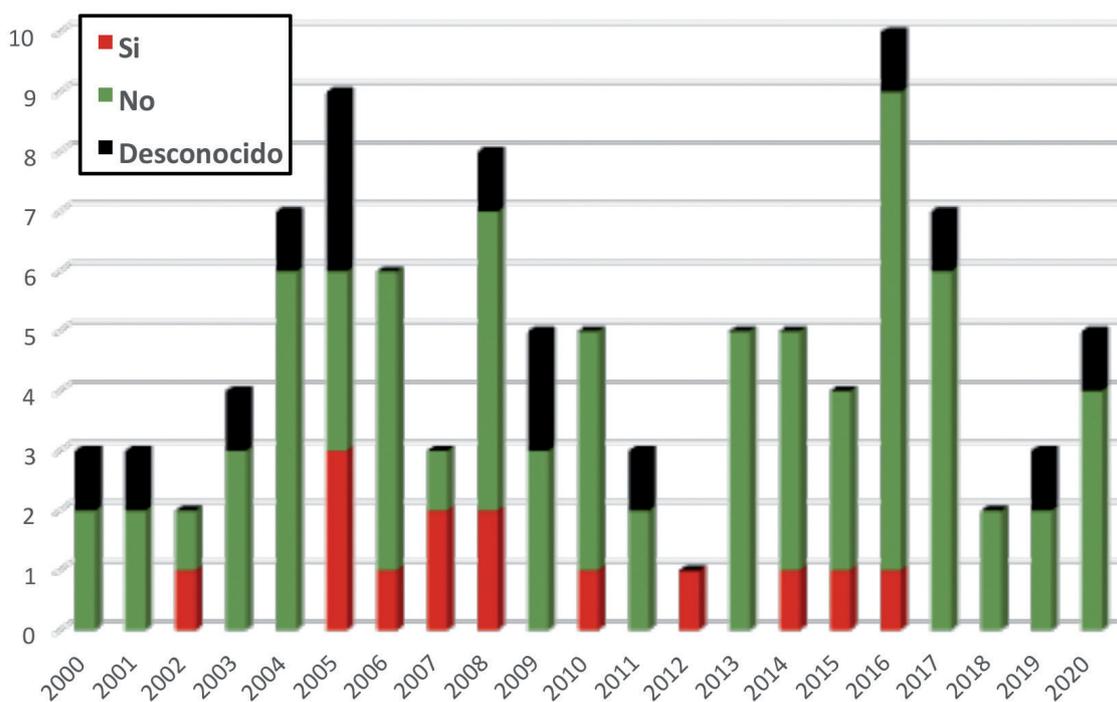
- La media de sucesos con daños a la carga fue de aproximadamente dos por año (incluyendo los sucesos en los que los bultos no llegaron a recuperarse y para los que no pudo confirmarse ese daño).
- En la mayoría de sucesos con daño confirmado a la carga solo se vio afectado un bulto.
- La mayoría de los sucesos con daño a la carga ocurrieron en incidencias en las terminales de carga de aeropuertos (traslado en pista, carga y descarga).
- Prácticamente todos los sucesos con daño a la carga sucedieron en el transporte de radiofármacos en bultos del tipo A.
- El modo de transporte más afectado es el aéreo (sucesos en terminales de carga causados por una incorrecta manipulación de los bultos) y en segundo lugar el transporte por carretera, por alcances entre vehículos en accidentes de tráfico.
- La mayoría de los vehículos de carretera que sufrieron daños eran vehículos ligeros (<1.5 Tm).
- Los daños al vehículo de transporte por carretera suelen provocar su inmovilización.
- En la mayoría de los sucesos con daños al vehículo de transporte no se produjo daño a la carga.

IX.2. Daños físicos a las personas

Este apartado analiza los sucesos desde el punto de vista de los daños físicos, no relacionados con la exposición a las radiaciones ionizantes, que sufrieron las personas implicadas en los mismos. Es destacable que en ninguno de los 100 sucesos ocurridos durante el periodo objeto de análisis las personas sufrieron daños derivados de la irradiación o contaminación, sino solo daños estrictamente físicos causados como consecuencia del suceso.

Tal y como muestra la figura 9.5, se han producido un total de 14 sucesos en los que se ha podido confirmar un daño físico a las personas, bien fuese el conductor, la tripulación o los miembros del público; 71 sucesos en los que no hubo consecuencias y 15 en los que no pudo confirmarse esta información (se corresponden con robos o extravíos de bultos en los que estos no llegaron a recuperarse).

Figura 9.5. Daños físicos a las personas



En los 14 sucesos en los que existieron consecuencias para las personas, se produjeron un total de 3 víctimas mortales (en tres sucesos diferentes) y 14 heridos. La causa mayoritaria (64% de los sucesos) fue el alcance con otro vehículo en un accidente de transporte por carretera.

En 2002 se produjo el primer suceso con una víctima mortal, al fallecer el conductor de un vehículo que portaba 26 bultos con material radiofarmacéutico, como consecuencia de un alcance entre vehículos en la N-IV, en la provincia de Ciudad Real (en el apartado IX.4 se dan más detalles sobre este suceso).

El segundo de los sucesos con una víctima mortal ocurrió en 2005 en un accidente de tráfico en la N-525, a la altura de Gastei (Orense). En el accidente falleció un peatón al ser atropellado por un vehículo que transportaba 5 bultos con material radiofarmacéutico. La gestión del accidente requirió la adopción de medidas convencionales, no relacionadas con la carga radiactiva.

El último de los sucesos con víctimas mortales se produjo en 2006 en la A-45, provincia de Málaga. El conductor de un vehículo que transportaba 22 bultos con material radiofarmacéutico falleció por la colisión del vehículo con dos camiones (en el apartado IX.4 se dan más detalles sobre este suceso).

IX.3. Consecuencias radiológicas

Finalmente, el último tipo de consecuencias a analizar son las de naturaleza radiológica, considerando como tales la contaminación radiactiva de superficies³¹ o de personas, como resultado de la liberación del contenido de los bultos, o bien una exposición radiológica significativa de personas debido al daño o pérdida del blindaje del embalaje. Dentro del alcance de este documento, se considerará una exposición significativa aquella que haya supuesto una dosis relevante respecto a las dosis recibidas en la operación normal de un transporte o bien que se aproxime a los límites de dosis anuales definidos para el público o los trabajadores clasificados como expuestos.

En relación con este apartado, es destacable que en ninguno de los sucesos ocurridos en el periodo de estudio se produjo la superación de los límites de dosis anuales de trabajadores clasificados como expuestos o del público, que recoge el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.

Se hace notar que en el análisis realizado en este apartado no se consideran los 15 sucesos causados por el robo o extravío de bultos que no fueron hallados o recuperados, al no poderse confirmar si llegaron a darse consecuencias radiológicas. No obstante, la propia clasificación INES de estos sucesos ya tiene en cuenta sus potenciales consecuencias radiológicas y en ninguno de los casos se superó el nivel 1 (anomalía).

El análisis global de los sucesos en función de sus consecuencias radiológicas se recoge en la figura 9.6, donde puede observarse que únicamente en tres de los 100 sucesos ocurridos se han dado consecuencias de esta índole: en dos se produjo una exposición resaltable de personas y en el tercero se produjo una contaminación superficial de una zona:

- Accidente de carretera ocurrido en 2002 en la N-IV, ya mencionado en el apartado anterior. Se produjo un daño severo en un bulto que contenía un generador de Mo/Tc, provocando que la columna del generador se saliera de su blindaje. La persona que llevó a cabo la recuperación de

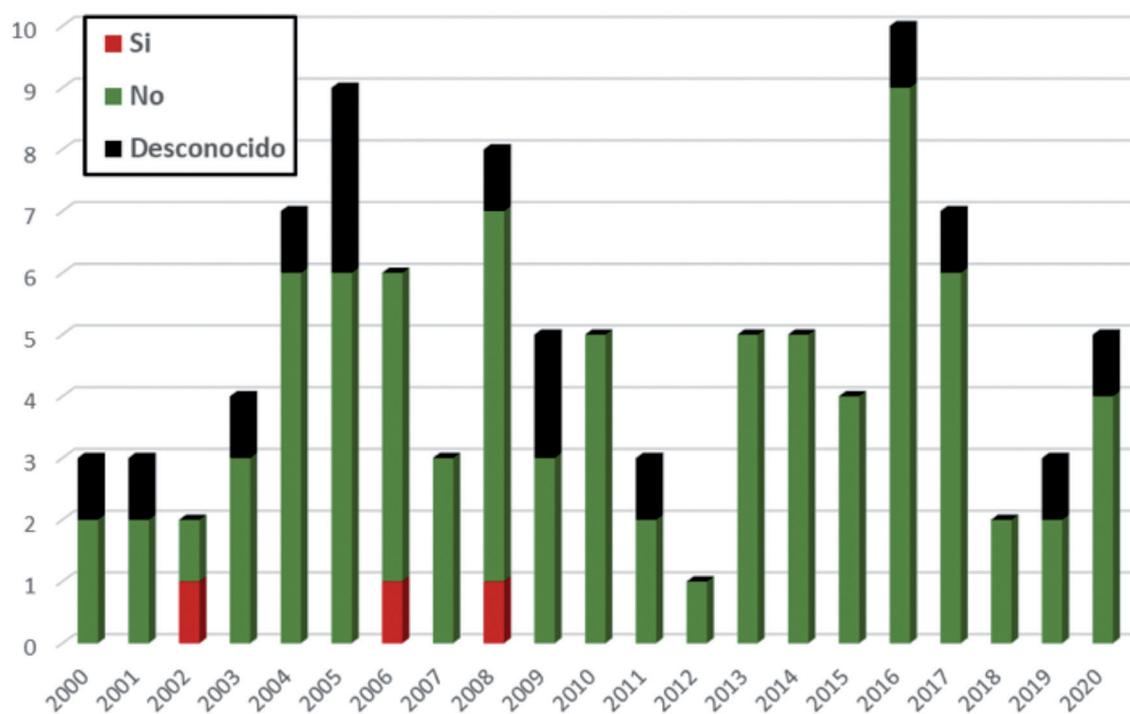
31. Quedan al margen las zonas de instalaciones radiactivas y nucleares en las que por su clasificación se prevé la posible existencia de contaminación.

la columna en una operación planificada, introduciéndola en el blindaje del generador, recibió una dosis en la mano de alrededor de 70 mSv³². No se recibieron dosis significativas a cuerpo entero.

- Suceso detectado en 2008 en el aeropuerto Adolfo Suárez-Barajas, en Madrid. En una inspección rutinaria que realizaba el servicio de bomberos del aeropuerto en las terminales de carga se detectaron tasas de dosis anormales en el exterior de tres bultos que se encontraban en tránsito internacional (valores no acordes con su etiquetado y la documentación de transporte).

Los bultos contenían sendos generadores de Mo/Tc que estaban siendo transportados entre Argentina y la República Dominicana. Se comprobó que el expedidor había empleado un blindaje insuficiente en los bultos (deficiencias en el embalaje) y que además no había llevado a cabo sobre ellos una vigilancia radiológica adecuada a la salida de sus instalaciones. Las estimaciones de las dosis debidas al suceso, considerando todo el trayecto hasta el aeropuerto de Madrid y las condiciones más desfavorables en el cálculo de la dosis, concluyeron que se produjo una dosis al público de 0,85 mSv, dosis inferior al límite anual de dosis para el público (1 mSv).

Figura 9.6. Consecuencias radiológicas en los sucesos



- Accidente de carretera ocurrido en 2006 en la A-45, ya mencionado en el apartado anterior. En este suceso se dañaron tres de los bultos que transportaban radiofármacos, produciéndose

32. El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos es de 500 mSv por año oficial para los trabajadores clasificados como expuestos.

la liberación de parte de su contenido radiactivo. Esta liberación provocó la contaminación superficial de unos 400 cm² de terreno próximo a la carretera.

En el apartado siguiente, sobre «sucesos destacables», se darán más detalles sobre estos tres casos.

IX.4. Sucesos destacables

En este apartado se describirán los sucesos más significativos en el periodo de análisis, señalando las lecciones aprendidas y las acciones más importantes que se adoptaron tras su análisis posterior.

IX.4.1. Accidente de carretera ocurrido en 2002 en el km. 212 de la N-IV

El accidente se produjo por alcance con otro vehículo, a la 1:30 h del 17 de enero de 2002, en campo abierto (sin habitantes), en la provincia de Ciudad Real.

El vehículo (de entre 1,5 y 3,5 Tm) transportaba 26 bultos del tipo A y Exceptuados, con una actividad total de 1 TBq y un Índice de Transporte (IT) total³³ de 24,8.

El transporte había salido de Madrid y tenía como destino la distribución de material radiofarmacéutico de varios expedidores a diferentes centros médicos de Andalucía.

En el accidente fallece el conductor y el vehículo queda seriamente dañado. Los bultos sufren diferentes tipos de daños, si bien todos ellos quedan dentro de la caja del vehículo. Se produjo un daño severo en un bulto que contenía un generador de Mo/Tc, provocando que la columna del generador se saliera de su blindaje.

Se midió una tasa de dosis máxima de 10 mSv/h a 1 m del vehículo. No se produce contaminación radiactiva ni de personas ni de superficies.

La persona que llevó a cabo la recuperación de la columna, introduciéndola en el blindaje del generador, estaba clasificada como «trabajadora expuesta» y recibió una dosis en la mano de alrededor de 70 mSv, dosis inferior al límite anual para este tipo de exposición (500 mSv).

Las medidas de intervención requirieron la actuación de la Guardia Civil de tráfico, bomberos, servicios sanitarios, expedidores, transportista y personal del CSN.

33. Suma de los IT individuales de los bultos.

De este suceso, clasificado como nivel 1 en la escala INES, se extrajeron diversas lecciones aprendidas que llevaron a adoptar acciones de carácter general en el ámbito de la actuación ante emergencias y, en particular, en el transporte de material radiactivo, entre ellas:

- Sistematizar la recepción de la información sobre los sucesos en el CSN.
- Mejora material de los medios y la logística de respuesta del CSN.
- Incremento de la colaboración y apoyo del CSN en la formación de las organizaciones de los primeros intervinientes en una emergencia de transporte.
- Considerar fundamental para el apoyo en las actuaciones el contacto inmediato con los expedidores y las empresas de transporte.
- Disponibilidad de unidades de apoyo al CSN regionalizadas para reducir los tiempos de respuesta en la emergencia.

IX.4.2. Incorrecta manipulación de bultos en 2004 en una terminal de aeropuerto

El suceso se produjo hacia las 7:45 h del 20 de julio de 2004, en el aeropuerto de Vitoria (Álava), y afectó a una remesa de cinco bultos en tránsito procedentes de Bruselas, con destino a Sevilla. El transporte se realizaba en aeronaves de carga.

El suceso ocurre en el proceso de traslado desde la terminal de carga hasta la aeronave utilizando un vehículo formado por varios carros encadenados, vehículo habitualmente utilizado en el traslado de mercancías desde y hacia las aeronaves.

Debido a una excesiva acumulación de mercancías sobre los carros, a que aquellas no iban sujetas y a las irregularidades de la pista, cuatro de los cinco bultos radiactivos caen a la pista siendo arrollados por los carros posteriores. Los bultos quedan esparcidos a lo largo de unos 50 metros de pista.

Los cuatro bultos sufren daños de diversa consideración, que en todos ellos afectan al embalaje externo y en dos al contenedor interno de blindaje. Solo en uno de los bultos se daña el vial de vidrio más interno que contiene el material radiactivo en forma líquida. Se produce la salida del material radiactivo del vial, pero queda absorbido por la esponjilla que, con ese propósito, forma parte del embalaje y que se sitúa entre el vial y el contenedor de blindaje.

Todos los bultos eran del tipo A, contenían una actividad máxima de 665 MBq de Iodo-123, eran categoría II-Amarilla y tenían un IT de 0,2 (un máximo de 2 μ Sv/h a 1 metro de la superficie del bulto en el momento de la salida desde la instalación expedidora).

En las diferentes fases de la intervención de emergencia participaron el operador aeroportuario de la línea aérea de carga y el destacamento de la Guardia Civil del aeropuerto, así como la Unidad Técnica de Protección Radiológica del expedidor de la remesa y el personal de la encomienda de inspección del CSN en el País Vasco.

En las medidas realizadas en las proximidades de los bultos dañados se detectó un máximo de 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ a 1m de distancia de los bultos.

No se produjo ningún tipo de consecuencia radiológica para las personas ni el medio ambiente.

Los bultos dañados fueron acondicionados y trasladados a la instalación radiactiva del expedidor de los bultos, donde fueron tratados como residuos tras el decaimiento del material radiactivo.

El suceso fue clasificado como nivel 0 en la escala INES. Se ha elegido este suceso como representativo de las incidencias más habituales ocurridas en las terminales de los aeropuertos, al ser uno de los más significativos desde el punto de vista de los daños de los bultos.

Aparte de las acciones de mejora concretas adoptadas a raíz de este suceso por el operador aeroportuario, entre ellas un mejor acondicionamiento de la carga en los vehículos de traslado en pista, considerando la frecuencia de este tipo de sucesos hasta 2004, el CSN adoptó diversas acciones generales conducentes a reducir este tipo de sucesos:

- Se mantuvieron contactos con responsables aeroportuarios al objeto de analizar las condiciones habituales del traslado de los bultos radiactivos en pista y para optimizar las medidas de emergencia previstas en los aeropuertos para afrontar este tipo de sucesos.
- Se sistematizaron las inspecciones a los principales operadores aeroportuarios, tanto de rampa (traslado en pista) como en los almacenes de las terminales de carga. Las comprobaciones principales que se realizan en estas inspecciones se centran en:
 - Los procedimientos operacionales seguidos en la manipulación de los bultos radiactivos, incluido su traslado en pista.
 - El Programa de Protección Radiológica de estas entidades, que, entre otras cuestiones, debe incluir un apartado concreto de actuación ante emergencias.
 - La formación del personal.

IX.4.3. Accidente de carretera ocurrido en 2006 en el km. 142 de la A-45

El accidente se produjo por alcance con otros vehículos, hacia las 6:00 h del 12 de julio 2006, en campo abierto (sin habitantes), en una zona montañosa de la provincia de Málaga.

El vehículo (de entre 1,5 y 3,5 Tm) transportaba 22 bultos del tipo A (categorías II y III-Amarilla) y Exceptuados con diferentes materiales radiactivos, con una actividad total de 0,25 TBq y un IT total de 8,8.

El transporte había salido de Madrid y tenía como destino la distribución de material radiofarmacéutico de varios expedidores a diferentes centros médicos de Granada, Málaga y Almería.

En el accidente fallece el conductor y el vehículo queda seriamente dañado. Los bultos sufren diferentes tipos de daños y varios de ellos salen de la caja del vehículo.

Se produjeron daños importantes en 3 bultos, pero sin pérdida del blindaje. Desde uno de ellos, que contiene un generador de Mo/Tc, se produce salida de material radiactivo que provoca una contaminación muy localizada en unos 400 cm² de terreno de la cuneta de la carretera. La contaminación³⁴ máxima encontrada fue de 60,1 Bq/cm², que fue dejada decaer hasta que la muestra de tierra pudo ser tratada como un residuo convencional. No se produjo contaminación de personas.

Las medidas de intervención requirieron la actuación de la Guardia Civil de tráfico, servicios sanitarios, bomberos, expedidores, transportista y personal del CSN y de su unidad de intervención radiológica regional.

Se trasladaron los bultos y el terreno contaminado a una instalación radiactiva de Málaga que ofreció su apoyo. Allí se hace inventario detallado de la carga y se detecta la falta de dos bultos. Se vuelve al lugar del suceso y se encuentran los bultos en las proximidades del accidente, ocultos entre la vegetación.

No hubo riesgo radiológico para las personas. Lo único destacable desde el punto de vista radiológico fue la pequeña contaminación del terreno.

Los bultos dañados se retornaron a las instalaciones de origen para su gestión como residuos.

De este suceso, clasificado como nivel 0 en la Escala INES, se extrajeron diversas lecciones aprendidas que llevaron a adoptar acciones de carácter general en el ámbito del seguimiento y control de las actividades de transporte de material radiactivo, entre ellas:

- Incremento de las acciones de inspección y control relacionadas con las subcontratas de las empresas de transporte.
- El vehículo utilizado era de alquiler. Se identificó que esta práctica, si bien no estaba impedida por la reglamentación, sí podía llevar a incumplimientos reglamentarios. En consecuencia, en el procedimiento de inspección del CSN de las empresas de transporte se incluyeron comprobaciones para analizar la extensión de esta práctica y cómo las empresas actúan en estos casos para dar cumplimiento pleno a los requisitos reglamentarios.
- Se identificó que la organización de respuesta de emergencia debe priorizar la rápida realización del inventario de los bultos transportados para evitar pérdidas en el escenario del suceso.
- Inclusión en la instrucción IS-34 del CSN de requisitos a las empresas de transporte sobre disponibilidad de personas y medios para prestar ayuda en incidencias durante el transporte de material radiactivo.

34. Se considera que existe contaminación si el valor supera los 0,4 Bq/cm² en el caso de radionucleidos emisores beta/gamma (párrafo 214 de la SSR-6 del OIEA).

IX.4.4. Deficiencias detectadas en 2008 en el embalaje de varios bultos en tránsito en un aeropuerto

El suceso se detectó el 7 de noviembre de 2008 en el aeropuerto Adolfo Suárez-Barajas, en Madrid, durante una inspección rutinaria que realizaba el servicio de bomberos del aeropuerto en las terminales de carga.

Se detectaron tasas de dosis anormales en el exterior de tres bultos que se encontraban en tránsito internacional en el aeropuerto (valores no acordes con su etiquetado y la documentación de transporte). Los bultos contenían sendos generadores de Mo/Tc para aplicación médica, que estaban siendo transportados entre Argentina y la República Dominicana.

Las tasas de dosis medidas en la superficie de los bultos oscilaron entre 1,3 y 1,9 mSv/h.

Sobre la base del análisis realizado tras las inspecciones del personal del CSN, se confirmó que el expedidor había empleado un blindaje insuficiente en los bultos y no había llevado a cabo una vigilancia radiológica adecuada a la salida de sus instalaciones.

Las estimaciones de las dosis debidas al suceso, considerando todo el trayecto hasta el aeropuerto de Madrid y las condiciones más desfavorables en el cálculo de la dosis, concluyeron que se produjo una dosis al público de 0,85 mSv, dosis inferior al límite anual de dosis para el público (1 mSv).

El CSN puso el suceso y las acciones adoptadas en conocimiento de la autoridad reguladora de Argentina, país de origen de la expedición, con quien mantuvo un contacto estrecho en el seguimiento del suceso.

Los bultos fueron trasladados a una instalación radiactiva española autorizada y, una vez se produjo el decaimiento del material radiactivo, se enviaron al expedidor como bultos Exceptuados.

Este suceso, clasificado como nivel 1 en la escala INES, permitió confirmar la importancia de la coordinación de las diversas autoridades reguladoras nacionales en el caso de sucesos que ocurran en un transporte internacional de material radiactivo. Esta coordinación temprana se ha demostrado clave en otros sucesos ocurridos en el periodo de análisis, aunque hayan revestido menor importancia en cuanto a sus causas y consecuencias.

De acuerdo con la información suministrada por el expedidor, a raíz del suceso se implementaron las siguientes medidas:

- Modificación de los criterios de formación del personal operativo e incremento de las horas dedicadas a la misma.
- Utilización exclusiva de blindajes de mayor tamaño en los generadores de Mo/Tc.
- Disminución del índice de transporte (IT) de los bultos, aumentando el tiempo entre la elaboración del bulto y su expedición.

X. Análisis de tendencias

X. Análisis de tendencias

En el presente capítulo se analizarán las tendencias en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2020 de los sucesos que han sido identificadas en los capítulos previos como más significativos.

En primer lugar, se ha identificado que las clases de sucesos con mayor incidencia se deben a accidentes de tráfico (34%), incidentes en terminales de aeropuertos (22%), robos de bultos (15%) y extravíos de bultos (10%). A fin de observar la tendencia de estos sucesos a lo largo del periodo de estudio, en la figura 10.1 se muestra su media móvil³⁵ a 5 años junto a la tendencia asociada al global de los 100 sucesos ocurridos en ese periodo.

La evolución de la tendencia global presenta una primera fase de incremento continuado hasta el año 2008, momento en el cual se invierte comenzando su descenso. Esta disminución de la media móvil se ve frenada en el año 2016, que representa el año con la mayor incidencia del periodo de estudio, al producirse 10 casos, el doble del promedio correspondiente al periodo total de análisis (5 sucesos/año). Esto puede considerarse como un hecho aislado, poco representativo de la tendencia, ya que a ese súbito incremento le sigue una estabilización en la media de 5 sucesos/año.

La tendencia de los sucesos debidos a accidentes de tráfico se comporta de manera análoga a la global durante la primera fase de crecimiento, alcanzando una media móvil cercana a los 3 sucesos/año en la primera década del 2000. Tras dicho máximo, se observa una disminución y una estabilización alrededor de los 1-2 sucesos/año. El aumento de los accidentes de tráfico en la primera década del 2000 se debe al claro incremento de los transportes de monodosis diagnósticas desde radiofarmacias y de productos PET desde ciclotrones. El incremento de este tipo de sucesos, además de las dosis operacionales asociadas al transporte de radiofármacos, fue una de las razones por las que en el CSN se consideraron prioritarias las inspecciones sobre este tipo de transportes, desarrollando un plan sistemático de inspecciones periódicas a los principales expedidores y transportistas. Se considera que la acción inspectora ha ayudado a la mejora en el desarrollo de estos transportes y, por tanto, a la reducción de los accidentes de carretera a pesar del incremento de las actividades de radiofarmacia y de suministro de productos PET en la segunda década del 2000.

En la tendencia correspondiente a las incidencias en terminales aeroportuarias se observa una clara disminución a partir de 2005, pasando de una media móvil de 2-3 sucesos/año a prácticamente ningún caso en el primer quinquenio de la segunda década del 2000. Tras ese periodo, se ha producido un cambio puntual de la tendencia, con un incremento de la media móvil hasta 2017, momento en el cual vuelve a disminuir y se estabiliza en 1 suceso/año. La clara disminución de los sucesos en las terminales de aeropuerto a

35. Media móvil: indicador que proporciona el promedio de un subconjunto de datos de una serie numérica, en este caso el número de sucesos anuales en subconjuntos de 5 años. Utilizada para obtener una línea de tendencia, presenta como ventaja la capacidad de acomodar variaciones bruscas puntuales en los valores de la serie sin que ello impacte significativamente la evolución de la línea de tendencia.

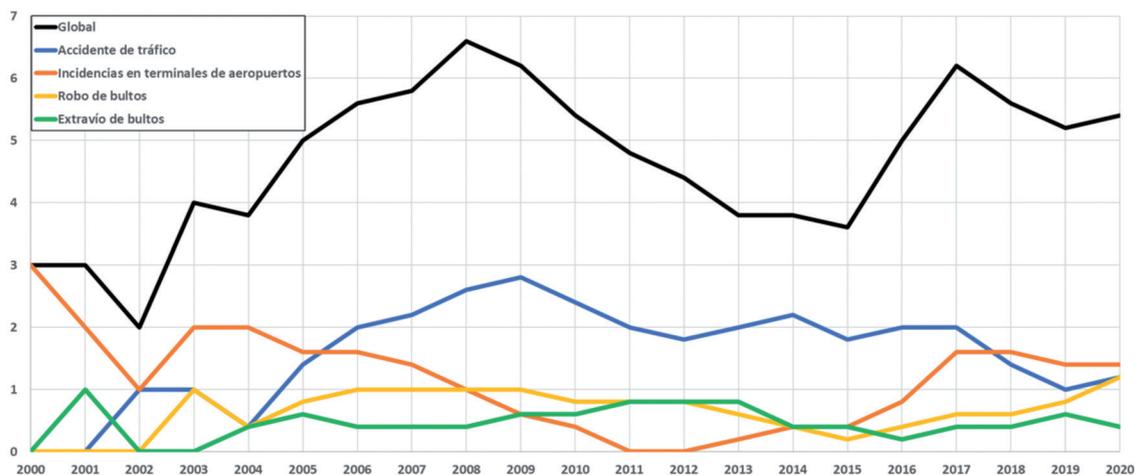
partir del primer quinquenio del 2000 previsiblemente se deba a las medidas adoptadas por los operadores aeroportuarios a raíz de los contactos mantenidos por el CSN con las autoridades aeroportuarias y por el incremento de su acción inspectora sobre estas actividades.

Respecto a los robos y extravíos de bultos, la tendencia ha mantenido un comportamiento estable, con un máximo en la media móvil de 1 suceso/año.

Desde un punto de vista global, aparte del incremento de la acción inspectora del CSN sobre las actividades donde ocurren más sucesos, se considera que el desarrollo por el CSN de normativa reguladora específica ha contribuido a una mejora no solo en cuanto a la disminución de los sucesos, sino también en relación con su gestión. En particular, cabe destacar:

- La IS-34, publicada en 2012, en la que se definen requisitos en relación con la vigilancia de la carga y de los vehículos durante las operaciones de carga y descarga, para tratar de evitar los robos de bultos radiactivos, y con la disponibilidad de personas y medios para prestar ayuda en incidencias durante el transporte de material radiactivo.
- La IS-42 sobre los criterios de notificación al CSN de sucesos en el transporte de material radiactivo.

Figura 10.1. Tendencias de los sucesos más significativos en el periodo 2000-2020. Media móvil a 5 años.



XI. Comparativa con el contexto internacional

XI. Comparativa con el contexto internacional

Para hacer esta comparativa nos centraremos en unos estudios muy completos que se han realizado en dos países europeos, Reino Unido y Francia, que se consideran una buena referencia, pues en ellos se desarrollan actividades de transporte de material radiactivo similares a las llevadas a cabo en España.

La mayor población y el mayor peso del sector industrial en estos países conlleva un mayor volumen de transportes en el sector médico e industrial. Asimismo, el mayor desarrollo de su programa nuclear supone un mayor número de transportes de sustancias fisionables.

Si bien el número total de transportes es superior en estos países y, en consecuencia, el número de sucesos, se considera de interés hacer la comparativa no en lo que respecta al número sino a las características principales de esos sucesos.

Los estudios que se utilizarán como referencia son:

- El realizado por la Health Protection Agency (HPA) del Reino Unido en 2006 [25], 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 sacan datos globales y tendencias de mucho interés, que se han confirmado en gran parte por análisis realizados en otros países.
- El realizado por el Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) en Francia [26], que abarca el periodo 1999-2011.

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 de ambos estudios:

- La mayor parte de los sucesos ocurrieron en los transportes relacionados con el sector médico e industrial.
- 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.
- 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 el 11% de los reportados y un solo suceso en el nivel 3 (incidente importante).
- De los 142 sucesos clasificados en Francia en el nivel 1 INES 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 INES 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% de los sucesos 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 el 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 las tuvieron y en un 30% fueron muy bajas).
 - Los sucesos con mayores consecuencias ocurrieron en el sector de la gammagrafía industrial (sobre todo alrededor de los años 70), pero en la mayoría el suceso en el transporte es realmente una consecuencia de un suceso previo en la operación de gammagrafía (incorrecta retracción de la fuente radiactiva al equipo).

Adicionalmente a esos dos estudios de detalle realizados en el Reino Unido y Francia, a nivel europeo se dispone del estudio realizado por la Comisión Europea en 1990, que abarca el periodo desde 1975 a 1986 [27]. 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:

- 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.

A la vista de las conclusiones de estos estudios internacionales y del resultado de los análisis recogidos en este documento para los sucesos ocurridos en España entre 2000 y 2020, se puede observar que la imagen global es coincidente; es decir, hay una clara similitud en la clase de sucesos frecuentes, el tipo de materiales y de bultos involucrados y los sectores más afectados, así como en la gravedad de esos sucesos, tanto si nos basamos en su clasificación INES como si lo hacemos en sus consecuencias.

En definitiva, el número de sucesos y su gravedad es baja en comparación con el número de envíos, lo que confirma que el marco regulador internacional del transporte de material radiactivo funciona adecuadamente y garantiza suficientemente la seguridad de la actividad.

XII. Conclusiones

XII. Conclusiones

Como resultado del análisis sobre los sucesos ocurridos en el transporte de material radiactivo en España entre los años 2000 y 2020, se extraen las siguientes conclusiones generales:

- Anualmente se realizan en España más de 100.000 transportes de material radiactivo, la mayoría de ellos con destino al sector médico e industrial, empleando bultos del tipo A y Exceptuados, en línea con el contexto internacional.
- Los modos de transporte más utilizados son la carretera, la vía aérea y la forma multimodal aéreo/carretera.
- Se han producido un total de 100 sucesos, lo que supone una media global de unos 5 sucesos al año en el periodo de análisis.
- Considerando la estimación de envíos anuales de material radiactivo que se realizan en España, la incidencia de los sucesos es inferior a 1 suceso por cada 20.000 transportes.
- El traslado (movimiento de una ubicación a otra) es la fase de transporte en la que más sucesos ocurren, si bien también son resaltables la fase de carga, descarga y manipulación de los bultos (de la carga).
- Los sucesos más frecuentes son los accidentes de tráfico (34%), con un valor medio de unos 2 sucesos/año. Les siguen las incidencias ocurridas en la manipulación de bultos radiactivos en terminales de aeropuertos (22%), alrededor de 1 suceso/año, y los robos (15%) y extravíos de bultos (10%), que entre ambos suponen también una media aproximada de uno al año.
- La mayoría de los sucesos involucran a bultos del tipo A que transportan radiofármacos. Esto supone que el sector médico es el que sufre una mayor incidencia, predominando los sucesos durante la fase de transporte por carretera como consecuencia de accidentes por alcance entre vehículos.
- En el modo aéreo, son los procesos de carga, descarga, traslado en la pista y manipulación de los bultos en los almacenes de las terminales de carga de los aeropuertos donde se producen la mayoría de los sucesos por una incorrecta manipulación de los bultos o su extravío. Normalmente, los bultos afectados también tienen como destino el sector médico.
- La gran mayoría de los sucesos en el modo de carretera involucran a vehículos ligeros (menos de 1.5 Tm), habitualmente utilizados para el transporte de radiofármacos y equipos radiactivos móviles de aplicación industrial. Apenas ocurren sucesos que afecten a vehículos de gran tamaño (de más de 3.5 Tm), habitualmente utilizados en los transportes relacionados con el ciclo de combustible nuclear.

- La práctica totalidad de los robos de bultos se producen en vehículos de carretera aparcados, bien por el robo de los bultos o del propio vehículo, y suelen afectar a equipos radiactivos utilizados en actividades industriales, fundamentalmente equipos de medida de densidad y humedad de suelos.
- El número de sucesos en el ciclo de combustible nuclear y en la gestión de residuos radiactivos es muy reducido, inferior al 10% del total en el periodo de análisis.
- En todo el periodo de análisis únicamente se ha producido un suceso vinculado a la protección física.
- El 35% de los sucesos se ha producido en alguna de las fases de un transporte internacional (con salida, destino o tránsito en España).
- Ningún suceso ha superado el nivel 1 (anomalía) de acuerdo con los criterios de la escala INES del OIEA, clasificándose el 76% como de nivel 0 (sin importancia para la seguridad/por debajo de escala).
- La mayoría de los sucesos clasificados como de nivel 1 en INES son robos en el transporte por carretera de equipos radiactivos de aplicación industrial y extravíos en el *handling* aeroportuario, sin que llegaran a recuperarse posteriormente los bultos.
- La mayor parte de los accidentes de tráfico y de las incidencias en terminales de aeropuertos se han clasificado como nivel 0 en la escala INES.
- La media de sucesos con daño a la carga ha sido de dos al año (se incluyen de manera conservadora aquellos en los que no llegaron a recuperarse los bultos tras su robo o extravío y no pudo comprobarse si efectivamente se dio ese daño). En la mayoría de ellos solo se ha visto afectado un único bulto.
- Prácticamente la totalidad de sucesos con daños a la carga involucraron a bultos (tipo A y Exceptuados) que transportaban radiofármacos.
- La mayoría de los sucesos con daño a la carga se producen en las incidencias en terminales de carga de los aeropuertos y en accidentes de tráfico en vehículos ligeros de carretera.
- Se produjeron daños en el medio de transporte (siempre vehículos de carretera) en un 34% de los sucesos. De ellos, en el 73% de los casos se trataba de vehículos ligeros, utilizados habitualmente para el transporte de radiofármacos y equipos radiactivos móviles de aplicación industrial.
- En la mayoría de los sucesos con daños al vehículo de transporte no se produjo daño a la carga.
- En los bultos no sujetos a aprobación de diseño (Exceptuados, Industriales, tipo A), para los que la reglamentación no exige la superación de ensayos que simulan condiciones de accidente, su comportamiento ante un accidente grave suele superar las expectativas reglamentarias. Esto implica que el enfoque graduado de los requisitos que deben satisfacer los embalajes se muestra eficaz como herramienta para garantizar la seguridad del contenido de los bultos.

- En ninguno de los sucesos se produjo daños a las personas derivados de la irradiación o contaminación, manteniéndose los valores de dosis recibidas por debajo de los límites de dosis anuales de los trabajadores clasificados como expuestos o del público en general, que establece el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.
- Únicamente en dos de los 100 sucesos ocurridos se produjo una exposición resaltable de personas (siempre con dosis inferiores a los límites reglamentarios) y un tercero en el que se produjo una ligera contaminación de una zona externa a una instalación nuclear o radiactiva.
- La comparación de los resultados de los análisis de los sucesos ocurridos en España con respecto a otros estudios relevantes realizados en el ámbito internacional refleja un escenario similar, tanto en las características como en las consecuencias de los sucesos. Estos estudios muestran que el número de sucesos y su gravedad es baja en comparación con el número de envíos, lo que confirma que el marco regulador internacional del transporte de material radiactivo, que se aplica en España, funciona adecuadamente y garantiza suficientemente la seguridad de la actividad

Respecto a la acción reguladora desarrollada por el CSN en el periodo de análisis, cabe destacar lo siguiente:

- El análisis de los sucesos ha permitido extraer lecciones aprendidas a partir de las que el CSN y los principales actores involucrados en el transporte han implementado acciones de mejora en ámbitos como la respuesta en emergencias, la formación del personal, las tareas de inspección y control y el desarrollo normativo.
- El aumento de los accidentes de tráfico en la primera década del 2000, debido al incremento de los transportes de monodosis diagnósticas desde radiofarmacias y de productos PET desde ciclotrones, además de las dosis operacionales asociadas al transporte de radiofármacos, ha llevado al CSN a considerar prioritario el seguimiento y control de este tipo de transportes. A pesar del incremento de las actividades de radiofarmacia y de suministro de productos PET, se ha producido una reducción de los sucesos en la segunda década del 2000.
- En las incidencias en terminales aeroportuarias se observa una clara disminución a partir de 2005, cuando los operadores aeroportuarios comienzan a adoptar medidas concretas a raíz de los contactos mantenidos por el CSN con las autoridades aeroportuarias. Asimismo, la disminución coincide con el incremento de la acción inspectora del CSN sobre estas actividades.
- Desde un punto de vista global, aparte del incremento de la acción inspectora del CSN sobre las actividades donde ocurren más sucesos, se considera que el desarrollo por el CSN de normativa reguladora específica ha contribuido a la disminución de los sucesos y a la mejora en su gestión.
- La base de datos sobre *Gestión de Transportes* utilizada en el CSN, considerada como buena práctica en el informe final de la misión IRRS realizada por el OIEA a España en 2018, constituye una herramienta

fundamental en la gestión de todas las actividades reguladoras relacionadas con el transporte de material radiactivo, entre ellas la gestión de los sucesos.

- En definitiva, el análisis sistemático de los sucesos y la implementación de acciones reguladoras en el ámbito de la supervisión, el control y el desarrollo normativo, sobre la base de las lecciones aprendidas tras esos análisis, han ayudado de manera clara a la salvaguarda de la seguridad en el sector del transporte de material radiactivo.

XIII. Referencias

XIII. Referencias

- [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] Instrucción IS-42, de 26 de julio de 2016, del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se establecen los criterios de notificación al Consejo de sucesos en el transporte de material radiactivo.
- [3] 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.
- [4] Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos (edición de 2018). N° SSR-6 (Rev.1). Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, 2019.
- [5] Glosario de seguridad tecnológica del OIEA. Terminología empleada en seguridad tecnológica nuclear y protección radiológica (edición de 2007). Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, 2007.
- [6] Instrucción IS-29, del 13 de octubre de 2010, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios de seguridad en instalaciones de almacenamiento temporal de combustible gastado y residuos radiactivos de alta actividad.
- [7] Instrucción IS-37, de 21 de enero de 2015, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre análisis de accidentes base de diseño en centrales nucleares.
- [8] Instrucción IS-26, de 16 de junio de 2010, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre requisitos básicos de seguridad nuclear aplicables a las instalaciones nucleares.
- [9] Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear.
- [10] Acuerdo para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (2021).
- [11] Reglamento relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril (2021).
- [12] Instrucciones Técnicas para el transporte seguro de mercancías peligrosas por vía aérea (2021-2022).
- [13] Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (2018)
- [14] 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.

- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.
- [18] Real Decreto 1308/2011, de 26 de septiembre, sobre protección física de las instalaciones y los materiales nucleares, y de las fuentes radiactivas.
- [19] Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Servicio integrado de revisión reguladora (IRRS) y Servicio integrado de revisión para programas de gestión de residuos radiactivos y combustibles gastado, de clausura y de restauración (ARTEMIS). Misión combinada a España. Madrid, 14 a 26 de octubre de 2018. IAEA-NS-IRRS-2018/06.
- [23] Accidentes en el transporte de mercancías peligrosas por carretera 2019. Servicio de Mercancías Peligrosas, Dirección General de Transporte Terrestre, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Abril 2020.
- [24] INES. Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos. Manual del usuario. Edición de 2008. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, 2010.
- [25] Review of events involving the transport of radioactive materials in the UK, from 1958 to 2004, and their radiological consequences. HPA-RPD-014. J.S. Hughes, D. Roberts, S.J. Watson. 2006.
- [26] Assessment of events involving transport of radioactive materials in France, 1999-2011. IRSN REPORT 2013-003E ind. 2. 2013.
- [27] 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. EUR12768 EN. Commission of the European Communities. 1990.

**Análisis de los sucesos ocurridos
en el transporte de materiales radiactivos
en España desde 2000 hasta 2020**

Colección
Otros Documentos CSN