

CONAMA 2022

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Morteros y hormigones sostenibles: radioactividad natural, exhalación de radón e interacción con el medio ambiente



CONAMA 2022

MORTEROS Y HORMIGONES SOSTENIBLES: RADIOACTIVIDAD NATURAL, EXHALACIÓN DE RADÓN E INTERACCIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

Autora Principal: Mónica Vicent Cabedo (ITC-AICE)

Otros autores: Jose Antonio Suárez Navarro (CIEMAT); Francisca Puertas Maroto (IETcc-CSIC); M^a Teresa Blanco Varela (IETcc-CSIC); M^a José Suárez Navarro (UPM); Juan Carlos Mora Cañadas (CIEMAT); Lluís Pujol Terex (CEDEX); Mar Alonso López (IETcc-CSIC)*

* **Autora de contacto:** mmalonso@ietcc.csic.es

ÍNDICE

1. Título
2. Resumen
3. Palabras clave
4. Introducción
5. Objetivos del proyecto
6. Resultados esperados
7. Bibliografía

1. TÍTULO

Morteros y hormigones sostenibles: radiactividad natural, exhalación de radón e interacción con el medio ambiente

2. RESUMEN

Desde hace más de 20 años, la comunidad científica y los agentes sociales están incidiendo en la necesidad urgente de adoptar medidas para frenar el cambio climático y favorecer la economía circular, mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (fundamentalmente CO₂), la optimización del uso de los recursos naturales y la reutilización de residuos y subproductos industriales. En este sentido, el sector de la construcción, aunque es un importante motor económico y social a escala mundial, tiene un gran impacto negativo desde el punto de vista energético y medioambiental. Son necesarias acciones urgentes encaminadas a reducir el impacto ambiental de este sector, una de las cuales es el desarrollo de materiales de construcción con propiedades de alta calidad valorizando residuos y subproductos industriales en la preparación de los mismos y con menor huella de CO₂.

Los morteros y hormigones sostenibles pueden contener residuos clasificados como materiales radiactivos naturales (NORM) o materiales geológicos con un alto contenido radiactivo (p.ej. granitos). Las cenizas volantes de centrales eléctricas, las escorias de altos hornos, los residuos de fosfoyesos y los lodos rojos son algunos ejemplos de residuos NORM. Para ser aptos para su uso en materiales de construcción, los materiales NORM deben presentar características y propiedades tecnológicas adecuadas sin constituir un peligro de radiación externa para los seres vivos o su entorno. En este sentido, la Directiva 2013/59/EURATOM establece el límite de exceso de radiación gamma externa procedente de los materiales de construcción, sin considerar el fondo natural, de 1 mSv por año. Además, hay legislación con respecto a los límites máximos de concentración de actividad anual de gas radón en el interior de las viviendas, a menudo procedente de materiales de construcción portadores de materiales NORM. El objetivo general que se persigue con el proyecto HRRADIONEX es determinar el efecto de los residuos NORM y

MORTEROS Y HORMIGONES SOSTENIBLES: RADIOACTIVIDAD NATURAL, EXHALACIÓN DE RADÓN E INTERACCIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

de los materiales con alto contenido en radionucleidos naturales (pertenecientes a las series radiactivas naturales de uranio, actinio y torio junto con el ^{40}K) sobre los niveles de radiactividad y gas radón emitidos por los morteros y hormigones sostenibles y en materiales con propiedades cerámicas en cuanto al cumplimiento de la legislación sobre exposición personal a las radiaciones ionizantes y la compatibilidad con la protección del medio ambiente. Los objetivos específicos que se persiguen con este fin son la caracterización radiológica, química y mineralógica de los residuos NORM utilizados para materiales de construcción sostenibles; el desarrollo de técnicas de medida de la radiación gamma para sistemas no uniformes como los morteros y hormigones; y la determinación de la radiactividad natural, la emisión de radón y la lixiviabilidad de los radionucleidos en esos materiales sostenibles. Los resultados tendrán un impacto considerable en la industria, la economía, la sociedad y el medio ambiente.

3. PALABRAS CLAVE

Valorización de residuos NORM, Cementos, Hormigones, Cerámicas, Radiactividad

4. INTRODUCCIÓN

El 25 de septiembre de 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y España, junto con otros 192 países, se sumó al acuerdo de cumplir los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas para el año 2030 en el marco de esta acción [1]. El compromiso de España en este sentido se recoge de forma inequívoca en la "Agenda 2030" [2]. Por otra parte, en diciembre de 2019, la Comisión Europea publicó el "Pacto Verde Europeo" [3] que pretende dar respuesta a los retos tanto climáticos como medioambientales, fundamentalmente a través de dos grandes acciones: a) la eliminación de las emisiones netas de gases de efecto invernadero para 2050 y b) el crecimiento económico desvinculado del uso de recursos. Esta segunda acción está estrechamente relacionada con la Estrategia Española de Economía Circular, en la que se pretende que los residuos se conviertan en materia prima y, por tanto, que los residuos tiendan a cero [2].

En cuanto a la primera gran acción del "Pacto Verde Europeo", hay que tener en cuenta que, aunque el sector de la construcción es un importante motor económico y social a escala mundial, tiene un gran impacto energético y medioambiental. La fabricación de diferentes materiales de construcción implica la emisión de grandes cantidades de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera.

El hormigón es el principal material de construcción, siendo de hecho el material artificial más utilizado por el ser humano en el mundo. El principal componente del hormigón es el Cemento Portland Ordinario (OPC), que se compone principalmente de *clinker* al que se le añade un retardador de fraguado, que suele ser yeso, en una proporción de alrededor del 6%. Se ha estimado que por cada tonelada (1000 kg) de *clinker* producido, se emiten a la atmósfera 0,8 toneladas de CO_2 , lo que representa alrededor del 7-8% de las emisiones antropogénicas globales de CO_2 en todo el mundo [4]. Además de esto, la fabricación de cemento requiere grandes cantidades de recursos naturales debido a la explotación de canteras y al consumo de combustibles fósiles, con la consiguiente generación de altos costes económicos, energéticos y ambientales.

MORTEROS Y HORMIGONES SOSTENIBLES: RADIOACTIVIDAD NATURAL, EXHALACIÓN DE RADÓN E INTERACCIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

Las alternativas propuestas para reducir la huella de carbono en la industria del cemento pueden clasificarse en diferentes estrategias, como la optimización de la eficiencia de la producción o la utilización de recursos energéticos alternativos. Sin embargo, una de las estrategias más importantes es el enfoque de "cambio de producto", que implica, por un lado, la producción de cemento con un menor contenido de *clinker* y su sustitución por Materiales Cementantes Secundarios (SCM), en muchos casos, residuos o subproductos industriales, y por otro lado, el desarrollo de nuevos cementos ecoeficientes. En definitiva, son tres las vías generales de actuación:

a) **Sustituciones parciales o totales del *clinker* como SCM** ya recogidos en la norma europea [5] que contemplan la posibilidad de utilizar adiciones como escorias de alto horno, humo de sílice, puzolanas naturales, cenizas volantes, etc. Sin embargo, hay muchos más residuos que pueden utilizarse potencialmente como adiciones, como los residuos de la agricultura y la acuicultura [6], nuevos materiales puzolánicos [7] o lodos de distinta naturaleza [8] que aún no están contemplados en las normas europeas.

b) **Utilización de residuos en la producción de morteros y hormigones sostenibles.** Son aquellos hormigones que se basan en una formulación convencional, pero que contienen diferentes residuos y en diferentes proporciones en su producción, lo que hace que sean considerados como hormigones sostenibles. Además, también cumplen con los requisitos técnicos exigidos en cada caso para su uso. En estos morteros y hormigones "verdes", estos residuos se utilizan como "*filler*", o como sustitución parcial del cemento o de los áridos. Estos "hormigones verdes" presentan la ventaja de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, limitar el uso de recursos naturales y promover el uso de residuos en la producción de hormigón. Los residuos y subproductos que se suelen utilizar son: residuos de construcción y demolición, cenizas volantes de centrales eléctricas, escorias de altos hornos, lodos o residuos mineros y cenizas de biomasa, etc. [9, 10].

c) **Desarrollo de nuevos materiales cementantes ecoeficientes**, incluyendo el desarrollo de cementos y geopolímeros activados por álcalis, que se basan en la activación alcalina de aluminosilicatos o precursores de origen natural o artificial, en muchos casos residuos o subproductos industriales. La fabricación de morteros y hormigones activados alcalinamente, que por tanto son también sostenibles, es un paso evidente hacia el compromiso con la sostenibilidad en la construcción.

La fabricación de materiales cerámicos, aunque en mucha menor medida, también requiere un elevado consumo energético y es responsable de la emisión de grandes cantidades de gases contaminantes a la atmósfera, principalmente debido al proceso de cocción, tales como CO, Cl₂, NH₃, SO₂ y NO, entre otros, así como la emisión de CO₂. La fabricación de materiales cerámicos sostenibles, que incorporarían diversos residuos en su formulación [11] y la supresión del proceso de cocción tradicional, generando materiales cerámicos mediante procesos alternativos (activación alcalina) [12], son vías cada vez más importantes y prometedoras para ser materiales sostenibles con la menor huella de carbono posible.

Sin embargo, en los últimos años se ha observado que en muchos casos estos residuos y subproductos industriales son materiales con un contenido de radionucleidos naturales superior a los que normalmente se encuentran en la naturaleza, lo que podría implicar un riesgo radiológico no deseado. Es decir, son materiales NORM "Naturally Occurring Radioactive Materials" Estos materiales pueden dividirse en dos grandes grupos: a) materiales geológicos

MORTEROS Y HORMIGONES SOSTENIBLES: RADIOACTIVIDAD NATURAL, EXHALACIÓN DE RADÓN E INTERACCIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

con una alta concentración de actividad de radionucleidos naturales y, b) residuos NORM. Se trata de residuos procedentes de la explotación minera o de la fabricación industrial que presentan una mayor concentración de radionucleidos naturales respecto a las materias primas [13,14]. Entre estos residuos NORM se encuentran muchas de las adiciones actuales del cemento, como las cenizas volantes (FA) o las escorias de alto horno (S), u otros residuos que se incluyen en los materiales cementantes sostenibles no convencionales (fosfoyesos, lodos rojos, arcillas, etc.) o los residuos de lodos mineros utilizados en la producción de morteros y hormigones.

Los radionucleidos naturales son aquellos pertenecientes a las series radiactivas del uranio, actinio y torio (^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th) junto con el ^{40}K presentes en la práctica totalidad de los componentes de la corteza terrestre. La Directiva 2013/59/EURATOM [15] establece en su artículo 75 el límite de exceso de dosis efectiva (sin tener en cuenta la dosis absorbida de fondo ambiental estimado en 50 nGy h^{-1}) a aplicar para la exposición a la radiación gamma externa en recintos cerrados debido a materiales de construcción, que será de 1 mSv y se calculará a través del índice de concentración de actividad gamma (ACI). Este índice, se calcula a partir de la concentración de actividad (Bq kg^{-1}) ($C_{226\text{Ra}}$, $C_{232\text{Th}}$ y $C_{40\text{K}}$) según la siguiente expresión:

$$ACI = \frac{C_{226\text{Ra}}}{300} + \frac{C_{232\text{Th}}}{200} + \frac{C_{40\text{K}}}{3000}$$

Además, en el Anexo XIII de la presente Directiva se enumeran los tipos de materiales de construcción que deben tenerse en cuenta en relación con la radiación gamma emitida a que se refiere el artículo 75. Esta lista incluye materiales naturales como pizarras de aluminio, materiales ígneos o aditivos (granitos, puzolanas, tobas, lava, etc.), así como materiales que incorporan residuos de industrias que procesan material radiactivo natural o residuos NORM, utilizados habitualmente en la construcción.

5. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El proyecto HERRADIONEX (MORTEROS Y HORMIGONES SOSTENIBLES: RADIOACTIVIDAD NATURAL, EXHALACIÓN DE RADÓN E INTERACCIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE) con referencia PID2020-116002RB-I00, tiene como objetivo principal: **Determinar el efecto de los residuos NORM y de los materiales geológicos con alto contenido en radionucleidos naturales sobre los niveles de radiactividad y exhalación de radón de morteros y hormigones sostenibles, así como garantizar la seguridad de su uso mediante el cumplimiento de la normativa sobre la exposición de las personas a las radiaciones ionizantes, además de ser compatible con la protección del medio ambiente.**

Para lograr este objetivo general, se han fijado una serie de objetivos específicos que se alcanzarán mediante la ejecución de las actividades y tareas necesarias:

- Determinar la concentración de actividad de los radionucleidos pertenecientes a las series radiactivas naturales del uranio, actinio y torio junto con el ^{40}K en los materiales utilizados en la preparación de morteros y hormigones sostenibles.
- Establecer una metodología de medida mediante espectrometría gamma adaptada a la geometría de las probetas utilizadas en los diferentes ensayos de resistencia realizados

MORTEROS Y HORMIGONES SOSTENIBLES: RADIOACTIVIDAD NATURAL, EXHALACIÓN DE RADÓN E INTERACCIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

al hormigón.

- Determinar la radiactividad natural en diferentes hormigones y morteros sostenibles (elaborados con diferentes residuos).
- Determinar la capacidad de lixiviación de elementos tóxicos/peligrosos y radionúclidos naturales en morteros y hormigones sostenibles en diferentes medios.
- Determinar la exhalación de ^{222}Rn en morteros y hormigones sostenibles y establecer su relación con parámetros físico-químicos del material.
- Establecer los factores necesarios para estimar las dosis absorbidas por el ser humano debido a la exposición a la radiación gamma teniendo en cuenta los resultados obtenidos.

6. RESULTADOS ESPERADOS

A través de las actividades y tareas del proyecto HORRADIONEX se pretende alcanzar una serie de resultados entre los que destacan:

- Establecimiento de una amplia base de datos de materiales y residuos empleados en construcción en España y determinar las posibles relaciones entre la naturaleza y composición química de estos materiales utilizados en la preparación de morteros y hormigones sostenibles con respecto a su contenido radiactivo
- Determinación del contenido radiológico de morteros y hormigones sostenibles empleando una nueva metodología de medida de espectrometría gamma desarrollada en el transcurso del proyecto.
- Establecimiento de la metodología de lixiviación más adecuada para los radionucleidos pertenecientes a las series radiactivas naturales del uranio, actinio y torio (^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th), con el fin de establecer una clasificación de los hormigones estudiados según su mayor o menor capacidad de lixiviación.
- Determinación de la exhalación del gas radón (^{222}Rn) de hormigones y morteros con diferentes composiciones y establecer sus propiedades como posibles elementos aislantes frente al ^{222}Rn .
- Determinación del contenido radiológico y de la exhalación del gas radón (^{222}Rn) de materiales cerámicos tradicionales frente a nuevos materiales cerámicos alternativos.

Estos resultados tendrán un impacto tanto científico y técnico, como social y económico:

6.1. Científicos y técnicos

La consecución de los objetivos de este proyecto supondrá un importante avance en el conocimiento en el campo de los residuos NORM, siendo también novedoso en morteros y hormigones sostenibles. Las empresas que fabrican materiales de construcción incorporan residuos NORM en morteros y hormigones, pero carecen de los datos y conocimientos

MORTEROS Y HORMIGONES SOSTENIBLES: RADIOACTIVIDAD NATURAL, EXHALACIÓN DE RADÓN E INTERACCIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

necesarios para medir las consecuencias de esta incorporación sobre la salud humana y el medio ambiente. Tras este proyecto, dispondrán de metodologías que les permitirán incorporar estos materiales de forma segura y cumplir con la normativa sobre la protección radiológica de las personas y el medio ambiente y la garantía de calidad y seguridad de sus productos. Si se logran los objetivos, podría establecerse un sello de cumplimiento de seguridad radiológica que diera una ventaja competitiva a las empresas que lo tuvieran.

Los resultados esperados del presente proyecto permitirán el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de lucha contra el cambio climático y de gestión de residuos. En concreto, los resultados contribuirán a las prioridades del Reto 5 establecidas en el Plan Estatal I+D+I 2017-2020: a) favorecer la transición a una economía baja en carbono y avanzar hacia el desarrollo sostenible; b) Desarrollo de la Economía Circular y c) tratamiento de residuos.

6.2. Impacto social y económico

El conocimiento de la concentración de actividad de los radionucleidos naturales en morteros y hormigones sostenibles antes y después de su puesta en obra, y en una fase posterior, la modelización de las emisiones de radón, hacen que los resultados de este proyecto tengan un alto impacto social a nivel de salud y seguridad en los edificios. Además, el conocimiento de la exhalación del radón (^{222}Rn) por parte de morteros y hormigones es también un tema de gran impacto social. Al ser el radón un factor de riesgo de cáncer, es un tema de actualidad en diferentes medios de comunicación y una preocupación para gran parte de la sociedad. Por ello, garantizar que los materiales estudiados cumplan con el Código Técnico de la Edificación tiene una gran importancia social.

Finalmente, desde el punto de vista económico, la utilización de estos residuos en la elaboración de morteros y hormigones sostenibles tiene un claro impacto económico, ya que permitirá tanto la eliminación controlada de los residuos que hoy en día suelen ir a vertederos, como el desarrollo de nuevos materiales con propiedades y comportamiento controlados y conocidos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Asuntos Sociales y Agenda 2030, www.agenda2030.gob.es/.
- [2] Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación, Plan de acción para la implementación de la Agenda 2030. Hacia una Estrategia Española de Desarrollo Sostenible, 2018.
- [3] EU. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, Consejo Europeo, Comité Económico y Social Europeo y Comité de las Regiones. El Pacto Verde Europeo, Bruselas, 11.12.2019, 2019.
- [4] M.A. Sanjuán et al. CO₂ uptake by Cement-Based Materials: Spanish Case Study. Appl. Sci., 10, 339, 2020.
- [5] Real Decreto 956/2008 de 06/jun, INSTRUCCIÓN PARA LA RECEPCIÓN DE CEMENTOS (RC-08), 2008.

MORTEROS Y HORMIGONES SOSTENIBLES: RADIOACTIVIDAD NATURAL, EXHALACIÓN DE RADÓN E INTERACCIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

- [6] S-Luhar et al. Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: A review, *Comp. Part B*, 175, p. 107076, 2019.
- [7] E. Asensio, et al. Fired clay-based construction and demolition waste as pozzolanic addition in cements. Design of new eco-efficient cements, *J. Clean. Prod.*, 265, p. 121610, 2020.
- [8] Andrade L.G. et al. Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material, *Construc. Build. Mat.*, 233, pp. 939-950, 2019.
- [9] G. Rojo et al. Quaternary blends of portland cement, metakaolin, biomass ash and granite powder for production of self-compacting concrete, *J. Clean. Prod.*, 266, p. 121666, 2020.
- [10] J.A. Suarez Navarro et al. Effect of particle size and composition of granitic sands on the radiological behaviour of mortars, *Bol. Soc. Esp. Cer. Vid.*, 283, 2021.
- [11] B Ngayakamo et al. Development of Eco-Friendly Fired Clay Bricks Incorporated with Granite and Eggshell Wastes, *Environ. Challeng.*, 100006, 2020.
- [12] X. Yupeng et al. Effect of alkali activation on coal fly ash and its role in microwave-sintered ceramic for radionuclide immobilization. *Ceram. Int.*, In press, 2022.
- [13] F. Puertas et al. NORM waste, cements, and concretes. A review, *Mater. Construcc.*, 70, n344, 2021.
- [14] J. Labrincha et al. From NORM by-products to building materials. Naturally Occurring Radioactive Materials in Construction. Integrating Radiation Protection in Reuse (COST Action Tu1301 NORM4BUILDING), pp. 183-252, 2017.
- [15] Directiva 2013/59/EURATOM, <https://www.boe.es/doue/2014/013/L00001-00073.pdf>.