

# Impacto radiológico asociado al transporte de material radiactivo por carretera en España

Calleja J. A. <sup>(1)</sup>, Gutiérrez F. <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Servicio de Prevención, Tecnatom y Departamento Ingeniería Eléctrica, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad Politécnica de Madrid

<sup>(2)</sup>Departamento Química Industrial y Polímeros, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad Politécnica de Madrid

## RESUMEN

*Las cuestiones relacionadas con el transporte de materiales radiactivos constituyen un objeto de renovada actualidad, tanto por el continuo incremento en la movilidad de estos materiales como por el compromiso creciente de estas actividades con el medio ambiente, la seguridad y protección de las personas y el actual marco legal.*

*Como aportación al estudio del impacto radiológico asociado al transporte de material radiactivo por carretera, se presenta una aplicación informática para el tratamiento de datos, que permite avanzar en dicho estudio y puede ser de utilidad como documentación asociada a la legal. Así, conociendo el nivel de radiación a 1 m. del transporte y eligiendo una ruta, se obtendrán los impactos asociados, tales como las poblaciones afectadas, la dosis recibida por el individuo más expuesto, el impacto radiológico global y las aportaciones a la población-trayecto y nacional.*

*En la elaboración de este trabajo se han tenido en cuenta informaciones relevantes suministradas por los distintos organismos relacionados con el sector (centrales nucleares, empresas de transportes, inspección, etc.). Como conclusión más importante, se observa que, en operación normal, el impacto radiológico anual del transporte de material radiactivo por carretera en España es muy bajo y sin incidencia de riesgo asociado al mismo.*

## ABSTRACT

*Questions relating to the transport of radioactive materials are an issue of current interest because of the continuous increase in the mobility of these materials and the increasing commitment of these activities to the environment, the safety and protection of persons and the current legal framework.*

*As a particularly contribution to the radiological impact study associated to the transport, a data-processing application for the treatment of data is proposed, which allows progress to be made in this study and which may be of use in association with the legal documentation. Thus, by knowing the level of radiation at a distance of one metre from the transport vehicle and by selecting a route, it is possible to gain insight into the associated impacts, such as the affected populations, the dose received by the most exposed individual, the overall radiological impact and the contributions at population, transport route and national level.*

*In preparing this work, consideration has been given to the relevant information provided by the different organisations involved in the issue (nuclear power plants, transport and inspection companies, etc.). The most important conclusion is that the, under normal operation, annual radiological impact from the transport by road of radioactive material in Spain is very low and does not imply any associated risk.*

## INTRODUCCIÓN

Las cuestiones relacionadas con el transporte de materiales radiactivos constituyen un objeto de renovada actualidad, tanto por el continuo incremento en la movilidad de materiales relacionados con el ciclo del combustible nuclear u otros (equipos de inspección, fuentes radiactivas, etc.), como por el compromiso creciente de estas actividades con el medio ambiente, con la seguridad y con la protección de

las personas [1] y así como con el actual marco legal. Por tanto, preguntas como cuales son las rutas de transporte más activas o qué impacto radiológico se genera en el público general o ciertos individuos tipo (trabajador de suministro de combustible, ocupantes de un vehículo particular en situaciones de retención del tráfico, etc.) son pertinentes, a la hora de valorar la significación radiológica del transporte de materiales radiactivos.

En España hay un "largo proceso de transporte" de más de 10.000 kilómetros. El combustible nuclear se transporta por carretera desde Juzbado (Salamanca) hasta las centrales nucleares, y desde éstas, los residuos de media y baja radiactividad generados (materiales que quedan contaminados, procedentes de los equipos y componentes utilizados en la operación, mantenimiento, inspección y control de dichas plantas) son transportados también por carretera a las instalaciones de El Cabril, en Córdoba. Además, también hay que tener en cuenta los transportes que generan los equipos y materiales, con origen o destino en las plantas nucleares, necesarios para la buena operación de las mismas.

### **REGLAMENTACIÓN DEL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO POR CARRETERA**

El transporte de material radiactivo está regulado en España por una serie de normas de aplicación internacional, basados en el Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos del Organismo Internacional de la Energía Atómica, OIEA [2]; en todas ellas la seguridad del transporte descansa fundamentalmente en el embalaje, estipulándose embalajes diferentes (Exceptuado, Industrial, Tipo A, Tipo B, y Tipo C) y se establecen los criterios para el diseño en concordancia tanto con la actividad como con la forma física de los materiales radiactivos que contengan. También se detallan las precauciones que se deben tomar en cuanto a rotulación y el etiquetado, así como los requisitos para los embalajes durante el tránsito.

El aseguramiento de la protección radiológica y la prevención de riesgos ambientales, se consigue con la aplicación de límites para la intensidad de radiación y contaminación en la superficie de los embalajes y en los vehículos, así como con la limitación de las actividades transportadas. Otro requisito fundamental es la formación de conductores, además de la supervisión y control por parte de los consejeros de seguridad [3].

### **MÉTODO Y FUENTES DE INFORMACIÓN**

La metodología utilizada en la elaboración de este trabajo está basada en el método "descriptivo-explicativo", que permite la observación y recogida de datos con enfoque de "estudio de caso" [4, 5]. Pretende describir sistemáticamente la logística para el transporte de material radiactivo por carretera, así como el impacto radiológico asociado al mismo, mediante el uso de fuentes directas e indirectas. Para las primeras, se ha contado con la colaboración de empresas del sector (centrales nucleares, empresas de transportes de material radiactivo, ENRESA, instalaciones, etc.)

y para identificar las regulaciones, en cuanto a los permisos y trámites para las expediciones de material radiactivo por carretera, se consultó a organismos oficiales relacionados con el sector.

Para el estudio, se ha elegido el ciclo de combustible nuclear, por ser el más representativo en el caso de los transportes radiactivos, por el control que las autoridades competentes ejercen, por la base normativa tan importante que los regula y por la atención del público en general y su candente actualidad para el desarrollo energético nacional. En España hay actualmente seis centrales nucleares en explotación (Cofrentes, Garoña, Vandellós II, Trillo, Almaraz y Ascó) [6], contando en total con ocho reactores. Además hay una central (José Cabrera) que ha sido declarada en cese definitivo de explotación.

Hasta estas centrales se transportan elementos de combustible nuevo, en embalajes de acero, que están sujetos a una serie de pruebas técnicas para garantizar que no sean fisibles bajo ninguna condición accidental realista durante el transporte (incluyendo colisiones, incendios, etc.).

Desde las plantas nucleares deben transportarse como materiales radiactivos los materiales que quedan contaminados, procedentes de los equipos y componentes utilizados en la operación, mantenimiento, inspección y control de dichas plantas. Los residuos de alta actividad, procedentes, fundamentalmente, del combustible nuclear gastado en las centrales nucleares, se hallan almacenados de forma temporal en las piscinas asociadas, sumergidos bajo agua para su enfriamiento y, desde 2002, en los contenedores metálicos de almacenamiento en seco del llamado almacén temporal individualizado (ATI), por lo que en la actualidad no se realiza transporte de los mismos.

Son también transportados como material radiactivo, aunque en menor medida, probetas y muestras de materiales irradiados, fuentes de distintos isótopos, etc., procedentes de centros de investigación, que son utilizados en distintos ensayos, al objeto de observar el comportamiento de los distintos materiales frente a las radiaciones ionizantes.

### **IMPACTO RADIOLÓGICO**

Para el cálculo del impacto radiológico del transporte de materiales radiactivos por carretera en España, se comenzó fijando el año 2007 como representativo por el volumen de transportes realizados, ya que fue el de mayor tráfico asociado al ciclo del combustible nuclear, como consecuencia del número de paradas programadas para recarga de combustible en las centrales nucleares. Ello generó más trasiego de combustible, de equipos de inspección y control, así como más residuos radiactivos de media y baja actividad



Fig. 1: Rutas de transporte de material radiactivo.

procedentes de la servidumbre asociada a los trabajos de mantenimiento en las centrales nucleares.

A partir de más de 6000 datos recibidos se fue adecuando la información según necesidades, con ayuda de procesos informáticos, mediante la composición de tablas con parámetros referentes a trasiego de residuos radiactivos del combustible nuclear y de fuentes y equipos y fijando "rutas radiactivas" (entre las más importantes están las de transportes de residuos de baja y media actividad procedentes de las seis centrales nucleares con destino al almacén de residuos radiactivos).

En la figura 1, se representan las rutas de transporte más activas de España, como son las autovías A-2, A-3 y A-5, considerándose el resto de menor tránsito o incluso vías secundarias. En total se consideran "24 rutas para el transporte de material radiactivo". Por ellas se han realizado "243 transportes" en el año estudiado, identificándose las provincias de paso expuestas, las distancias recorridas, el tiempo invertido, así como la población por ruta y la población nacional a estudio. En este último caso, solo se tiene en cuenta las poblaciones de paso en todas las rutas, quedando al margen la comunidad gallega, cántabra, País Vasco, Navarra, región de Murcia, y gran parte de la comunidad andaluza, ya que por las vías de circulación de estas no se realiza trasiego.

En la tabla I, se puede observar que el impacto radiológico total asociado al transporte de material radiactivo por carretera en España durante el año, como suma del número de transportes por las horas de desplazamiento y por el nivel de radiación a un metro del transporte, es de  $46,64 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

Así mismo, en la tabla I se muestra que la dosis que puede recibir el individuo más expuesto (un individuo, conductor o pasajero de un vehículo particular, que coincide con el transporte de material radiactivo) es de  $1,36 \text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

La dosis al "individuo medio expuesto" [7], ubicado en las regiones de paso de este tipo de transportes (impacto nacional), aplicado a toda la población residente en las distintas provincias es de  $1,1\cdot 10^{-3} \text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

IMPACTO RADIOLÓGICO ASOCIADO AL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO POR CARRETERA EN ESPAÑA (AÑO 2007)

RUTAS	Dosis Impacto <sup>1</sup> Total ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ )	Dosis individuo MAS expuesto <sup>2</sup> ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ )	Dosis al Público impacto en trayecto <sup>3</sup> ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ )	Dosis al Público impacto nacional <sup>4</sup> ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ )
DE CENTRALES NUCLEARES AL ALMACEN DE RESIDUOS RADIATIVOS, EL CABRIL	42005	4,63	1,44 E-03	9,81E-04
DE FABRICA ELEMENTOS COMBUSTIBLES, JUDBAGO A CENTRALES NUCLEARES	1592	0,24	9,43 E-05	3,72 E-05
DE CENTRALES NUCLEARES A MADRID	2218	0,46	4,35 E-05	4,53 E-05
DE CENTRALES NUCLEARES A LA FRONTERA, JUNQUERA	521	0,10	1,36 E-05	1,22 E-05
ENTRE CENTRALES NUCLEARES	303	0,12	6,96 E-05	7,07 E-06
GLOBAL	46638	1,36	N/A	1,10 E-03

<sup>1</sup>Dosis impacto global: Valor obtenido por aportación de todos los transportes realizados y en todas las rutas.

<sup>2</sup>Dosis individuo más expuesto (adelantamiento): 15 segundos x 3 adelantamientos en la ruta: consideramos que el individuo trasiega por la ruta a la vez que se realiza el transporte.

<sup>3</sup>Dosis al público, impacto en trayecto: Se considera la población de todas las edades, residente en las provincias por las que circula el transporte.

<sup>4</sup>Dosis al público, impacto nacional: Población de todas las edades del entorno nacional, sometido a impacto.

Tabla I: Impacto radiológico asociados al transporte de material radiactivo por carretera.

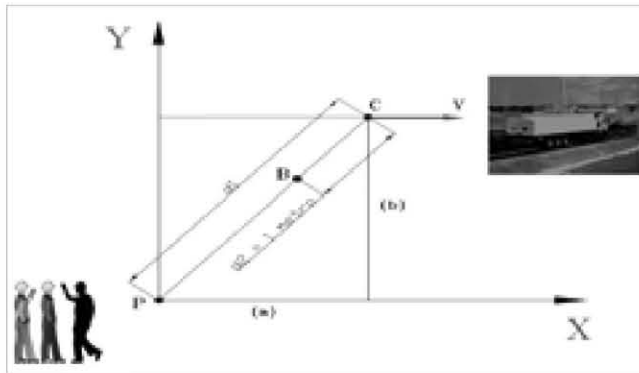


Figura 2: Dosis producida en un punto por un vehículo en movimiento con material radiactivo.

Aunque las unidades para caracterizar el impacto global se proponen en dosis equivalente ( $\mu\text{Sv}$ ), es más correcto referirlas a unidades de exposición o dosis absorbida ( $\mu\text{Gy}$ ), ya que esa dosis puede ser o no adquirida por los humanos (según si están o no en la zona de exposición). Pero, para emisión gamma, la exposición es similar a la dosis adsorbida e igual a la dosis equivalente. Por tanto, como los valores de medida del nivel de radiación a un metro del transporte se proponen en unidades de dosis equivalente, los obtenidos en este estudio los referiremos siempre a estas unidades.

Como el vehículo está generalmente en movimiento (figura 2), la dosis (D) en un punto (P) producida por la fuente móvil a lo largo de toda la trayectoria se obtendrá integrando la expresión:

$$\int dD(P) = \int (IT / (v^2 \cdot t^2 + b^2)) dt = 1/b \cdot v \cdot (\arctg v \cdot t / b) \quad (1)$$

y como resultado, obtenemos:

$$D(P) = \pi \cdot IT / b \cdot v \quad (2)$$

Como es lógico, la dosis buscada será directamente proporcional al Índice de transporte (IT) o nivel de radiación a un metro del material radiactivo, e inversamente proporcional a la perpendicular del punto a la trayectoria (b) y a la velocidad del vehículo (v).

Con esta expresión podremos conocer con exactitud la dosis de radiación gamma que recibiría el público en general, situado a una distancia conocida del transporte que se desplaza a una velocidad prefijada.

Aunque se apuesta por una solución generalizada, sin tener en cuenta con exactitud la proximidad al transporte de todo el colectivo impactado, así como la velocidad variable del vehículo, interesa conocer el margen de error en el estudio, comparado con el resultado que se obtendría por la solución propuesta más científica.

Ciñéndose al impacto generado al público nacional (dosis



Figura 3: Página de introducción de datos.

al individuo medio del colectivo nacional sometido a impacto) y teniendo en cuenta la dosis total obtenida (impacto radiológico total asociado al transporte de material radiactivo por carretera en España durante el año) de  $46638 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  (tabla I), calculada en función del nivel de radiación a un metro del transporte, con una velocidad de  $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (que es afín a las directrices de seguridad vial para este tipo de transportes), se obtendrá, para la dosis al individuo medio, suponiendo que el grueso de la población de una gran urbe, que será el colectivo más significativo, está dentro de un radio de distancia de 1000 m.:

$$D(P) = 3,1416 \times 46638 / 1000 \times 90000 = 1,6 \cdot 10^3 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1} \quad (3)$$

Que es muy similar a la dosis que ya se había acordado de  $1,1 \cdot 10^3 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

## PROGRAMA DE CÁLCULO DE IMPACTO RADIOLÓGICO

Como aportación, se presenta una aplicación informática para el tratamiento de los datos estudiados y una hoja resumen "Impacto Radiológico Asociado al Transporte de Material Radiactivo por Carretera en España". Con ello, se avanza en el estudio de estos impactos, pudiendo complementar la documentación legalmente estipulada para este tipo de transportes.

Así, sin más que introducir el nivel de radiación a un metro del transporte y elegir la ruta (figura 3), que son datos que suministra el expedidor, se obtendrán los impactos radiológicos asociados (figura 4). La estimación del detrimento a la salud que aparece en página de resultados (figura 4) se ha realizado a partir del coeficiente nominal de



IMPACTO RADIOLÓGICO ASOCIADO  
AL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO  
POR CARRETERA EN ESPAÑA



RUTA:	VANDELLOS-MADRID
TEMPO EN RUTA:	6 Horas
POBLACIONES EXPUESTAS:	Tarragona-Castellon-Valencia-Cuenca-Madrid
IMPACTO RADIOLÓGICO GLOBAL (µSv):	60
DOSIS INDIVIDUO MAS EXPUESTO (µSv):	0,35
DETRIMENTO DE SU SALUD:	1,75E-08
APORTACIÓN POBLAC. TRAYECTO (µSv):	3,89E-05
DOSIS APORTACIÓN NACIONAL (µSv):	9,46E-06
DETRIMENTO DE LA SALUD:	4,73E-13



Los datos son reflejo de un trabajo de investigación considerando los transportes realizados en un año natural en España; en el estudio global se ha supuesto el proceso mas desfavorable.

Figura 4: Página de resultados.

riesgo combinado (exceso de casos de cáncer y de efectos heredables) del 5% por Sievert en una población de todas las edades, siempre que se trate de dosis y tasas de dosis bajas [8].

### CONCLUSIONES

Como conclusión, se confirma que el impacto radiológico por la emisión de radiaciones ionizantes, procedentes de los transportes de material radiactivo en España, es prácticamente despreciable y, por tanto, no significativo a la hora de generar efectos adversos en la salud humana. Así mismo, el impacto radiológico total anual es muy reducido.

Se observa que las vías de circulación elegidas para este tipo de transportes cubren casi la totalidad del territorio nacional. De las 24 rutas existentes, tres de ellas son particularmente activas por la afluencia de transportes, así como por su significativa aportación a la carga radiológica asociada, como son la autovía de Extremadura A-5, la de Levante A-3 y la de Aragón A-2, ya que la exposición debida a la densidad de tráfico en estas vías será mayor.

### AGRADECIMIENTOS

Al personal de la organización de protección radiológica de las centrales nucleares, personal de la empresa E.T.S.A.,

y a los componentes del servicio de prevención de Tecnatom, que han propuesto muchos de los datos referidos a los transportes realizados.

### REFERENCIAS

- [1] Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/95) de 8 de diciembre. Boletín Oficial del Estado no 269 de 10 de noviembre. Páginas 33408 – 33434.
- [2] Acuerdo Europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2007) Boletín Oficial del Estado, suplemento de 21 de enero de 2007, núm. 18, p. 34564.
- [3] Real Decreto 1566/1999, sobre los consejeros de seguridad para el transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable. Boletín Oficial del Estado, de 20 de octubre de 1999. p. 36825-36914.
- [4] YIN, R. Case study research: Design and métodos. Sage Publishing. Beberly Hills. 1994.
- [5] CHETTY, S. The case Study Method fot Research in Small and Médium – sized Firms. International Small Business Journal. Vol 15. pp. 73 – 85.
- [6] www.csn.es
- [7] www.ine.es
- [8] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 1990 (ICRP) Publication 60, Pergamon Press, Oxford (1991). Traducción al español por la Sociedad Española de Protección Radiológica. Madrid (1995).