



RIESGO RADIOLÓGICO Y CONTROL REGULADOR DE LAS INDUSTRIAS NORM

En las industrias NORM se producen dosis de radiación aumentadas, debidas, en ocasiones, a los altos niveles de radiactividad en la materia prima y, con mayor frecuencia, al procesamiento industrial de esta o a una gestión deficiente de los residuos. El actual marco regulador para el control de las industrias NORM en España constituye una base adecuada para cubrir la mayoría de las situaciones que se dan en la práctica. Sin embargo, es necesario centrar esfuerzos en conseguir un sistema de control eficiente tanto para el regulador como para la industria. En este artículo, se da una visión de la situación actual, con ejemplos de la generación termoeléctrica con carbón y de la producción de gas y petróleo, y se describen las iniciativas en curso y previstas para impulsar el cumplimiento de la regulación y mejorar su eficiencia.

INTRODUCCIÓN

Las fuentes naturales de radiación representan la principal exposición a las radiaciones ionizantes para el público en general (en promedio, un 87% de la dosis efectiva anual, según el informe Unsear del año 2000).

Determinadas actividades laborales pueden, además, aumentar de manera significativa las dosis por radiación natural de los trabajadores y en algunos casos, de la población del entorno, cuando los residuos no se gestionan adecuadamente. Estas actividades laborales son, en concreto, la operación de aeronaves (debido a la exposición a la radiación cósmica); aquellas que se llevan a cabo en lugares de trabajo propensos a presentar altos niveles de radón y; el procesamiento industrial de materiales radiactivos de origen natural.

Esta última categoría corresponde a las habitualmente denominadas industrias NORM (acrónimo de la expresión inglesa *Naturally Occurring Radioactive Materials*). Desde el punto de vista regulador, se engloban aquí aquellas actividades laborales no relacionadas con el ciclo del combustible nuclear en las que se procesan o generan materiales que, tanto por su concentración de radionúclidos naturales como por las características de la propia actividad, puedan incrementar significativamente la exposición de los trabajadores o del público a las radiaciones ionizantes.

En las pasadas décadas, ha habido un interés creciente en el riesgo radiológico inherente a estas industrias, así como en su control. Diversos organismos internacionales, la Unión Europea (ya en su Directiva 96/29) y algunas

autoridades reguladoras nacionales han venido emitiendo recomendaciones o estableciendo requisitos específicos al respecto. En los últimos años, las nuevas normas básicas de seguridad del OIEA (2014) y la directiva europea 2013/59/Euratom han consolidado la plena integración de estas actividades laborales en el marco general de la protección radiológica.

En España, las industrias NORM están legisladas en sus aspectos radiológicos desde 2001, pero la implantación en la práctica de esta legislación ha presentado múltiples dificultades. Las razones de ello y las acciones en curso y previstas para corregir la situación se analizan en este artículo.

RIESGO RADIOLÓGICO

En las industrias NORM se producen dosis de radiación aumentadas, debidas, en ocasiones, a los altos niveles de radiactividad en la materia prima, y con mayor frecuencia, al procesamiento industrial de esta. En la materia prima, los radionúclidos de las cadenas del ^{238}U y el ^{232}Th se encuentran en equilibrio secular. Los procesos químicos o físicos a los que esta se somete, dan por resultado el enriquecimiento de radionúclidos en algunos productos, co-productos o residuos y, a menudo, en concentraciones muy elevadas, en las incrustaciones de tuberías, equipos, hornos o chimeneas.

El listado de actividades NORM que requieren control regulador, de acuerdo con la instrucción de seguridad IS-33 del CSN, es el siguiente:

- Extracción de tierras raras.
- Producción y utilización del torio y sus compuestos.
- Producción de niobio y ferro-niobio.
- Producción de gas y petróleo.

**MARTA GARCÍA-TALAVERA,
BEATRIZ ROBLES,
DIEGO FERNÁNDEZ,
LUCILA RAMOS**

Consejo de Seguridad Nuclear
(CSN)

RADIOLOGICAL RISK AND REGULATORY CONTROL OF THE NORM INDUSTRIES

Enhanced radiation exposures in NORM industries may come directly from the raw materials themselves, but more commonly result from their processing or from poor waste management. While the existing regulatory framework for the control of NORM industries in Spain provides an adequate basis for managing most situations in practice, efforts are needed to achieve a system that works efficiently for both regulator and industries. The current situation, with examples from coal-fired plants and oil and gas production, as well as the initiatives to foster compliance and improve regulatory efficiency, are described in this paper.



- Producción de cemento, mantenimiento de hornos de *clinker*.
- Fabricación de pigmentos de dióxido de titanio.
- Industria del fosfato (producción de ácido fosfórico y de fertilizantes fosfatados).
- Industria del zirconio.
- Producción de estaño, cobre, aluminio, hierro, acero, cinc y plomo.
- Centrales térmicas de carbón.

En todos estos sectores industriales son, fundamentalmente, dos aspectos (o uno solo de ellos) los que requieren consideración desde el punto de vista de la protección radiológica:

- Las dosis que reciben los trabajadores, especialmente durante las operaciones de mantenimiento y desmantelamiento.
- La gestión o la valorización de los residuos que superen los correspondientes niveles de exención.

En la Tabla 1 se presentan resultados de dosis ocupacionales en varios de estos sectores tomados de diversas referencias [1-5]. Cuando las dosis recibidas por los trabajadores son inferiores a 1 mSv, no se requiere que la actividad laboral quede sujeta a control radiológico ocupacional.

En cuanto a los residuos, varias de estas industrias generan flujos con valores de actividad específica muy superiores a los niveles de exención genéricos establecidos en nuestra legislación para la gestión de residuos NORM [0.5 Bq/g para la serie del U-238 (en equilibrio secular); 0.5 Bq/g para la serie del Th-232 (en equilibrio secular); con aplicación de la regla de la suma de cocientes, cuando ambas cadenas están presentes en concentraciones aumentadas]. Como ejemplo, las incrustaciones producidas en tuberías y equipos en la extracción de gas o petróleo suelen presentar valores

entre 0,1-15.000 Bq/g de ^{226}Ra y entre 0,05-2.800 Bq/g de ^{228}Ra [6]. Los polvos de acería de alto horno pueden tener concentraciones de unos 10 Bq/g de ^{210}Pb y 100 Bq/g de ^{210}Po [7] y los lodos húmedos procedentes de la producción de pigmentos de dióxido de titanio en torno a 3 Bq/g de ^{228}Ra [8].

LA SITUACIÓN EN ESPAÑA

Las actividades laborales con mayor riesgo potencial de exposición a la radiación natural se incorporaron a nuestro sistema de protección radiológica en 2001 mediante el título VII del Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSRI).

Este título VII del RPSRI se modificó en 2010, haciendo recaer en el titular la responsabilidad de declarar su actividad ante el órgano de industria de su comunidad autónoma, como autoridad competente en cuanto al cumplimiento del título VII. El titular, según lo requerido en este título debe, además, acometer los estudios necesarios para determinar el riesgo radiológico asociado a su actividad laboral. El listado de las actividades reguladas y las directrices sobre la información que debe incluir la declaración, así como los criterios radiológicos para su control, se desarrollaron en la Instrucción de Seguridad IS-33 del CSN, emitida en 2011.

Adicionalmente, se publicó la Orden Ministerial IET/1946/2013, sobre la gestión de los residuos NORM. En ella se establecen los valores de concentración radiactiva por debajo de los cuales los residuos pueden gestionarse directamente de manera convencional. Para el resto, la Orden requiere acometer un estudio específico, en base al cual podrá aprobarse una gestión convencional (sujeta a medi-

das de protección radiológica) o bien requerirse que el residuo se gestione como radiactivo.

Varios años después de que esta regulación haya entrado en vigor, su nivel de cumplimiento por comunidad autónoma y sector es dispar. A continuación, se presentan a título ilustrativo, las circunstancias de dos sectores del ámbito energético.

Generación termoeléctrica con carbón

Las centrales térmicas de carbón constituyen el sector que ha cumplido con mayor celeridad las obligaciones impuestas por el RPSRI y la Instrucción IS-33 del CSN. Los primeros estudios, se iniciaron en el año 2004, mediante un proyecto de investigación promovido por el CSN [9] que cubría las mayores centrales térmicas de carbón de España (Teruel, Litoral, Compostilla II y As Pontes). Tras la publicación de la Instrucción IS-33, las demás centrales se inscribieron en el correspondiente registro y llevaron a cabo los estudios radiológicos preceptivos.

El carbón contiene radionúclidos de las series del U-238 y el Th-232 y K-40, en concentraciones variables en función de su origen, pero que en general no son elevadas. Durante el proceso de combustión, la sustancia mineral del carbón se funde formando una ceniza vitrificada. La parte más pesada de la misma cae al fondo de la caldera, en forma de escorias, que se retiran y son gestionadas como residuo convencional. Las cenizas volantes son arrastradas por los gases de combustión, pasando a través de la caldera y por los sistemas de purificación, en los que una parte son retenidas. La fracción retenida se valoriza o se gestiona como residuo, mientras que el resto se descarga a la atmósfera. Los radionúclidos naturales que forman parte de las sustancias no combustibles del carbón se concentran y reparten entre las escorias y las cenizas volantes.

Estas cenizas y escorias están enriquecidas en radionúclidos, con respecto al carbón, en un factor similar, salvo para el Po-210 que se encuentra en una concentración muy inferior en las escorias. Ello se debe a que el punto de ebullición del polonio es menor que la temperatura a la que se produce la combustión del carbón en la caldera. Una parte del polonio sale con los gases de combustión, otra se condensa sobre los tubos de los intercambiadores de calor que están a menor temperatura que el resto de la caldera, y el resto queda adherido a

Actividad industrial	Dosis ocupacionales (mSv/a)
Extracción de tierras raras	En promedio 1-8, pudiendo superar el límite de dosis
Producción de compuestos de torio	Entre 6 y 15
Producción de menas de Nb/Ta	una fracción significativa del límite de dosis
Fabricación de productos que contienen torio	<1 hasta una fracción significativa del límite de dosis
Producción de gas y petróleo	<1 hasta una fracción significativa del límite de dosis
Producción de pigmento de TiO_2	<1-6
Industria del circonio (molturación)	<1-6
Producción primaria de acero	< 1
Procesamiento de bauxita	<0,5

Tabla 1. Dosis ocupacionales en distintos sectores industriales. Valores tomados de las referencias [1-5].

las cenizas volantes que actúan como núcleos de condensación.

En tanto que la radiactividad en el carbón de entrada se mantiene dentro de un rango, específico para cada central, tanto las escorias como las cenizas volantes se mantienen por debajo de los niveles de exención. Los resultados de los estudios permiten concluir, además, que las dosis a público no son significativas y que las dosis a los trabajadores son claramente inferiores a 1 mSv/año, salvo, potencialmente, en el mantenimiento de calderas (Figura 1), que es la operación crítica desde el punto de vista de la protección radiológica.

Producción de gas y de petróleo

La producción de hidrocarburos en España es muy modesta, tanto en comparación con la de los principales productores europeos como en relación al consumo nacional.

Con el cese de explotación del yacimiento de Ayoluengo en enero de 2017, todo el crudo doméstico se extrae en el Mediterráneo. El principal yacimiento en producción en 2016 [10] fue Montanazo-Lubina (con 60.596 toneladas). Este y otros pozos cercanos se explotan desde la plataforma Casablanca.

Los yacimientos de gas natural en España son cinco, localizados en La Rioja, Sevilla y Cádiz. En el año 2016, el 88% de la producción provino del yacimiento de Viura (La Rioja), el 8% de Poseidón (Golfo de Cádiz) y el 3% de El Romeral (Sevilla) [10].

De estas instalaciones, el CSN tiene constancia de que se han llevado a cabo los estudios radiológicos requeridos por el título VII del RPSRI en la plataforma petrolífera Casablanca (Figura 2) y en la gasífera Poseidón.

En general, se puede afirmar que el riesgo radiológico es mayor en las actividades relacionadas con la producción de petróleo que en las relacionadas con la producción de gas. Además, dicho riesgo tiende a ser mayor cuanto más próxima esté la instalación del punto de extracción.

Los isótopos del radio (Ra-226, Ra-228, Ra-224) se movilizan desde las rocas de los yacimientos que contienen gas y petróleo, disueltos con el agua de producción, que es extraída junto con los hidrocarburos. La mezcla de aguas con diferentes propiedades, los cambios de presión, temperatura y pH, producen la formación de costras o incrustaciones enriquecidas en estos isótopos que se van depositando en las partes húmedas de las instalaciones de producción. Durante



Figura 1. Intercambiadores de calor en el interior de la caldera de una central térmica.

el procesamiento de la materia prima en separadores y otros equipos se forman, además, lodos con valores de actividad específica muy elevados de Pb-210 y, con isótopos de radio en concentraciones inferiores. Por último, en las instalaciones de tratamiento y transporte de gas se producen depósitos de Pb-210, como consecuencia del decaimiento del Rn-222 que es extraído junto con el gas y petróleo.

Durante el desmantelamiento de las instalaciones de producción de gas y petróleo, el riesgo radiológico se incrementa considerablemente. Esto es debido, por un lado, a la aparición de nuevas vías de exposición para los tra-

bajadores encargados del desmontaje de equipos contaminados, de la descontaminación de equipos, etc. y, por otro lado, a la posibilidad de que ciertos residuos cuyas actividades sean superiores a los niveles de desclasificación sean incorrectamente gestionados por vías convencionales.

En este sentido, cabe destacar que más de un 50% de las detecciones ocurridas en el marco del *Protocolo de colaboración sobre la vigilancia radiológica de los materiales metálicos* han sido originadas por piezas contaminadas con NORM, que en su mayoría proceden de la industria del gas y petróleo [11].



Figura 2. Plataforma Casablanca, situada en el Mediterráneo. Actualmente es la única plataforma petrolífera activa en España.



RETOS FUTUROS

La Directiva 2013/59, que debe transponerse a nuestra legislación nacional antes de febrero de 2018, consolida y refuerza los requisitos para el control de la exposición a la radiación natural, y en especial, de las industrias NORM. En el contexto actual, además de abordar algunos aspectos aún no cubiertos en nuestra regulación, el proceso de transposición ofrece la oportunidad de solventar deficiencias e impulsar medidas destinadas a mejorar el cumplimiento. Algunas de estas se han puesto ya en marcha en 2016 y 2017.

Las causas del dispar grado de implantación de la regulación actualmente en vigor son diversas. Por un lado, las competencias en cuanto a cumplimiento no estuvieron claramente definidas hasta la revisión del RPSRI en 2010. Por otro lado, en algunos sectores puede existir aún desconocimiento de la normativa emitida en un campo que tradicionalmente les era ajeno. También se ha producido en ocasiones una interpretación incorrecta sobre el ámbito de aplicación o el alcance de los requisitos impuestos. Sin embargo, esto no puede considerarse la generalidad, puesto que hay sectores –con una importante internalización y con presencia en países en los que la actividad está sujeta a controles radiológicos– en los que la tasa de cumplimiento es insatisfactoria.

Hay que destacar, no obstante, que el contacto directo con asociaciones sectoriales ha dado, en general, buenos frutos. Así, se ha puesto en marcha un estudio sectorial en las cementeras con el fin de dar cumplimiento al título VII y establecer si serán necesarios controles adicionales en algunas de las fábricas. En otro campo afín, como es el control del radón en lugares de trabajo, tanto la Asociación de Cuevas Turísticas Españolas, como la Asociación Nacional de Balnearios, han tomado un papel activo en la divulgación de la normativa entre sus asociados. Sería deseable extender este modelo de funcionamiento a los sectores con exposición a NORM y reforzarlo desde los organismos competentes (fomentando y apoyando la organización de jornadas técnicas, de campañas informativas sectoriales, etc.).

Se ha retomado, además, la línea de colaboración con las comunidades autónomas instaurada tras la aprobación del RPSRI. A finales de 2016, se constituyó un grupo de trabajo del CSN con las Consejerías de Industria de las comunidades autónomas, a fin de monitorizar e impulsar el

cumplimiento de la normativa. Se pretende ampliar esta línea de colaboración a otras autoridades con competencias en materia de medio ambiente y prevención de riesgos laborales, dado que hay amplios aspectos en los que la protección radiológica concurre con estas disciplinas.

También, el CSN ha implantado un programa piloto de inspección a las industrias NORM y a los lugares de trabajo especialmente expuestos al radón. Este se desarrollará durante 2017 y 2018, y cubrirá todos los sectores enumerados en el Anexo de la IS-33 (1-14) que tengan implantación en España. El programa piloto permitirá comprobar las condiciones reales de funcionamiento de las instalaciones, lo cual redundará en un control regulador más eficaz, y servirá de base para preparar el plan de inspecciones de control sistemático a estas instalaciones, que se pondrá en marcha en 2019.

Por último, un problema que es necesario solventar son las deficiencias que presentan algunos de los estudios del título VII del RPSRI. El CSN ha emitido Guías sobre el contenido y metodología a seguir en estos estudios (Guías de Seguridad 11.2 y 11.3 del CSN), pero se hace necesario regular los requisitos que deben cumplir las entidades que los lleven a cabo a

fin de garantizar la calidad de estos. Se prevé que estas entidades sean las Unidades Técnicas de Protección Radiológica con una autorización expresa a este efecto.

CONCLUSIONES

En España, el marco reglamentario desarrollado para el control radiológico de las industrias NORM es ya conforme, en líneas generales, con lo exigido por la reciente directiva 2013/59 de normas básicas de seguridad. No obstante, los problemas encontrados en la implantación de la regulación en vigor ponen de manifiesto que son necesarias medidas de apoyo específicas a los sectores afectados, así como mayor firmeza de la Administración para impulsar su cumplimiento; algunas estrategias dentro de estas líneas de actuación se han puesto en marcha, con buenos resultados, a lo largo de 2016 y 2017. El objetivo a medio o largo plazo debe ser lograr una implantación efectiva y eficiente de la regulación en materia de protección radiológica. Para ello es esencial la participación activa de la industria y la colaboración entre administraciones, que evite duplicidades en unos sectores sujetos ya a amplios controles reglamentarios en diferentes ámbitos. ■

- [1] IAEA, Safety Report Series No. 49. Assessing the need for Radiation Protection Measures in Work involving minerals and raw materials. Viena, 2006.
- [2] IAEA, Safety Reports Series No. 51. Radiation Protection and NORM Residue Management in the Zircon and Zirconia Industries. Viena, 2007.
- [3] Serradell, V. et al. Estudio radiológico de la industria cerámica y auxiliares. Colección Informes Técnicos 40.2013. CSN, Madrid.
- [4] Organo, C., Fenton, D. Radiological assessment of Norm industries in Ireland. Radiation doses to workers and members of the public. Radiological Protection Institute of Ireland. Dublin, 2008.
- [5] ASN, Assessment of ionizing radiation exposures in industries and professional activities implementing raw materials containing naturally-occurring radionuclides not used because of their radioactive properties" Autorité de Sûreté Nucléaire. París, 2009.
- [6] IAEA, Safety Reports Series No. 34. Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry. Viena, 2003.
- [7] Döring, J., Beck, T., Beyermann, M., Gerler, J., Henze, G., Mielcarek, J., Exposure and radiation protection for working areas with enhanced natural radioactivity. Proceedings of an International Symposium on Naturally Occurring Radioactive Material (NORM V). Sevilla, IAEA, 2008.
- [8] García-Tenorio, R., Bolívar, J.P. et al. Estudio y evaluación del impacto radiológico producido por las actividades de diversas industrias no nucleares del sur de España. Industrias de dióxido de titanio. Colección Informes Técnicos 26.2010. CSN, Madrid.
- [9] Cancio, D. Estudio del impacto radiológico de las centrales térmicas de carbón sobre sus entornos. Colección Informes Técnicos 34.2012. CSN, Madrid.
- [10] CORES. (<http://www.cores.es/>).
- [11] T. Ortiz, P. Carboneras. Management of scrap metal contaminated with radionuclides of natural origin. Naturally Occurring Radioactive Material (NORM VI). Proceedings of an International Symposium. IAEA, 2011.