

**RADIOACTIVIDAD  
NATURAL EN AGUAS DE  
CONSUMO HUMANO**

**NATURAL RADIOACTIVITY  
IN WATER FOR HUMAN  
CONSUMPTION**



**LIFE ALCHEMIA**

**SEMINARIO ONLINE 17 JUNIO 2021  
ON-LINE SEMINAR 17 JUNE 2021**



## GESTIÓN DE RESIDUOS NORM: INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS

JUAN CARLOS MORA

Dpto. Medioambiente. CIEMAT

[jc.mora@ciemat.es](mailto:jc.mora@ciemat.es)





## GESTIÓN DE RESIDUOS NORM: INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS

- Qué es NORM
- Gestión convencional de residuos NORM
- Ejemplos de gestión y valorización de residuos NORM
- Residuos NORM de ETAPs

## RADIATIVIDAD NATURAL

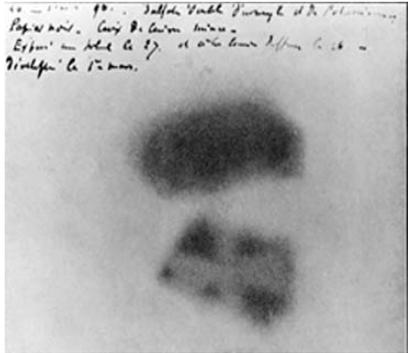


Fig. 3 John and Elsie McLennan leaving Buckingham Palace, August 25, 1917, after the O.B.E. was conferred on McLennan by King George V.

- Rayos cósmicos.
- Radioisótopos naturales en los materiales.
- Separación de radioisótopos no intencionada.
- Incremento de las exposiciones no intencionada.

*NORM (TRS 419): Todos aquellos materiales cuya radiactividad tiene una procedencia natural pero en los que alguna actividad humana ha incrementado el potencial de exposición en comparación con la situación inalterada.*

## LA NORMATIVA INCLUYÓ EN 1996 LA RADIATIVIDAD NATURAL

### TITULO VII

#### Incrementos Significativos en la Exposición Debido a las Fuentes Naturales de Radiación

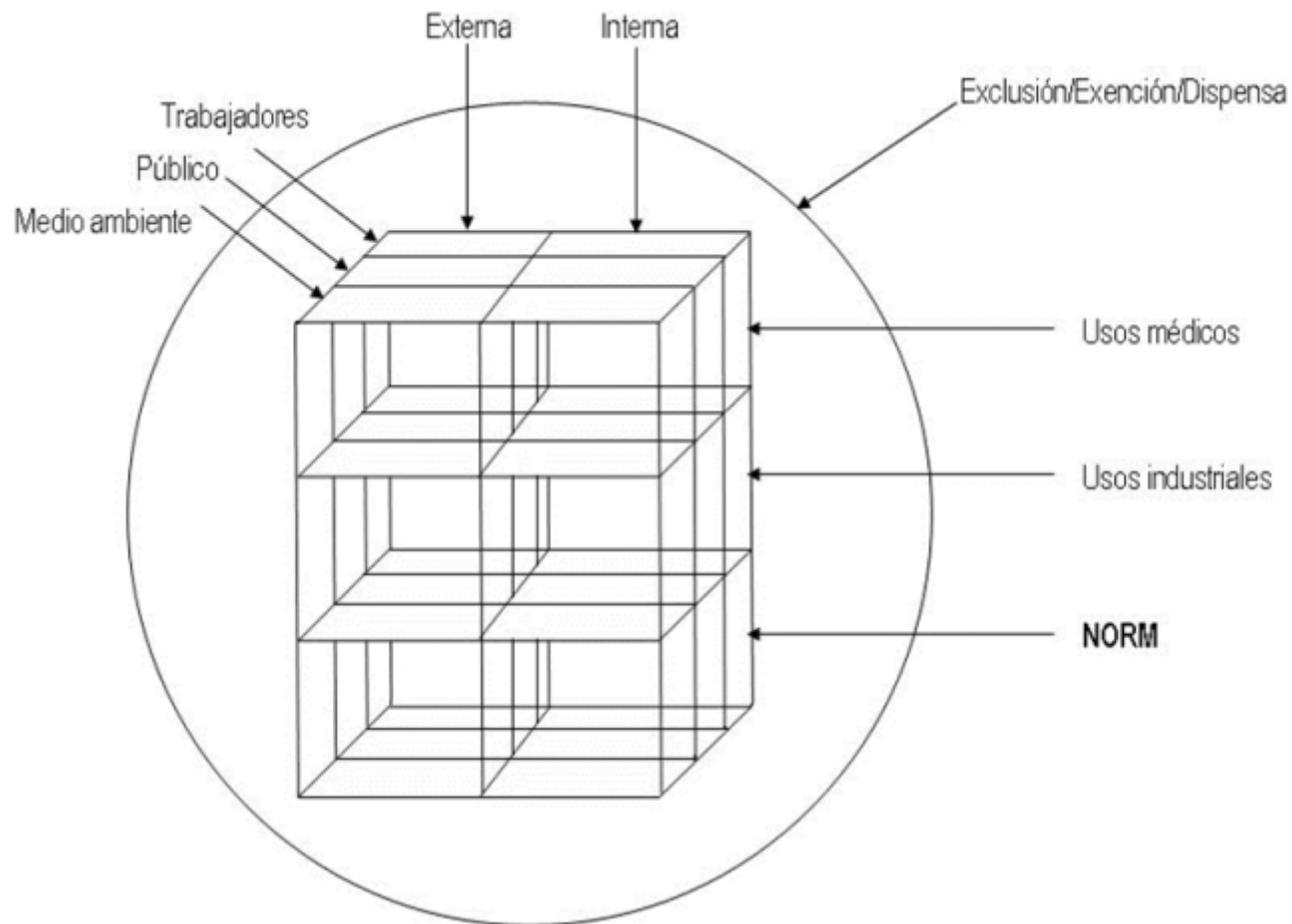
Actividades laborales con exposición a descendientes del torón, radón o a radiación gamma en SPAs, Cuevas, Minas...

Actividades laborales afectadas por materiales generalmente no considerados radiactivos pero que contienen radionucleidos naturales en concentraciones que suponen un incremento significativo de la exposición.

Actividades laborales que producen residuos generalmente no considerados radiactivos pero que contienen radionucleidos naturales que pueden causar un incremento significativo en la exposición.

Operaciones aéreas.

## Control de exposiciones - Exclusión, Exención y Dispensa.



T.F. Gesell y H. M. Prichard. "The Technologically enhanced natural radiation environment." Health Physics. Vol 28. pp 361-366. North Ireland. 1975

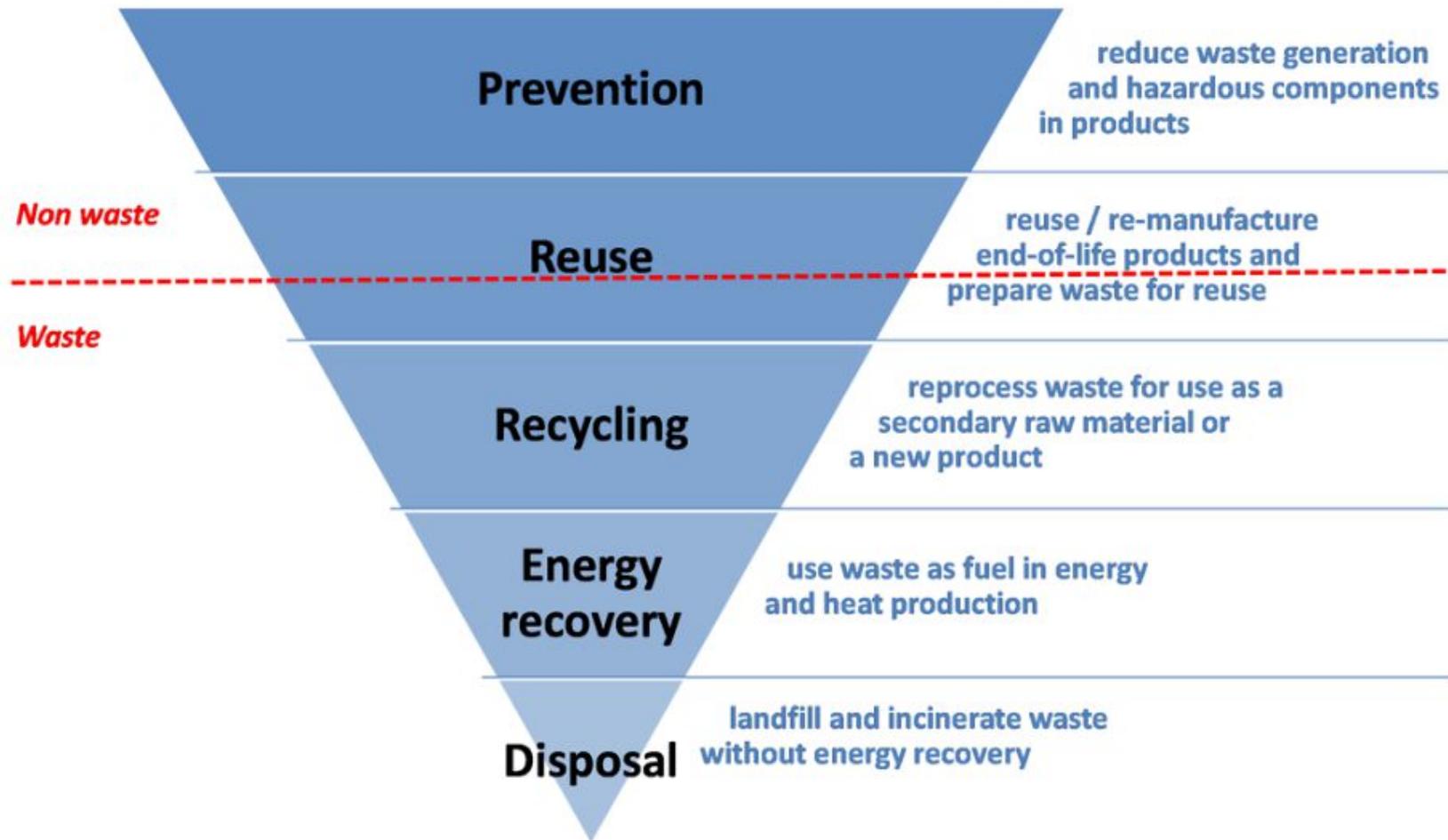
## ¿Cuáles son las industrias NORM?.

2013/59/EURATOM	IS-33
Extracción de tierras raras a partir de monacita	Extracción de tierras raras
Producción de compuestos de torio y fabricación de productos que contienen torio	Producción y utilización del torio y sus compuestos
Procesamiento de mineral de niobio/tantalio	Producción de niobio y ferro-niobio
Producción de petróleo y gas	Producción de gas y petróleo
Producción de cemento, mantenimiento de hornos de clínker	Producción de cemento, mantenimiento de hornos "clinker"
Producción de pigmentos de TiO <sub>2</sub>	Fabricación de pigmentos de dióxido de titanio
- Producción de ácido fosfórico - Producción térmica de fósforo - Producción de fertilizantes fosfatados	Industria del fosfato (producción de ácido fosfórico y fertilizantes fosfatados)
Industria del circón y circonio	Industria del zirconio
- Producción primaria de hierro - Fundición de estaño/plomo/cobre	Producción de estaño, cobre, aluminio, hierro, acero, cinc y plomo
Centrales eléctricas de carbón, mantenimiento de calderas	Centrales térmicas de carbón
Producción de energía geotérmica	
Extracción de minerales distintos de los del uranio	
<b>Instalaciones de filtración de aguas subterráneas</b>	

## ¿Cómo se gestionan los residuos industriales?.

- *Prácticamente todos los procesos industriales generan residuos.*
- Debemos tener en cuenta los residuos sólidos, líquidos y gaseosos.
- De acuerdo con la normativa española se debe llevar a cabo una caracterización de las propiedades químicas y físicas de los materiales sólidos.
- Se debe contemplar una **minimización** de los residuos mediante técnicas como el reciclado, la incineración u otras.
- Los residuos sólidos deben **categorizarse** en función de su contenido en elementos tóxicos orgánicos o inorgánicos. (Niveles de toxicidad)
- Hay muchos métodos para gestionar los residuos sólidos convencionales (no radiactivos)

# The waste hierarchy

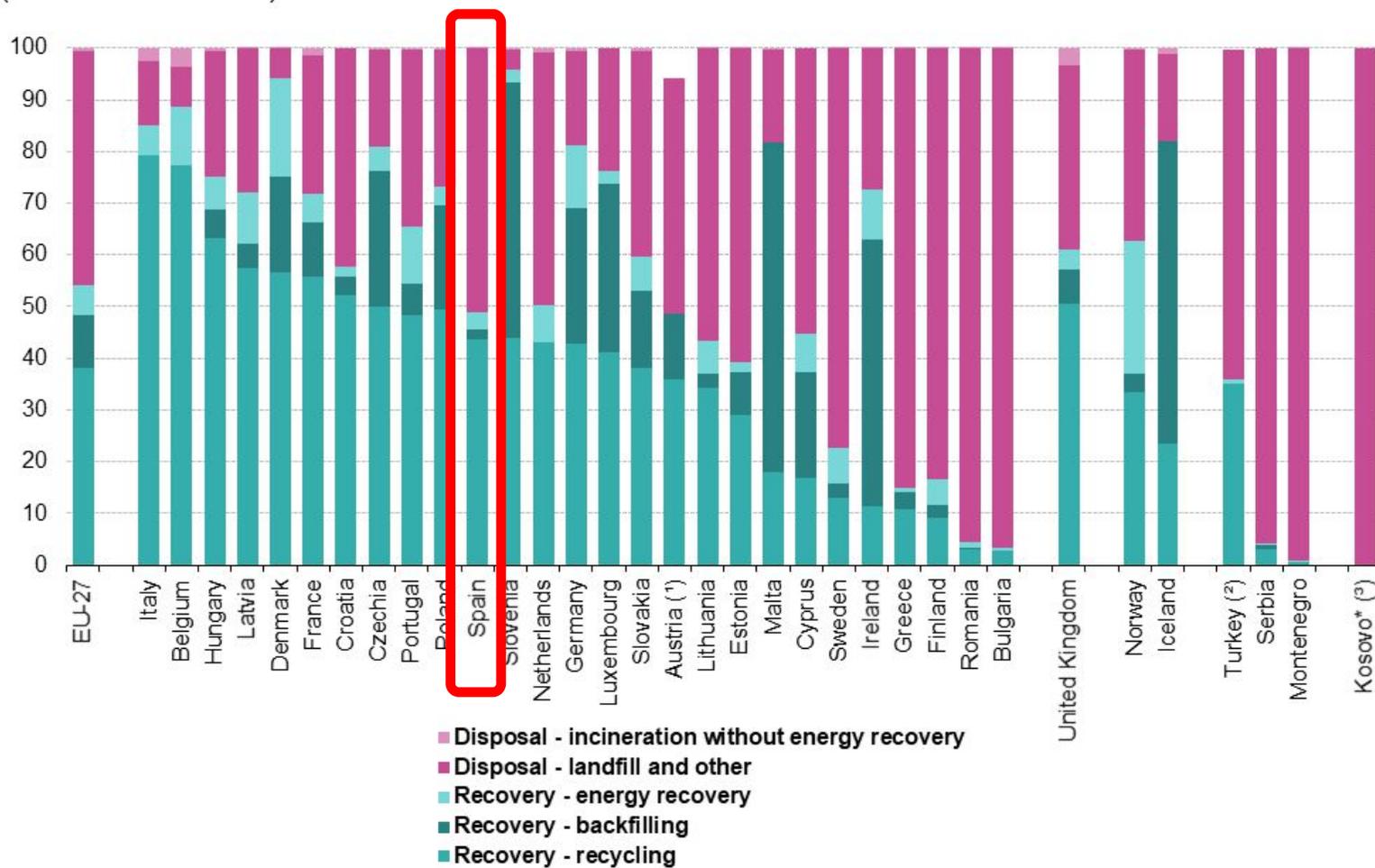


Source: OECD based on various other sources.

Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive)

## Waste treatment by type of recovery and disposal, 2018

(% of total treatment)



(1) No data available for energy recovery and incineration without energy recovery.

(2) No data available for incineration without energy recovery.

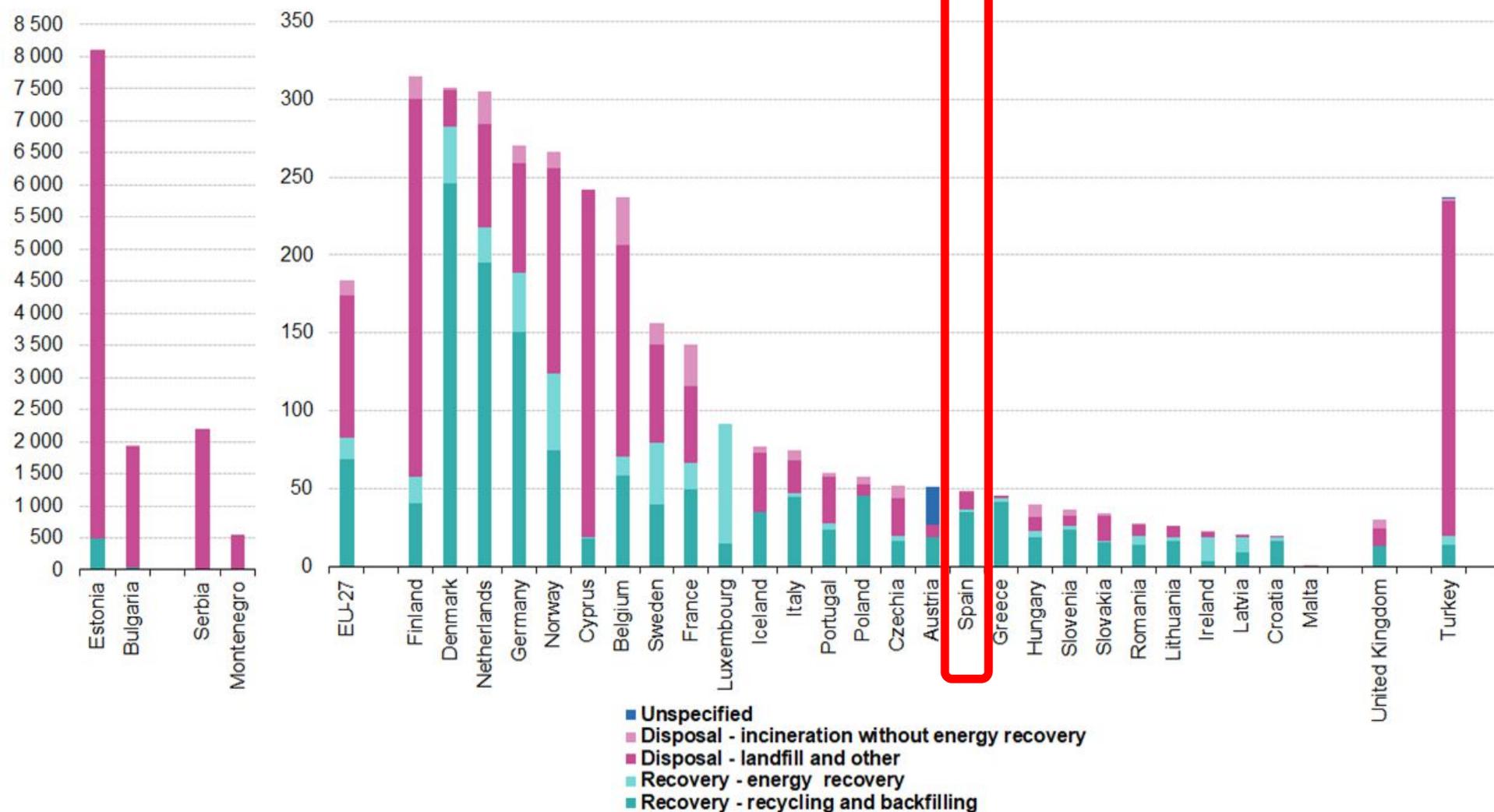
(3) 2016.

\* This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

Source: Eurostat (online data code: env\_wasrtt)

## Hazardous waste treatment, 2018

(kg per capita)



Note: sorted on total hazardous waste treated. The two parts of the figure have different scales for the y-axis.

Source: Eurostat (online data code: env\_wastrt)

# Y...¿QUÉ HACEMOS CON LOS RESIDUOS NORM?

## I. DISPOSICIONES GENERALES

### MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

**11087** Orden IET/1946/2013, de 17 de octubre, por la que se regula la gestión de los residuos generados en las actividades que utilizan materiales que contienen radionucleidos naturales.

El artículo 2.9 de la Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre Energía Nuclear, en la redacción otorgada por la disposición adicional cuarta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, establece que residuo radiactivo es cualquier material o producto de desecho, para el que no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear.

Por su parte, el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, y modificado por Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, establece, en su título VII, disposiciones relativas a las fuentes naturales de radiación.

En el apartado 1 del artículo 62 de este Reglamento se establece que los titulares de las actividades laborales no reguladas en el artículo 2.1 del mismo Reglamento, en las que existan fuentes naturales de radiación, deberán declarar estas actividades ante los órganos competentes en materia de industria de las Comunidades Autónomas en cuyo territorio se efectúan y realizar los estudios necesarios, a fin de determinar si existe un incremento significativo de la exposición de los trabajadores o de los miembros del público que no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica.

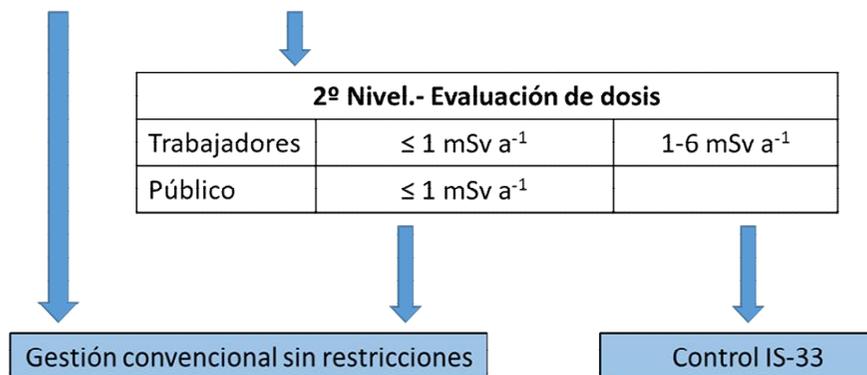
Este mismo artículo incluye en su apartado 1. b), entre las actividades que deben ser declaradas y sometidas a dichos estudios, las actividades laborales que impliquen el almacenamiento o la manipulación de materiales o de residuos que habitualmente no se consideran radiactivos, pero que contengan radionucleidos naturales que provoquen un incremento significativo de la exposición de los trabajadores y, en su caso, de miembros del público.

Por este motivo, en esta orden se recogen los valores de las concentraciones de actividad (niveles de exención/desclasificación) que, en caso de no superarse, permiten abordar directamente la gestión convencional de los residuos procedentes de estas actividades –a los que se denomina residuos NORM, como acrónimo de «Naturally Occurring Radioactive Material» («Material Radiactivo Existente en la Naturaleza»)-, sin ninguna restricción de tipo radiológico. Además, si a través de un estudio de impacto radiológico queda garantizado que la gestión convencional de estos residuos no supone a corto y largo plazo dosis superiores a 1 mSv/año para el público y de 6 mSv/año para los trabajadores, ésta podrá llevarse a cabo de acuerdo con el marco regulador aplicable en la materia, con independencia de la necesidad o no de aplicar medidas correctoras o de protección desde el punto de vista radiológico.

En la selección de los niveles mencionados, se han tenido en cuenta las recomendaciones de la Unión Europea relacionadas con las actividades productoras o gestoras de los residuos NORM, recogidas en el documento «Radiation Protection» 122 parte II. (RP-122 p.II) «Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources» («Aplicación de los conceptos de exención y desclasificación a las fuentes de radiación natural»).

En la tramitación de esta orden se ha sometido su proyecto al trámite de audiencia previsto en el artículo 24.1.c) de la Ley 501997, de 27 de noviembre, del Gobierno y al trámite de participación pública en materia de medio ambiente establecido por el

1 <sup>er</sup> Nivel.- Concentración de radionucleidos		
Cadenas: 238U 235U 232Th	≤ 0.5 Bq g <sup>-1</sup>	> 0.5 Bq g <sup>-1</sup>
40K, 210Po	≤ 5 Bq g <sup>-1</sup>	>5 Bq g <sup>-1</sup>



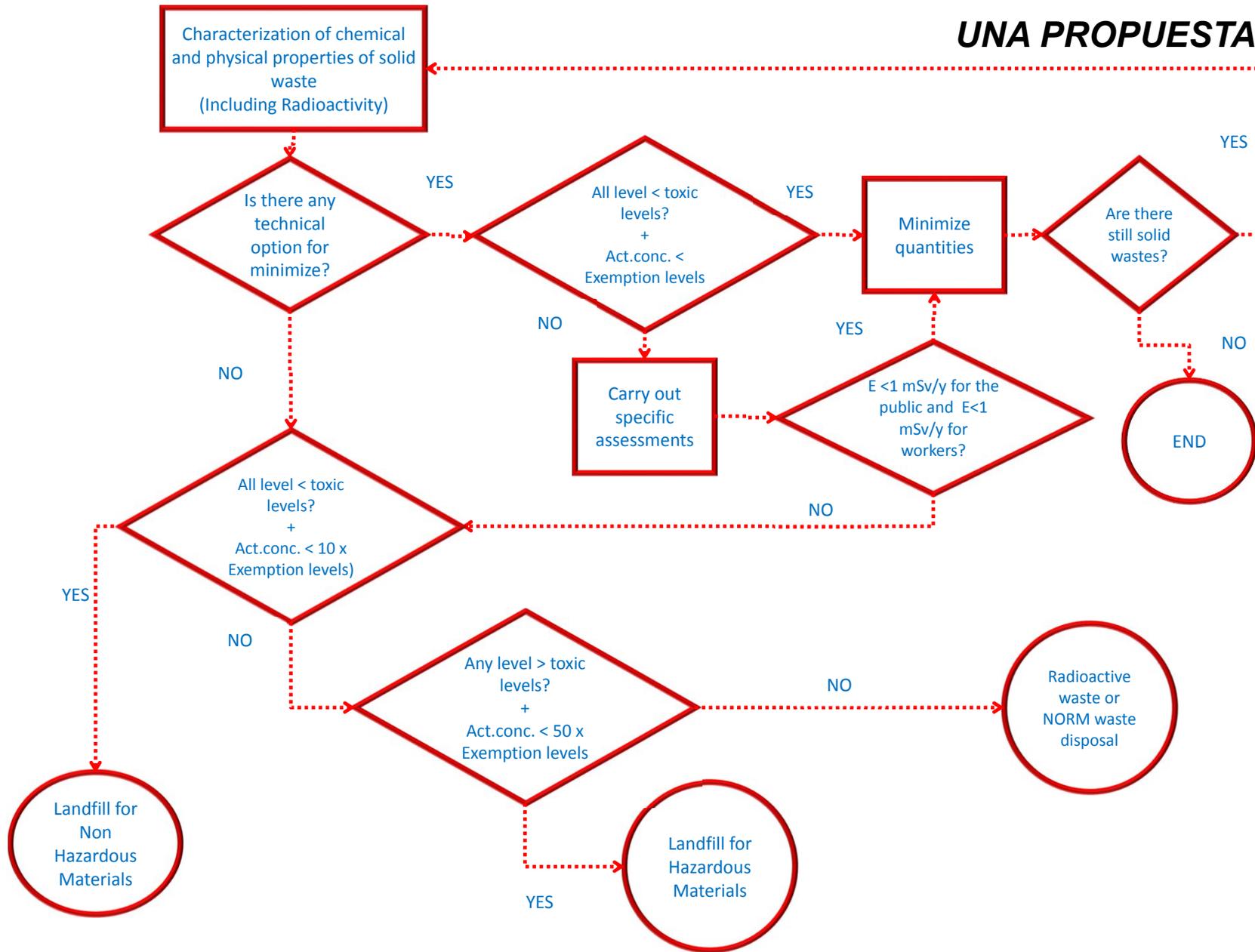
## Y...¿QUÉ HACEMOS CON LOS RESIDUOS NORM?

- **La caracterización de los residuos debe incluir la radioactividad.**
- **Bajo los niveles de exención** → se debe considerar su minimización mediante reciclado u otros medios.
- Tras la minimización, se deben categorizar los residuos de acuerdo con su contenido en tóxicos orgánicos, inorgánicos **o su radioactividad.**
- Para tóxicos orgánicos e inorgánicos existen niveles establecidos. ¿Qué nivel de radioactividad determina si el residuo es tóxico o no? →  $\dot{A} > 10 \times \text{EL}$ ?
- ¿Qué nivel de radioactividad determina si un residuo debe considerarse sólo tóxico o **más que tóxico**? →  $\dot{A} > 50 \times \text{EL}$ ? (¿rad-was-surf-disp?)
- Nota: Otros estudios<sup>1,2</sup> apoyan esta categorización.

1- T. Anderson & S. Mobbs, HPA-CRCE-001. 2010

2- S. Pepin et. al, 4th EAN-NORM Workshop. 2011,

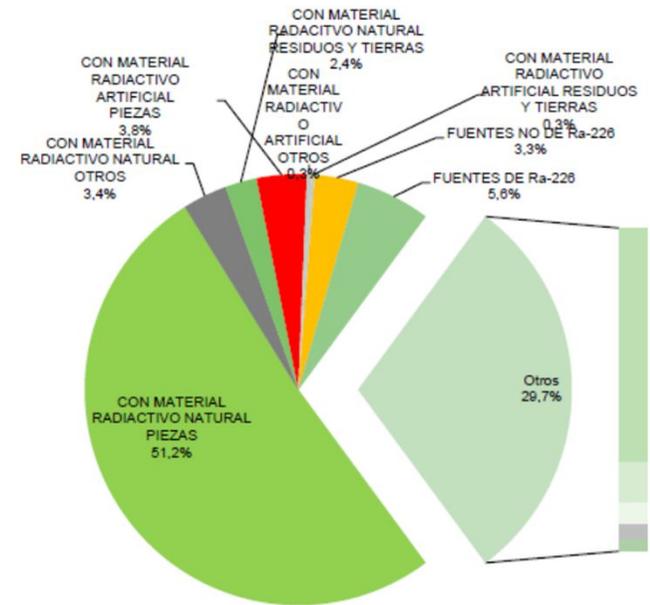
# UNA PROPUESTA DESDE CIEMAT



## REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE.

- ***Debe promocionarse la investigación para buscar alternativas para la reutilización y reciclado de los residuos NORM.***
- ***Una caracterización del residuo puede indicar concentraciones de actividad  $< EL$ , que automáticamente permitiría su reutilización o reciclado usando cualquier alternativa viable.***
- ***Si las concentraciones de actividad  $> EL$  debe existir una evaluación del impacto radiológico, bien genérico para la opción o bien específico para una aplicación con un residuo determinado.***
- ***Todos los implicados: industria, regulador, gobiernos, deben concienciarse e involucrarse en esta filosofía de la economía circular. También en el caso de los residuos NORM.***

# REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE.



 **Journal of Hazardous Materials**  
Volume 173, Issues 1-3, 15 January 2010, Pages 400-470

 **Construction and Building Materials**  
Volume 22, Issue 8, August 2008

 **Building and Environment**  
Volume 42, Issue 2, February 2007, Pages 1036-1042

**Use of fly ash, phosphogypsum in the disposal of hazardous waste**

Semra Çoruh, Osman Nuri Ergun

**Utilization of phosphogypsum as raw material in the manufacturing of building products**

Nurhayat Değirmenci

**Cleaner phosphogypsum, coal combustion ashes for application in building materials**

L. Reijnders

 **Journal of Hazardous Materials**  
Volume 150, Issue 3, 11 February 2008, Pages 541-545

**Radiological aspects of the usability of red mud as building material additive**

János Somlai<sup>a</sup>, Viktor Jobbágy<sup>a</sup>, József Kovács<sup>b</sup>, Sándor Taján<sup>c</sup>, Tibor Kovács<sup>a</sup>

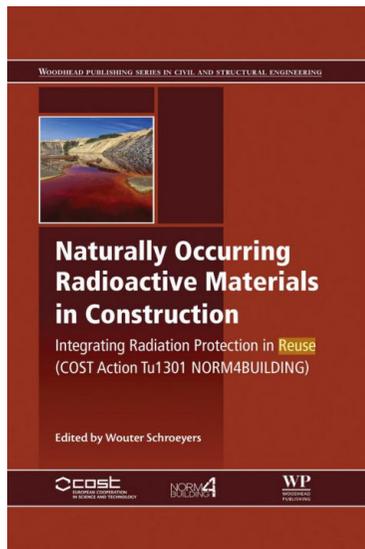
## REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE.

<b>NORM residues</b>	<b>Products and/or reuse options</b>
Small amounts of metals with high activity concentration	Metal recycling
Phosphogypsum	Soil improvement Fertilizer Building materials Landfills cover Water purification Road construction
Slag	Road construction
Liquid residues	Reuse, closed-circuit process
Tailings	Underground backfill

## REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE.

<b>NORM residues</b>	<b>Products and/or reuse options</b>
Fly ash Bottom ash	Road construction Cement industry Fertilizer and soil conditioner Inclusion concrete
Decommissioned constructions materials (concrete, soil, bricks, etc)	Gravel
Rock	Cover material for tailing ponds
Mineralized rock	Metal extraction
Solid residues from TiO <sub>2</sub>	Backfill into remediated sites
Red mud	Backfill into remediated sites

## ***NORM como materiales de construcción.***

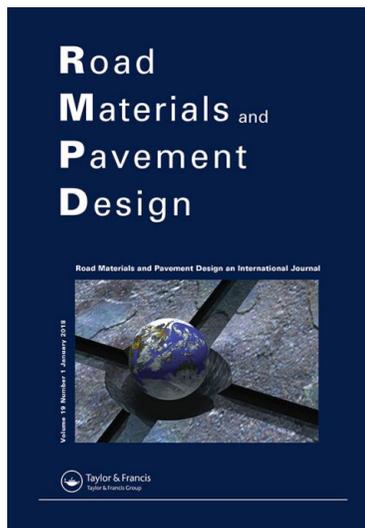


**2017**

When by-products are investigated for use in construction materials then many factors have to be evaluated, taking into account the presence of trace elements, such as metals and naturally occurring radionuclides.

The main objective [...] is to **investigate and evaluate the use of by-products [from NORM industries] in construction.**

**2017**



Given the large quantities of natural materials used daily in road building, it is necessary to **find a way to reduce its adverse environmental impact.** The modern approach is the application of new materials, usually waste ones, resulting in the preservation of natural materials but also the reduction of waste materials in dumping sites. In this study, steel slag as waste material in steel production is validated for its usage in road construction based on its potential adverse environmental impact through a multidisciplinary approach

***NORM en materiales de construcción (viviendas).***

$$I = C_{\text{Ra226}}/300 \text{ Bq/kg} + C_{\text{Th232}}/200 \text{ Bq/kg} + C_{\text{K40}}/3\ 000 \text{ Bq/kg}$$

# GESTIÓN DE RESIDUOS NORM EN VERTEDEROS.

Una publicación de ENRESA • N° 116 • invierno 2016

**ESTRATOS**  
MÁS DE 25 AÑOS DIVULGANDO CIENCIA

El arte de la imagen científica



Dendrocronología: el tiempo en los árboles, el mejor registro

Luis Moreno  
catedrático de Ingeniería de  
Sistemas y Automática  
"Los países más ricos del mundo  
son los que más riqueza emplean"

La gestión convencional de los residuos generados en las industrias NORM: Uso de vertederos de residuos industriales



Vista de un vertedero de residuos industriales.

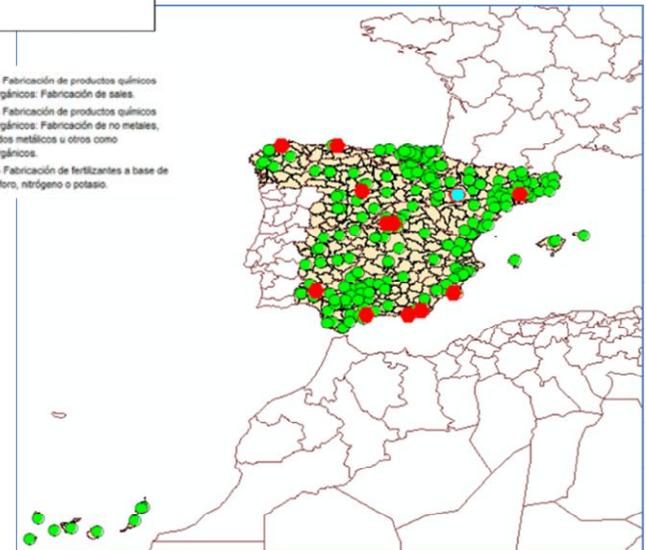
## LA GESTIÓN CONVENCIONAL DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LAS INDUSTRIAS NORM USO DE VERTEDEROS DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Hasta la publicación del Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (RPSRI), no se planteó que las actividades laborales que pudieran incrementar la exposición a las radiaciones ionizantes naturales podían controlarse. En él se incluyó a las industrias NORM, en las que se almacenan o manipulan materiales o residuos que, sin ser radiactivos, contienen radionucleidos naturales en niveles que podrían producir incrementos significativos en las exposiciones. En 2013, una Orden Ministerial establecía poder hacer una gestión convencional de estos residuos y, como los vertederos de residuos industriales ha sido una opción muy utilizada, Enresa y Ciemat han colaborado para conocer qué problemas habría para seguir usándolos.

A cargo: JUAN CARLOS MORA Y ALLA DVORZHAK. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE PROTECCIÓN RADICOLÓGICA DEL PÚBLICO Y DEL MEDIO AMBIENTE, DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE DEL CIEMAT



- A1- Refino de petróleo o de crudo de petróleo
- A1- Combustión de combustibles fósiles, residuos o biomasa, potencia térmica nominal >50MW
- A1- Combustión de combustibles fósiles, residuos o biomasa, potencia térmica nominal >60MW
- A2- Producción de fundición o aceros brutos (Capacidad >2,5 t/h)
- A2- Fundiciones de materiales ferrosos (capacidad producción >20 t/d)
- A2- Producción de metales en bruto no ferrosos: Minerales, concentrados o materias primas secundarias por procesos metalúrgicos, químicos o electroquímicos
- ▲ A2- Producción de metales en bruto no ferrosos: Fusión de metales no ferrosos (>4 t/d plomo y cadmio o >20 t/d resto de los metales)
- A3- Fabricación de productos cerámicos mediante hornado con CaO. Producción >75 t/a o capacidad de hornado >4 m³ y >300 Kg/m³ densidad de carga por horno.
- A4- Fabricación de productos químicos inorgánicos: Fabricación de sales.
- A4- Fabricación de productos químicos inorgánicos: Fabricación de no metales, óxidos metálicos u otros como inorgánicos.
- ▲ A4- Fabricación de fertilizantes a base de fósforo, nitrógeno o potasio.



● Juan C. Mora y Alla Dvorzhak. La gestión convencional de los residuos generados en las industrias NORM: Uso de vertederos de residuos industriales. ESTRATOS – N°116 - 2016

## Assessment for the management of NORM wastes in conventional hazardous and nonhazardous waste landfills

Juan C. Mora<sup>a,c,\*</sup>, Antonio Baeza<sup>b</sup>, Beatriz Robles<sup>b</sup>, Javier Sanz<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Unit for Radiation Protection of the Public and the Environment (PRPYMA) CIEMAT, Avda. Complutense, 40, 28040 Madrid, Spain  
<sup>b</sup> LABUEX, Dpt. Applied Physics, Faculty of Veterinary Science, University of Extremadura, Avda. Universidad, s/n, 10071 Cáceres, Spain  
<sup>c</sup> Energy Engineering Department, Power Engineering, Nuclear Area, ETSI UNED, Spain



### HIGHLIGHTS

- Before 2010 NORM waste is managed as non-radioactive, disposed in landfills.
- After 2010 radiological impact of the management of NORM wastes must be assessed.
- Quantities that can be disposed in hazardous or non-hazardous landfills are given.
- Uncertainty analysis is included to provide consistency to the calculations.

### ARTICLE INFO

**Article history:**  
 Received 19 August 2015  
 Received in revised form 1 February 2016  
 Accepted 18 February 2016  
 Available online 22 February 2016

**Keywords:**  
 NORM wastes management  
 Landfills  
 Exposure assessment

### ABSTRACT

Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) wastes are generated in huge quantities in several industries and their management has been carried out under considerations of industrial non-radioactive wastes, before the concern on the radioactivity content was included in the legislation. Therefore these wastes were conditioned using conventional methods and the waste disposals were designed to isolate toxic elements from the environment for long periods of time. Spanish regulation for these conventional toxic waste disposals includes conditions that assure adequate isolation to minimize the impact of the wastes to the environment in present and future conditions.

After 1996 the radiological impact of the management of NORM wastes is considered and all the aspects related with natural radiations and the radiological control regarding the management of residues from NORM industries were developed in the new regulation. One option to be assessed is the disposal of NORM wastes in hazardous and non-hazardous waste disposals, as was done before this new regulation.

This work analyses the management of NORM wastes in these landfills to derive the masses that can be disposed without considerable radiological impact. Generic dose assessments were carried out under highly conservative hypothesis and a discussion on the uncertainty and variability sources was included to provide consistency to the calculations.

© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

In most industrial processes, materials without any final use are produced. The possibilities for the management of these materials depend mainly on their nature and quantity. Usually gaseous or liquid wastes are precipitated and/or filtered in order to reduce contaminants up to a reasonable level and then diluted into the atmosphere or aquatic bodies. For solid wastes the options for their management are limited [1].

Disregarding radioactive characteristics, a first proper characterization of the physical and chemical properties of the solid material, must be performed. Spanish regulation [2], which is based in an European Directive [3], points out the importance of a first stage addressed to minimize the quantities of solid wastes by recycling or reusing those materials if possible, or by reducing the volumes, this implying a concentration of the activity (compression, incineration or other methods) before the disposal of the final wastes into controlled landfills.

After this treatment of wastes (minimization) has been performed, a later characterization of toxicity (organic or inorganic chemical compounds or physical properties) in the remaining solid wastes must be carried out in order to categorize the resulting waste, considering the levels which would define the hazard of the

\* Corresponding author at: CIEMAT, Avda. Complutense, 40, 28040 Madrid, Spain.  
 E-mail address: [jcmora@ciemat.es](mailto:jcmora@ciemat.es) (J.C. Mora).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.02.039>  
 0304-3894/© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.



J.C. Mora et al. / Journal of Hazardous Materials 310 (2016) 161–169

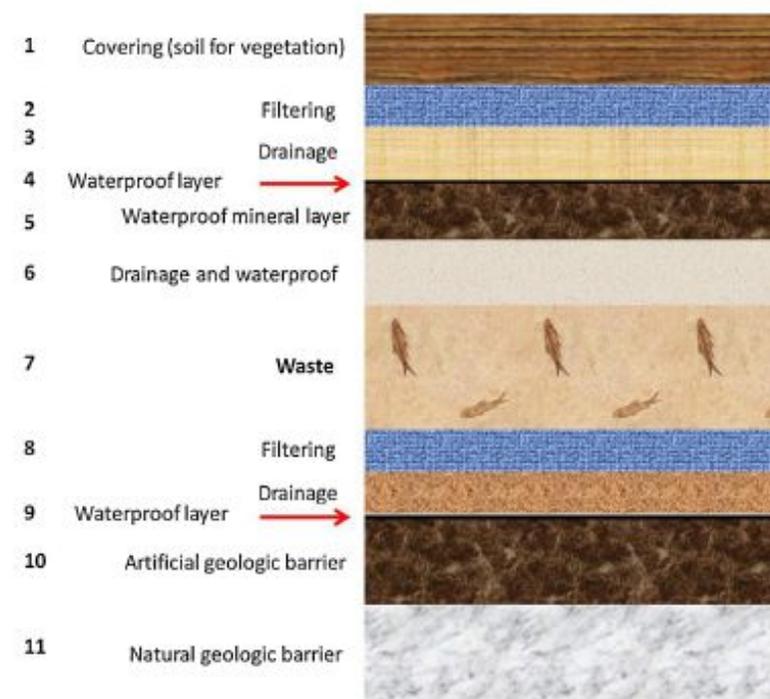
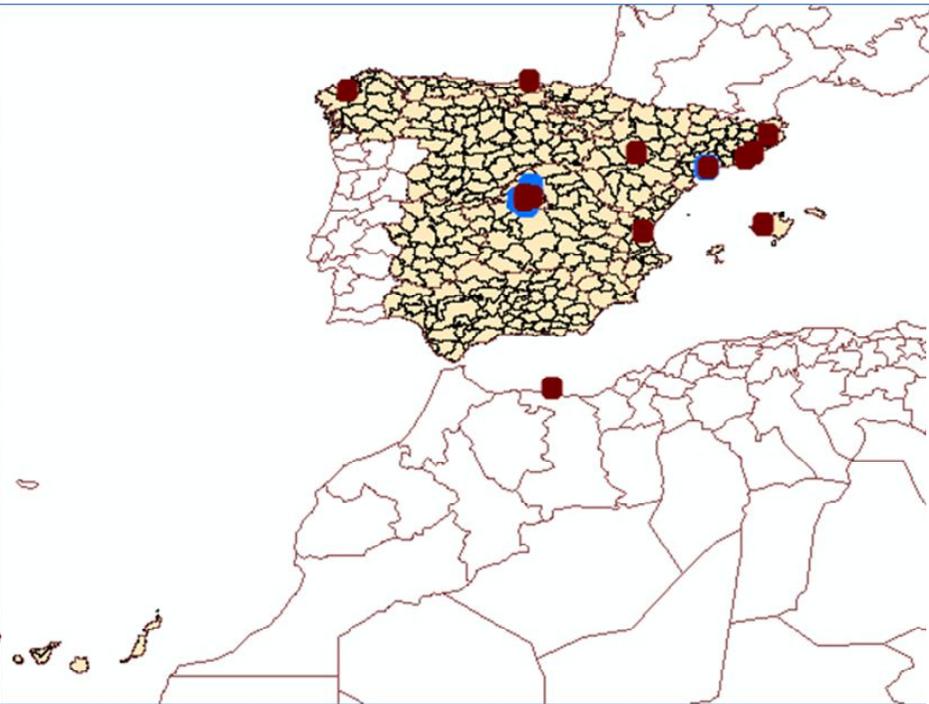


Fig. 3. Barriers included in hazardous waste landfills to avoid their impact to the environment.

Juan C. Mora, Antonio Baeza, Beatriz Robles, Javier Sanz. Assessment for the management of NORM wastes in conventional hazardous and nonhazardous waste landfills. Journal of Hazardous Materials 310 (2016) 161–169.

# INCINERACIÓN.



- *Alla Dvorzhak, Jesus Rodriguez y Juan C. Mora. Estudio técnico sobre tratamiento de material residual NORM en instalaciones de incineración de residuos convencionales en España. CIEMAT/DMA/UPRPYMA/08/2015 - 2015*



IAEA-TECDOC-1000

Integrated Pollution Prevention and Control  
Reference Document on the Best Available  
Techniques for

Waste Incineration

August 2006

**Clearance of  
materials resulting from  
the use of radionuclides in  
medicine, industry and research**

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY IAEA

GUÍA TÉCNICA DE CARACTERIZACIÓN  
Y GESTIÓN DE MATERIALES RESIDUALES  
CON CONTENIDO RADIACTIVO GENERADOS  
EN INVESTIGACIÓN BIOLÓGICA



- *Juan Carlos Mora y Beatriz Robles. Niveles de referencia aplicables a la combustión de materiales residuales con contenido radiactivo incluido en viales de centelleo líquido. CIEMAT/DMA/UPRPYMA/01/10 - 2010*

# MINERÍA DE RECURSOS EN VERTEDEROS CLAUSURADOS.

- **Cenizas volantes → Materiales de construcción**
- **Metano en vertederos**
- **Recursos (metales)**

<https://web.mit.edu/12.000/www/m2016/finalwebsite/solutions/landfill.html>

<https://ec.europa.eu/jrc/en/news/recovering-critical-and-other-raw-materials-landfills-and-mining-waste>



Linköping Studies in Science and Technology  
Dissertation No. 1799

**LANDFILL MINING**  
Institutional challenges for the implementation of  
resource extraction from waste deposits

Nils Johansson

**li.u**  
LINKÖPING UNIVERSITY

Environmental Technology and Management  
Department of Management and Engineering  
Linköping University, SE-581 83 Linköping, Sweden  
Linköping, 2016



**CURSO**

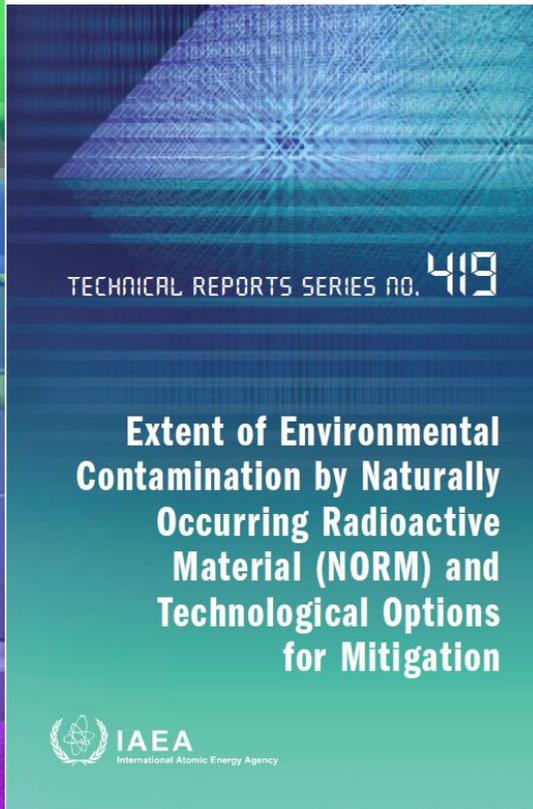
**INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN DE  
VERTEDEROS**

**Complejo Medioambiental de la Costa del Sol  
Casares-Málaga  
(16-17 de Junio de 2010)**

**Biogás de Vertederos**

*Nely Carreras*

## ETAPs.



En España en 1995 la fracción de agua potable obtenida de aguas subterráneas fue del 20%.

La ley de calidad del agua (RD 902/2018) especifica los límites para los contaminantes en el agua de consumo (turbidez, pH, tóxicos,...) incluyendo los requisitos sobre la radiactividad del RD 314/2016 (DIT, alfa y beta totales, radón, tritio, etc.).

El radio tiende a ser más soluble en agua, aunque también se puede encontrar uranio (hasta 24 Bq/l) y algunos descendientes del  $^{232}\text{Th}$ .

Generalmente la relación  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1$  (hasta 28, pero generalmente entre 1 y 3).

$^{222}\text{Rn}$  hasta 588 Bq/l en aguas subterráneas.

$^{210}\text{Po}$  y  $^{210}\text{Pb}$  en concentraciones bajas: 0.7 a 4.4 mBq/l.

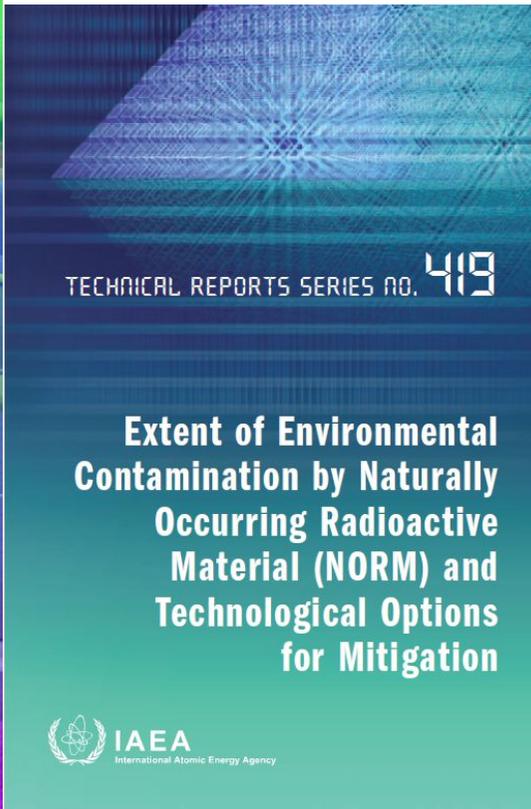
### I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA

7340 *Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, el Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano, y el Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano.*

Cuando se utilizan sistemas para eliminar la radiactividad del agua se obtienen residuos con mayores concentraciones de actividad NORM (en ocasiones importante).

## ETAPs.



El tipo de proceso de purificación del agua eliminará más unos radioisótopos que otros:

Radio:

Resinas de Intercambio catiónico  
Arenisca verde (greensand)  
Coprecipitación con sulfato de bario  
Óxidos de Magnesio hidratados  
Procesos de descalcificación  
Osmosis inversa

Uranio:

Resinas de Intercambio aniónico  
Coagulación/Filtración  
Procesos de descalcificación  
Osmosis inversa

Radón:

Aireación  
Carbón activado granular

Esos radioisótopos se acumularán en los residuos de las ETAP (excepto el radón).

# ETAPs.

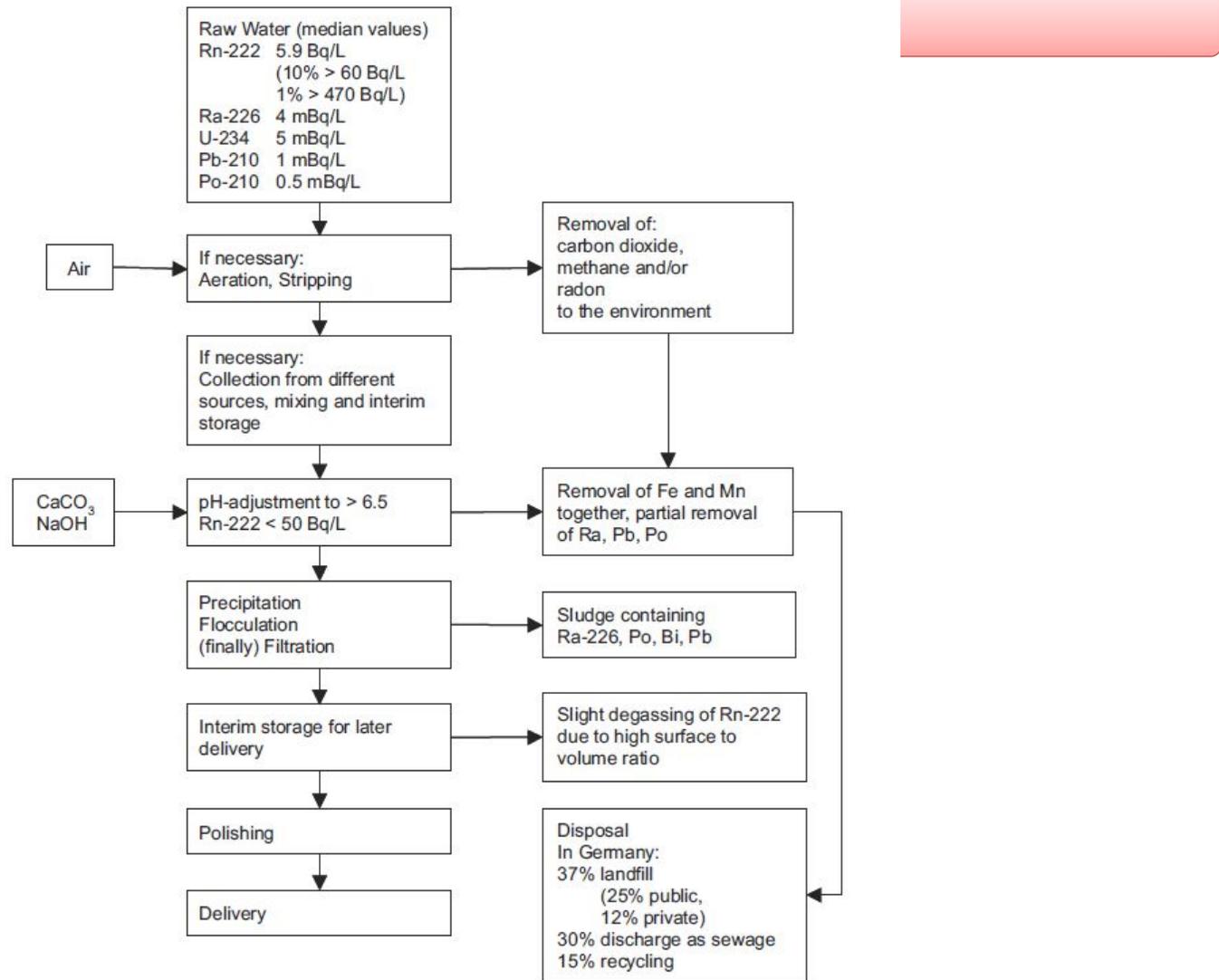
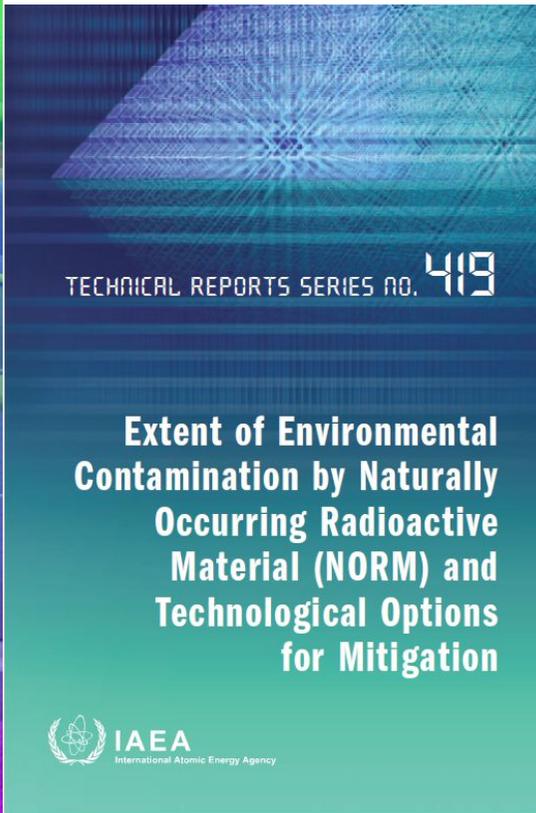


FIG. 18. Typical sequence of drinking water treatment [97].

## Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation

TABLE XVII. CHARACTERISTICS OF SELECTED WATER TREATMENT WASTES (COMPUTED LEVELS) [86]

(waste amounts based on an average throughput of 1 million gallons (=380 000 L) of water per day)

Treatment method	NORM concentration in water (Bq/L)		Waste volume (kg/d)	Approximate radioactivity (Bq/L)
	Raw	Finished		
Coagulation/filtration (U)	1.85	0.37	10 <sup>a</sup>	148
Lime softening (Ra)	0.93	0.46	22 <sup>a</sup>	20.6
Ion exchange (Ra) <sup>b</sup>	0.93	0.19	97 <sup>c</sup>	7.7
Reverse osmosis (U)	1.85	0.56	130 <sup>c</sup>	11.8

<sup>a</sup> Sludges.

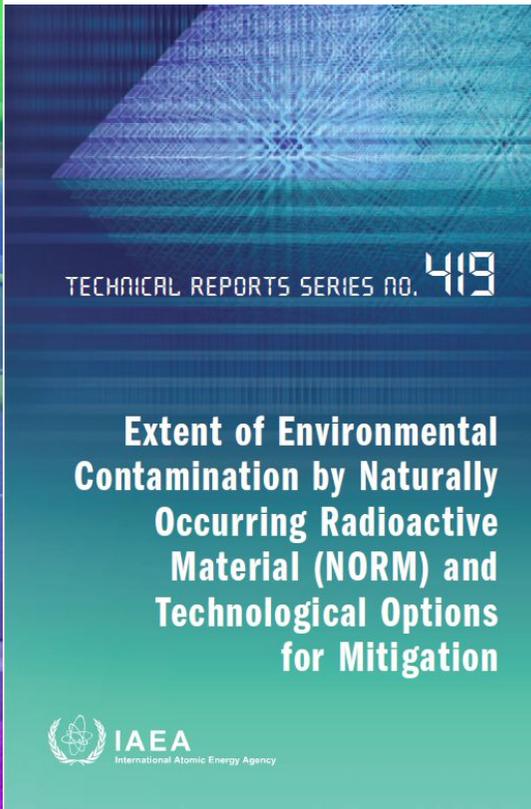
<sup>b</sup> Does not include ion exchange resins, which have much higher radioactivity levels.

<sup>c</sup> Waste.

TABLE XVIII. TYPICAL DATA FOR SLUDGE CONTAINING NATURAL RADIONUCLIDES PRODUCED BY A LARGE WATERWORKS IN GERMANY [97]

Weekly throughput of water	420 000 m <sup>3</sup>
Total activity of this water assuming very conservative estimate of concentration	3 654 000 000 Bq
Total activity taking maximum measured radionuclide content in Germany	588 000 000 Bq
Total activity using median value for tap water in Germany	8 400 000 Bq
Produced sludge per week	15 t
Dry solids in sludge	6 t
Specific activity of dried sludge for different water concentrations:	
– High conservative concentration	600 000 Bq/kg
– Maximum measured concentration	100 000 Bq/kg
– Median concentration for tap water	1 400 Bq/kg

## ETAPs.



Residuos de las ETAP que pueden considerarse NORM:

lodos, filtros de lodos, resinas de intercambio iónico gastadas, carbón activado granulado gastado y las aguas de lavado de los filtros.

Los lodos, calizas, aguas de lavado, medios de intercambio iónico gastados y elementos de filtrado con arena suelen almacenarse en balsas. En estas balsas suele haber una acumulación de radio en los lodos de fondo que podrían necesitar que se dragaran para gestionarlos adecuadamente.

Los lodos también suelen gestionarse en vertederos de residuos industriales, se descargan a la red de alcantarillado, se inyectan en pozos profundos o se utilizan como enmiendas de suelos agrícolas.

El agua de decantación suele reciclarse

Algunas de estas prácticas ya no se permiten, principalmente por la acumulación de metales pesados.

Si se concentran los residuos (por evaporación por ejemplo) se obtendrán mayores concentraciones de actividad y podría necesitar que se gestionaran en vertederos para residuos radiactivos.

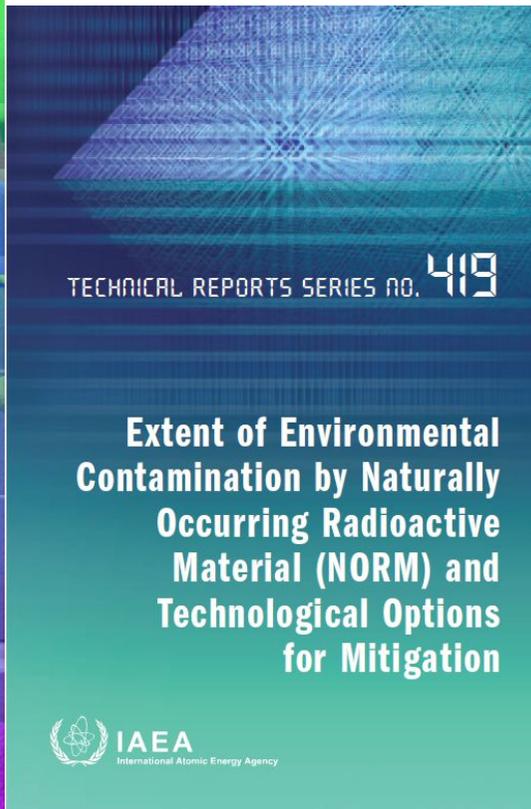


TABLE XIX. DISPOSAL PRACTICES FOR NORM FROM WATER TREATMENT FACILITIES IN THE USA [86]

Liquid waste disposal	Solids/sludge disposal
Direct discharge to surface water  Deep well injection Drying or chemical precipitation  Irrigation Sanitary sewer discharge	Temporary lagooning (surface impoundment) Disposal in landfill – without prior treatment (resins, filter media, granular activated carbon) – after temporary lagooning – after mechanical dewatering Application to land (soil spreading/conditioning) Disposal at licensed low level waste facility

# ETAPs.

IAEA-TECDOC-1712

## Management of NORM Residues

TABLE 2. TYPICAL RADIONUCLIDE ACTIVITY CONCENTRATIONS IN SEDIMENTS AND SLUDGE

Industrial process	Predominant radionuclide	Activity concentration (Bq/g)	
		Minimum	Maximum
Rare earths extraction	$^{228}\text{Ra}$	0.6	10 000
Oil and gas production	$^{226}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$	0.05	1300
Niobium extraction	$^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$	200	500
Zircon chlorination	$^{226}\text{Ra}$	0.3	48
Titanium dioxide pigment production	$^{232}\text{Th}$	<0.1	24
Iron smelting	$^{210}\text{Pb}$	12	100
Water treatment	$^{226}\text{Ra}$	0.1	14
Phosphate fertilizer production	$^{226}\text{Ra}$	1.3	4.3

ETAPs.

Contents lists available at ScienceDirect  
**Journal of Environmental Radioactivity**  
 journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jenvrad](http://www.elsevier.com/locate/jenvrad)

Review

Presence of radionuclides in sludge from conventional drinking water treatment plants. A review

E. Fonollosa, A. Nieto, A. Peñalver, C. Aguilar, F. Borrull\*

Departament de Química Analítica i Química Orgànica, Universitat Rovira i Virgili, Unitat de Radioquímica Ambiental i Sanitària (URAS), Consorcí d'Algues de Tarragona (CAT), Ctra. Nac. 340 Km 1094, 43895 L'Ampolla, Tarragona, Spain



Chemosphere

Volume 97, February 2014, Pages 108–114

Technical Note

Association of naturally occurring radionuclides in sludges from Drinking Water Treatment Plants previously optimized for their removal

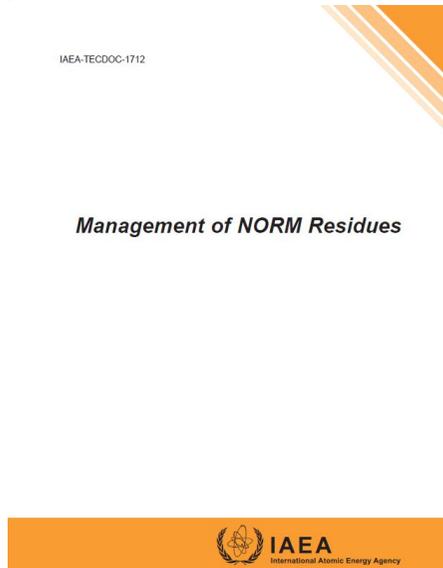
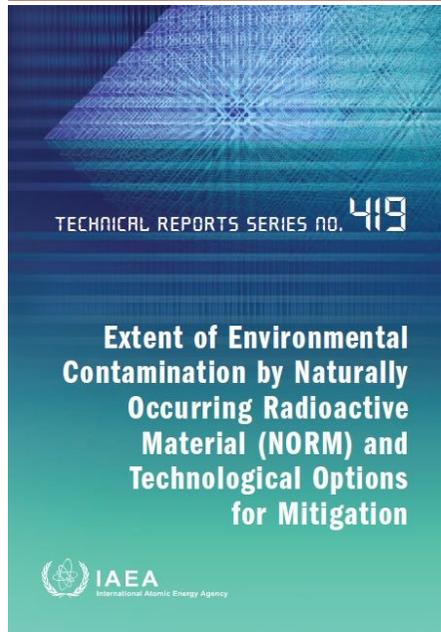
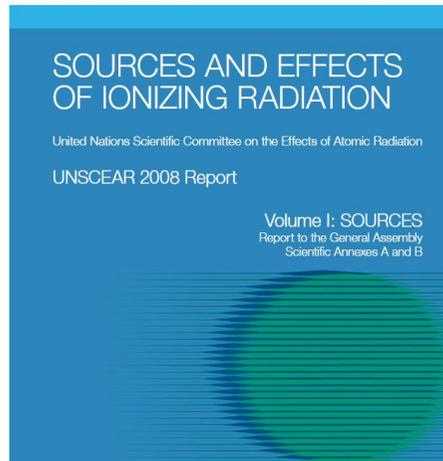
A. Baeza, A. Salas, J. Guillén, A. Muñoz-Serrano

Spain	500 mg	MW with HNO <sub>3</sub> :HCl:HF (9:3:6 ml)	Uranium, radium, polonium and thorium	Co-precipitation; Dowex 1x4 resin	Alpha spectrometry	<sup>234</sup> U: 720–12,000 <sup>238</sup> U: 660–7800 <sup>226</sup> Ra: 23–7140 <sup>210</sup> Po: 24–600 <sup>228</sup> Th: 57–870 <sup>230</sup> Th: 1.3–5.4	(Baeza et al., 2014)
-------	--------	---	---------------------------------------	-----------------------------------	--------------------	--	----------------------

Table 1  
Analytical methods to determine radionuclides in sludge from different DWTPs.

Country	Amount of sample	Digestion	Radionuclide	Separation process	Determination	Presence (Bq/kg) (d.w.) <sup>a</sup>	Reference
Finland	500 g	–	Gamma emitters	–	Gamma spectrometry	<sup>109</sup> Ku: 0–340 <sup>106</sup> Ku: 1100–4200 <sup>110m</sup> Ag: 0–230 <sup>125</sup> Sb: 0–220 <sup>230</sup> Pa: 0.72–0.86 <sup>232</sup> Th: 4.5 <sup>234</sup> U: 43–45 <sup>238</sup> U: 61–62 <sup>210</sup> Pb: 230–368	(Puhakainen and Rahola, 1989)
Sweden	n.e.	n.e.	Plutonium, thorium, uranium, lead, beryllium	Co-precipitation Liquid–liquid	Alpha spectrometry Gamma spectrometry	<sup>238</sup> U: 4.5 <sup>234</sup> U: 43–45 <sup>238</sup> U: 61–62 <sup>210</sup> Pb: 230–368	(Gäsfvert et al., 2002)
Spain	500 mg	MW with HNO <sub>3</sub> :HCl:HF (9:3:6 ml)	Uranium, radium, polonium and thorium	Co-precipitation; Dowex 1x4 resin	Alpha spectrometry	<sup>234</sup> U: 720–12,000 <sup>238</sup> U: 660–7800 <sup>226</sup> Ra: 23–7140 <sup>210</sup> Po: 24–600 <sup>228</sup> Th: 57–870 <sup>230</sup> Th: 1.3–5.4	(Baeza et al., 2014)
Spain	250 mg (alpha) 500 g (gamma)	MW with HNO <sub>3</sub> /HCl (3:1)	Uranium and thorium	Co-precipitation; Liquid–liquid extraction; AG1-resin.	Alpha spectrometry Gamma spectrometry	<sup>234</sup> U: 24–790 <sup>238</sup> U: 19–590 <sup>235</sup> U: 0.3–27 <sup>230</sup> Th: 8–90 <sup>232</sup> Th: 4–30 <sup>4</sup> K: 10–4600 <sup>214</sup> Pb: 20–400 <sup>210</sup> Pb: 10–1050 <sup>234</sup> Th: 10–875 <sup>214</sup> Pb: 10–405 <sup>228</sup> Ac: 10–380	(Palomo et al., 2010b)
Spain	500 mg	MW with HNO <sub>3</sub> /HCl (3:1)	Strontium and lead	LOV-MSPIA	Liquid scintillation counting	<sup>90</sup> Sr: 34–76 <sup>210</sup> Pb: 38–63	(Mola et al., 2014)
Spain	100 g	–	Gamma emitters	–	Gamma spectrometry	<sup>228</sup> Ac: 11–73 <sup>212</sup> Pb: 7–56 <sup>212</sup> Bi: 8–66 <sup>208</sup> Tl: 1.9–16.5 <sup>214</sup> Pb: 12–132 <sup>214</sup> Bi: 11–121 <sup>7</sup> Be: 75–517 <sup>4</sup> K: 133–478 <sup>137</sup> Cs: 0.9–2.6 <sup>234</sup> Th: 39–387 <sup>238</sup> U: 30–250	(Montaña et al., 2013a)
Australia	100 g	–	Gamma emitters	–	Gamma spectrometry	<sup>226</sup> Ra: 6–120 <sup>210</sup> Pb: 10–110 <sup>232</sup> Th: 12–77 <sup>4</sup> K: 60–330 <sup>7</sup> Be: 9–480	(Kleinschmidt and Akber, 2008)
Spain	500 g	–	Gamma emitters	–	Gamma spectrometry	<sup>228</sup> Ac: 12–212 <sup>212</sup> Pb: 4–92 <sup>212</sup> Bi: 10–40 <sup>208</sup> Tl: 5–73 <sup>214</sup> Pb: 49–731 <sup>214</sup> Bi: 44–693 <sup>7</sup> Be: 4–293 <sup>4</sup> K: 127–1391 <sup>110m</sup> Ag: 1–76 <sup>60</sup> Co: 0.4–17 <sup>60</sup> Co: 1.5–33 <sup>137</sup> Cs: 0.9–6.5	(Palomo et al., 2010a)
USA	0.5 g	MW with HNO <sub>3</sub>	Uranium, thorium and radium.	Anion exchange resin.	Alpha spectrometry	<sup>226</sup> Ra: 111–9250 <sup>228</sup> Ra: 148–12987 <sup>228</sup> Th: 2.2–2627 <sup>230</sup> Th: 7.4–360 <sup>234</sup> U: 14.8–333 <sup>235</sup> U: 37–74 <sup>238</sup> U: 11–203	(Lytle et al., 2014)
Poland	n.e.	n.e.	Radium and uranium	Co-precipitation (radium) and anion exchange resin (uranium)	LSC (radium) alpha spectrometry (uranium)	<sup>226</sup> Ra: 48–437 <sup>228</sup> Ra: 80–3654 <sup>238</sup> U: 15–49	(Chmielewska et al., 2014)

n.e. = not specified.  
<sup>a</sup> d.w. = dry weigh.





**Gracias**

**Jc.mora@ciemat.es**

