

MANUAL DEL SEMINARIO ON-LINE

RADIOACTIVIDAD NATURAL EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO

17 de junio de 2021 - Almería (España)



MANUAL DEL SEMINARIO ON-LINE

**RADIOACTIVIDAD NATURAL EN AGUAS
DE CONSUMO HUMANO**



17 de junio de 2021. Almería (España)

Índice de contenidos

PRÓLOGO	1
AGRADECIMIENTOS	3
PROYECTO LIFE ALCHEMIA	4
SEMINARIO ON-LINE RADIOACTIVIDAD NATURAL EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO	5
PROGRAMA DEL SEMINARIO	6
RESÚMENES DEL SEMINARIO	8
La problemática de la radioactividad en las aguas de consumo en España	9
Requerimientos legales de las instalaciones de tratamiento de aguas subterráneas	12
Experiencias en la eliminación de radioactividad natural en pequeñas poblaciones: el proyecto LIFE ALCHEMIA	16
Resultados del proyecto LIFE ALCHEMIA: consideraciones generales sobre la planta piloto de HMO en Viimsi (Estonia)	18
Resultados del proyecto LIFE ALCHEMIA: eliminación de radionucleidos en la planta piloto de HMO en Viimsi (Estonia)	21
Resultados del proyecto LIFE ALCHEMIA: plantas piloto en Almería (España).....	24
Proyecto demostrativo para el tratamiento de agua subterránea con un sistema innovador basado en tecnología granular aerobia.....	27
PRESENTACIONES DE LOS PONENTES	30

Prólogo

El seminario online "*Radioactividad natural en aguas de consumo humano*" se celebró en el marco del proyecto LIFE ALCHEMIA (LIFE 16 ENV/ES/000437).

Este proyecto es fruto de la colaboración llevada a cabo entre distintas entidades situadas en zonas de la Unión Europea que se enfrentan a la problemática de la radiactividad natural presente en las aguas subterráneas: la provincia de Almería (España) y el municipio de Viimsi (Estonia).

Los radionucleidos naturales, procedentes de las cadenas de desintegración del uranio y el torio, se transfieren a las aguas subterráneas, presentando estas mayores concentraciones de radiactividad natural que las aguas superficiales. Esto es consecuencia del tiempo de contacto entre el agua y los radionucleidos presentes en el terreno, dependiendo su concentración de las características geológicas del subsuelo. Los principales problemas relacionados con la radiactividad natural en el agua provienen de las rocas ígneas y metamórficas, como el granito o la pizarra.

En la actualidad, la ósmosis inversa es el tratamiento de filtración avanzada más empleado para eliminar la radioactividad natural de las aguas, sin embargo, tiene asociada una elevada huella hídrica y energética, generando altos volúmenes de agua de rechazo y una compleja gestión de sus consumibles. Se necesitan tecnologías de tratamiento más rentables desde un punto de vista ambiental y económico, con objeto de cumplir con los valores paramétricos recogidos en la Directiva 2013/51/EURATOM del Consejo, por la que se establecen requisitos para la protección sanitaria de la población con respecto a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano.

El proyecto LIFE ALCHEMIA busca una solución ante la problemática existente. Por un lado, mediante la demostración de tecnologías alternativas basadas en lechos filtrantes para la eliminación de la radioactividad natural, y por otro, reduciendo las concentraciones de radionucleidos naturales presentes en los materiales NORM (Materiales Radioactivos de Origen Natural), con objeto de evitar su gestión como residuo radioactivo cuando hayan llegado al final de su vida útil. Los resultados y beneficios medioambientales previstos son:

- Reducir la concentración de los radionucleidos en el agua potable entre un 75 y un 90%.
- Reducir la concentración de radionucleidos presente en los residuos NORM en un 90%.
- Reducir el coste de explotación, el impacto ambiental y los gases de efecto invernadero en un 80%.
- Disponer de análisis coste-beneficio de las distintas tecnologías de tratamiento disponibles.

- Replicar las soluciones del proyecto a otras zonas de la UE.
- Permitir a las autoridades aumentar la competitividad y mejorar la legislación medioambiental para una mejor gestión de la radiactividad.

Para ello, se han instalado cuatro plantas piloto, tres de ellas situadas en la provincia de Almería (España) y una en Viimsi (Estonia), que están siendo explotadas con diferentes estrategias de operación para evitar que los residuos NORM generados se gestionen por una vía que no sea la convencional (residuos radioactivos).

Durante el seminario online emitido desde Almería (España) se presentaron los resultados obtenidos hasta la fecha de cada una de las plantas piloto objeto del proyecto, así como las diferentes condiciones de operación estudiadas durante el tiempo de explotación de las mismas. Este seminario mostró a los distintos profesionales del sector hídrico sistemas alternativos de tratamiento para eliminar la radioactividad natural de una forma más sostenible desde el punto de vista medioambiental y económico.

Este manual ofrece una visión general del seminario online celebrado en Almería al recopilar los resúmenes recibidos por los ponentes invitados y sus presentaciones. El presente documento recoge el programa de la jornada, así como las presentaciones realizadas por los ponentes invitados al Seminario.

Las presentaciones del Seminario están disponibles para su descarga a través de la página web del proyecto LIFE ALCHEMIA: https://www.LIFE_ALCHEMIA.eu/en/seminars-and-events/

Agradecimientos

El seminario de formación "Radioactividad natural en aguas de consumo humano" fue organizado por la Universidad de Almería y la Diputación de Almería. El evento contó con el apoyo financiero del proyecto LIFE ALCHEMIA (LIFE16 ENV/ES/000437).

El manual refleja únicamente las opiniones de los autores y presentadores. La Comisión/Agencia Europea no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene.

Proyecto LIFE ALCHEMIA

El proyecto LIFE ALCHEMIA, “Hacia un tratamiento integral e inteligente de la radioactividad natural en los servicios de abastecimiento del agua”, tiene como objetivo la demostración de tecnologías alternativas para la eliminación de la radioactividad natural presente en las aguas subterráneas que están destinadas a consumo humano, asegurando el cumplimiento de la legislación en vigor y minimizando la concentración de radionucleidos naturales presentes en los residuos NORM (Materiales Radioactivos de Origen Natural) asociados a este tipo de instalaciones para que sean gestionados por la vía convencional.

El proyecto está siendo financiado por el programa LIFE de la Unión Europea y se desarrollará entre octubre de 2017 y septiembre de 2021. Su consorcio está integrado por el Centro Tecnológico CARTIF como coordinador del proyecto, así como por las siguientes entidades: la Diputación Provincial de Almería, el Centro de Investigación de Energía Solar (CIESOL) de la Universidad de Almería, la Universidad de Tecnología de Tallin, la Universidad de Tartu y Viimsi Vesi Ltd. (empresa pública de aguas de Estonia).

Los objetivos que persigue en proyecto LIFE ALCHEMIA son:

- Demostrar la viabilidad técnica y económica del empleo de filtros de lecho fijo optimizados en España y de dióxido de manganeso líquido en Estonia para la eliminación de la radiactividad natural en las aguas de consumo humano.
- Reducir la concentración de radionucleidos presente en los residuos NORM
- Replicar las soluciones del proyecto a otras zonas de la UE.
- Fomentar la transferencia de las soluciones del proyecto a otras zonas de la UE.
- Favorecer el cumplimiento de la Directiva 2013/51/EURATOM relativa a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano.

Puede encontrar más información sobre las actividades desarrolladas y los resultados del proyecto a través de su página web: <https://www.LIFE ALCHEMIA.eu/>

Seminario on-line Radioactividad natural en aguas de consumo humano

El seminario online *“Radioactividad natural en aguas de consumo humano”* está organizado dentro del marco del proyecto europeo LIFE ALCHEMIA, y tuvo lugar el día 17 de junio de 2021 en Almería, España.

El objetivo principal era dar visibilidad a la problemática actual relacionada con la eliminación de la radioactividad natural en las estaciones de tratamiento de aguas potables (ETAPs) que filtran aguas de origen subterráneo, así como a la gestión de residuos NORM asociada a este tipo de instalaciones y a los requisitos legales que a nivel nacional deben cumplir sus titulares.

Adicionalmente, se presentaron las experiencias adquiridas tras la instalación y operación de 15 ETAPs municipales mediante sistemas de filtración avanzada por ósmosis inversa para la eliminación de la radioactividad natural en pequeñas poblaciones de la provincia de Almería, así como los resultados obtenidos durante los meses de operación y explotación de las plantas piloto LIFE ALCHEMIA de Estonia y España.

Para concluir se abordó otro de los problemas relacionados con la potabilización de las aguas subterráneas que están destinadas a consumo humano mediante el proyecto LIFE ECOGRANULARWATER, cuyo objetivo es la demostración de tecnologías innovadoras basadas en métodos biológicos para la eliminación de nitratos, fosfatos, plaguicidas y otros contaminantes.

Este seminario fue dirigido a todos los profesionales del sector hídrico relacionados con la potabilización, técnicos y operadores de ETAPs, proveedores y gestores de agua, empresas de tratamiento de aguas potables, Administraciones Públicas, así como responsables políticos en materia de medio ambiente y políticas de agua, principalmente. Se alcanzaron 125 solicitudes de inscripción, llegando durante la emisión del evento hasta 85 participantes conectados.

Programa del Seminario

Radioactividad natural en aguas de consumo humano

17 junio 2021 - Seminario on-line

Inscripción: https://www.LIFE_ALCHEMIA.eu/seminario-online-17-junio-2021/

9:00 – 9:30	Acto de apertura
9:30 – 10:00	La problemática de la radioactividad natural en las aguas de consumo en España <i>D. Antonio Baeza Espasa. Director Técnico del Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Extremadura.</i>
10:00 – 10:30	Requerimientos legales de las instalaciones de tratamiento de aguas subterráneas <i>Dña. Beatriz Robles Atienza. Técnica del Área de Radiación Natural del Consejo de Seguridad Nuclear.</i>
10:30 – 11:00	Gestión de residuos NORM: instalaciones de tratamiento de aguas <i>D. Juan Carlos Mora Cañadas. Departamento de Medioambiente del CIEMAT.</i>
11:00 – 11:30	Experiencias adquiridas en la eliminación de radioactividad natural en pequeñas poblaciones: el proyecto LIFE ALCHEMIA <i>D. Francisco Javier Martínez Rodríguez. Servicio de Infraestructura Hidráulica del Área de Fomento, Medio Ambiente y Agua de la Diputación de Almería.</i>
11:30 – 12:00	Descanso
12:00 – 12:30	Resultados del proyecto LIFE ALCHEMIA: consideraciones generales y eliminación de radionucleidos en la planta piloto de HMO en Viimsi (Estonia). (Traducción simultánea) <i>D. Juri Bolobajev. Investigador en el Departamento de Materiales y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad Tecnológica de Tallin (Estonia).</i> <i>Dña. Siiri Salupere. Investigadora en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Tartu (Estonia).</i>
12:30 – 13:00	Resultados del proyecto LIFE ALCHEMIA: plantas piloto en Almería (España) <i>D. José Luis Casas López. Profesor titular del Departamento de Ingeniería Química e Investigador del Centro de Investigación en Energía Solar de la Universidad de Almería.</i>
13:00 – 13:30	LIFE ECOGRANULARWATER - Proyecto demostrativo para el tratamiento de agua subterránea con un sistema innovador basado en tecnología granular aerobia <i>D. Francisco Javier García Martínez. Jefe de Servicio del Ciclo Integral del Agua y Energía de la Diputación de Granada.</i>
13:30 – 14:00	Mesa redonda / Acto de clausura

European LIFE project

“With the contribution of the LIFE financial instrument of the European Community”



Resúmenes del Seminario

LA PROBLEMÁTICA DE LA RADIOACTIVIDAD EN LAS AGUAS DE CONSUMO EN ESPAÑA

Antonio Baeza Espasa¹ y Alejandro Salas García¹

¹Laboratorio de Radioactividad Ambiental de la Universidad de Extremadura, LARUEX / Universidad de Extremadura. Departamento de Física Aplicada. Facultad de Veterinaria, Avda. de la Universidad, s/n. 10003, Cáceres (España). ymiralle@unex.es.

Resumen

Esta presentación se desarrolla en cuatro apartados: la normativa que establece las actividades y dosis de referencia para permitir su consumo; una breve revisión del contenido radiactivo presente en las aguas de consumo en nuestro País; cómo se debe proceder si se superan dichos valores de referencia. En particular, se resumen los posibles tratamientos para eliminar los contenidos radiactivos elevados de las aguas antes de su consumo; y por último, se revisan las posibles implicaciones que tiene el empleo de dichos tratamientos.

Normativa aplicable al contenido radiactivo en las aguas de consumo

En 2013 se promulgó la Directiva EURATOM nº 51, que establece los requisitos para la protección sanitaria de la población, con respecto a las sustancias radiactivas existentes en las aguas destinadas al consumo humano. Esta Directiva se transpuso a nuestra legislación en 2016, mediante el Real Decreto 314/2016. Este RD establece que a las aguas de consumo humano debe realizárseles una valoración inicial, relativamente rápida y comparativamente poco costosa, de su contenido radiactivo global, concretamente de: los niveles de actividad del radón, del tritio y la dosis por ingesta a partir de la medida de los índices de actividad alfa total y beta resto. En el supuesto de que dichos parámetros no superen los valores paramétricos de referencia establecidos en dicho RD, respectivamente de: 500, 100, 0,1 y 1,0 Bq/l, se puede considerar que la dosis por ingesta es inferior a 0,1 mSv/a, no debiendo realizarse investigaciones radiológicas adicionales. Si alguno de estos parámetros supera el correspondiente valor de referencia antes citado, el RD 314/2016 establece la relación de radionucleidos cuya actividad debe medirse para comprobar si se supera o no la ya citada dosis por ingesta de 0,1 mSv/a.

La componente más frecuente de la presencia de radiactividad en las aguas es debida a disolución de los contenidos radiactivos presentes naturalmente en los suelos. De hecho, como se muestra en el mapa MARNA realizado por el Consejo de Seguridad Nuclear, en nuestro País hay diversas zonas con suelos con contenidos radiactivos de origen natural significativamente elevados. Las aguas subterráneas que transiten por dichas zonas tienen una importante probabilidad de incorporar a las mismas actividades no despreciables de radionucleidos emisores alfa, tales como el: ²¹⁰Po, ²²⁶Ra, ²³⁴U and ²³⁸U. Por ese motivo, no es infrecuente que haya aguas de consumo, principalmente de origen subterráneo, que registren índices de actividad alfa total superior a 0,1 Bq/l.

Niveles detectados para los radionucleidos naturales en las aguas de consumo

Hemos recopilado parte de los resultados de las analíticas que para aguas de consumo nos han solicitado diferentes empresas de toda la Península Ibérica para los años 2020 y 2021, desconociendo en todas ellas el origen concreto de dichas aguas. Sin intentar ser una estadística fielmente reflejo del estatus radiológico global de dichas aguas, el resultado de las 1299 muestras ensayadas nos indica que: Tan sólo el 5,8% de éstas presentan índices de actividad alfa total superiores a 0,1 Bq/l. A todas esas aguas se les ha realizado los análisis espectrométricos que indica el RD 314/2016 y calculado la dosis por ingesta. El resultado es que el consumo de 12 de esas aguas, aproximadamente el 1% del total de las aguas ensayadas, supone incorporar una dosis por ingesta superior a 0,1 mSv/a. Es obvio que la extensión del problema: 12 suministros frente al número total de los considerados en el estudio es una fracción ínfima. Sin embargo, la regla más común de dichos suministros es que nutren a poblaciones relativamente pequeñas, que no poseen otros recursos hídricos y para los que soluciones alternativas o técnicamente sofisticadas son inviables.

Acciones de remedio para aguas que superan el nivel de referencia de dosis por ingesta

Se pueden agrupar en tres tipos de acciones de remedio las que pueden aplicarse a aguas con niveles superiores a 0,1 mSv/a para reducirlo significativamente antes de su consumo. 1.- Actuar en las reacciones químicas que se producen en los procesos de coagulación y de floculación de potabilización de las aguas, lógicamente sólo aplicable en donde existan este tipo de ETAPs. 2.- Actuar sobre la parte física del tratamiento de potabilización de las aguas, sustituyendo o incorporando nuevos sistemas filtrantes. 3.- Implantar un tratamiento de ósmosis inversa para la potabilización del agua con problemas radiológicos. A pesar del alto coste del agua producida por este último procedimiento y sus requerimientos técnicos, es con frecuencia el más implantado para resolver estos problemas. Por el contrario, nuestro laboratorio tiene experiencia en los dos tipos de actuaciones citadas con anterioridad (primer y segundo apartado).

En la actuación sobre las reacciones químicas que potabilizan el agua, hemos demostrado que llevando a cabo el proceso de coagulación a $\text{pH} = 6$ para el uranio y a $\text{pH} \geq 10$ para el radio, se consiguen buenas eliminaciones de estos radionucleidos de las aguas. La eficacia de la eliminación es casi independiente de los reactivos usados y, por el contrario, es dependiente de las características químicas de los elementos mayoritarios presentes en el agua. En la actuación sobre los adsorbentes usados, hemos incorporado el uso de la arena verde de manganeso, que ha demostrado para los isótopos del radio que: a) posee una elevada adsorción selectiva para el mismo; b) posee una muy lenta colmatación; y c) es relativamente fácil su desadsorción.

Implicaciones de la aplicación de estos tratamientos

Todos los anteriores tratamientos logran eliminar con mayor o menor eficiencia el contenido radiactivo natural de las aguas, pero éste no desaparece, sino que se transfiere a otro medio receptor. Por ello, la implantación de cualquiera de estos tratamientos debe venir acompañado del análisis los residuos radiactivos que se generan, de la posible utilización de esos medios en

donde se han alojado los radionucleidos extraídos del agua y de la facilidad o no con que éstos pueden ser transferidos a lo largo de la cadena trófica.

Basten dos ejemplos sobre la importancia de valorar los residuos generados. En las actuaciones sobre la parte química de la potabilización, los radionucleidos extraídos se acumulan en los fangos generados, los cuales son frecuentemente usados como fertilizantes o como enmiendas en determinados suelos. En las actuaciones sobre los filtros adsorbentes para la eliminación del radio, su actividad en los mismos para éste radionucleido y para el radón que genere, puede incrementar significativamente los niveles de dosis por irradiación externa y por inhalación que reciben los trabajadores de esas ETAPs.

REQUERIMIENTOS LEGALES DE LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Beatriz Robles Atienza¹

¹ Consejo de Seguridad Nuclear. Subdirección de Protección Radiológica Ambiental, Área de Radiación Natural. C/ Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040, Madrid (España). beatriz.robles@csn.es.

Introducción

Definimos materiales NORM como aquellos 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 (TRS-419 IAEA). Estas actividades humanas pueden: producir un aumento en las concentraciones de actividad de las materias primas que utilizan; modificar las vías de exposición o el número de personas expuestas; transportar materiales de un lugar a otro poniendo en superficie radionucleidos que estaban en el interior de la corteza terrestres; e incrementar la biodisponibilidad de los radionucleidos.

La exposición a las fuentes naturales está ligada a los radionucleidos de la cadena del ²³⁸U, la del ²³²Th, la del ²³⁵U y al ⁴⁰K. Los radionucleidos de mayor significación radiológica en las industrias NORM son: ²³⁴U, ²³⁰Th, ²²⁶Ra, ²²²Rn, ²¹⁰Pb y ²¹⁰Po de la serie del ²³⁸U; ²²⁴Ra, ²²⁸Th y ²²⁴Ra de la serie del ²³²Th; y el ⁴⁰K.

Las industrias NORM tienen una serie de características comunes, que han de ser tenidas en cuenta cuando se quiere realizar los estudios de evaluación de la exposición a los trabajadores y al público residente en las inmediaciones:

- En general, el principal problema son las grandes cantidades de materias primas, subproductos y residuos, del orden de millones de toneladas anuales que utilizan y producen.
- Se trata de los mismos radionucleidos que se encuentran de forma ubicua en la naturaleza, y por tanto indistinguibles.
- Los procesos industriales a los que se someten las materias primas rompen el equilibrio secular de las cadenas naturales y se producen acumulaciones selectivas de los radionucleidos en los diferentes productos, residuos y equipos (tuberías, bombas, filtros...).
- No existen estudios que describan la situación anterior al inicio de la operación.
- Las industrias no tienen como fin el uso de esas materias con concentraciones en radiactividad incrementadas.
- Habitualmente la alteración en la concentración de actividad conlleva la alteración en otros elementos químicos. Por tanto, los NORM suelen llevar asociados otros contaminantes no radiactivos.

Marco normativo actual

La legislación española actual y recalco la palabra actual, ya que estamos en pleno proceso de adaptación de nuestra normativa a la directiva 2013/59/EURATOM, se encuentra recogida en el

Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (RPSRI), adicionalmente existe una Instrucción del CSN, la IS-33, una serie de Guías de Seguridad del CSN y una Orden Ministerial por la que se regula la gestión de los residuos generados en las Industrias NORM.

En el RPSRI en Título VII sobre fuentes naturales de radiación, en su artículo 62 establece que los titulares de las actividades laborales no reguladas en las que exista fuentes naturales de radiación, deberán declarar estas actividades antes los órganos competentes en materia de industria de las CCAA en cuyo territorio se realizan estas actividades laborales 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 título VII se complementó con la Instrucción IS-33 en la que se establecen las actividades laborales que deberían ser objeto de estudio; el contenido de los distintos estudios.; los valores de dosis para los trabajadores cuya superación requiere la aplicación de medidas correctoras en las industrias NORM; las concentraciones de ²²²Rn en lugares de trabajo y viviendas y los criterios sobre la aplicación de medidas de protección radiológica de acuerdo, total o parcialmente, con los títulos II, III, IV y V. En la Figura 1 se resumen los criterios radiológicos tanto para industrias NORM como para lugares de trabajo en los que es posible que se supere el valor de referencia para radón.

CSN IS-33 Criterios radiológicos. NORM		CSN IS-33 Criterios radiológicos. Radón	
Trabajadores	<ul style="list-style-type: none"> > 1 mSv/año: nivel bajo de control regulador <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vigilancia radiológica del ambiente de trabajo ▪ Estimación anual de dosis efectivas individuales ▪ Información y formación a los trabajadores ▪ Archivo de la documentación > 6 mSv/año: nivel alto de control regulador <ul style="list-style-type: none"> ▪ Señalización de zonas ▪ Limitación de accesos 	Lugares de trabajo	
		Nivel de referencia 600 Bq/m ³	
		< 600	No necesario control
		600-1000	Nivel bajo de control
		> 1000	Nivel alto de control
Público	0.3 mSv/año	Nivel objetivo de diseño nuevos edificios 100 Bq/m ³	

Figura 1. Criterios radiológicos para industrias NORM y radón de la IS-33.

En el Anexo de esta Instrucción se definen las actividades laborales cuyos titulares deben de realizar los estudios requeridos por el RPSRI, en él aparecen las instalaciones donde se almacenen y traten aguas de origen subterráneo, si bien, solo se consideran como actividades que pueden dar lugar a valores medios anuales de concentración de radón superiores a los niveles de referencia definidos.

Como ya hemos comentado, el CSN emitió una serie de Guías de Seguridad relacionadas con la calidad de las medidas de radón y con la metodología a seguir en los estudios del Título VII:

- GS 11.01. Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire.
- GS 11.02. Control de la exposición a las fuentes naturales de radiación. Esta guía recomienda niveles de exención/desclasificación para materiales procedentes de industrias NORM. Los valores están basados en un criterio de dosis de 300 μSv/a, de

acuerdo a los escenarios planteados en la publicación Radiation Protection 122 part. II de la UE. Estos valores son los mismos que los que se recogen en 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.

- GS 11.03 Metodología para la evaluación del impacto radiológico de las industrias NORM
- GS 11.04 Metodología para la evaluación de la exposición al radón en los lugares de trabajo.

Adaptación a la Directiva Europea

La adaptación a la nueva Directiva 2013/59/EURATOM y su transposición al régimen jurídico nacional, implica la derogación del RPSRI, la revisión del Reglamento de instalaciones nucleares y radiactivas (RD 1836/1999), que por primera vez incluirá lo referente a las industrias NORM y en el que estará el nuevo listado de sectores industriales. En el mismo, se van a incluir las instalaciones de filtración de aguas subterráneas, ya que además de riesgo por exposición a concentraciones de radón superiores al nuevo nivel de referencia (300 Bq/m³), en estas instalaciones se liberan efluentes y se generan residuos durante el tratamiento del agua para consumo humano como son: lodos, filtros, resinas de intercambio iónico, filtros de carbón activo..., cuya actividad varía considerablemente en función de las aguas tratadas.

El RPSRI será, como ya hemos dicho, derogado y sustituido por el Real Decreto sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes, que está próximo a publicarse. También será necesario revisar las Guías de Seguridad y la IS-33 adaptándolas a los nuevos criterios radiológicos.

En la Directiva 2013/59/EURATOM las industrias NORM pasan a estar equiparadas al resto de las prácticas con radiaciones ionizantes, con un enfoque gradual del control regulador. A continuación se resumen los criterios radiológicos para estas industrias:

- Si los niveles superan los de referencia entonces el control regulador será mayor a medida que sea necesario:
 - *Notificación.*
 - *Registro.* Si $E > 1$ mSv/a para los trabajadores;
 - *Licenciamiento.* Si $E > 8$ mSv/a para los trabajadores o si se producen descargas de efluentes líquidos o gaseosos al medioambiente en cantidades significativas.
- Si $E > 1$ mSv/a para los trabajadores — Las autoridades requerirán a los responsables que mantengan las exposiciones bajo revisión teniendo en cuenta si se puede mejorar la protección y si las dosis pueden incrementarse en el tiempo debido a modificaciones en el proceso industrial o en los métodos de trabajo.
- Si $E > 6$ mSv/a para los trabajadores — Se aplicará todo el sistema contemplado en otras prácticas.

Otra novedad que incorpora la Directiva es incluir la exposición de la población al radón en viviendas considerándolo como una exposición existente, estableciendo un nivel de referencia de 300 Bq/m³ y exigiendo a los países a establecer planes de acción a nivel nacional (Plan

Nacional contra el Radón), para hacer frente, conjuntamente, a los riesgos derivados de la exposición al radón en viviendas, edificios de acceso público y lugares de trabajo.

Para los lugares de trabajo se impone un nivel de referencia que solo en condiciones excepcionales podrá superar los 300 Bq/m³. En aquellos lugares de trabajo en los que, aún después de haber tomado acciones para reducir las concentraciones de radón, se puedan recibir dosis superiores a 6 mSv/a, la situación de exposición se gestionará como planificada y se aplicaran los requisitos pertinentes. A continuación se resumen los criterios radiológicos para el radón, según Directiva 2013/59/EURATOM:

- Incluye exposición al radón en las viviendas con un nivel de referencia de 300 Bq/m³.
- Nivel de referencia para radón en lugares de trabajo de 300 Bq/m³.
- La exposición se gestiona como ocupacional cuando la dosis > 6 mSv/a.
- Cada país debe desarrollar un Plan Nacional de Radón con el fin de reducir el número de cánceres debidos al radón en la población.

Situación actual de cumplimiento de la normativa

Tal y como determina el artículo 62 del Título VII del RPSRI, los titulares de las actividades laborales, incluidos en el listado del Anexo de la IS-33, deben de declarar su actividad ante los órganos competentes de las Comunidades Autónomas en cuyo territorio se realizan las actividades laborales y realizar los estudios de riesgo radiológico, necesarios para 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. En la actualidad, el nivel de cumplimiento de estos requisitos es bastante pobre, en general para todas estas actividades laborales y ten particular para el caso de las plantas de tratamiento de aguas subterráneas. Los motivos de este incumplimiento son diversos y van desde el desconocimiento al incumplimiento deliberado. En muchos casos se ha detectado una actitud expectante donde los titulares esperan que les sea solicitado por parte de las autoridades.

Con el fin de mejorar el cumplimiento, desde el CSN se han realizado diversas acciones como son: reuniones con asociaciones empresariales; envío de cartas personalizadas; realización y participación en jornadas y charlas informativas y coordinación con las Comunidades Autónomas que son las responsables en radiación natural. En la actualidad el CSN viene realizando inspecciones tanto instalaciones NORM como a lugares de trabajo con especial exposición al radón.

Otro de los problemas a los que hay que hacer frente, es asegurar tanto la calidad de las medidas de la concentración de radón como la de los estudios de riesgo radiológico. Para garantizar la fiabilidad de las mediciones que se hagan en viviendas y lugares de trabajo, se pide que los laboratorios que realicen las medidas estén acreditados por la Norma ISO 1725. Así mismo, el CSN está promoviendo y financiando campañas de intercomparación de sistemas de medidas de radón. Los estudios de evaluación de riesgo radiológico y las medidas de protección que sean necesarias implementar deberán ser realizados por una Unidad Técnica de Protección Radiológica (UTPR) que son autorizadas e inspeccionadas por el CSN. En la actualidad hay varias en proceso en autorización.

EXPERIENCIAS EN LA ELIMINACIÓN DE RADIOACTIVIDAD NATURAL EN PEQUEÑAS POBLACIONES: EL PROYECTO LIFE ALCHEMIA

Fco. Javier Martínez Rodríguez¹ e Isabel María Rodríguez Ruano²

¹ Diputación de Almería. Área de Fomento, Medio Ambiente y Agua. C/ Hermanos Machado, 27. 04004, Almería (España). fmartinr@dipalme.org

² Universidad de Almería - Centro de Investigación de la Energía Solar (CIESOL). Departamento de Ingeniería Química. Carretera Sacramento s/n, 04120 Almería (España). imrodriguez@ual.es.

La problemática en la provincia de Almería y experiencia acumulada

En 2003, simultáneamente a la aprobación del vigente Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, la Diputación de Almería acometía estudios hidrogeológicos comarcales con la participación del Instituto de Geología y Geofísica de la Academia de Ciencias Rusa y la Universidad de San Petersburgo. En este Real Decreto se incluyó la obligación del control de parámetros de calidad relacionados con la radioactividad en las aguas urbanas. Fue la especialización de estas instituciones científicas rusas en la materia lo que permitió la detección en Almería de forma temprana de esta problemática en las aguas de consumo humano respecto a otras zonas de España. La detección de valores paramétricos relacionados con la radioactividad natural en aguas subterráneas, que hasta ese momento se habían empleado con normalidad en el abastecimiento de la población, hizo que fueran declaradas como no aptas para el consumo humano. Esta declaración obligó a los Ayuntamientos al cierre de sus sondeos de captación de aguas subterráneas con problemas de radiactividad, provocando restricciones en el suministro de agua y, en algunos casos, al empleo de cubas móviles para abastecer a la población.

Para resolver esta situación, la Junta de Andalucía y la Diputación de Almería comenzaron con la instalación de plantas potabilizadoras mediante el empleo de dos tipologías de tratamientos: (1) de coagulación / floculación con decantador lamelar y filtros multicapa en presión; y (2) por ósmosis inversa, con filtros multicapa en presión, microfiltración y membranas de ósmosis inversa. Ante los problemas surgidos durante la explotación de los primeros, desde 2011 la Diputación de Almería procedió a la sustitución de los mismos por sistemas de ósmosis inversa, además de seleccionar este tratamiento para el resto de instalaciones que se han venido ejecutando desde entonces.

En la actualidad están en servicio 15 plantas potabilizadoras (ETAP) por ósmosis inversa para la eliminación de la radioactividad natural en la provincia de Almería, con caudales de producción que oscilan entre 1 y 38 m³/h. Estas instalaciones son explotadas y mantenidas de forma directa por los Ayuntamientos. La experiencia acumulada durante estos años en el funcionamiento de las mismas han puesto de manifiesto los siguientes inconvenientes: (1) su elevado consumo de recursos hídricos para abastecer a la población, ya que los rechazos oscilan entre el 30 y el 40% y es necesario extraer de los acuíferos entre 1,4 y 1,8 litros de agua bruta para producir 1 litro de agua apta para el consumo de la población; (2) se trata de una tecnología de eliminación muy efectiva pero poco específica, lo que obliga a en muchos casos a la remineralización del agua producto mediante lechos de calcita; (3) la gestión compleja del rechazo, ya que no existe una regulación clara para el vertido del mismo al Dominio Público Hidráulico o la reutilización para otros usos, como el agrícola; (4) elevados consumos de energía, huella de carbono y costes de

explotación de las plantas potabilizadoras y también de los sondeos de captación, dada la necesidad de extraer 1,4 y 1,8 litros de agua bruta para producir 1 litro; y (5) dificultades de explotación y escasa vida útil de equipos instalados (sustitución membranas), por los escasos recursos económicos y técnicos con los que cuentan los Ayuntamientos para la gestión de las instalaciones.

Alguna de las consideraciones fruto de la experiencia en el seguimiento de este tipo de instalaciones llevada a cabo por el personal del Área de Fomento, Medio Ambiente y Agua de la Diputación de Almería son: (1) la ósmosis inversa es un sistema totalmente efectivo para la eliminación de la radioactividad, pero no exento de inconvenientes; (2) no poder contar con medidas rápidas de evaluación de los niveles de radioactividad dificulta considerablemente la explotación, por lo que se debe tratar trabajar en la búsqueda de medidas indirectas, por ejemplo con la medición radiación gamma; (3) los valores indicadores de la radioactividad varían con el tiempo en el agua de un único sondeo y, por tanto, mucho más aun entre distintos sondeos de un municipio; (4) todas las ETAPs por ósmosis inversa con aguas procedentes de sondeos construidos en acero deben incluir pretratamientos para la eliminación del hierro, independientemente de la analítica de calidad del agua; (5) todos los proyectos deberán incluir la adquisición de medidores de radiación gamma y de radón en el ambiente, que deberán quedar instalados en las ETAPs; (6) se deberá efectuar un seguimiento de la radiación gamma en todos los elementos de las ETAPs; y (7) se tratará de que los espacios en los que se ubiquen las ETAPs estén lo más ventilados posibles para evitar concentración de radón y los vasos de los depósitos de agua bruta deberán estar completamente aislados de espacios donde se prevea la presencia de trabajadores.

El proyecto LIFE ALCHEMIA

El proyecto tiene como objetivo la demostración de tecnologías sostenibles para la eliminación de la radiactividad de carácter natural presente en las aguas subterráneas y así poder ser destinadas posteriormente a usos urbanos, asegurando siempre el cumplimiento de la normativa española de aguas destinadas a consumo humano. Responde, en su origen, a una necesidad surgida de la labor continuada de asesoramiento técnico, jurídico y económico a las entidades locales de la provincia de Almería en cuestiones relacionadas con el ciclo del agua urbana que presta Diputación de Almería y a la pregunta de si existen tecnologías viables alternativas a la de ósmosis inversa para la eliminación de la radiactividad de carácter natural en medianas y pequeñas poblaciones.

Para ello se han ejecutado tres plantas piloto de tratamiento de aguas mediante filtros de lecho fijo en presión en la provincia de Almería (T.M. de Alboloduy, Benizalón y Tahal) y una cuarta en Viimsi (Estonia), en la que se emplea óxido de manganeso líquido para eliminar la radioactividad. Además, el proyecto incluye la elaboración de una base de datos de las ETAPs que tratan radioactividad en Europa; la evaluación en laboratorio de los distintos productos disponibles para la eliminación de la radioactividad; la evaluación de vida útil de materiales empleados en la eliminación de la radioactividad, su retirada y disposición en vertedero; estudios de explotación y análisis coste-beneficio de las plantas piloto y plantas de ósmosis existentes, así como análisis de su ciclo de vida; análisis de la seguridad radiológica en equipos de potabilización y rechazos; etc.

RESULTADOS DEL PROYECTO LIFE ALCHEMIA: CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA PLANTA PILOTO DE HMO EN VIIMSI (ESTONIA)

*Juri Bolobajev*¹

¹ Universidad Tecnológica de Tallin. Departamento de Tecnología de Materiales y Medio Ambiente. Ehitajate tee, 5. 19086, Tallinn (Estonia). Juri.Bolobajev@taltech.ee.

La planta de tratamiento de agua potable (ETAP) de Viimsi se abastece de aguas subterráneas del Cámbrico-Vendio con un elevado contenido de radio. Además de la presencia de radionucleidos, las aguas subterráneas contienen otros componentes inorgánicos, como hierro, manganeso y amonio, cuyas concentraciones superan los umbrales establecidos en la ley estonia sobre la calidad del agua potable (tabla 1).

Parámetro	Agua bruta (conc. media)	Agua tratada (conc. media)	Valor paramétrico
Fe, mg L ⁻¹	0.197	0.006	0.200
Mn, mg L ⁻¹	0.147	0.021	0.050
NH ₄ ⁺ , mg L ⁻¹	0.654	0.057	0.500
Ra-226, Bq L ⁻¹	0.359	0.075	-
Ra-228, Bq L ⁻¹	0.483	0.097	-
Dosis Indicativa (ID), mSv año ⁻¹	0.317	0.065	0.100
pH	8.12	8.09	6.5-9.5
Conductividad, μS cm ⁻¹	883	877	2500

Tabla 1. Valores medios del agua antes y después del tratamiento y los correspondientes valores paramétricos.

Es importante mencionar aquí que el incumplimiento de un valor paramétrico no significa necesariamente que exista un riesgo para la salud de las personas derivado del suministro. Un incumplimiento es una señal de que puede haber un problema con el suministro que necesita ser investigado y se debe estudiar si existe un riesgo para la población.

El hierro es el segundo metal más abundante en la corteza terrestre. En los suministros de agua potable, las sales de hierro (II) son inestables y el hierro precipita en forma de hidróxido de hierro insoluble, que se deposita como un limo de color óxido. Las concentraciones superiores a 0,3 mg L⁻¹ pueden manchar la ropa y las tuberías. El manganeso se encuentra de forma natural en muchas fuentes de agua superficial y subterránea. Al igual que el hierro, el manganeso es responsable de las manchas en la ropa y las tuberías. El nivel máximo deseable de manganeso es de 0.05 mg L⁻¹ para evitar las manchas. En concentraciones superiores a 0.1 mg L⁻¹, el ion manganeso confiere un sabor indeseable a las bebidas. A pesar de que el NH₄⁺ no está considerado como una sustancia tóxica, este ion es un constituyente importante de muchos acuíferos contaminados, y se sabe que influye negativamente en la calidad y la utilidad de las aguas subterráneas, es decir, en determinadas condiciones, la presencia del catión amonio en el agua bruta puede dar lugar a que el agua potable contenga nitritos. Por lo tanto, la reducción de la concentración de estos componentes del agua es esencial para mantener la calidad del agua potable.

La planta piloto de HMO fue diseñada para eliminar radionucleidos (Ra-226, Ra-228) así como otros componentes del agua, es decir, Fe, Mn y NH₄⁺. Esta planta está situada en la sala de

filtración de la planta de tratamiento de agua potable (ETAP) de Viimsi Vesi AS. En primer lugar, el agua subterránea procedente del sondeo es conducida a la columna de aireación (figura 1), primer proceso importante en las plantas de tratamiento de agua potable. La aireación es el proceso de poner el agua en contacto con el aire con el fin de: eliminar los gases disueltos, y saturar el agua con oxígeno para oxidar el Fe(II) a hidróxido de hierro insoluble.

Tras la aireación, el agua pasa al tanque de oxidación (tanque de contacto), donde se inyecta el lodo/suspensión de HMO (óxido de manganeso líquido). Los lodos HMO son responsables de la adsorción de radionucleidos y participan en la oxidación catalítica del manganeso y el hierro. El manganeso es resistente a la oxidación por el oxígeno en el tanque de aireación. Por lo tanto, el manganeso podría ser eliminado del agua sólo después de la aplicación de HMO. El objetivo general de la utilización del tanque de oxidación es conseguir el contacto entre las partículas de HMO y el agua. Después, las partículas de HMO se separan del agua mediante la filtración convencional por gravedad, utilizando para ello un filtro de arena. La configuración de la filtración comprende un filtro compuesto lleno de antracita, arena y grava. Durante la explotación del filtro, las partículas de HMO se acumulan en la parte superior del lecho filtrante, provocando su obstrucción. Para evitarlo, se aplicó regularmente un procedimiento de lavado a contracorriente. Este procedimiento de lavado a contracorriente consistía en adicionar intermitente aire comprimido y agua en el filtro, en sentido inverso a la filtración. El fluido resultante del contralavado se descargaba a la red de saneamiento.

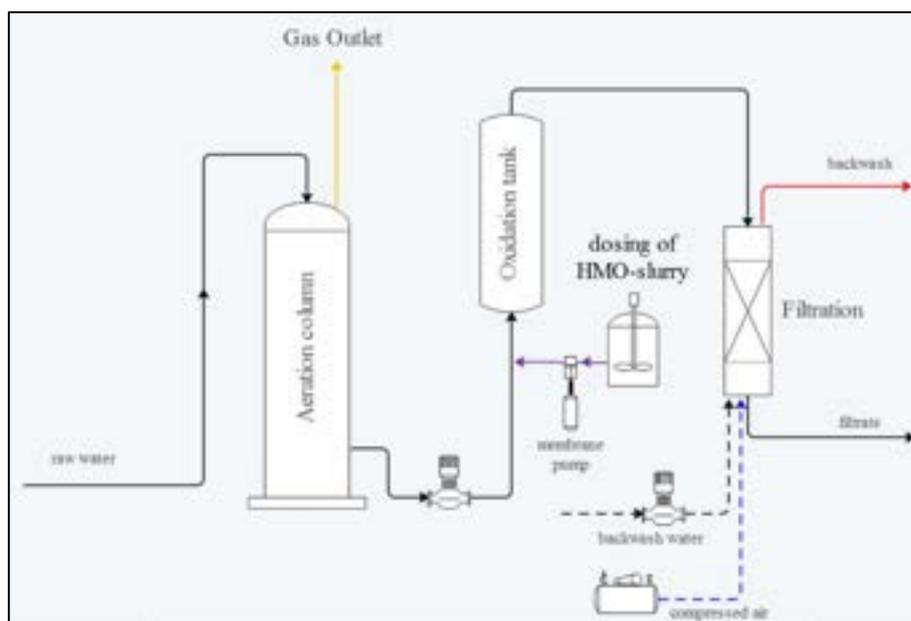


Figura 1. Diagrama de flujo de la planta piloto HMO.

A medida que el agua pasa por las etapas de tratamiento, las concentraciones de hierro y manganeso disminuyen hasta alcanzar niveles que se encuentran por debajo del valor paramétrico (tabla 1). Con respecto al NH_4^+ , es importante mencionar que el proceso HMO no está destinado a eliminar el amonio del agua. Sin embargo, la concentración de amonio se redujo con éxito durante el tratamiento. El proceso de eliminación del amonio del agua se denomina nitrificación biológica del amonio, en el que el amonio se oxida a nitrito por medio de las bacterias oxidantes del amonio y luego a nitrato por medio del consorcio de bacterias oxidantes del nitrito.

Los resultados obtenidos en la planta piloto confirmaron que la tecnología HMO puede ser una herramienta eficaz para tratar los problemas relacionados con las elevadas concentraciones de Mn, Fe, NH_4^+ y Ra en las aguas subterráneas.

RESULTADOS DEL PROYECTO LIFE ALCHEMIA: ELIMINACIÓN DE RADIONUCLEIDOS EN LA PLANTA PILOTO DE HMO EN VIIMSI (ESTONIA)

Siiri Salupere¹, Taavi Vaasma¹ y Maria Leier¹

¹Universidad de Tartu. Instituto de Física. W. Ostwaldi str., 1. 50411, Tartu (Estonia). siiri.salupere@ut.ee.

Eliminación de radionucleidos mediante el proceso HMO

HMO es el acrónimo de *óxido de manganeso hidratado*. El proceso HMO está dirigido a la eliminación de hierro y manganeso del agua, pero también elimina otros cationes metálicos, por ejemplo, los isótopos de radio. El proceso consta de tres etapas: aireación del agua bruta, adición de la mezcla HMO y filtración del precipitado resultante. El preparado de HMO es una mezcla de permanganato de potasio y sulfato de manganeso monohidratado disuelto en agua. El dióxido de manganeso se forma a partir de esta mezcla. Debido a la carga negativa de las partículas de manganeso, los iones de radio con carga positiva se fijan fácilmente en su superficie. El hierro y el manganeso presentes en el agua bruta se oxidan en partículas insolubles que también fijan los cationes de radio, quedando atrapadas por la columna de filtración.

¿Qué significa para la empresa prestadora de los servicios de tratamiento de agua utilizar una tecnología que elimine los radionucleidos? Por un lado, significa proporcionar a sus clientes agua potable que cumpla los criterios sanitarios de calidad del agua de consumo humano. Por otro lado, hay que tener en cuenta que el radio que se elimina de las aguas subterráneas se acumula en el material filtrante, pudiendo incluso llegar a superar los niveles de exención y que tenga que ser tratado como un residuo NORM (material radiactivo de origen natural) al final de su vida útil.

Los isótopos del radio pertenecen a cadenas de desintegración radiactiva de origen natural. El radio-226 se descompone en radón gaseoso, pudiendo escapar del material filtrante y aumentar significativamente la concentración de radón en la instalación de tratamiento de agua. Por tanto, es importante prestar atención a una buena ventilación de la sala. El radio-228 se descompone en torio-228. El aumento de los radionucleidos en el material filtrante también incrementa la tasa de dosis gamma cerca de la columna de filtración.

Los requisitos para el agua de consumo humano y el material NORM son la base para establecer los objetivos de rendimiento de la planta HMO de Estonia. La tecnología tiene que ser optimizada para eliminar tanto radio como sea necesario, con objeto de garantizar el nivel paramétrico de la dosis indicativa en el agua potable. Al mismo tiempo, no se pretende eliminar la mayor cantidad posible de radio de las aguas subterráneas, ya que ello supondría una mayor acumulación de radio en el material filtrante. En cambio, el objetivo es reducir la acumulación de NORM.

Resultados de los experimentos de la planta piloto de HMO en Viimsi (Estonia)

La tecnología HMO se probó a escala de planta piloto durante 1,5 años en Viimsi. La figura 1 muestra los resultados de la eficacia en la eliminación del radio. Poco después de comenzar el experimento quedó claro que la dosificación periódica de la mezcla HMO no era suficiente para

alcanzar el nivel de eliminación de radio necesario, aunque proporcionó suficientes resultados en los experimentos a escala de laboratorio. La dosificación continua con una dosis de HMO de 0,1 L/h dio resultados más prometedores, pero el valor paramétrico de la dosis indicativa no se alcanzó en todas las muestras. Duplicar la dosis de HMO permitió obtener una eficiencia de eliminación de radio muy alta y estable. Sin embargo, se planteó la cuestión de si este es un uso óptimo de los reactivos y una solución óptima en términos de acumulación de radio en el filtro. Por lo tanto, se eligió finalmente una dosis de mezcla de HMO intermedia.

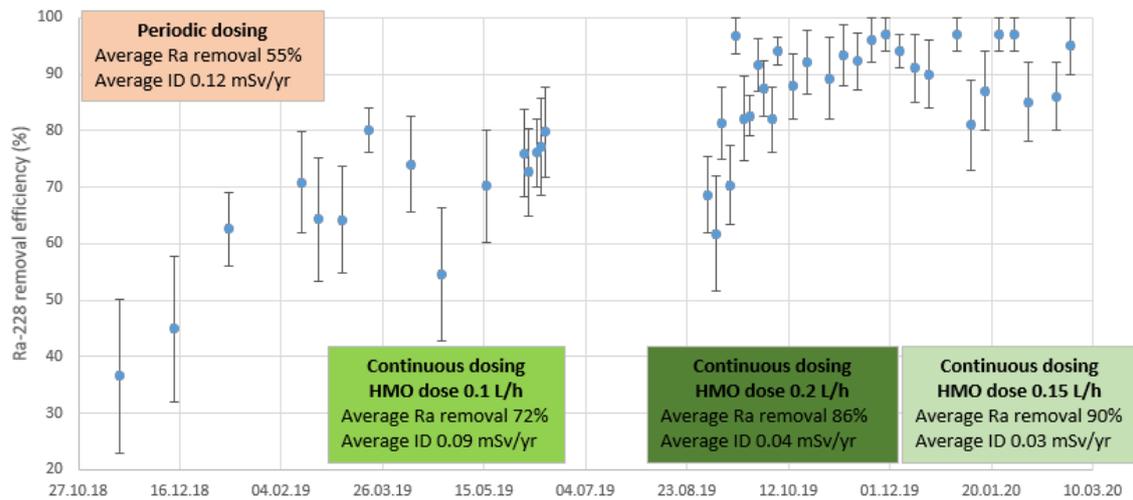


Figura 1. Eficiencia de eliminación del Ra-228 de las aguas subterráneas en la planta piloto HMO de Viimsi.

Se puso de manifiesto que la tecnología HMO es sensible a las paradas temporales. El dispositivo piloto se apagó durante el periodo estival, y tras volver a ponerlo en marcha, la eficiencia de la eliminación del radio había descendido considerablemente, tardando dos semanas en volver a aumentar. Por el contrario, se observa un "efecto memoria" en el material del filtro que aumenta la eficiencia de eliminación del radio si el sistema ha estado funcionando en condiciones estables durante un tiempo prolongado. Probablemente se deba a las partículas de dióxido de manganeso que quedan atrapadas en el material filtrante y siguen adsorbiendo cationes de radio.

El filtro debe lavarse regularmente con agua a contracorriente para evitar su obstrucción, y así eliminar parte del precipitado formado en el proceso HMO. Sin embargo, la mayor parte del radio permanece en el material filtrante y no se elimina. El efecto de dilución es lo suficientemente grande como para que el agua de contralavado pueda ser vertida directamente a la red de saneamiento.

La columna de filtración está rellena de antracita y arena, acumulándose más radionucleidos en la parte superior de la misma. Los niveles de exención para los isótopos de radio se superaron en la antracita, por lo que debe ser tratada como un residuo NORM al final de la vida útil del filtro. La arena, al no superar los niveles de exención, podrá gestionarse como un residuo normal, siempre que pueda separarse de la capa de antracita. Esto reduciría considerablemente la cantidad de residuos NORM. Si se comparan los resultados de la planta HMO con la tecnología que se aplica actualmente en la ETAP de Viimsi, los índices de acumulación de los NORM son considerablemente menores.

Conclusiones

Los experimentos realizados permitieron definir tres puntos principales en el uso de la tecnología HMO: la dosificación continua de la mezcla HMO garantizó una eficiencia de eliminación de radio suficiente para garantizar una dosis indicativa inferior a 0,10 mSv/año en el agua tratada; la tasa de generación de residuos NORM es significativamente menor que la tecnología actual en Viimsi; y se consigue un rendimiento estable cuando la tecnología funciona de forma continua sin paradas temporales.

RESULTADOS DEL PROYECTO LIFE ALCHEMIA: PLANTAS PILOTO EN ALMERÍA (ESPAÑA)

José Luis Casas López¹, Guadalupe Pinna Hernández¹, Isabel María Rodríguez Ruano¹ y Fco. Javier Martínez Rodríguez²

¹ Universidad de Almería - Centro de Investigación de la Energía Solar (CIESOL). Departamento de Ingeniería Química. Carretera Sacramento s/n. 04120, Almería (España). jlcasas@ual.es / gpinnahernandez@ual.es / imrodriguez@ual.es.

² Diputación de Almería. Área de Fomento, Medio Ambiente y Agua. C/ Hermanos Machado, 27. 04004, Almería (España). fmartinr@dipalme.org

Plantas piloto LIFE ALCHEMIA en España

En la provincia de Almería se han diseñado y construido tres plantas piloto en los municipios de Alboloduy Benizalón y Tahal. Cada una de ellas tiene una capacidad de tratamiento de 10,8 m³/h, y han sido instaladas en serie entre los sondeos de captación de aguas subterráneas y las plantas de ósmosis inversa en servicio que abastecen a los citados municipios, con objeto de asegurar la calidad del agua que abastece a la población y cumplir con los valores paramétricos fijados en la Directiva 2013/51/EURATOM. El texto refundido en vigor que transpone la Directiva 2013/51/EURATOM a la legislación española es el Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios para la calidad del agua potable.

Debido a las características geológicas de estos municipios, las aguas subterráneas que fluyen entre los distintos estratos del subsuelo alcanzan niveles de actividad alfa total superiores al valor paramétrico establecido en la legislación vigente (Real Decreto 140/2003), siendo predominantes los radionucleidos naturales de radio (Ra-226 y Ra-228) y de uranio (U-234 y U-238).

La configuración general de las plantas piloto LIFE ALCHEMIA es la mostrada en la figura 1. Están integradas por un depósito previo de almacenamiento de agua bruta, que cuenta con un sistema de aireación, y de dos tanques de filtración que contienen diferentes materiales filtrantes de tipo granular, principalmente basados en zeolitas naturales recubiertas de dióxido de manganeso. Durante la operación de filtrado los lechos seleccionados favorecen la oxidación de cationes metálicos tales como hierro y manganeso dando lugar a la precipitación y retención en el lecho junto con los radionucleidos de Ra y U.

El agua que se emplea para el contralavado diario del material filtrante procede de los depósitos municipales de abastecimiento a las respectivas poblaciones. Ambos tanques de filtración cuentan con sistemas de lavado independientes. El agua de contralavado entra por la base de los tanques de filtración y sale por la coronación de los filtros. Esta agua se incorpora a la red de saneamiento existente de la ETAP por ósmosis inversa en servicio, para ser tratada posteriormente en la estación de tratamiento correspondiente.

El objeto de los lavados efectuados con agua es mantener los lechos filtrantes en buen estado, evitando la formación de caminos preferenciales en el lecho, así como eliminar los precipitados formados durante la operación de filtración. Sin embargo, no es suficiente para eliminar los radionucleidos naturales que se quedan adsorbidos en el material filtrante, por lo que es necesario llevar a cabo procesos de regeneración química cada cierto tiempo con el fin de

reducir el contenido en radionucleidos y evitar que dichos materiales NORM sean gestionados como un residuo radioactivo cuando lleguen al final de su vida útil.

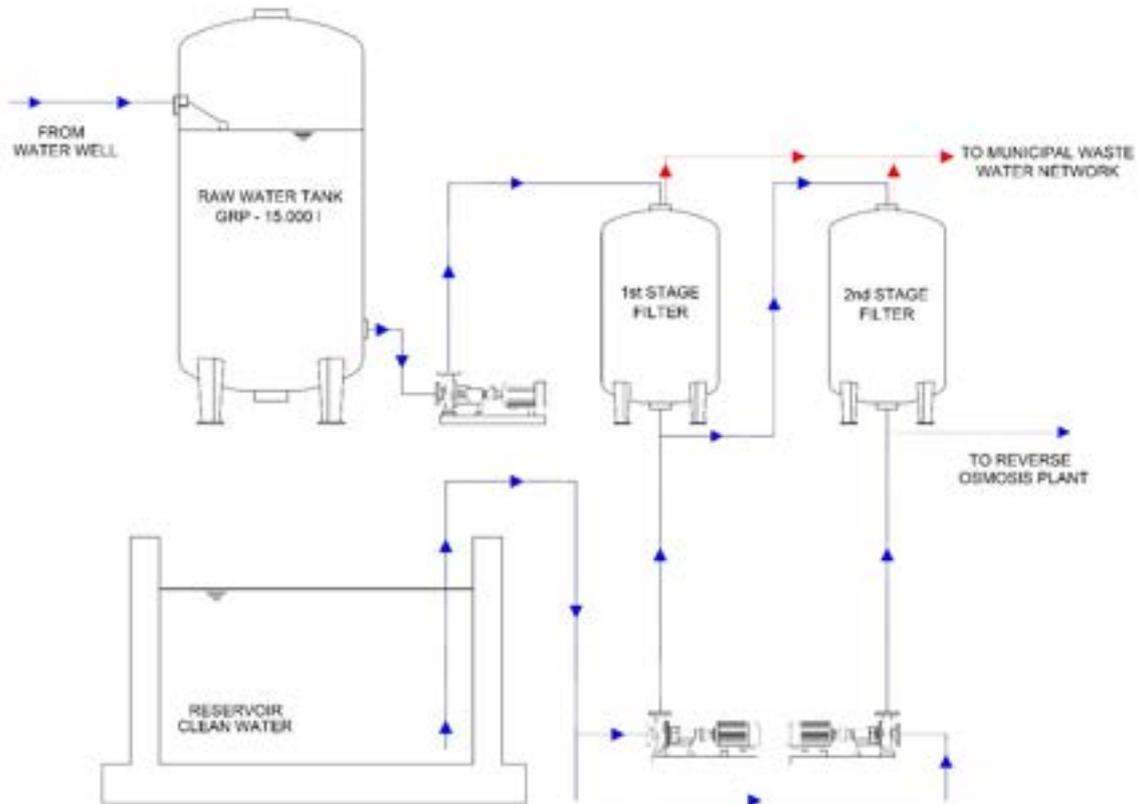


Figura 1. Esquema general de las plantas piloto LIFE ALCHEMIA en Almería

Eliminación de radionucleidos

Tras varios meses de funcionamiento, los primeros resultados analíticos concluyen que se ha logrado reducir la dosis indicativa total en más de un 65%, consiguiendo porcentajes de eliminación de los radioisótopos Ra-226 y Ra-228 del 87% y 77%, y del 43% y 44% en el caso de U-234 y U-238. Los resultados han mostrado una estrecha relación entre la eliminación de Fe y la eliminación de Ra y U por lo que una alta concentración de Fe en las aguas mejora la eficiencia del proceso.

Evolución del estado de los materiales filtrantes

Se ha seguido la acumulación de Ra y U en los rellenos constatando la necesidad de regenerar los lechos mediante vía química cada 2.000 – 2.500 m³ de agua tratada. Se ha utilizado un tratamiento basado en lavados con disoluciones saturadas de KCl, lo que ha permitido reducir en torno a un 60% el contenido en radionúclidos de Ra y U. Los resultados muestran como a pesar de la acumulación de radionúclidos en los materiales filtrantes, el ambiente de trabajo no supone el mínimo riesgo radiológico para los operarios.

Eficiencia hídrica y energética

Los actuales sistemas de tratamiento de ósmosis inversa tienen volúmenes de rechazo que oscilan entre el 37-42%, frente al 10% obtenido en las plantas piloto de Alboloduy y Tahal, que suponen una reducción media del consumo de agua del 74%. Por el contrario, en la planta piloto de Benizalón tan solo se produce un 35% de reducción en el consumo de recursos hídricos. Las plantas piloto tienen programados lavados diarios con objeto de garantizar el buen estado de los materiales filtrantes, sin embargo, este principio de conservación hace que los porcentajes de rechazo de la planta piloto de Benizalón se disparen hasta el 24%, por contar con una demanda de agua tratada inferior al resto de pilotajes, consecuencia del escaso número de habitantes del municipio. Del mismo modo, el consumo de energía se ha reducido en un 83% sin contar el ahorro derivado de la reducción del volumen extraído de los sondeos.

Conclusiones

El proyecto LIFE ALCHEMIA propone tratamientos para la eliminación de radiactividad natural en aguas de origen subterráneo alternativos a la ósmosis inversa. Los resultados del proyecto muestran la viabilidad del tratamiento mediante lechos filtrantes basados en zeolitas recubiertas de óxido de manganeso estando su rendimiento condicionado por la composición del agua a tratar. Desde el punto de vista de la eficiencia, el proceso propuesto reduce considerablemente los consumos de agua y energía derivados del tratamiento.

PROYECTO DEMOSTRATIVO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA CON UN SISTEMA INNOVADOR BASADO EN TECNOLOGÍA GRANULAR AEROBIA

Francisco Javier García Martínez¹, Jesús González López², Miguel Hurtado Martínez², Fernando Alguacil Duarte², Francisco José González Gómez² y M^a Caridad Ruiz Valero¹

¹Diputación de Granada. jgarcia@dipgra.es / caridadruizvalero@dipgra.es

²Universidad de Granada. jgl@ugr.es / miguelhm@ugr.es / fcojose@ugr.es / alguacil@correo.ugr.es

Contexto y problema ambiental

La contaminación del agua por nitratos de origen agrario es un problema ambiental extendido en todo el mundo. En la provincia de Granada, el municipio de Torre Cardela presentó valores de concentración de nitratos en el agua destinada a consumo humano por encima de 50 mg/l, valor establecido como límite en la legislación sobre calidad del agua de consumo humano, por encima del cual se puede declarar el agua como no apta para el consumo humano. Como solución al problema de la contaminación por nitratos, se han venido utilizando principalmente sistemas de ósmosis inversa. Se trata de una solución efectiva pero económicamente costosa para ayuntamientos pequeños y que implica un mayor consumo de agua, un bien escaso en nuestro territorio.

El proyecto LIFE ECOGRANULARWATER propuso, a través de la convocatoria LIFE 2016, un proyecto innovador basado en un método biológico que utiliza tecnología granular aerobia para la eliminación de nitratos y otros contaminantes presentes en el agua destinada a consumo humano. El proyecto está coordinado por la Diputación de Granada y en él participan como socios beneficiarios la Universidad de Granada, la Universidad de Aalto en Finlandia y las empresas Construcciones Otero SL y Gedar SL. El proyecto comenzó en septiembre de 2017 y finalizará en septiembre de 2021. Tiene un presupuesto de 995.000 € de los cuales 546.113 € son aportados por el Programa LIFE de la Unión Europea.

Sistema granular aerobio propuesto por LIFE ECOGRANULARWATER

Se han instalado en Torre Cardela, provincia de Granada, 3 biorreactores, los cuales han sido inoculados con gránulos formados en laboratorio a partir de lodos de depuradora de aguas residuales. El sistema funciona de manera secuencial en cuatro fases: llenado, aireación, decantación y vaciado. En cada ciclo se vacía el 65 % del volumen del biorreactor. El agua tratada pasa después a través de un filtro de arena en el que quedan retenidos los posibles restos de materia orgánica que hubieran podido salir del biorreactor. A continuación, el agua pasaría al depósito principal donde tiene lugar el proceso de cloración. El filtro de arena se somete a lavados periódicos, pasando el agua del lavado a un humedal artificial para su tratamiento previo antes del vertido.

Para que pueda producirse la denitrificación biológica, es necesario añadir una fuente de carbono al agua subterránea. De las pruebas realizadas, el que mayor rendimiento ha presentado ha sido el acetato sódico, añadido en una concentración de 100 mg/l. También se introducen sales como cloruro de potasio, magnesio sulfato, dipotasio hidrógeno fosfato, entre

otras. Las condiciones operacionales se han ido optimizando con el tiempo, llegando a ciclos de 2 horas y sumando un total de 12 ciclos por día.

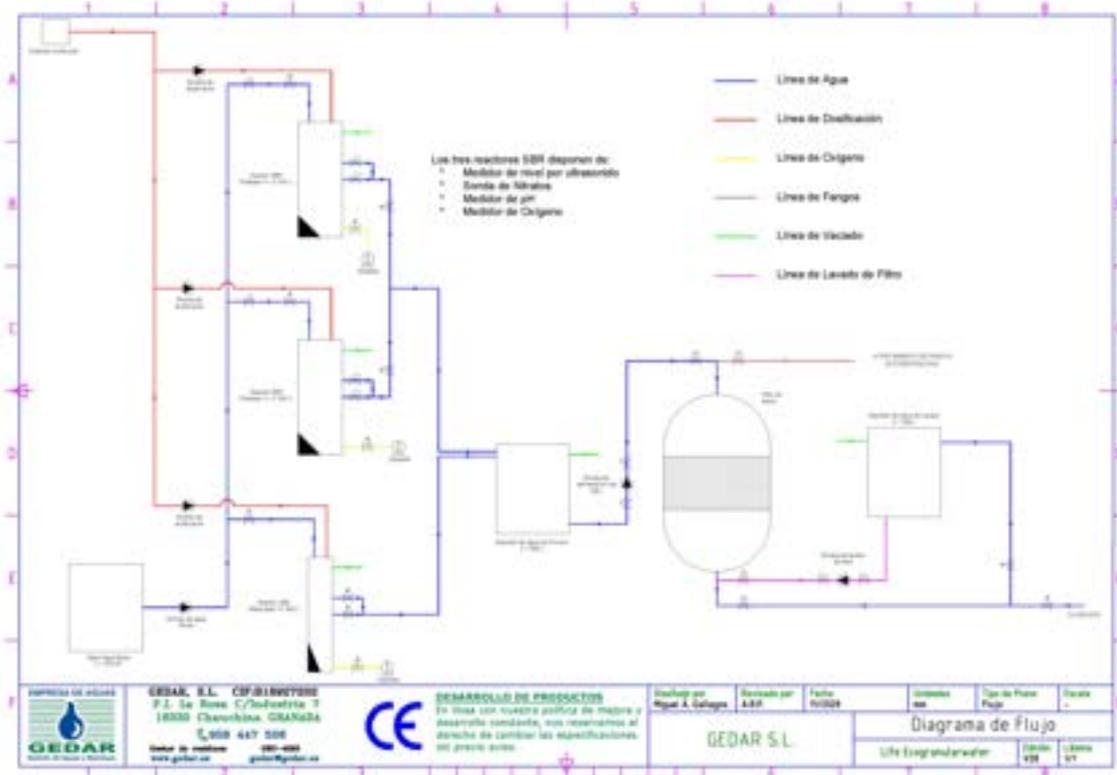


Figura 1. Esquema de la planta biológica.

Resultados

Analizando la concentración de nitratos del agua de entrada y de salida del sistema, se han obtenido rendimientos en torno al 80% en la eliminación de nitratos por el sistema. Para alcanzar este rendimiento, los gránulos deben estar maduros y tener la aireación adecuada. Asimismo, el sistema presenta un rendimiento por encima del 95% en eliminación de materia orgánica.

Para controlar la presencia de microorganismos en el agua de salida, se ha llevado a cabo el recuento de unidades formadoras de colonias, tanto a la entrada como a la salida. En la siguiente tabla:

Recuento a 24 h	Media colonias a 37°C	Media colonias a 22°C
Agua entrada	110	≥ 300
Agua salida filtro	1	7

Tabla 1. Unidades formadoras de colonias en el agua.

Asimismo, los estudios de ecotoxicidad realizados hasta el momento no han detectado ningún tóxico en el agua de salida. Por otro lado, se han llevado a cabo estudios económicos que permitan comparar los gastos tanto de inversión, como de explotación y costes ambientales de la ósmosis inversa y del nuevo sistema biológico propuesto. Los datos obtenidos nos muestran

que los costes del nuevo sistema se reducen en un 47% respecto a los de la ósmosis inversa, principalmente derivados de un menor consumo energético y de una elevada reducción del volumen de agua de rechazo por parte del sistema biológico. Los análisis de ciclo de vida de ambos sistemas también resultan favorables al sistema biológico, resultando, en el tratamiento de un metro cúbico de agua, una huella de carbono para la ósmosis inversa de 2,5 veces la huella de la planta biológica. La misma magnitud resulta también del análisis de la huella ambiental, que considera además otros impactos ambientales.

Como conclusión, destacamos que la tecnología propuesta por LIFE ECOGRANULARWATER, consiste en un sistema biológico diseñado para el tratamiento de agua potable en pequeñas poblaciones, eficiente en la eliminación de nitratos en condiciones de total bioseguridad. Se trata de un sistema ambiental y económicamente más ventajoso que la ósmosis inversa, ya que implica menores costes de explotación, así como menor huella ambiental y de carbono, tal y como se deriva de los estudios realizados.

Presentaciones de los ponentes



LA PROBLEMÁTICA DE LA RADIOACTIVIDAD NATURAL EN LAS AGUAS DE CONSUMO EN ESPAÑA

Contenido:

1. Normativa aplicable al contenido radiactivo en las aguas de consumo
2. Niveles detectados para los radionúclidos naturales en las aguas de consumo
3. Acciones de remedio para aguas que superan el nivel de referencia de dosis por ingesta
4. Implicaciones de la aplicación de estos tratamientos

Realizado por:

Antonio Baeza y Alejandro Salas

LARUEX

Junio 2021



1. Normativa aplicable al contenido radiactivo en las aguas de consumo

DIRECTIVA 2013/51/EURATOM DEL CONSEJO de 22 de octubre de 2013, por la que se establecen requisitos para la protección sanitaria de la población con respecto a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano.

TRANSPONE

BOE nº 183 de 30 de julio del 2016, en el que se publica el 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

MEDIDAS DE CRIBADO: ¿Las aguas de consumo cumplen o no los siguientes niveles de referencia?

Parámetro	Valor paramétrico	Unidad
Radón	500	Bq/l
Tritio	100	Bq/l
Dosis indicativa (DI) . .	0,10	mSv

Parámetro	Valor paramétrico	Unidad
α - total	0,1	Bq/l
β - resto	1,0	Bq/l

Si los cumplen: Entonces se aplica el R.D.

314/2016, Anexo VII. 1. a:

“Si la concentración de actividad alfa total es inferior a 0,1 Bq/l y la concentración de actividad beta total o beta resto (beta total excluido el potasio-40) es inferior a 1,0 Bq/l se puede considerar que la DI es inferior a 0,1 mSv. Si, además, la concentración de actividad del tritio es inferior a 100 Bq/l no deberán realizarse investigaciones radiológicas adicionales.”



NO los cumplen: Entonces se aplica el R.D. 314/2016, Anexo VII. 1.:

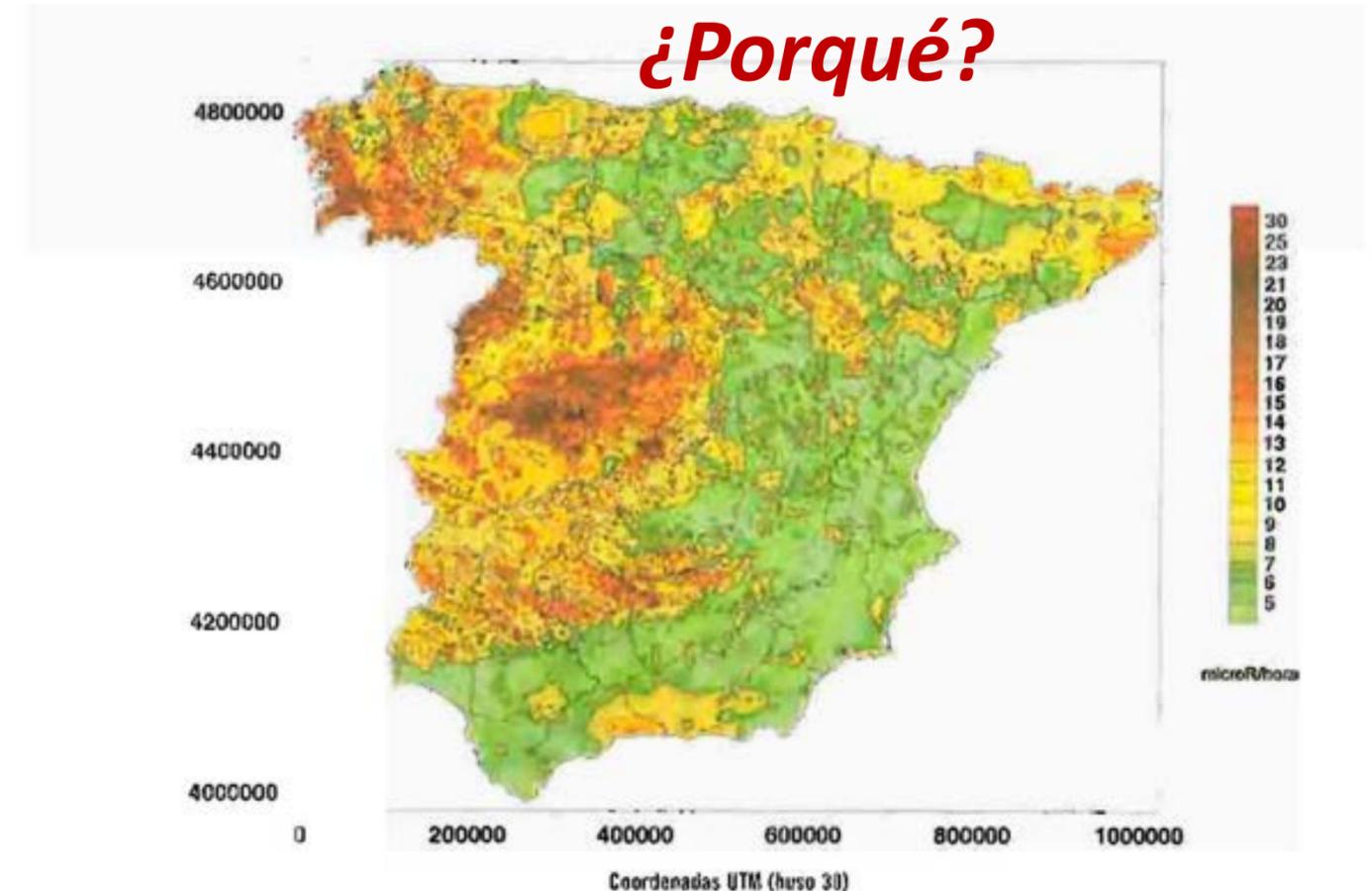
b) Si la concentración de actividad alfa total o beta resto es superior a 0,1 Bq/l y 1,0 Bq/l respectivamente, y la concentración de actividad de tritio es inferior a 100 Bq/l, se deberá realizar un análisis de radionucleidos específicos, primero naturales y después artificiales si fuese el caso.

c) Si la concentración de actividad alfa total es inferior a 0,1 Bq/l y la concentración de actividad beta total o beta resto es inferior a 1,0 Bq/l, y la concentración de actividad de tritio es superior a 100 Bq/l, se realizará un análisis de radionucleidos específicos artificiales.

d) Si la concentración de actividad alfa total o beta resto es superior a 0,1 Bq/l y 1,0 Bq/l, respectivamente, y la concentración de actividad de tritio es superior a 100 Bq/l, se deberá realizar un análisis de radionucleidos específicos naturales y artificiales.

Concentraciones derivadas para la radiactividad en el agua destinada al consumo humano (Nota 1)

Origen	Nucleido	Concentración derivada
Natural.	U-238 (Nota 2)	3,0 Bq/l
	U-234 (Nota 2)	2,8 Bq/l
	Ra-226	0,5 Bq/l
	Ra-228	0,2 Bq/l
	Pb-210	0,2 Bq/l
	Po-210	0,1 Bq/l
Artificial	C-14	240 Bq/l
	Sr-90	4,0 Bq/l
	Pu-239/Pu-240	0,6 Bq/l
	Am-241	0,7 Bq/l
	Co-60	40 Bq/l
	Cs-134	7,2 Bq/l
	Cs-137	11 Bq/l
	I-131	6,2 Bq/l





2. Niveles detectados para los radionúclidos naturales en las aguas de consumo

✓ Hemos recopilado los resultados de los niveles radiactivos de las aguas de consumo analizadas por el LARUEX durante 2020 y 2021 en toda la Península Ibérica, de las que desconocemos su procedencia concreta:

Nº aguas ensayo "basal": 1299

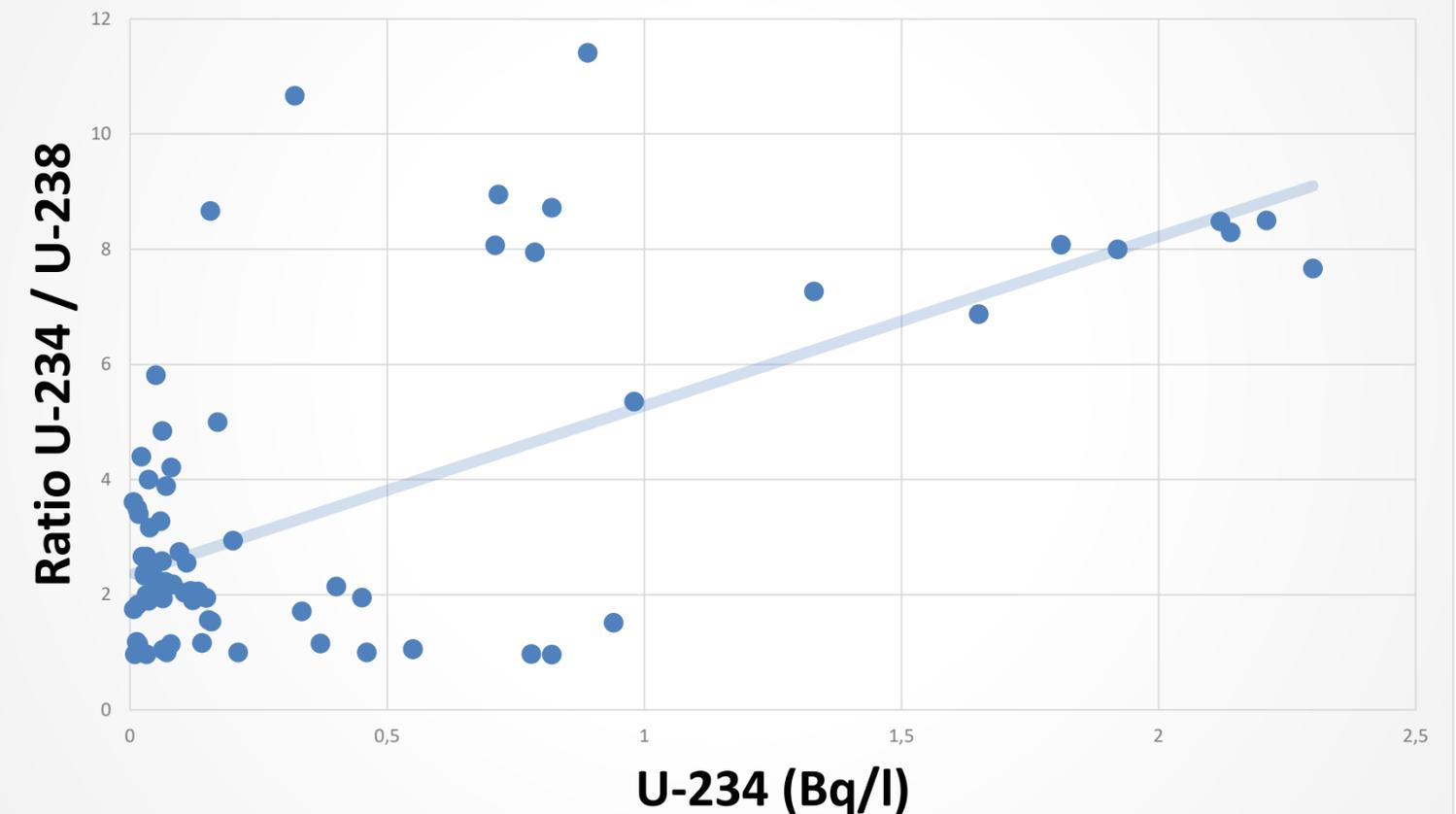
Nº aguas con $A(\alpha_{total} > 0,1 \text{ Bq/l}) = 75 \rightarrow$ el 5,8% del total

COMPARACION U-234 FRENTE RA-226



TODAS las aguas con $A(\alpha_{total}) > 0,1 \text{ Bq/l}$ de origen SUBTERRÁNEO.

DESEQUILIBRIO ISOTÓPICO



- Actividades (Uranio-234) < 2,5 Bq/l
- Actividades (Radio-226) < 1,4 Bq/l
- Actividades (Polonio-210, Plomo-210) < <<<<

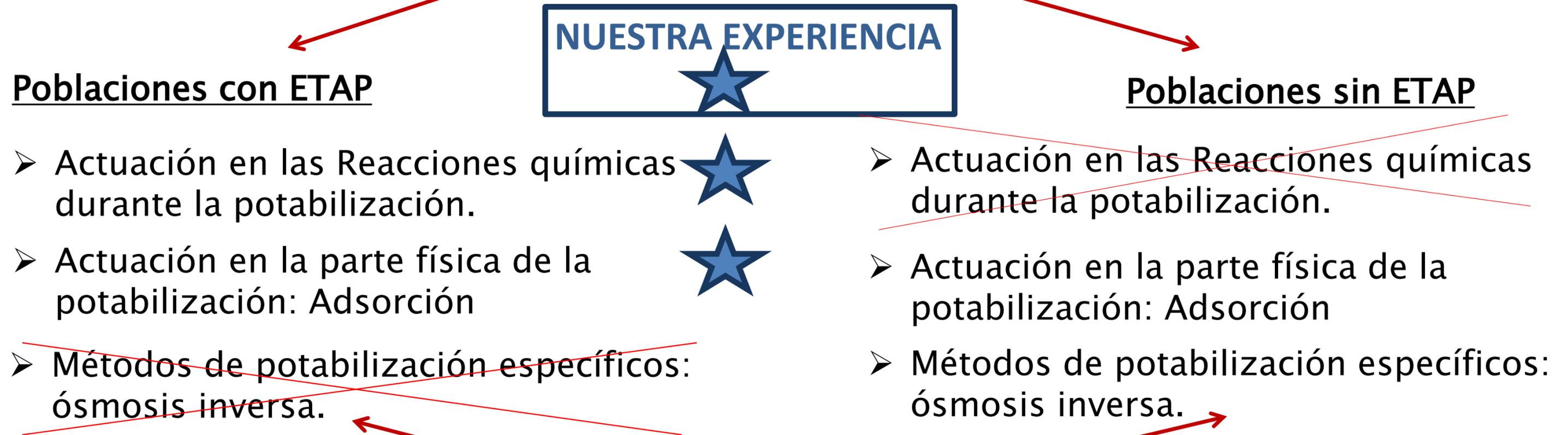


CONCLUSIONES:

1. Las aguas con problemas “serios” por sus contenidos radiactivos naturales son relativamente “pocas”
 2. Son aguas subterráneas que abastecen normalmente a pequeñas poblaciones.
 3. Por las características de los núcleos abastecidos:
 - * Suelen NO tener suministros alternativos económicamente viables
 - * Suelen NO tener capacidad técnica para soluciones tecnológicamente complejas.
-
3. **Acciones de remedio para aguas que superan el nivel de referencia de dosis por ingesta**
 - ✓ Éstas son **ESTRICTAMENTE** necesarias para aquellas aguas, que una vez calculada la actividades de los radionucleidos principalmente responsables de la elevada actividad α total detectada, la dosis por ingesta resulta ser superior a 0,1 mSv/a.
 - ✓ En el ejemplo antes planteado afecta a **12** de las **1299** aguas ensayadas.



POSIBLES SOLUCIONES:

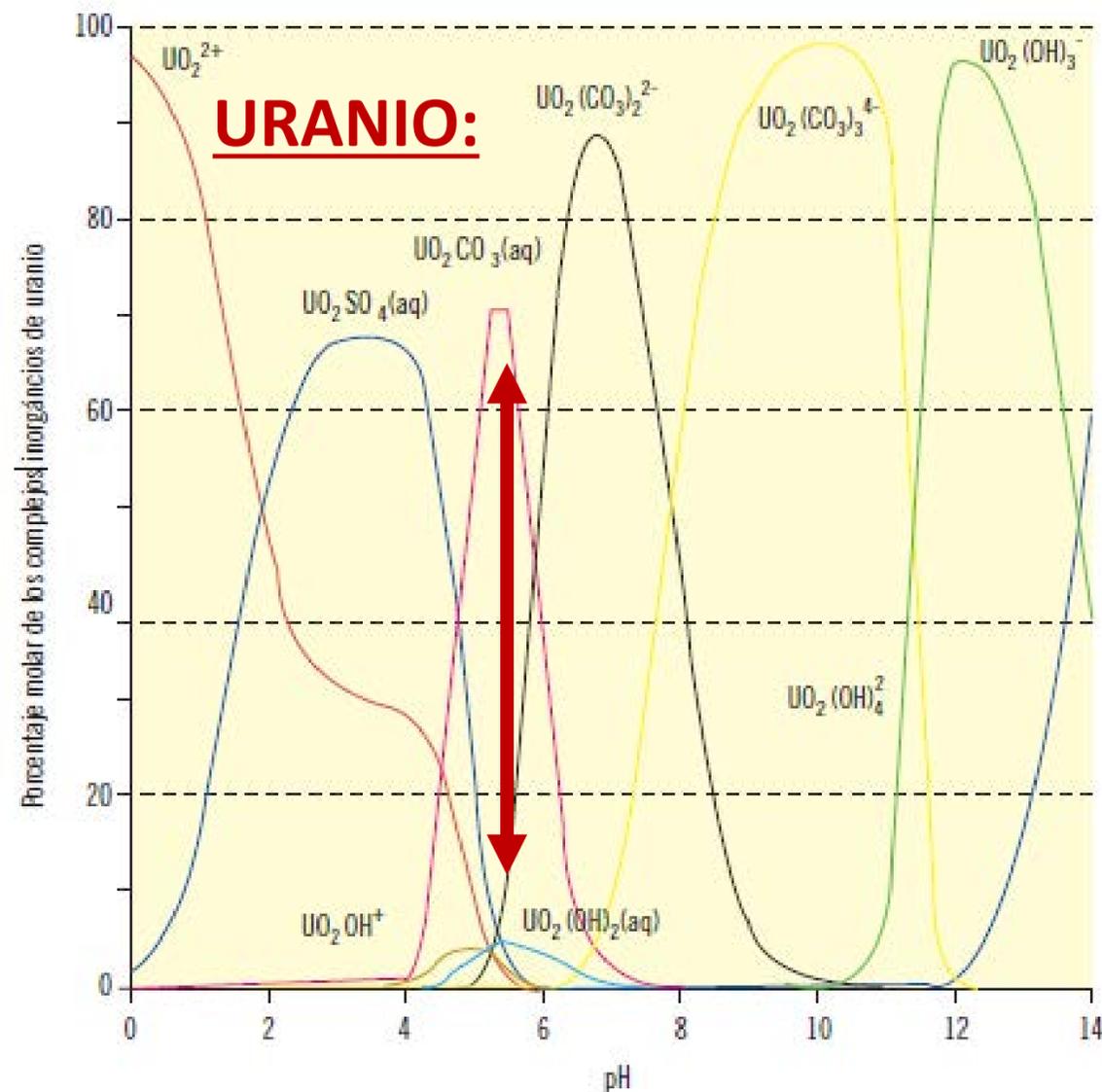


A pesar de sus obvios inconvenientes (coste del agua producida, necesidad de personal técnico especialista para su funcionamiento), con frecuencia es la solución implantada en algunas pequeñas poblaciones con altas contenidos radiactivos naturales en sus aguas



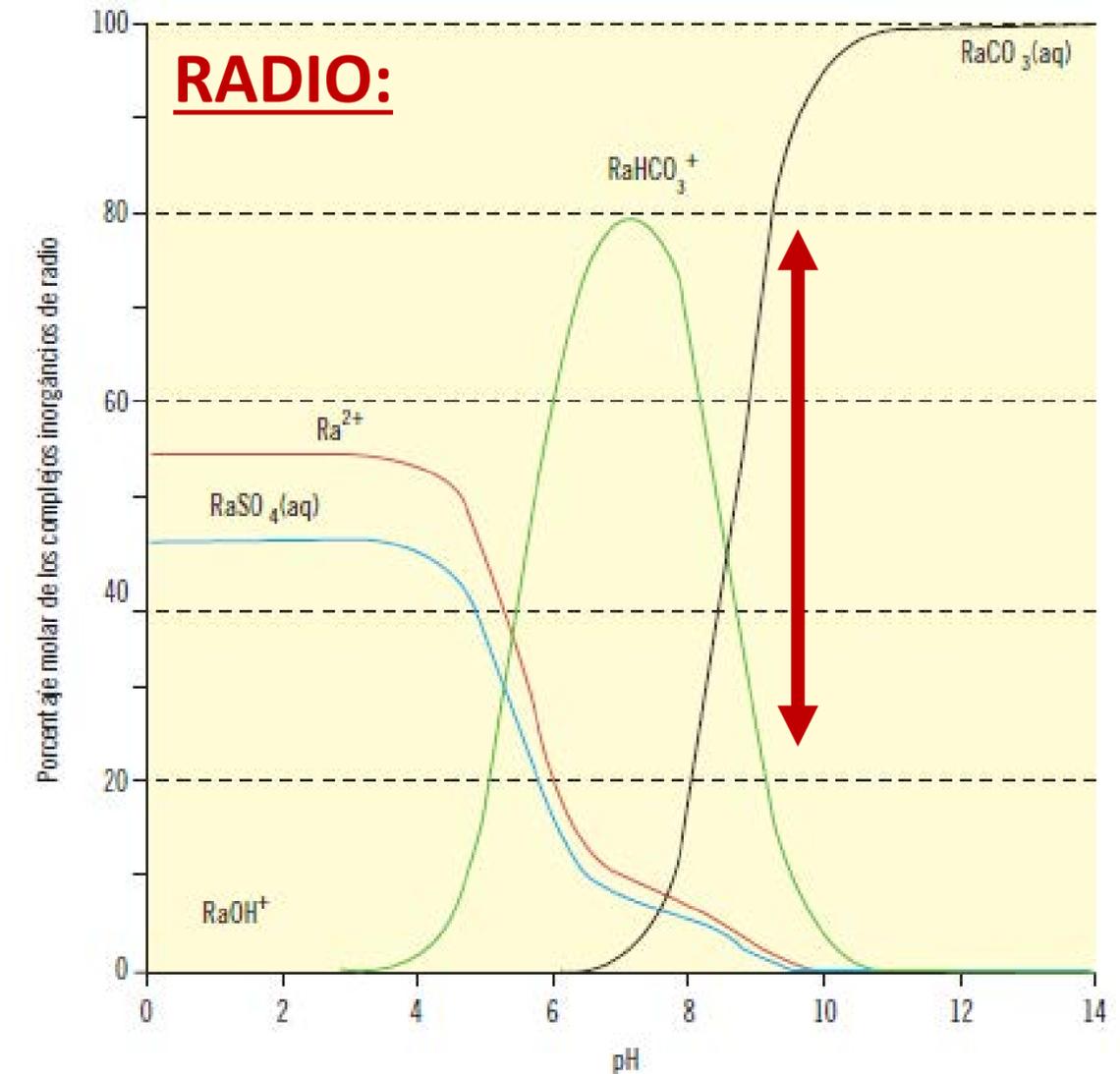
Actuación en las Reacciones químicas durante la potabilización:

- ✓ Eliminaciones prácticamente independiente del tratamiento (coagulador / floculador) empleado
- ✓ Eliminaciones dependientes de las características químicas mayoritarias del agua potabilizada



- Único requisito: $\text{pH} = 6$
- Procedimiento de fácil aplicación
- Obtención de buenas eliminaciones 50-80%

- Único requisito: $\text{pH} \geq 10$
- Procedimiento con dificultades operativas
- Obtención de buenas eliminaciones 64-80%





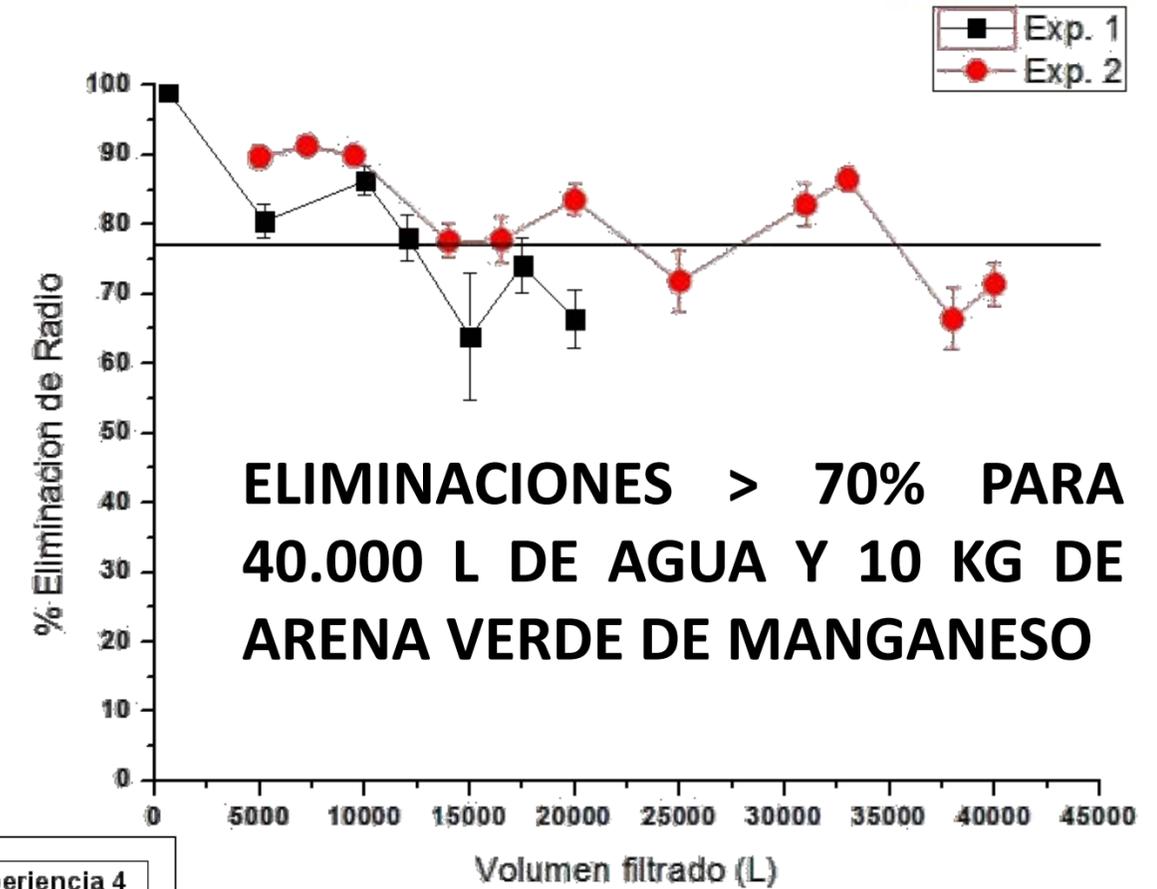
Actuación en la parte Física de la potabilización: Adsorción



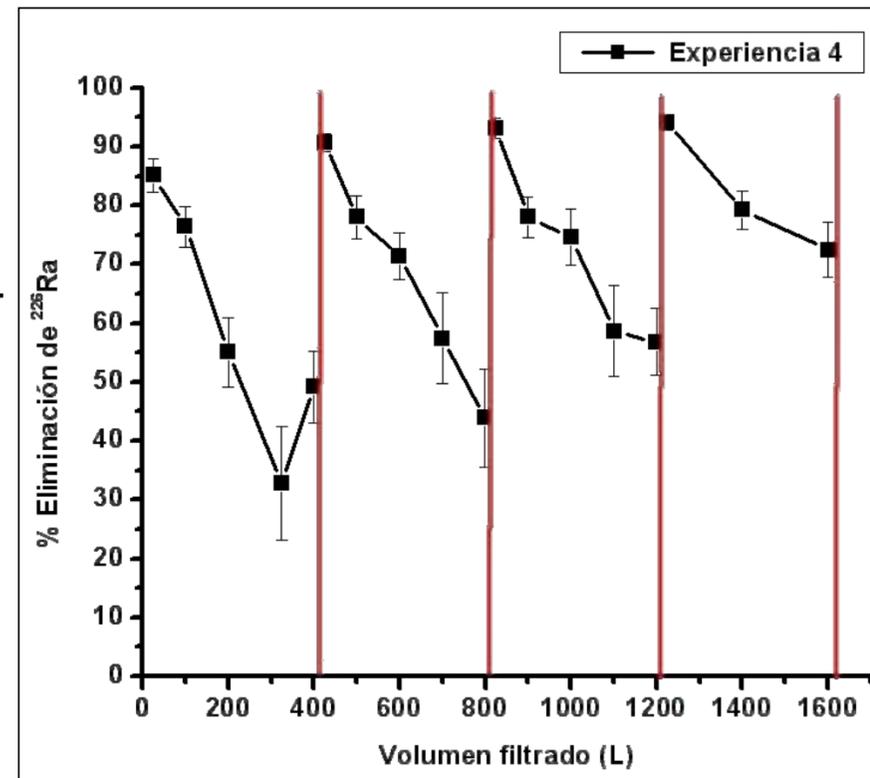
ADSORBENTE: ARENA VERDE DE MANGANESO:

- ✓ *Alta adsorción selectiva para el radio*
- ✓ *Lenta colmatación*

PROCEDIMIENTO PATENTADO CON EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR



ELIMINACIONES > 70% PARA 40.000 L DE AGUA Y 10 KG DE ARENA VERDE DE MANGANESO



- ✓ *Posibilidad de regeneración, manteniendo sus capacidades*

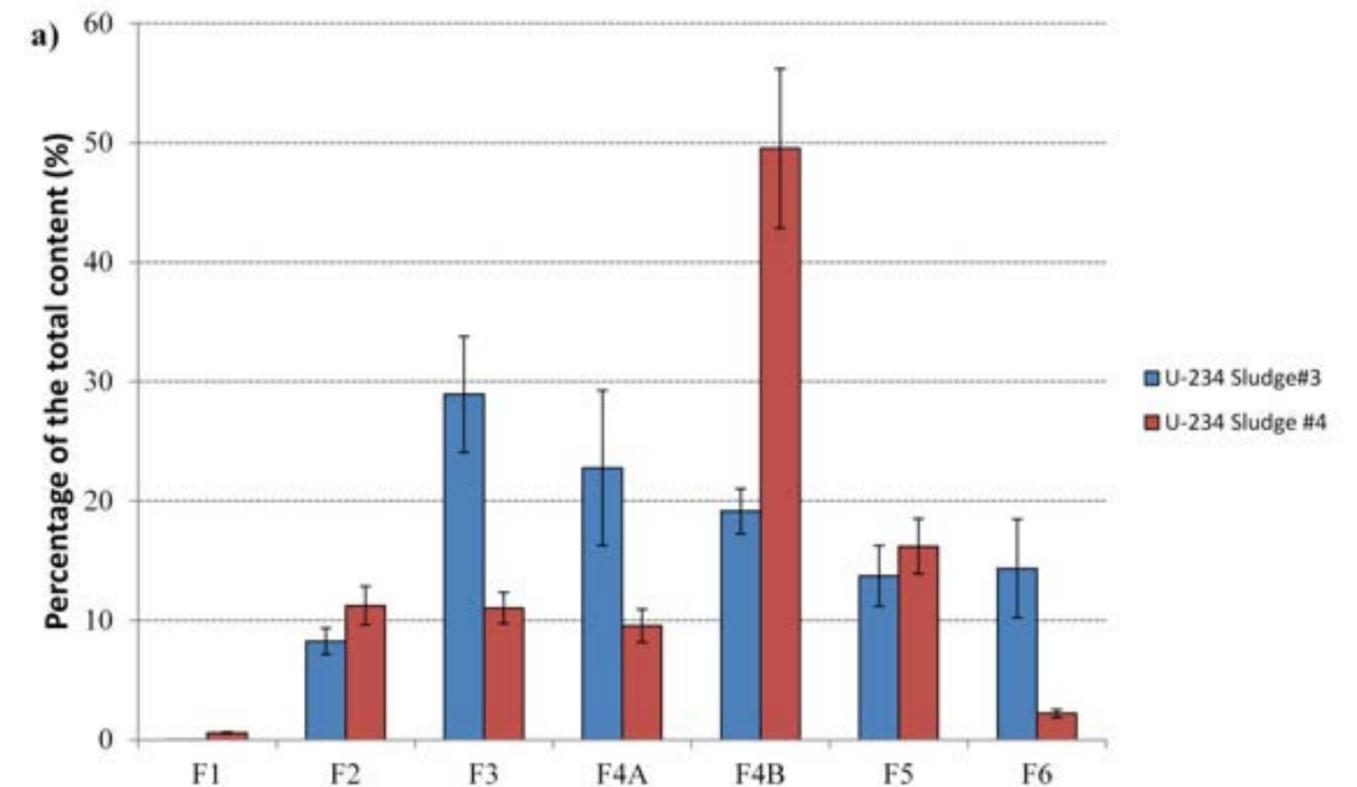


4. Implicaciones de la aplicación de estos tratamientos

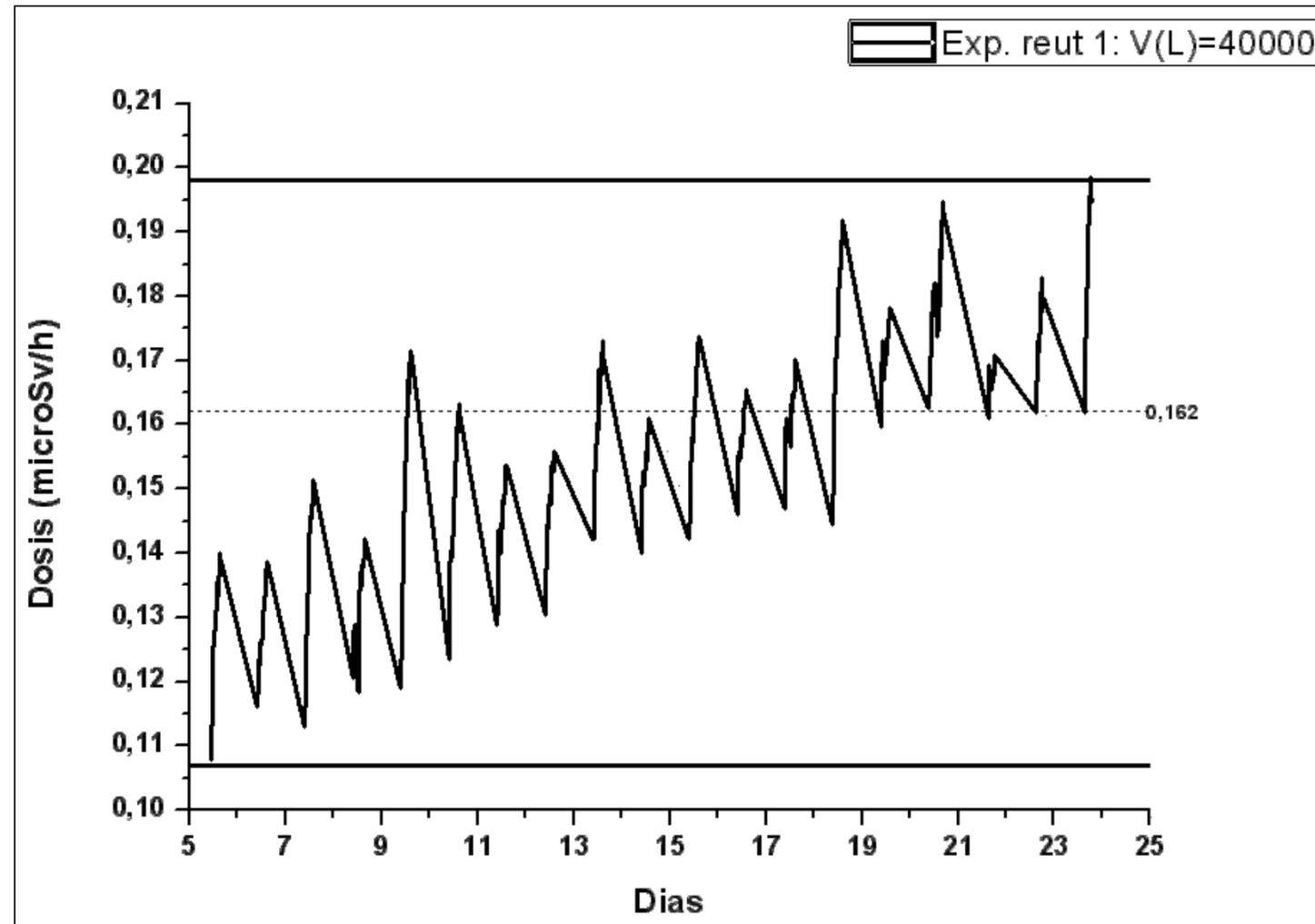
“Los contenidos radiactivos eliminados del agua NO DESAPARECEN, cambian de medio receptor”

4.a.- Actuación en las Reacciones químicas durante la potabilización: **FANGOS GENERADOS**

- 1. Concentraciones finales de URANIO en fangos pueden superar el 1 Bq/g*
- 2. Frecuente uso en agricultura como fertilizante y como enmienda de determinados suelos*
- 3. Preferente localización del URANIO en la fracción reducible de los fangos (F4 > 35% del total), dada la poca presencia de bicarbonatos en esta agua. En las que si las hay, la fracción dominante es la carbonatada o F3*

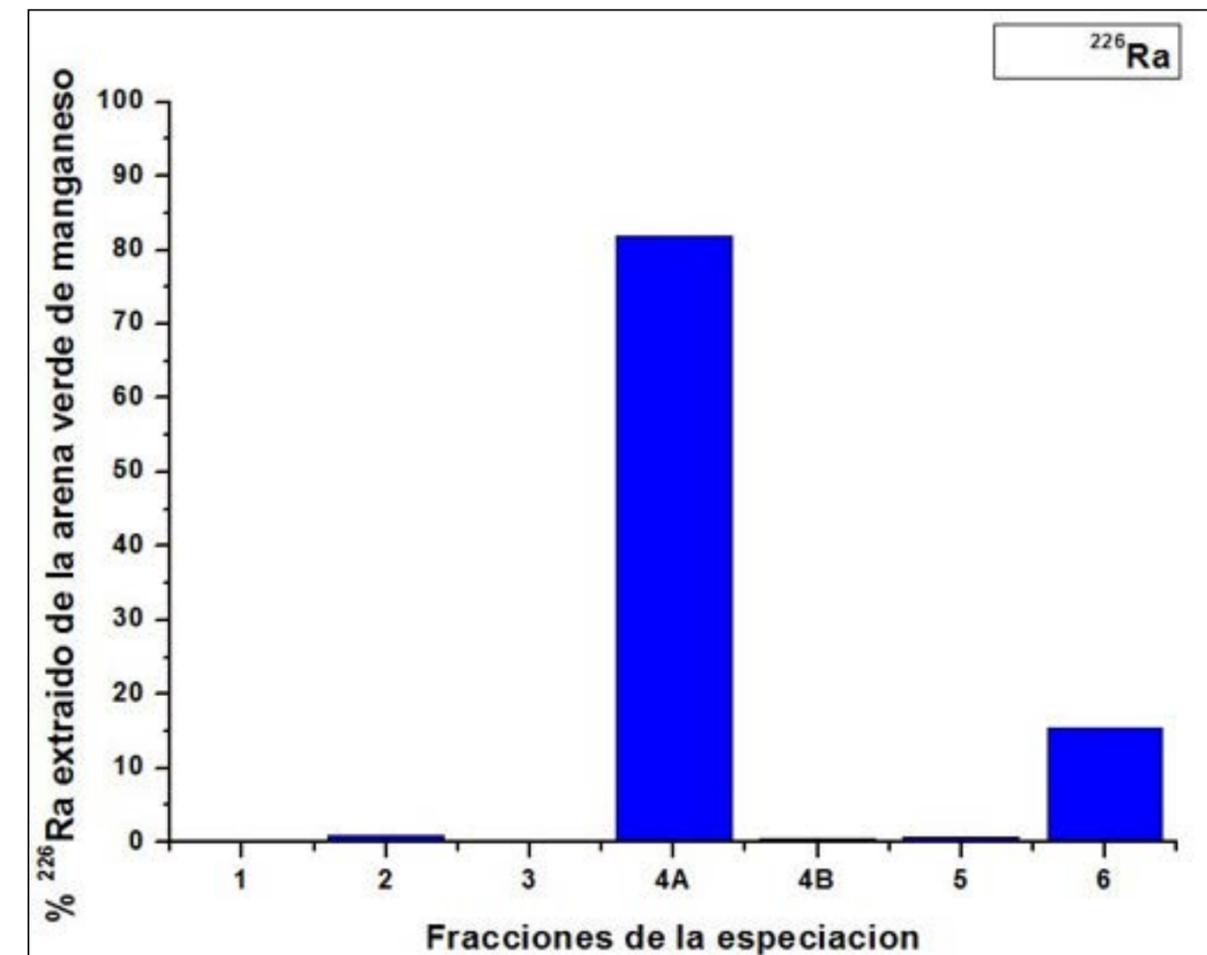


4.b.- Actuación en la parte física de la potabilización: **LECHOS FILTRANTES y en su caso, LÍQUIDOS GENERADOS DURANTE LA REGENERACIÓN**



EJEMPLO:

El uso continuado del adsorbente, produce un incremento de tasa de dosis de 0,15mSv/año (considerando 8h/d y 11 meses de funcionamiento)



- ✓ El radio se asocia principalmente al dióxido de manganeso, por lo que en la especiación se localiza en la fracción 4A o “fácilmente reducible”
- ✓ Por ello, tras tres lavados, se extrae del lecho filtrante ≈ 63% del radio



REQUERIMIENTOS LEGALES DE LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Beatriz Robles Atienza

Subdirección de Protección Radiológica Ambiental

Área de Radiación Natural

CSN



REQUERIMIENTOS LEGALES DE LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Contenido:

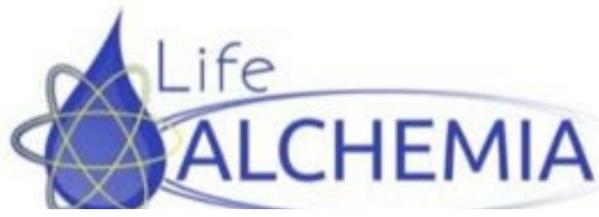
Generalidades

Marco Normativo actual

Adaptación a la Directiva 2013/59/EURATOM

Situación actual de cumplimiento de la Normativa

Implementación



TNORM

TNER

TENORM

NORM: *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*

IAEA – TRS 419

1. Se produce un aumento en las concentraciones de actividad
2. Se modifican las vías de exposición o el número de personas expuestas
3. Se transportan materiales de un lugar a otro
4. Se incrementa la biodisponibilidad de los radioisótopos



● **Cadena U-238**  **$4.5 * 10^9$ años**

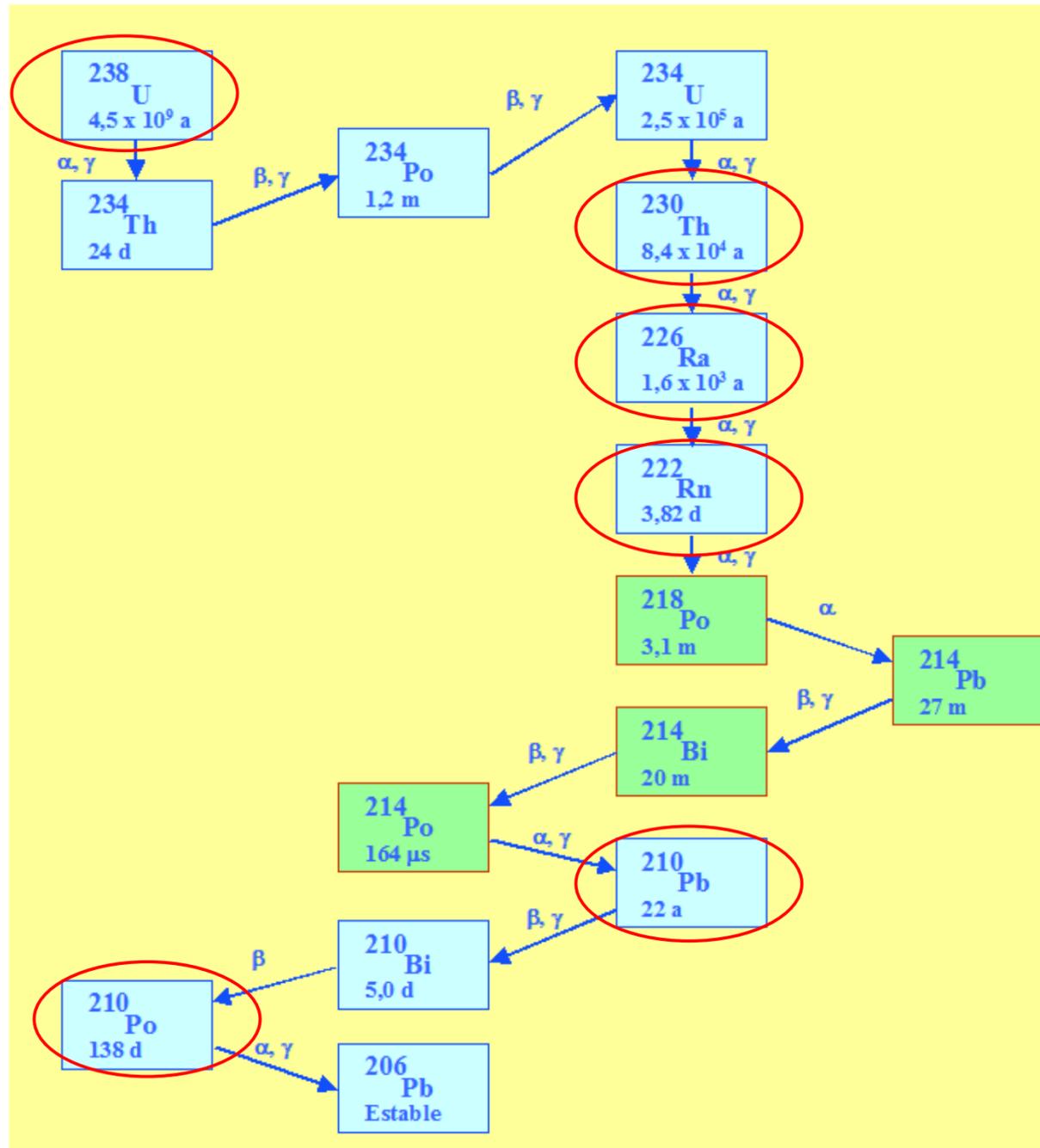
● **Cadena Th-232**  **$1.4 * 10^{10}$ años**

● **Cadena U-235**  **$7.0 * 10^8$ años**

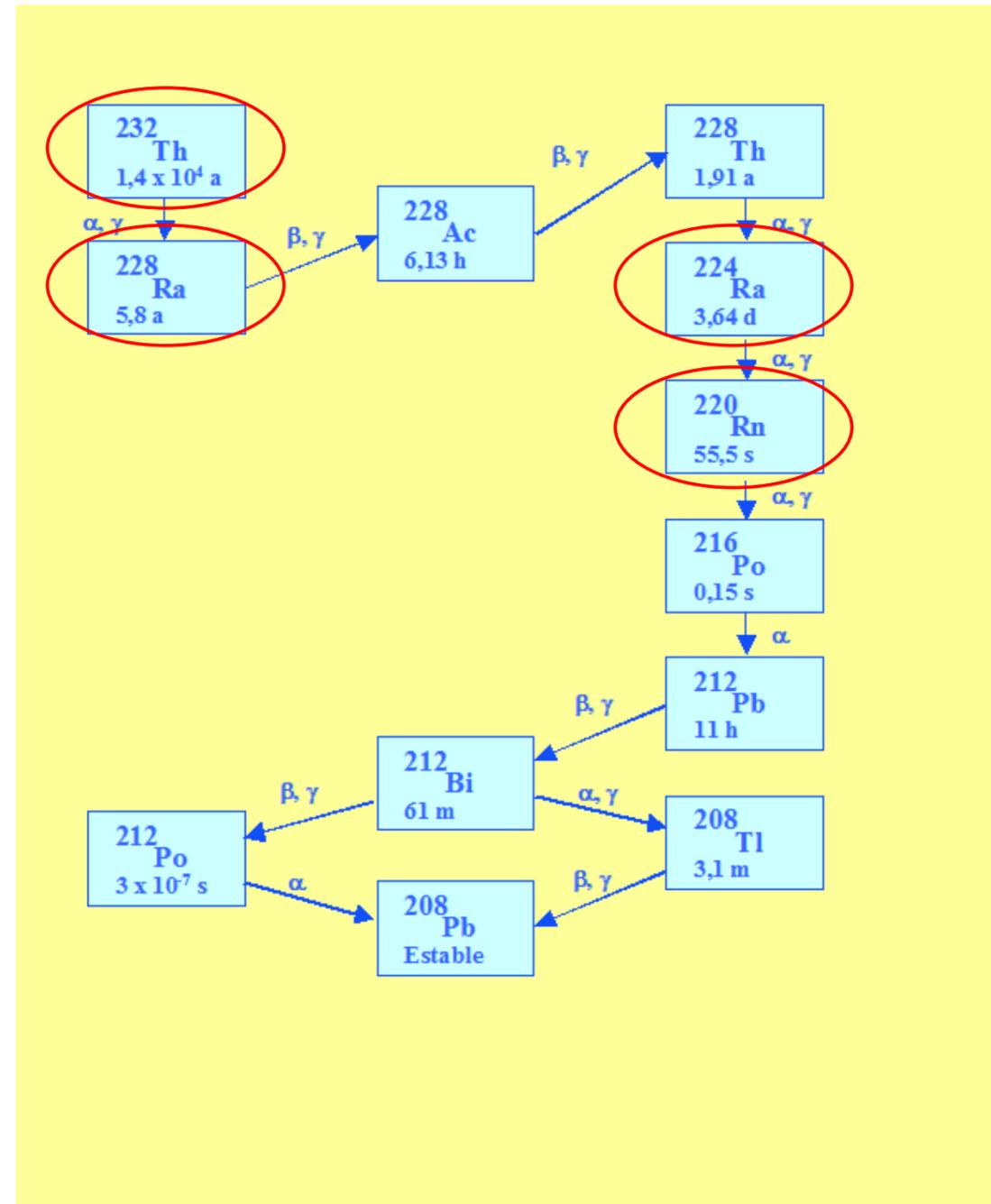
● **K-40**  **$1.3 * 10^9$ años**



Cadena U-238



Cadena Th-232





Características comunes de las industrias NORM

1. En general el principal problema son las grandes cantidades de materias primas, subproductos y residuos, del orden de millones de toneladas anuales que utilizan y producen.
2. Se trata de los mismos radionucleidos que se encuentran de forma ubicua en la naturaleza, y por tanto indistinguibles.
3. Los procesos industriales a los que se someten las materias primas rompen el equilibrio secular de las cadenas naturales y se producen acumulaciones selectivas de los radionucleidos en los diferentes productos, residuos y equipos (tuberías, bombas, filtros...)
4. No existen estudios que describan la situación anterior al inicio de la operación.
5. Las industrias no tienen como fin el uso de esas materias con concentraciones en radiactividad incrementadas.
6. Habitualmente la alteración en la concentración de actividad conlleva la alteración en otros elementos químicos. Por tanto los NORM suelen llevar asociados otros contaminantes no radiactivos.

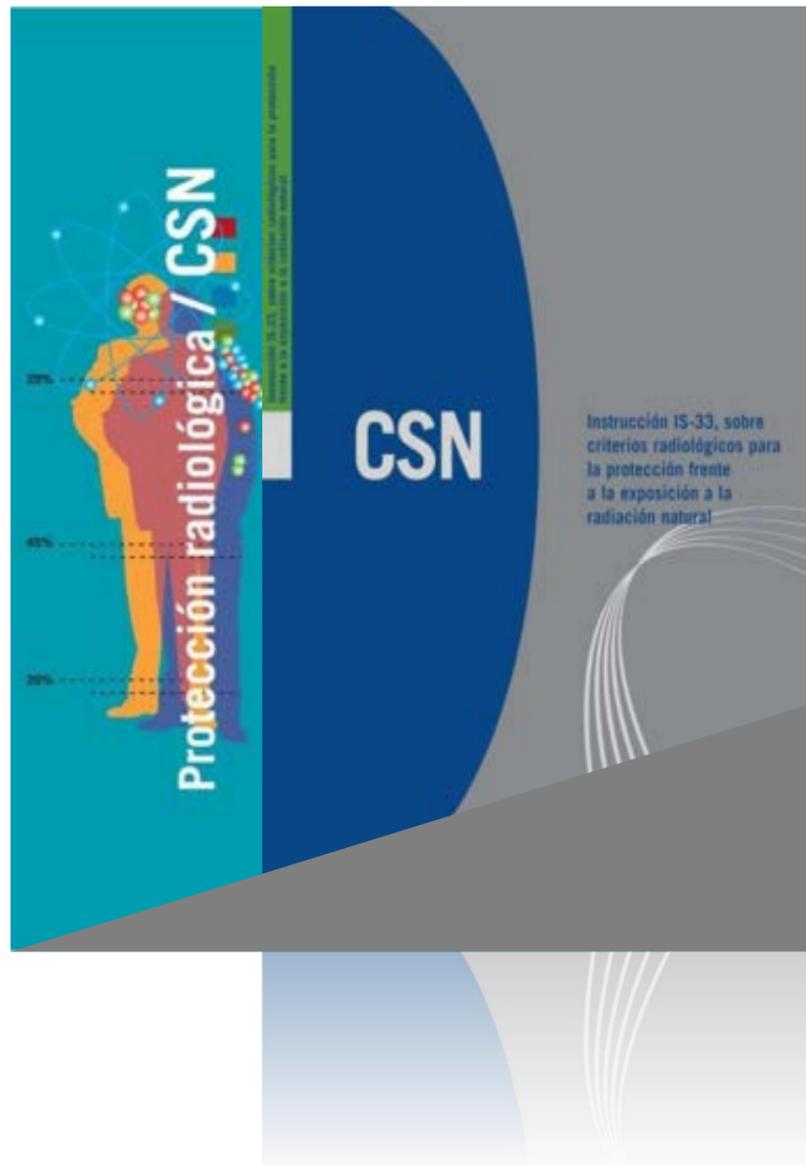


RPSRI Título VII. Fuentes naturales de radiación



Artículo 62. Aplicación

Establece que los titulares de las actividades laborales no reguladas en las que exista fuentes naturales de radiación, deberán declarar estas actividades antes los órganos competentes en materia de industria de las CCAA en cuyo territorio se realizan estas actividades laborales 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 PR



El 21 Diciembre 2011 el Pleno del CSN aprobó los criterios radiológicos sobre los siguientes aspectos:

- Actividades laborales que deberían ser objeto de estudio.
- Contenido de los distintos estudios.
- Valores de dosis para los trabajadores cuya superación requería la aplicación de medidas correctoras. Industrias NORM.
- Concentraciones de ^{222}Rn en lugares de trabajo y viviendas.
- Criterios sobre la aplicación de medidas de protección radiológica de acuerdo , total o parcialmente con los títulos II, III, IV y V.



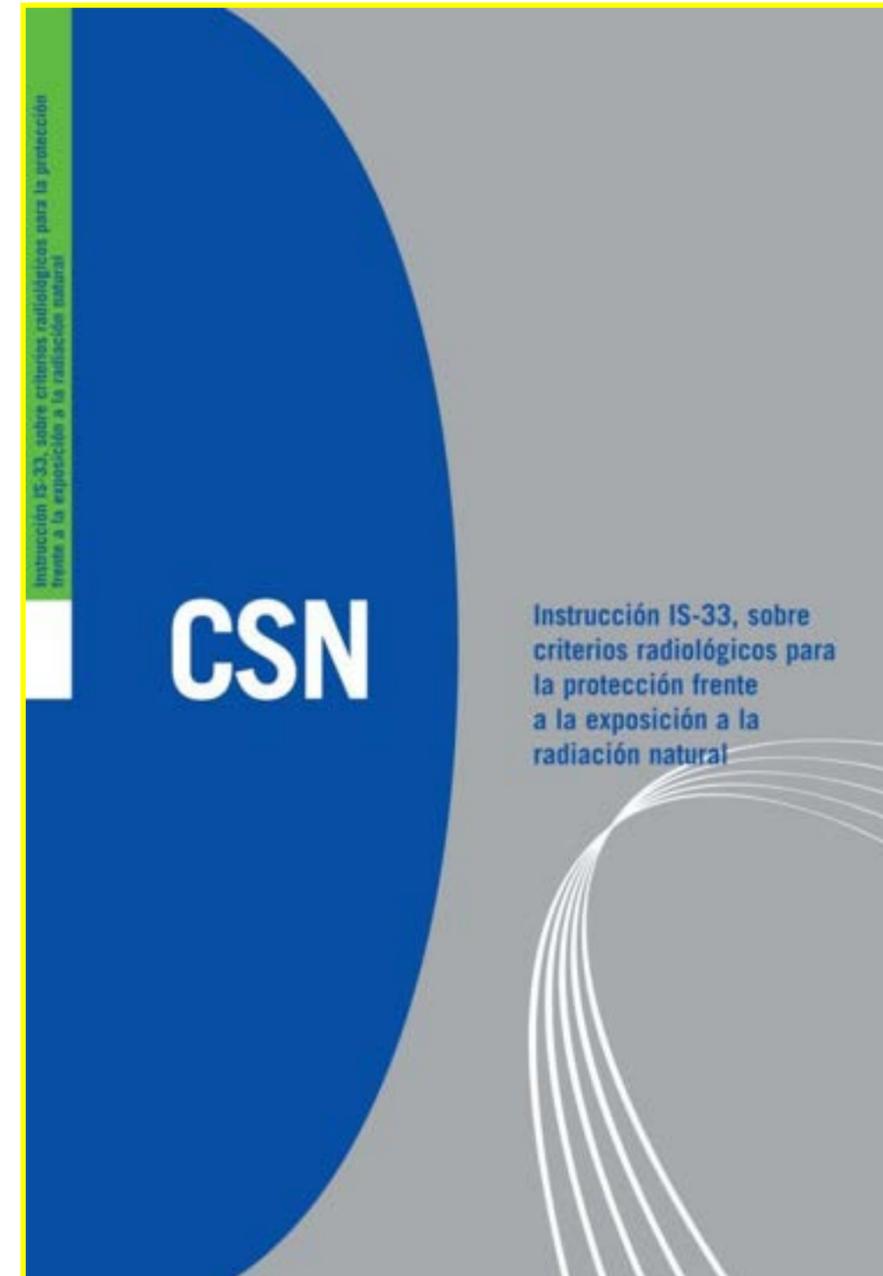
IS-33 (de 26 de enero de 2012) Instrucción del CSN sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural



IS-33 (de 26 de enero de 2012) Instrucción del CSN sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural

Establece criterios radiológicos sobre: valores de dosis a los trabajadores y concentraciones de Rn en lugares de trabajo cuya superación requeriría la adopción de medidas correctoras o dispositivos de vigilancia, así como criterios para la aplicación total o parcial de los Títulos de RPSRI si estos se han superado.

Señala como los datos mínimos que debe de tener la declaración de actividades y un Anexo con las actividades laborales sobre las que aplica.





Actividades Laborales con exposición a la radiación Natural

Listado actual - IS-33

- ❖ Establecimientos termales
- ❖ Cuevas y galerías
- ❖ Instalaciones de filtrado de aguas subterráneas
- ❖ Minería de minerales (no U)
- ❖ Lugares de trabajo subterráneos o no subterráneos en áreas identificadas por sus valores elevados en radón
- ❖ Extracción de tierras raras
- ❖ Producción y utilización del torio y sus compuestos
- ❖ Producción de niobio y ferro-niobio
- ❖ Producción de cemento
- ❖ Producción de gas y petróleo
- ❖ Producción de cemento y mantenimiento de hornos Clinker
- ❖ Fabricación de pigmentos de TiO_2
- ❖ Industria del fosfato
- ❖ Industria del zirconio
- ❖ Producción de estaño, cobre, aluminio, hierro, acero, cinc y plomo
- ❖ Centrales térmicas de carbón.





CSN IS-33

Criterios radiológicos. NORM

Trabajadores

- > 1 mSv/año: nivel bajo de control regulador
 - Vigilancia radiológica del ambiente de trabajo
 - Estimación anual de dosis efectivas individuales
 - Información y formación a los trabajadores
 - Archivo de la documentación
- > 6 mSv/año: nivel alto de control regulador
 - Señalización de zonas
 - Limitación de accesos

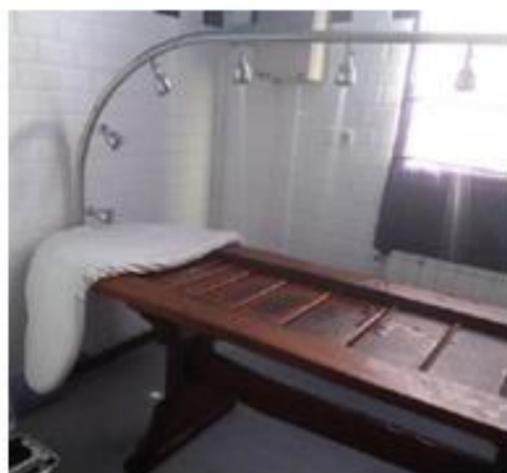
Público

0.3 mSv/año





Criterios radiológicos. Radón



Lugares de trabajo

Nivel de referencia 600 Bq/m³

< 600

No necesario control

600–1000

Nivel bajo de control

> 1000

Nivel alto de control

Nivel objetivo de diseño nuevos edificios

100 Bq/m³



Niveles de Exención / Desclasificación KBq/Kg (Bq/g)

CSN GS 11.02

OM IET/1946/2013

Radionucleido	Todos los materiales	Lodos industria gas y petróleo
U-238 sec incl. U-235 sec	0.5	5
U nat.	5	100
Th-230	10	100
Ra-226+	0.5	5
Pb-210+	5	100
Po-210	5	100
U-235 sec	1	10
U-235 +	5	50
Pa-231	5	50
Ac-227+	1	10
Th-232 sec	0.5	5
Th-232	5	100
Ra-228+	1	10
Th-228+	0.5	5
K-40	5	100

Radiation Protection nº 122 parte II

Si los valores de actividad de los materiales o residuos no superan los valores de exención, no es necesario llevar a cabo medidas ni estudios adicionales.



Guía de Seguridad 11.01

Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire

CSN

Colección Guías de Seguridad del CSN

- 1 Reactores de Potencia y Centrales Nucleares
- 2 Reactores de Investigación y Conjuntos Subcríticos
- 3 Instalaciones del Ciclo del Combustible
- 4 Vigilancia Radiológica Ambiental
- 5 Instalaciones y Aparatos Radiactivos
- 6 Transporte de Materiales Radiactivos
- 7 Protección Radiológica
- 8 Protección Física
- 9 Gestión de Residuos
- 10 Varios
- 11 Radiación Natural

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Guía del CSN GS-11.01: Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire

El objeto es dar una serie de directrices sobre las actividades y los programas de garantía de calidad de los laboratorios o servicios dedicados a la medida de la concentración en aire de ^{222}Rn . En la mayoría de sus apartados, la guía también es aplicable a la medida de sus descendientes de vida corta. Las recomendaciones realizadas están encaminadas a alcanzar un mayor grado de homogeneidad en los programas de medida de radón llevados a cabo en España y a garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos, lo cual revertirá en una aplicación más efectiva de la legislación vigente relativa a la exposición a dicho gas



Guía de Seguridad 11.01

Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire

CSN

Colección Guías de Seguridad del CSN

- 1 Reactores de Potencia y Centrales Nucleares
- 2 Reactores de Investigación y Conjuntos Subcríticos
- 3 Instalaciones del Ciclo del Combustible
- 4 Vigilancia Radiológica Ambiental
- 5 Instalaciones y Aparatos Radiactivos
- 6 Transporte de Materiales Radiactivos
- 7 Protección Radiológica
- 8 Protección Física
- 9 Gestión de Residuos
- 10 Varios
- 11 Radiación Natural

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Guía del CSN GS-11.01: Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire

El objeto es dar una serie de directrices sobre las actividades y los programas de garantía de calidad de los laboratorios o servicios dedicados a la medida de la concentración en aire de ^{222}Rn . En la mayoría de sus apartados, la guía también es aplicable a la medida de sus descendientes de vida corta. Las recomendaciones realizadas están encaminadas a alcanzar un mayor grado de homogeneidad en los programas de medida de radón llevados a cabo en España y a garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos, lo cual revertirá en una aplicación más efectiva de la legislación vigente relativa a la exposición a dicho gas



Guía del CSN GS-11.3: Metodología para la evaluación del impacto radiológico de las industrias NORM

El propósito de esta guía es recomendar una serie de criterios en cuanto al contenido y a la metodología a seguir en los estudios que deben realizar, en cumplimiento del título VII del Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, los titulares de las denominadas industrias NORM. Bien por la actividad de los radionucleidos naturales en la materia prima, bien por fenómenos de concentración en el proceso industrial, pueden producirse exposiciones del público o de los trabajadores que sean significativas desde el punto de vista de la protección radiológica

Guía de Seguridad 11.3

Metodología para la evaluación del impacto radiológico de las industrias NORM

CSN

Colección Guías de Seguridad del CSN

- 1 Reactores de Potencia y Centrales Nucleares
- 2 Reactores de Investigación y Conjuntos Subcríticos
- 3 Instalaciones del Ciclo del Combustible
- 4 Vigilancia Radiológica Ambiental
- 5 Instalaciones y Aparatos Radiactivos
- 6 Transporte de Materiales Radiactivos
- 7 Protección Radiológica
- 8 Protección Física
- 9 Gestión de Residuos
- 10 Varios
- 11 Radiación Natural

CSN  CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR



Guía de Seguridad 11.4

Metodología para la evaluación
de la exposición al radón en los lugares
de trabajo

CSN

Colección Guías de Seguridad del CSN

- 1 Reactores de Potencia y Centrales Nucleares
- 2 Reactores de Investigación y Conjuntos Subcríticos
- 3 Instalaciones del Ciclo del Combustible
- 4 Vigilancia Radiológica Ambiental
- 5 Instalaciones y Aparatos Radiactivos
- 6 Transporte de Materiales Radiactivos
- 7 Protección Radiológica
- 8 Protección Física
- 9 Gestión de Residuos
- 10 Varios
- 11 Radiación Natural

CSN  CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

Guía del CSN GS-11.4: Metodología para la evaluación de la exposición al radón en los lugares de trabajo

El objetivo de esta guía es establecer una serie de criterios metodológicos para los estudios que, en virtud del título VII del Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSRI), deben realizar los titulares de las actividades laborales en las que exista un considerable riesgo potencial de exposición al radón (^{222}Rn) y a sus descendientes de vida corta.

La finalidad principal de los estudios es determinar si la concentración media anual de radón a la que están expuestos los trabajadores o el público supera el nivel de referencia correspondiente.



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 objeto de la presente orden es regular la gestión de los residuos que contengan radionucleidos naturales, denominados “residuos NORM”, entendiendo por tales aquellos materiales o productos de desecho para los cuales el titular de la actividad en la que se generan no prevea ningún uso, debiendo por tanto ser objeto de una gestión adecuada

Previamente a la toma de decisiones sobre la gestión de los residuos NORM se deben llevar a cabo los estudios requeridos en el artículo 62 del RPSRI y en la Instrucción del Consejo de Seguridad Nuclear que lo desarrolla, IS-33

Si, como consecuencia de la caracterización radiológica de los residuos NORM, se verifica que presentan contenido o contaminación de radionucleidos en valores inferiores o iguales a los niveles establecidos en el Anexo de esta orden, podrán ser gestionados por vías convencionales, de acuerdo con la normativa de gestión que les sea de aplicación

ANEXO

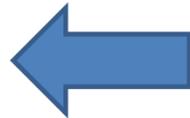
Niveles de Exención / Desclasificación KBq/Kg (Bq/g)

Radionucleido	Todos los materiales	Lodos industria gas y petróleo
U-238 sec incl. U-235 sec	0.5	5
U nat.	5	100
Th-230	10	100
Ra-226+	0.5	5
Pb-210+	5	100
Po-210	5	100
U-235 sec	1	10
U-235 +	5	50
Pa-231	5	50
Ac-227+	1	10
Th-232 sec	0.5	5
Th-232	5	100
Ra-228+	1	10
Th-228+	0.5	5
K-40	5	100



Adaptación a la nueva normativa
Directiva 2013/59/EURATOM

Proyecto Real Decreto
Reglamento sobre
protección de la salud
contra los riesgos
derivados de la
exposición a las
radiaciones ionizantes



REVISIÓN

BOE
LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el
Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.

Ministerio de Industria y Energía
BOE núm. 242 de 24 de diciembre de 1999

BOE
LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el
Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.

Ministerio de la Presidencia
«BOE» núm. 178, de 26 de julio de 2001
Referencia: BOE-A-2001-14555

TEXTO CONSOLIDADO
Última modificación: 18 de noviembre de 2010



DIRECTIVA 2013/59/EURATOM

Industrias NORM equiparadas al resto de prácticas. Situación de exposición planificada

Nuevos sectores: toda la minera metálica, energía geotérmica, tratamiento de agua ...

Control gradual

- Notificación/Exención
- Autorización (registro, licencia)



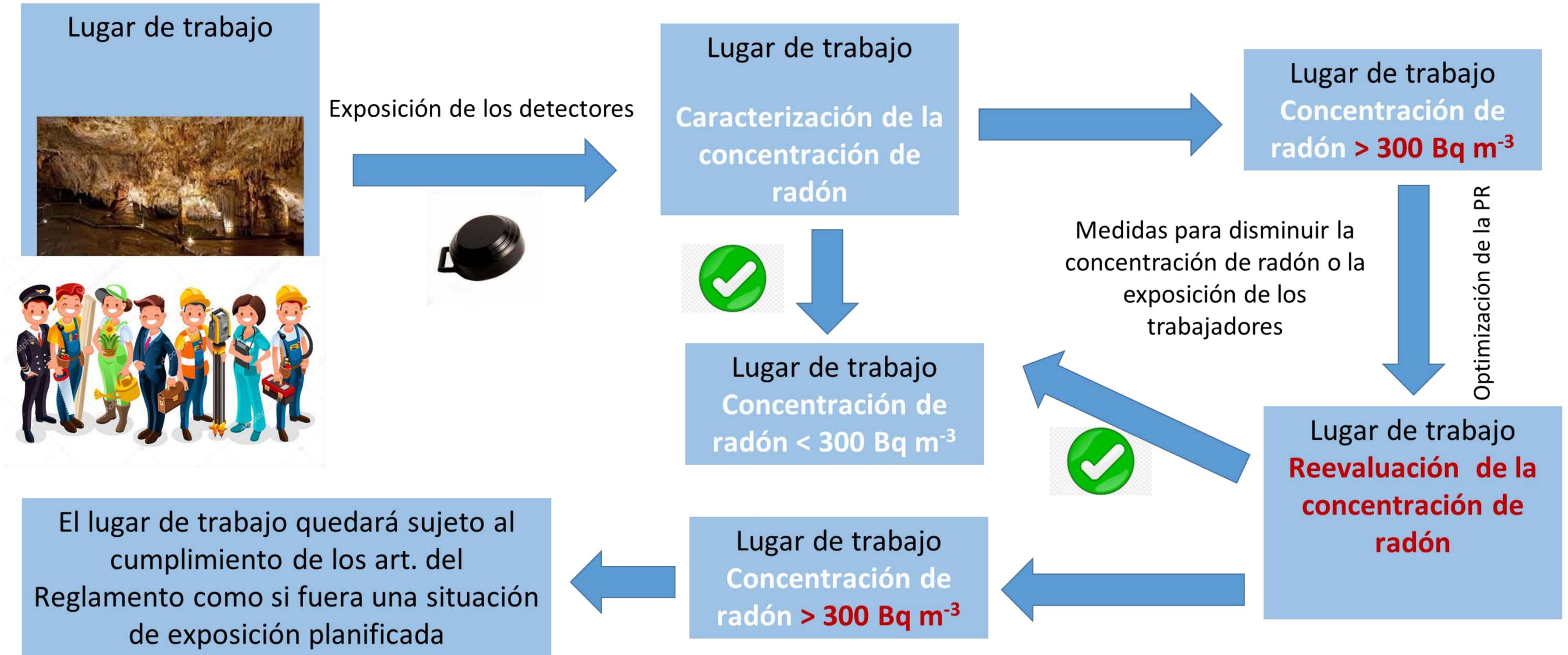
RADÓN: situación de exposición existente

- Notificación: $> 300 \text{ Bq/m}^3$
- Trabajadores expuestos: $> 6 \text{ mSv}$

Tipos de lugares de trabajo y zonas geográficas con mayor riesgo



Situaciones existentes. Exposición al radón





Listado propuesto – RIRN

Listado de sectores industriales (incluyendo los procesos secundarios asociados) en los que se procesa o genera material radiactivo de origen natural

- ❖ Extracción de tierras raras
- ❖ Producción de compuestos de torio y fabricación de productos que contienen torio
- ❖ Producción de niobio/tantalio
- ❖ Producción de gas y petróleo
- ❖ Producción de energía geotérmica (excluido el uso doméstico)
- ❖ Fabricación de pigmentos de TiO_2
- ❖ Minería y procesamiento de roca fosfática
- ❖ Procesamiento de silicato y óxido de circonio
- ❖ Producción de cemento y mantenimiento de hornos Clinker
- ❖ Producción de energía termoeléctrica a partir de carbón
- ❖ Producción de cemento
- ❖ Producción primaria de hierro/acero, estaño, cobre y aluminio
- ❖ Instalaciones de filtración de aguas subterráneas (*)
- ❖ Minería y procesamiento de minerales metálicos distintos de los del U
- ❖ Fabricación de papel y pasta de papel (*)
- ❖ Extracción de caolín (*)

(*) sectores nuevos



Instalaciones de filtración de aguas subterráneas

- ✓ Se generan residuos durante el tratamiento del agua para consumo humano como son: lodos, filtros, resinas de intercambio iónico, filtros de carbón activo...
- ✓ Su actividad varía considerablemente en función de las aguas tratadas.

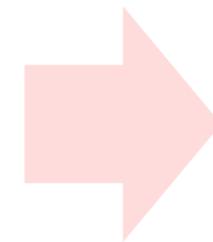


Radionucleido	Actividad específica (Bq g ⁻¹)
Pb-210	0.208
Ra-226	1.29
Ra-228	1.102
Th-228	0.316
U-238	0.425

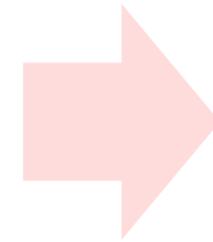


Situación actual

- Inscripción en el Registro de la CCAA
- Realización de un estudio de riesgo radiológico



Control regulador



Revisión cada 5 años

- CATEGORIZAR la actividad laboral
- Énfasis en la OPTIMIZACIÓN
- INFORMACIÓN a los trabajadores



Implementación

PROBLEMAS

#1 Pobre cumplimiento



- Desconocimiento
- Actitud expectante
- Incumplimiento deliberado



Implementación

Actuaciones

Información y apoyo

- Campañas informativas
- Envío de cartas personalizadas
- Contacto con asociaciones empresariales
- Promoción en otros órganos competentes

Régimen sancionador





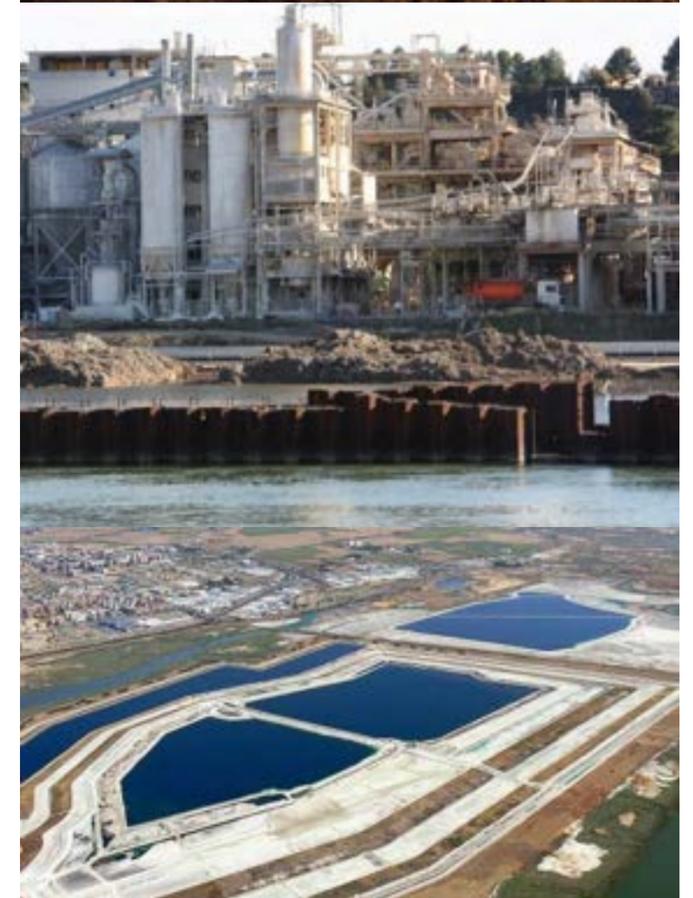
Implementación

Actuaciones

Evaluación e inspección



- **Título VII Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes**
 - ✓ Instalaciones NORM
 - ✓ Lugares de trabajo con especial exposición al radón

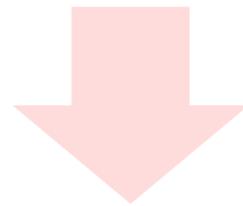




Implementación

Problemas

#2 Calidad de los estudios



- Categorizar la actividad laboral
- Optimizar la protección
- Informar a los trabajadores



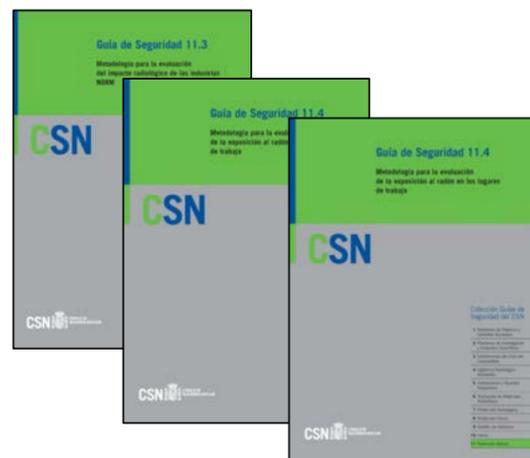


Implementación

Actuaciones

Unidades técnicas de protección radiológica (UTPRs)

- Autorizadas e inspeccionadas por el CSN
- Recursos humanos, medios técnicos y procedimientos



- Formación / cualificación
- Revisar Instrucciones y Guías de aplicación
- Editar nuevas guías





Implementación

El actual marco regulador se está adaptando a los requisitos de la **Directiva 2013/59/Euratom** y debe desarrollarse en detalle



Para asegurar la **IMPLEMENTACIÓN** hay que concentrar esfuerzos en:

- Promover la cooperación entre administraciones
- Colaborar con las industrias afectadas
- Elaborar guías de buenas prácticas sectoriales
- Favorecer la formación y especialización de las UTPRs





GESTIÓN DE RESIDUOS NORM: INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS

JUAN CARLOS MORA

Dpto. Medioambiente. CIEMAT

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

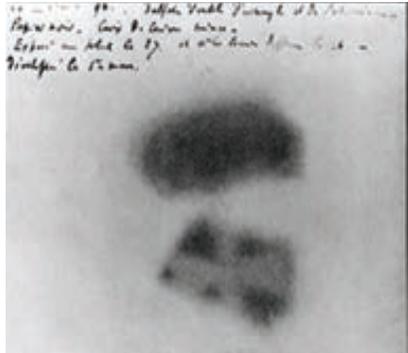


Fig. 3 John and Hsie McLennan leaving Buckingham Palace, August 25, 1917, after the O.B.E. was conferred on McLennan by King George V.

- 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

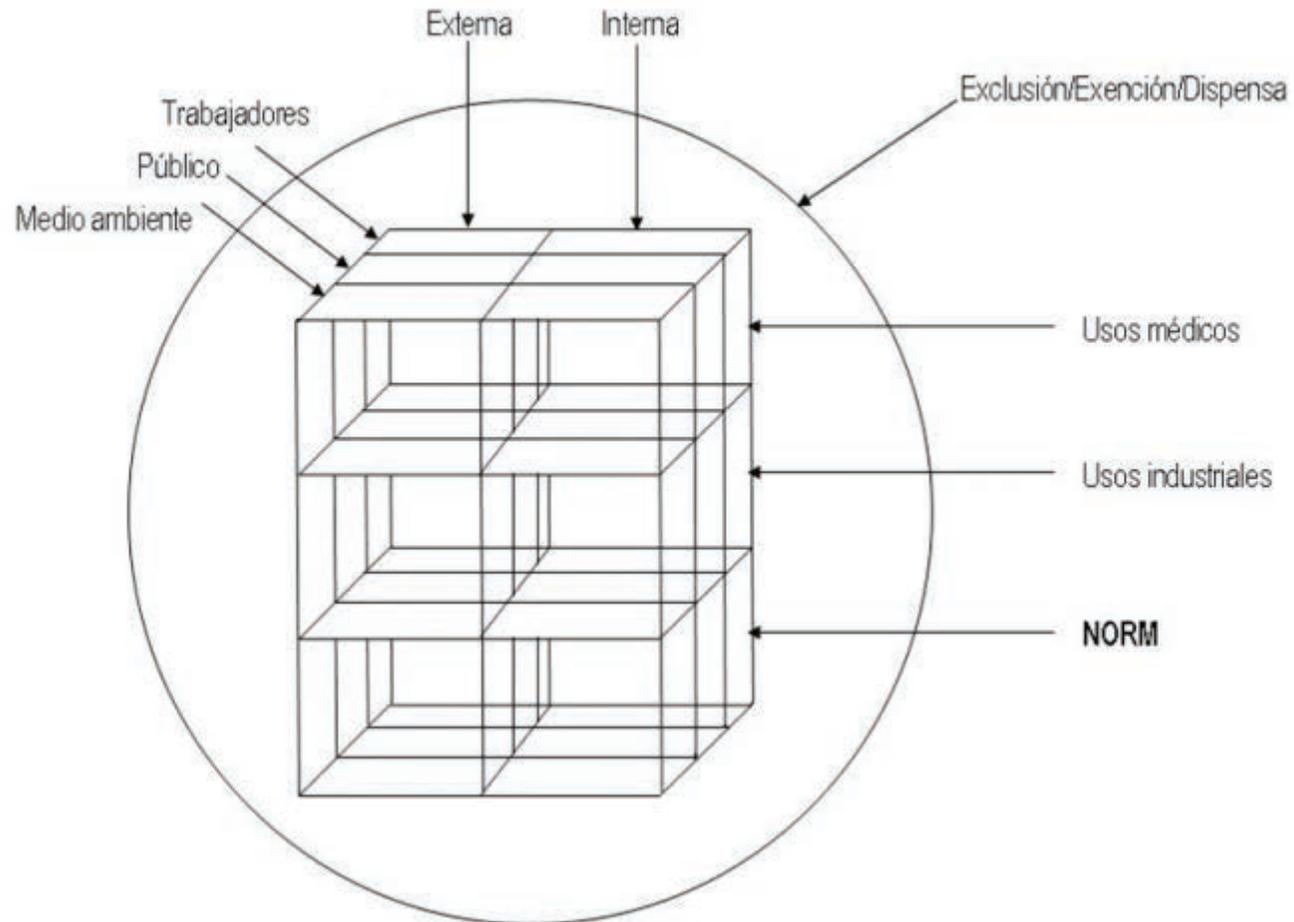
Actividades laborales con exposición a descendientes del torón, radón o a radiación gamma en SPAs, Cuevas, Minas...

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

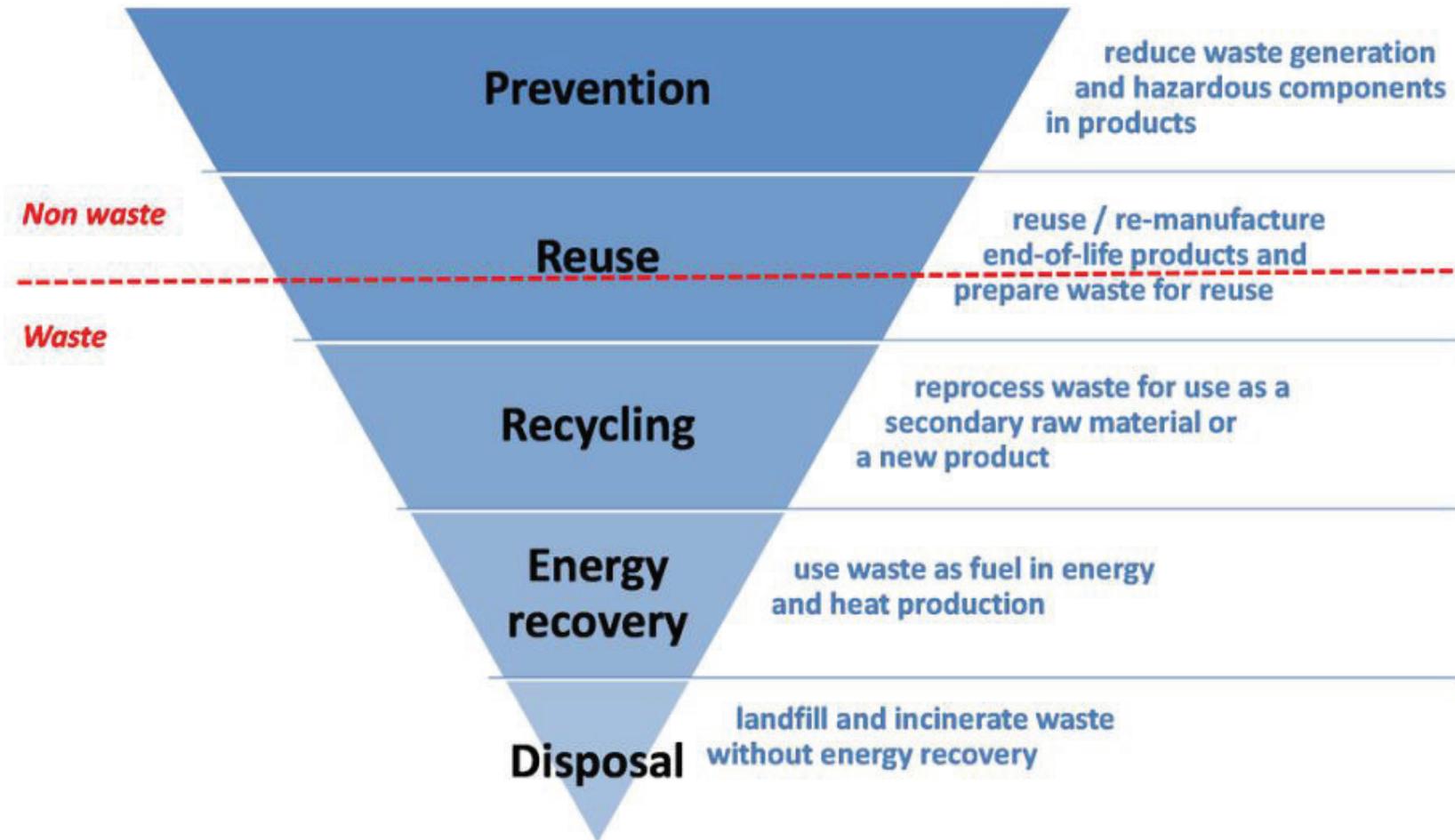
¿Cuáles son las industrias NORM?.

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 ₂	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	
Instalaciones de filtración de aguas subterráneas	

¿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

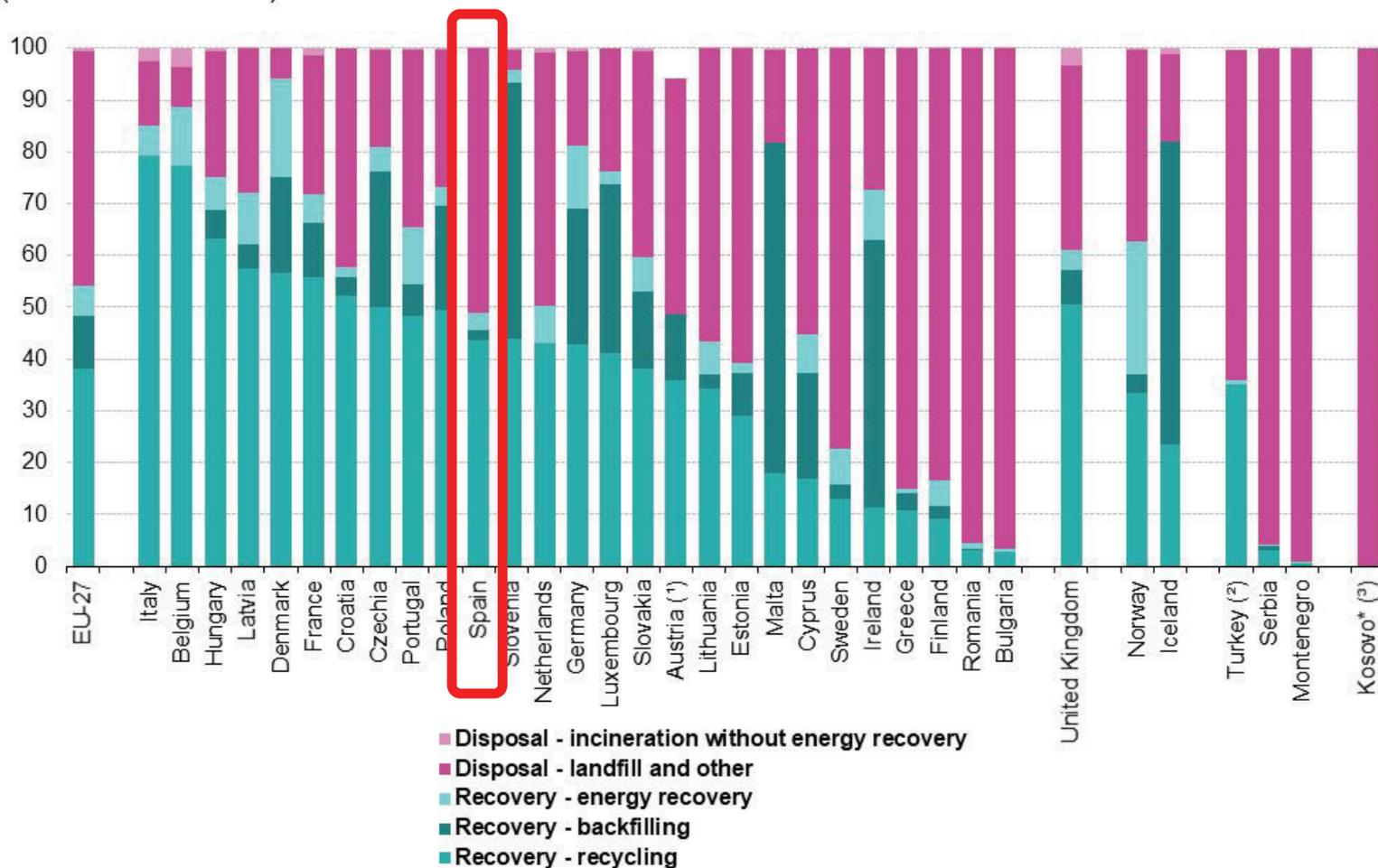


Source: OECD based on various other sources.

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.

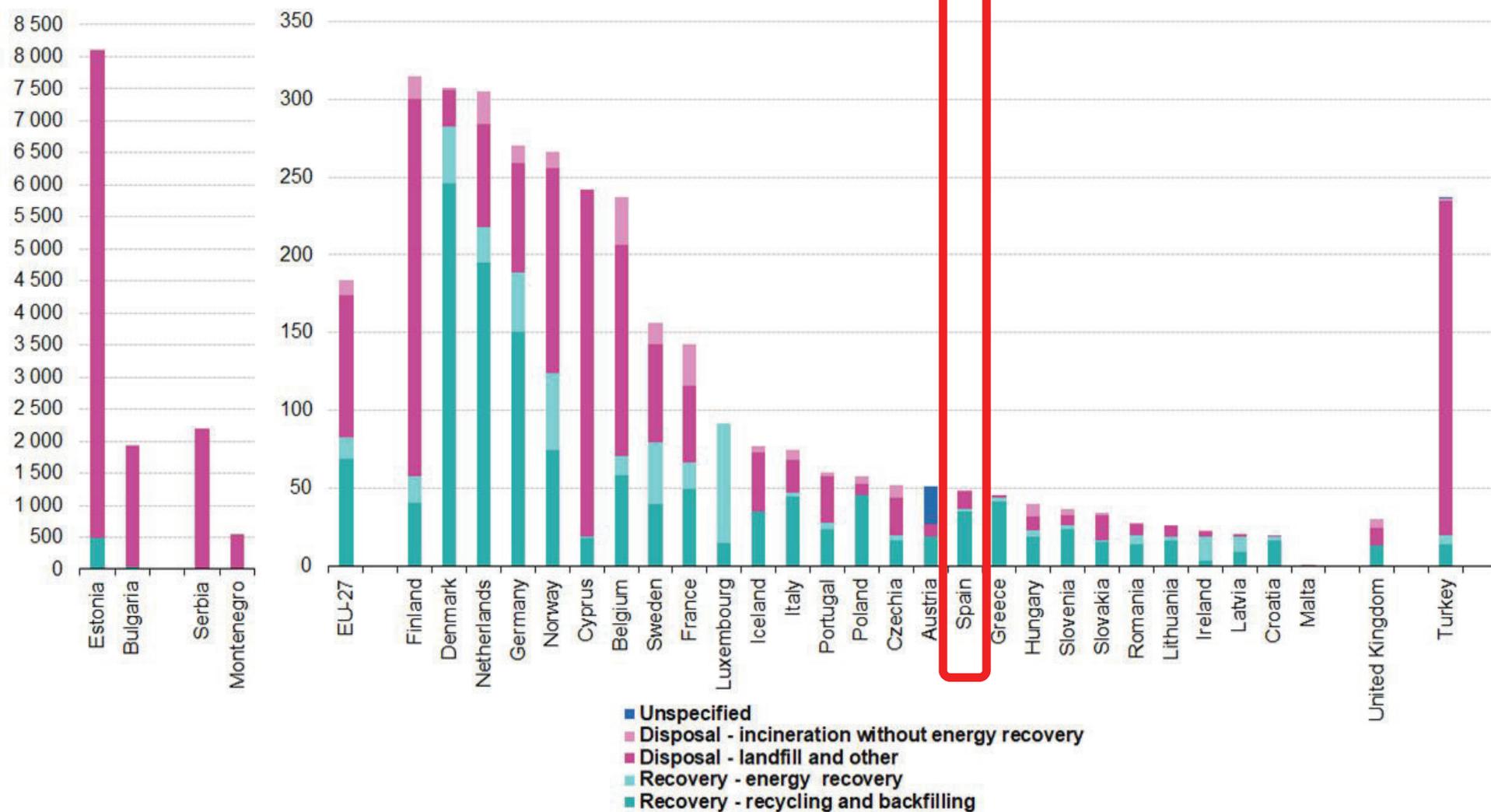
(³) 2016.

* 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

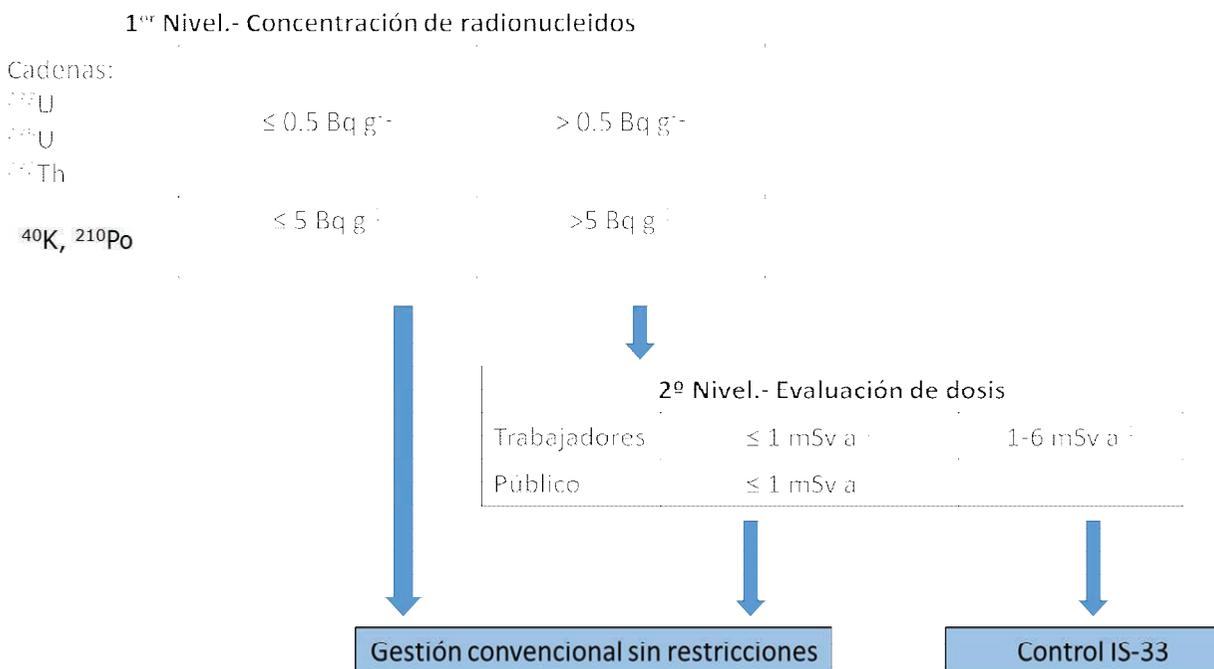
(kg per capita)



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.º 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 50/1997, de 27 de noviembre, del Gobierno y al trámite de participación pública en materia de medio ambiente establecido por el

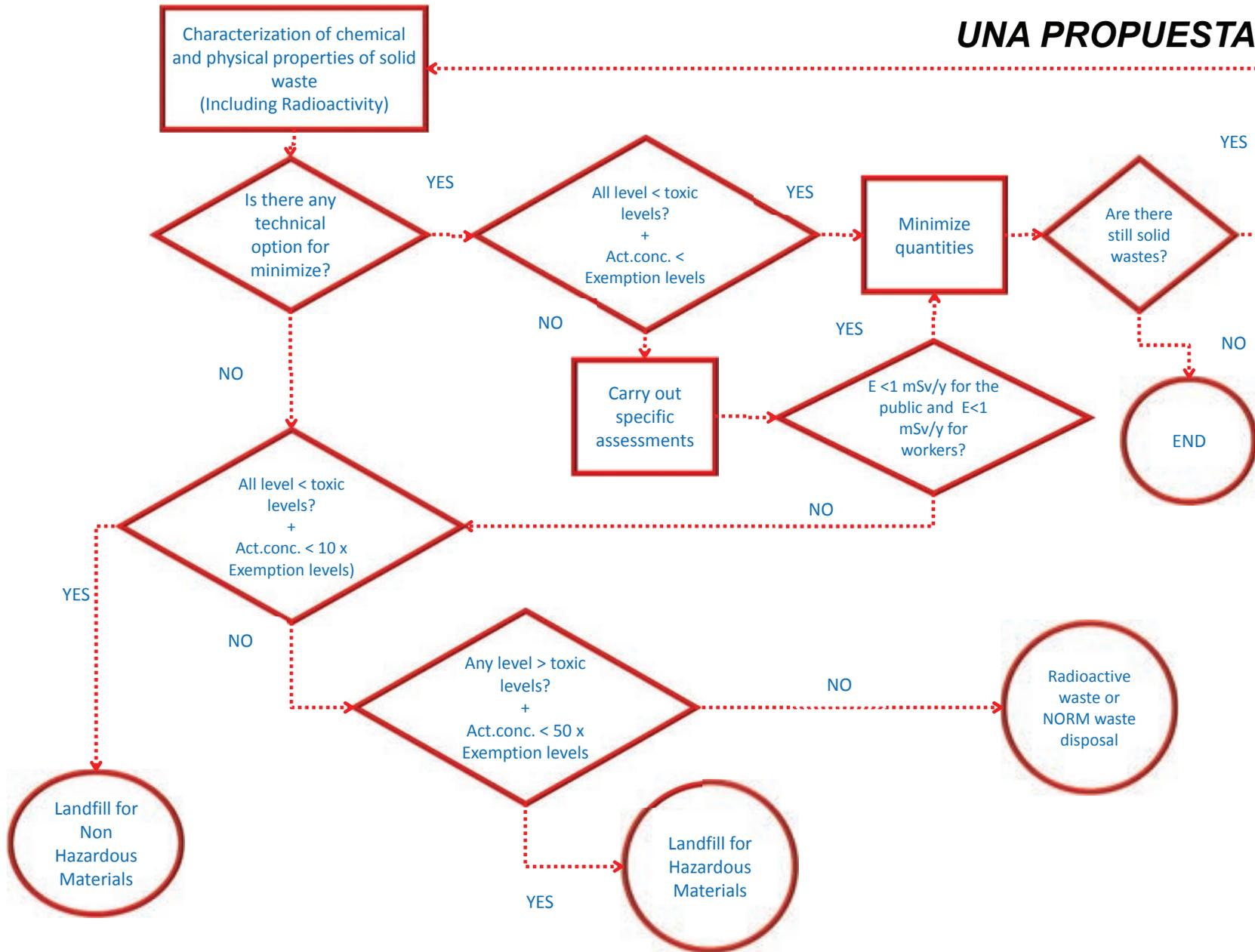
Y...¿QUÉ HACEMOS CON LOS RESIDUOS NORM?

- **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? → $\dot{\gamma} > 10 \times \text{EL}$?
- ¿Qué nivel de radioactividad determina si un residuo debe considerarse sólo tóxico o **más que tóxico**? → $\dot{\gamma} > 50 \times \text{EL}$? (¿rad-was-surf-disp?)
- Nota: Otros estudios^{1,2} apoyan esta categorización.

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

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

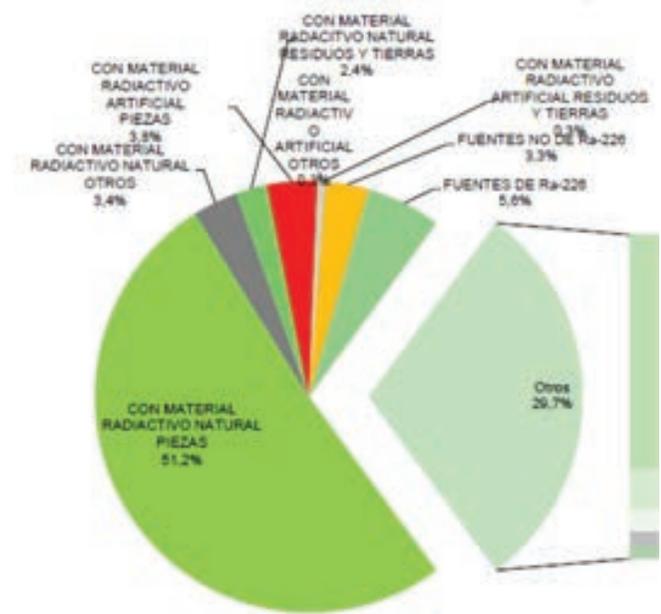
UNA PROPUESTA DESDE CIEMAT



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

Use of fly ash, phosphogypsum in the disposal of hazardous

Semra Çoruh, Osman Nuri Ergun

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

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

Nurhayat Değirmenci

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

Cleaner phosphogypsum, coal co-incineration ashes for application

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^a, Viktor Jobbágy^a, József Kovács^b, Sándor Taján^c, Tibor Kovács^a

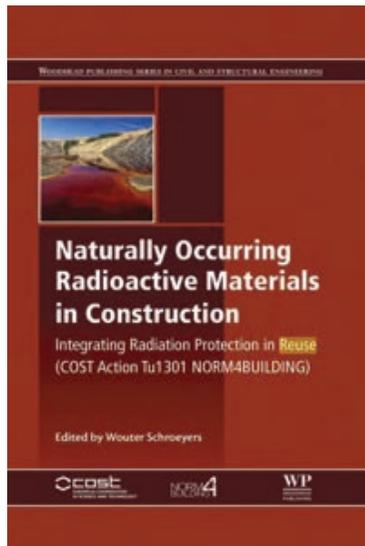
REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE.

NORM residues	Products and/or reuse options
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.

NORM residues	Products and/or reuse options
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 ₂	Backfill into remediated sites
Red mud	Backfill into remediated sites

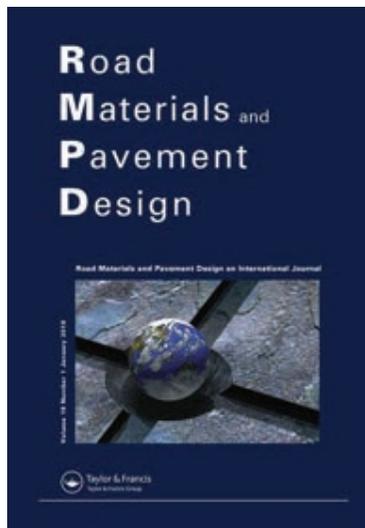
NORM como materiales de construcción.



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 ESTRATOS • N° 116 • INVIERNO 2016

ESTRATOS
MÁS DE 25 AÑOS DIVULGANDO CIENCIA

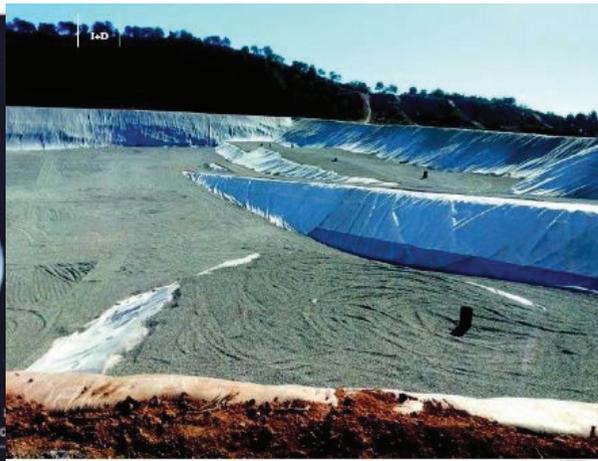
El arte de la imagen científica



Dendrocronología: el tiempo en los árboles, el mejor

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.

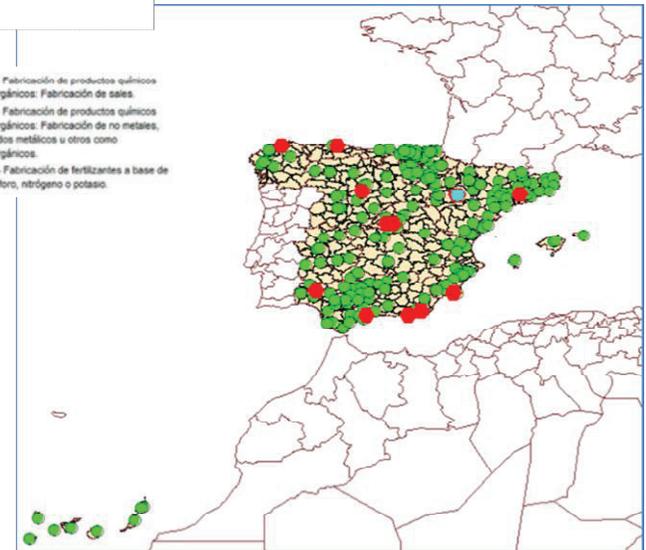
LA GESTIÓN CONVENCIONAL DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LAS INDUSTRIAS NORM USO DE VERTEDEROS DE RESIDUOS INDUSTRIALES

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 estableció 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 PROTECCIÓN RADIOLOJICA 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- Fundición de materiales ferrosos (capacidad producción >20 t/d)
- A2- Producción de metales en bruto no ferrosos: Metales, 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 >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^{a,*}, Antonio Baeza^b, Beatriz Robles^c, Javier Sanz^d

^a IIAE (Instituto Tecnológico de Plásticos y del Ambiente) (IIPMA), CSICM, Avda. Complutense, 40, 28040 Madrid, Spain

^b IANIGLA, Avda. Ángel Ponset, Faculty of Earth and Space Sciences, University of Salamanca, Avda. Universidad, 47, 47101 Salamanca, Spain

^c Energy Engineering Department, Power Engineering, Nuclear Area, IITAT, 48941, 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 10 August 2015
Received in revised form 1 February 2016
Accepted 10 February 2016
Available online 22 February 2016

Keywords:
NORM wastes management
Landfills
Barrier 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 radiological system 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 regulations 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 radioactivity 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 the new regulation.

This work analyzes 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 volume, 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) on 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: CSICM, Avda. Complutense, 40, 28040 Madrid, Spain.
E-mail address: jcmora@iiae.csicm.com (J.C. Mora).



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

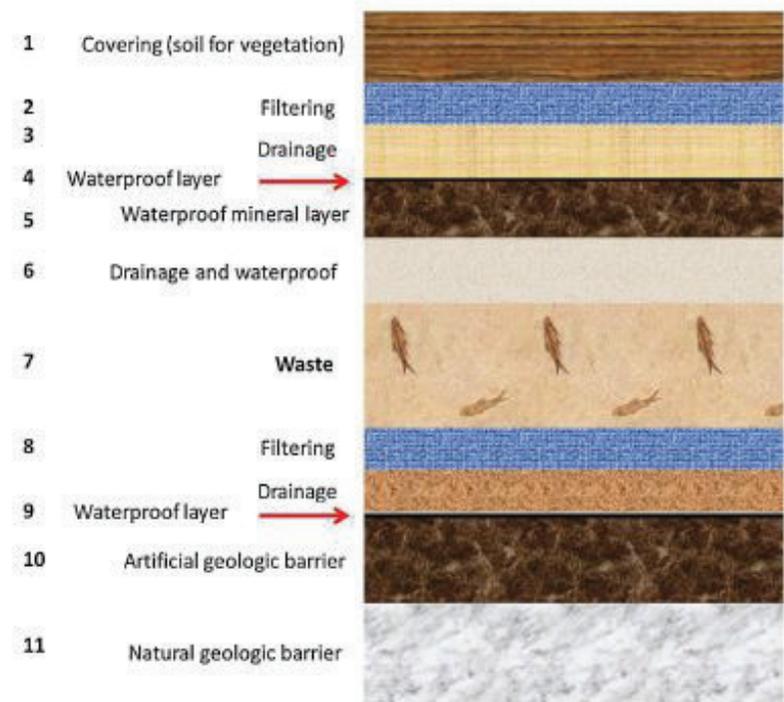
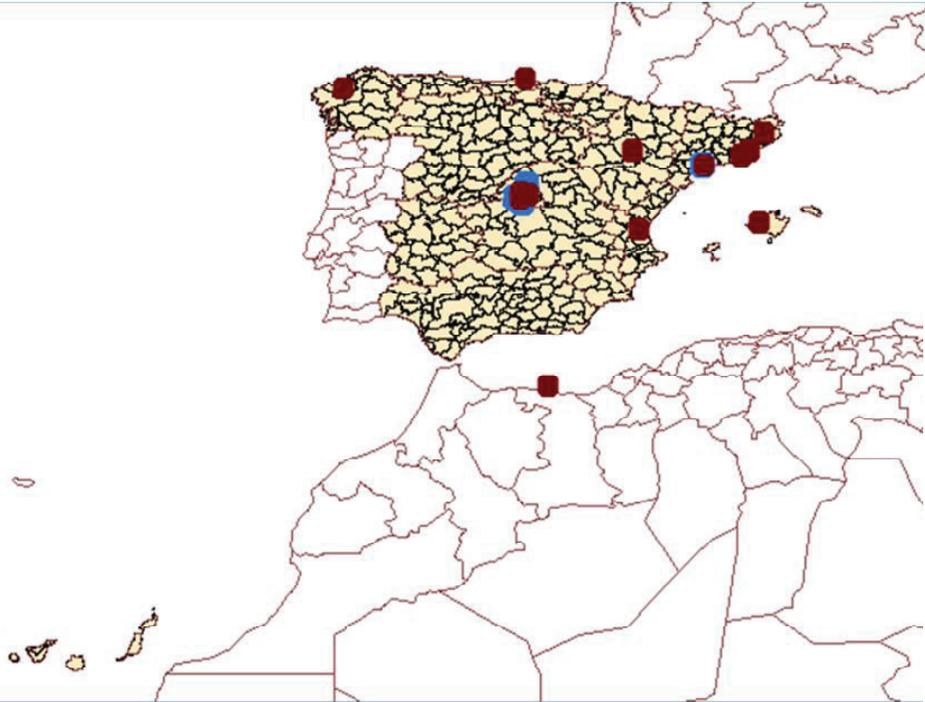


Fig. 3. Barriers included in hazardous waste landfills to avoid their impact to the environment.

• 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*

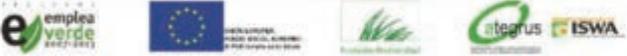
MINERÍA DE RECURSOS EN VERTEDEROS CLAUSURADOS.

- **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>





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

Linköping Studies in Science and Technology
Dissertation No. 1799

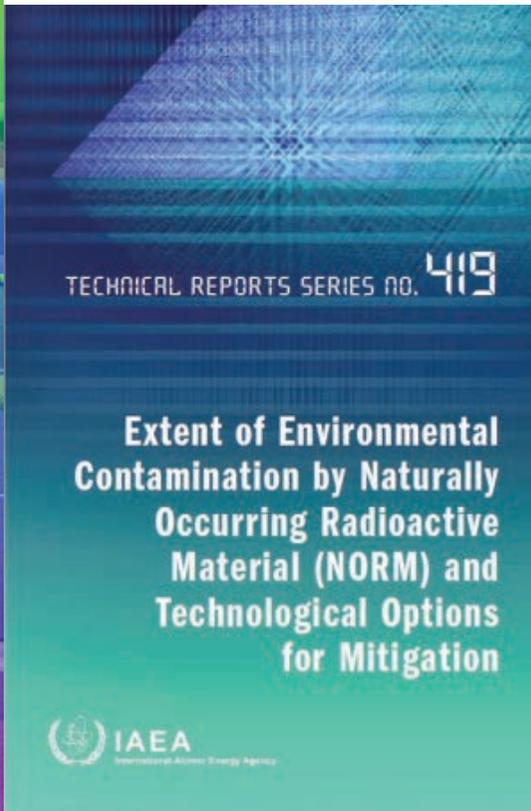
LANDFILL MINING
Institutional challenges for the implementation of
resource extraction from waste deposits

Nils Johansson

li.u
LINKÖPING UNIVERSITY

Environmental Technology and Management
Department of Management and Engineering
Linköping University, SE-501 83 Linköping, Sweden
Linköping, 2016

ETAPs.



I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA

7340 Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 148/2003, de 7 de febrero, por el que se establecieron los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, el Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial embotelladas 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 embotelladas para el consumo humano.

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}Th .

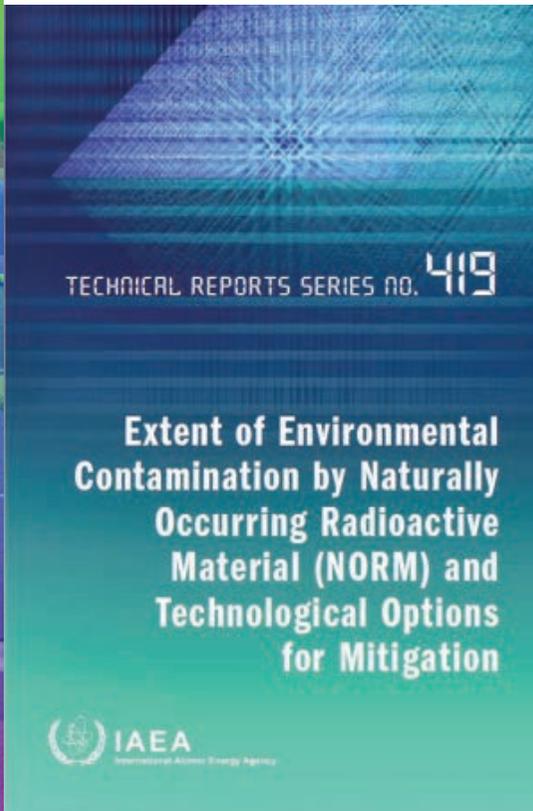
Generalmente la relación $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1$ (hasta 28, pero generalmente entre 1 y 3).

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

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

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.

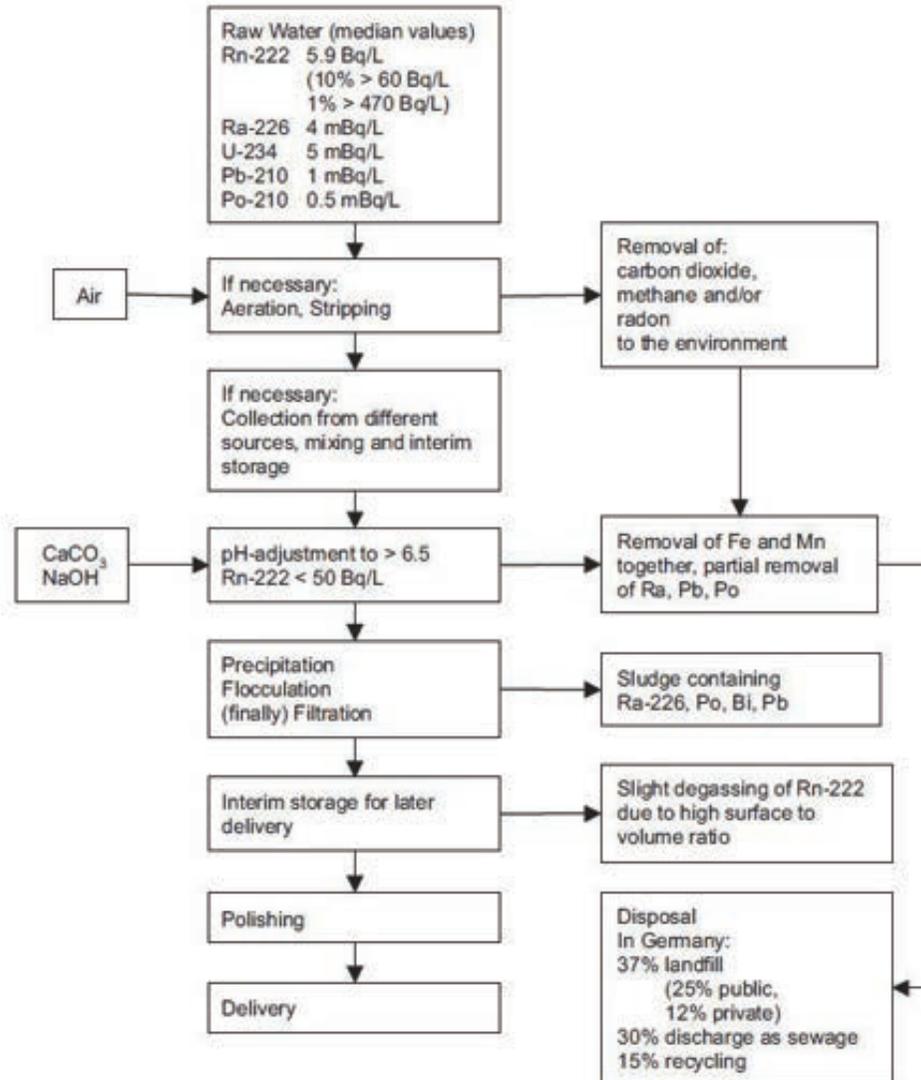
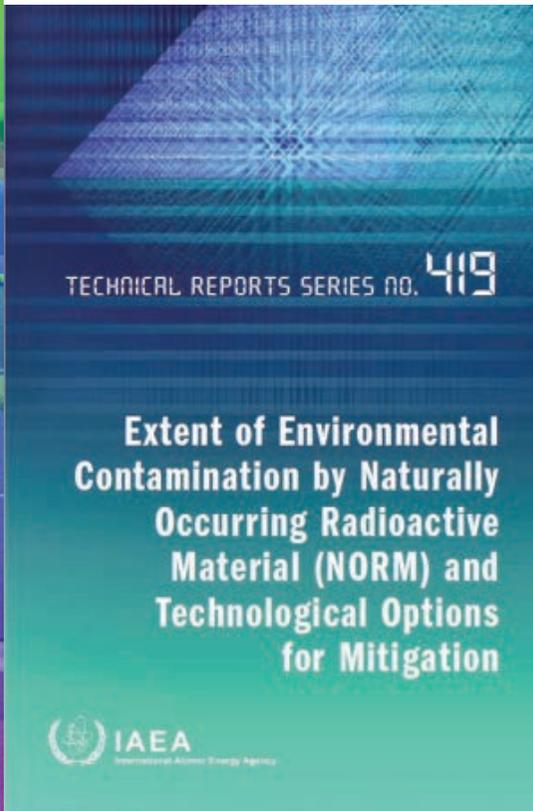


FIG. 18. Typical sequence of drinking water treatment [97].

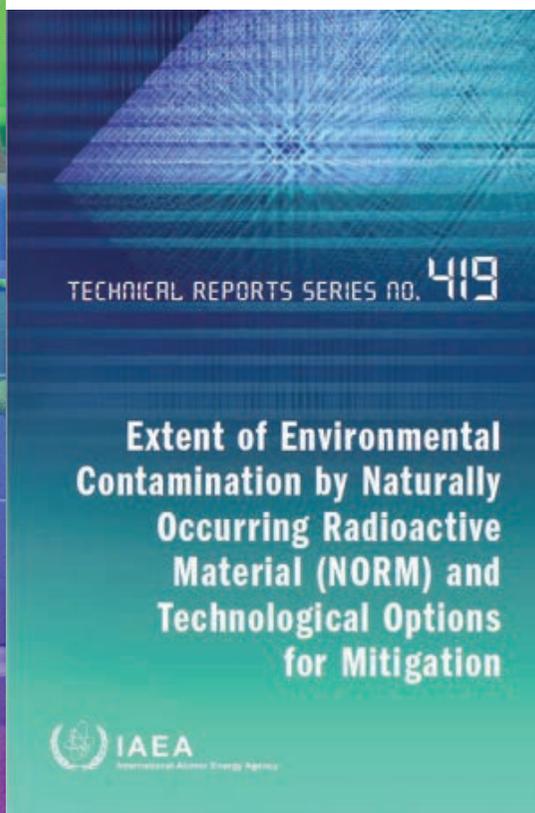


TABLE XVII. CHARACTERISTICS OF SELECTED WATER TREATMENT WASTES (COMPUTED LEVELS) [86]

(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 ^a	148
Lime softening (Ra)	0.93	0.46	22 ^a	20.6
Ion exchange (Ra) ^b	0.93	0.19	97 ^c	7.7
Reverse osmosis (U)	1.85	0.56	130 ^c	11.8

^a Sludges.

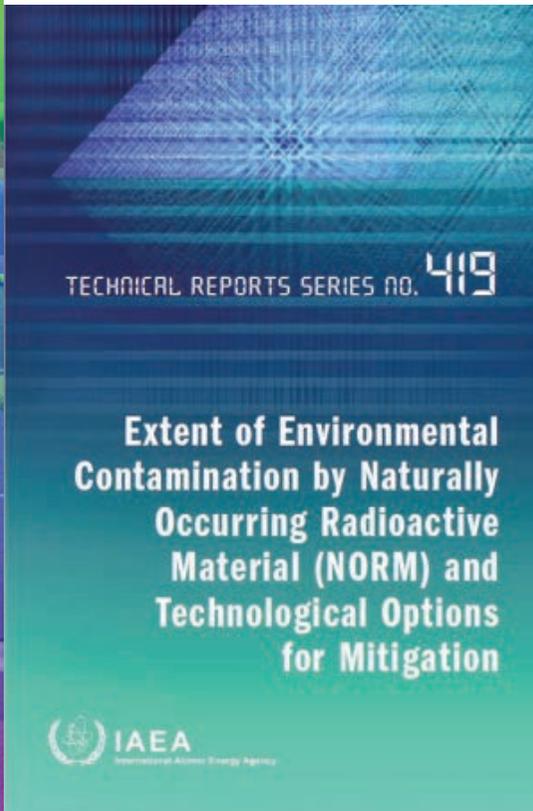
^b Does not include ion exchange resins, which have much higher radioactivity levels.

^c 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 ³
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.

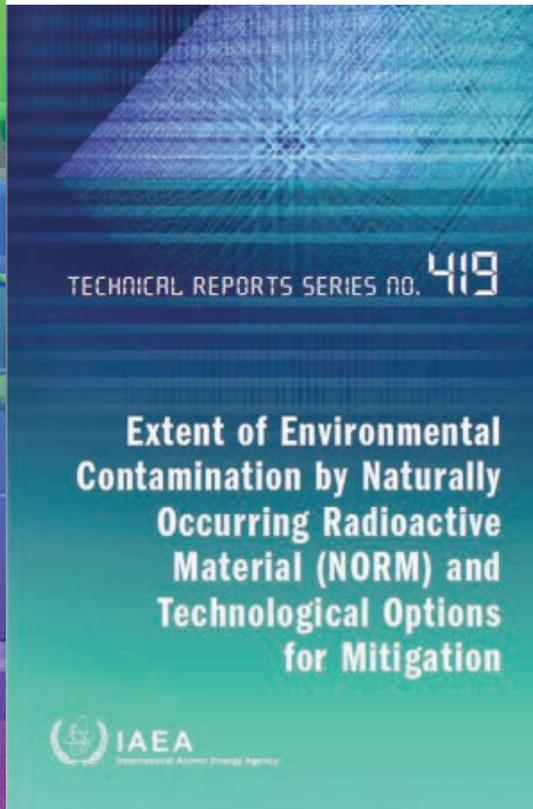


TABLE XIX. DISPOSAL PRACTICES FOR NORM FROM WATER TREATMENT FACILITIES IN THE USA [86]

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.

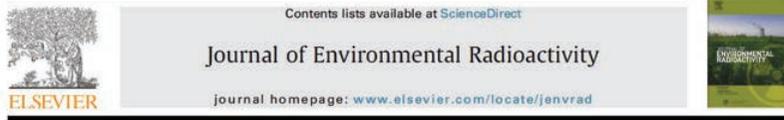
IAEA-TECDOC-1712

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}Ra	0.6	10 000
Oil and gas production	^{226}Ra , ^{210}Pb	0.05	1300
Niobium extraction	^{226}Ra , ^{228}Ra	200	500
Zircon chlorination	^{226}Ra	0.3	48
Titanium dioxide pigment production	^{232}Th	<0.1	24
Iron smelting	^{210}Pb	12	100
Water treatment	^{226}Ra	0.1	14
Phosphate fertilizer production	^{226}Ra	1.3	4.3

ETAPs.



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), Consorci d'Algües de Tarragona (CAT), Ctra. Nac. 340 Km 1094, 43895 L'Ampolà, Tarragona, Spain



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.) ^a	Reference
Finland	500 g	–	Gamma emitters	–	Gamma spectrometry	¹⁰⁹ Ru: 0–340 ¹⁰⁶ Ru: 1100–4200 ^{110m} Ag: 0–230 ¹²⁵ Sb: 0–220 ^{234m} Pa: 0.72–0.86	(Pihlakainen and Kahola, 1989)
Sweden	n.e.	n.e.	Plutonium, thorium, uranium, lead, beryllium	Co-precipitation Liquid–liquid	Alpha spectrometry Gamma spectrometry	²³² Th: 4.5 ²³⁴ U: 43–45 ²³⁸ U: 61–62 ²¹⁰ Pb: 230–368	(Gäfvert et al., 2002)
Spain	500 mg	MW with HNO ₃ :HCl:HF (9:3:6 ml)	Uranium, radium, polonium and thorium	Co-precipitation; Dowex 1x4 resin	Alpha spectrometry	²³⁴ U: 720–12,000 ²³⁸ U: 660–7800 ²²⁶ Ra: 23–7140 ²¹⁰ Po: 24–600 ²²⁸ Th: 57–870 ²³⁰ Th: 1.3–5.4	(Baeza et al., 2014)
Spain	250 mg (alpha) 500 g (gamma)	MW with HNO ₃ /HCl (3:1)	Uranium and thorium	Co-precipitation; Liquid–liquid extraction; AG1-resin.	Alpha spectrometry Gamma spectrometry	²³⁸ U: 24–790 ²³⁸ U: 19–590 ²³⁵ U: 0.3–27 ²³² Th: 8–90 ²³² Th: 4–30 ⁴ K: 10–4600 ²¹⁴ Pb: 20–400 ²¹⁰ Pb: 10–1050 ²³⁴ Th: 10–875 ²¹⁴ Pb: 10–405 ²²⁸ Ac: 10–390 ⁹⁰ Sr: 34–76 ²¹⁰ Pb: 38–63	(Palomo et al., 2010b)
Spain	500 mg	MW with HNO ₃ /HCl (3:1)	Strontium and lead	LOV-MSFIA	Liquid scintillation counting	⁹⁰ Sr: 34–76 ²¹⁰ Pb: 38–63	(Mola et al., 2014)
Spain	100 g	–	Gamma emitters	–	Gamma spectrometry	²²⁸ Ac: 11–73 ²¹² Pb: 7–56 ²¹² Bi: 8–66 ²⁰⁸ Tl: 1.9–16.5 ²¹⁴ Pb: 12–132 ²¹⁴ Bi: 11–121 ⁷ Be: 75–517 ⁴ K: 133–478 ¹³⁷ Cs: 0.9–2.6 ²³⁴ Th: 39–387 ²³⁸ U: 30–250	(Montaña et al., 2013a)
Australia	100 g	–	Gamma emitters	–	Gamma spectrometry	²²⁶ Ra: 6–120 ²¹⁰ Pb: 10–110 ²³² Th: 12–77 ⁴ K: 60–330 ⁷ Be: 9–480	(Kleinschmidt and Akber, 2008)
Spain	500 g	–	Gamma emitters	–	Gamma spectrometry	²²⁸ Ac: 12–212 ²¹² Pb: 4–92 ²¹² Bi: 10–40 ²⁰⁸ Tl: 5–73 ²¹⁴ Pb: 49–731 ²¹⁴ Bi: 44–693 ⁷ Be: 4–293 ⁴ K: 127–1391 ^{110m} Ag: 1–76 ⁶⁰ Co: 0.4–17 ⁶⁰ Co: 1.5–33 ¹³⁷ Cs: 0.9–6.5	(Palomo et al., 2010a)
USA	0.5 g	MW with HNO ₃	Uranium, thorium and radium.	Anion exchange resin	Alpha spectrometry	²²⁶ Ra: 111–9250 ²²⁸ Ra: 148–12,987 ²²⁸ Th: 22.2–2627 ²³⁰ Th: 7.4–360 ²³⁴ U: 14.8–333 ²³⁵ U: 37–74 ²³⁸ 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)	²²⁶ Ra: 48–437 ²²⁸ Ra: 80–3654 ²³⁸ U: 15–49	(Chmielewska et al., 2014)

n.e. = not specified.
* d.w. = dry weigh.



Chemosphere

Volume 97, February 2014, Pages 108–114

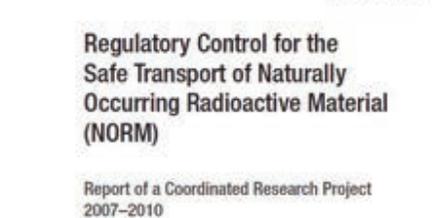
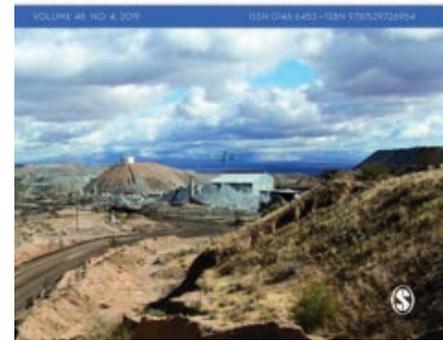
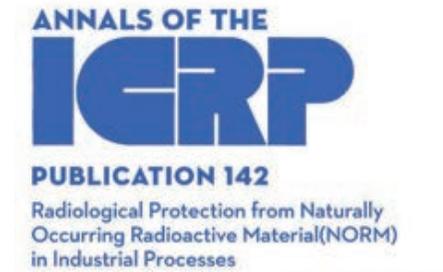
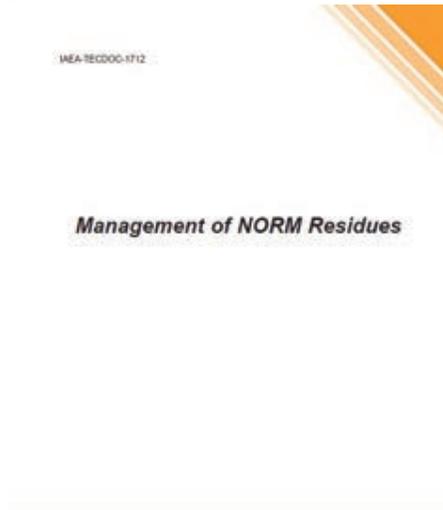
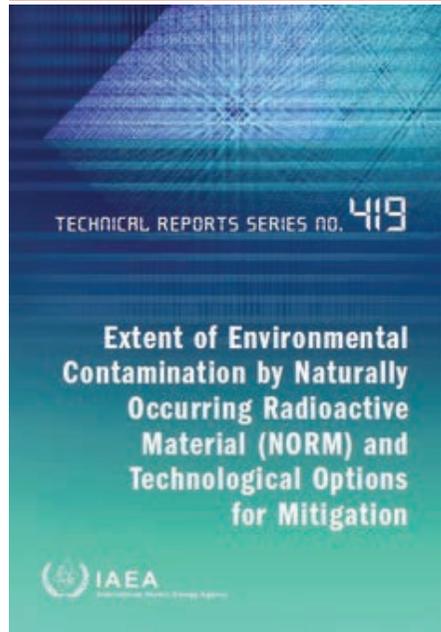
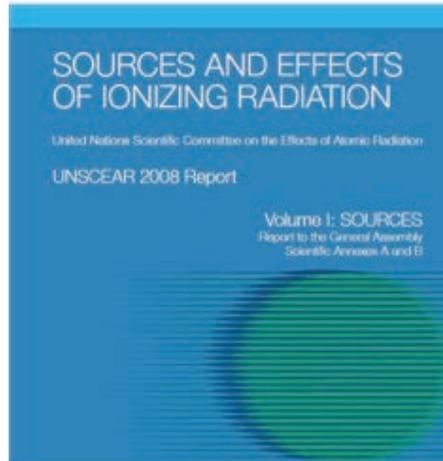


Technical Note

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





DIPUTACIÓN DE ALMERÍA

EXPERIENCIAS EN LA ELIMINACIÓN DE RADIOACTIVIDAD NATURAL EN PEQUEÑAS POBLACIONES: EL PROYECTO LIFEALCHEMIA

Fco. Javier Martínez Rodríguez

Área de Fomento, Medio Ambiente y Agua. Diputación de Almería

fmartinr@dipalme.org

Isabel María Rodríguez Ruano

CIESOL. Universidad de Almería

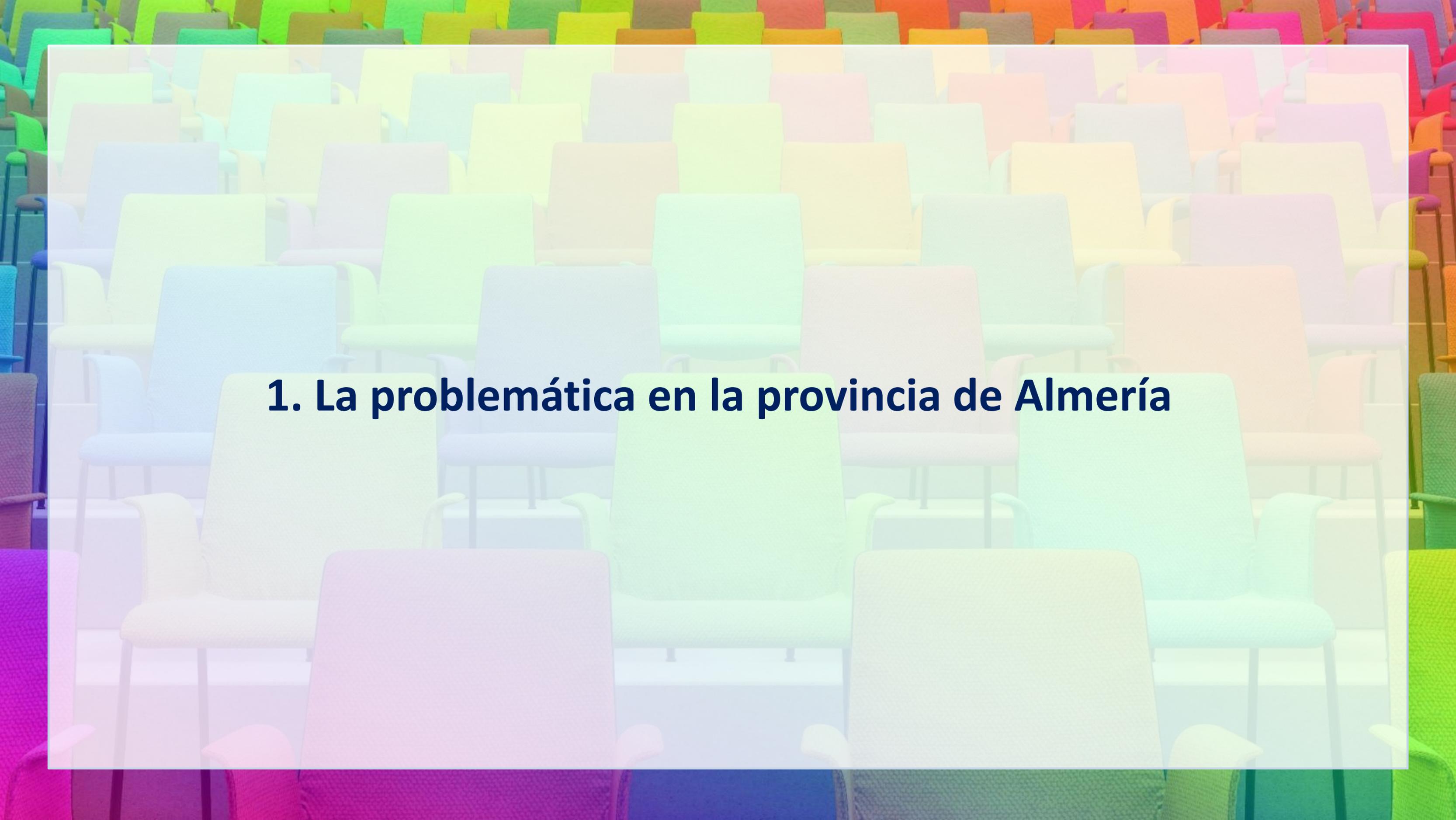
imrodriguez@ual.es



Hablaremos de:

- 1. La problemática en la provincia de Almería**
- 2. Control de la radioactividad en las aguas de consumo humano**
- 3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres**
- 4. El proyecto LIFEALCHEMIA**





1. La problemática en la provincia de Almería



CUMPLIMIENTO NORMATIVA AGUAS DE CONSUMO HUMANO

- RD 140/2003, aguas de consumo humano
- DIRECTIVA 2013/51, 22 de octubre. T28/11/15
- RD 314/2016, 29 julio, modifica RD 140/2003

Realización de estudios hidrogeológicos en 2003.

- Universidad de San Petersburgo
- Instituto Medioambiental de la Academia de Ciencias de Rusia

EXISTEN PROBLEMAS POR RADIOACTIVIDAD NATURAL EN DIVERSOS MUNICIPIOS

- Riesgo para la salud
- Declaración aguas “no aptas para consumo”
- Abastecimiento mediante cubas de agua



Antes de 2010 se ejecutaron:



Plantas de filtración por ósmosis inversa. ETAP Alcudia de Monteagud

Antes de 2010 se ejecutaron:



+



Coagulación / floculación y decantador lamelar

Filtros multicapa en presión

Antigua ETAP Benizalón

Desde 2011 se sustituyeron todos los sistemas con decantador lamelar + filtros por ósmosis inversa.



ETAP Tahal

Se han continuado ejecutando potabilizadoras por ósmosis inversa como solución preferente.



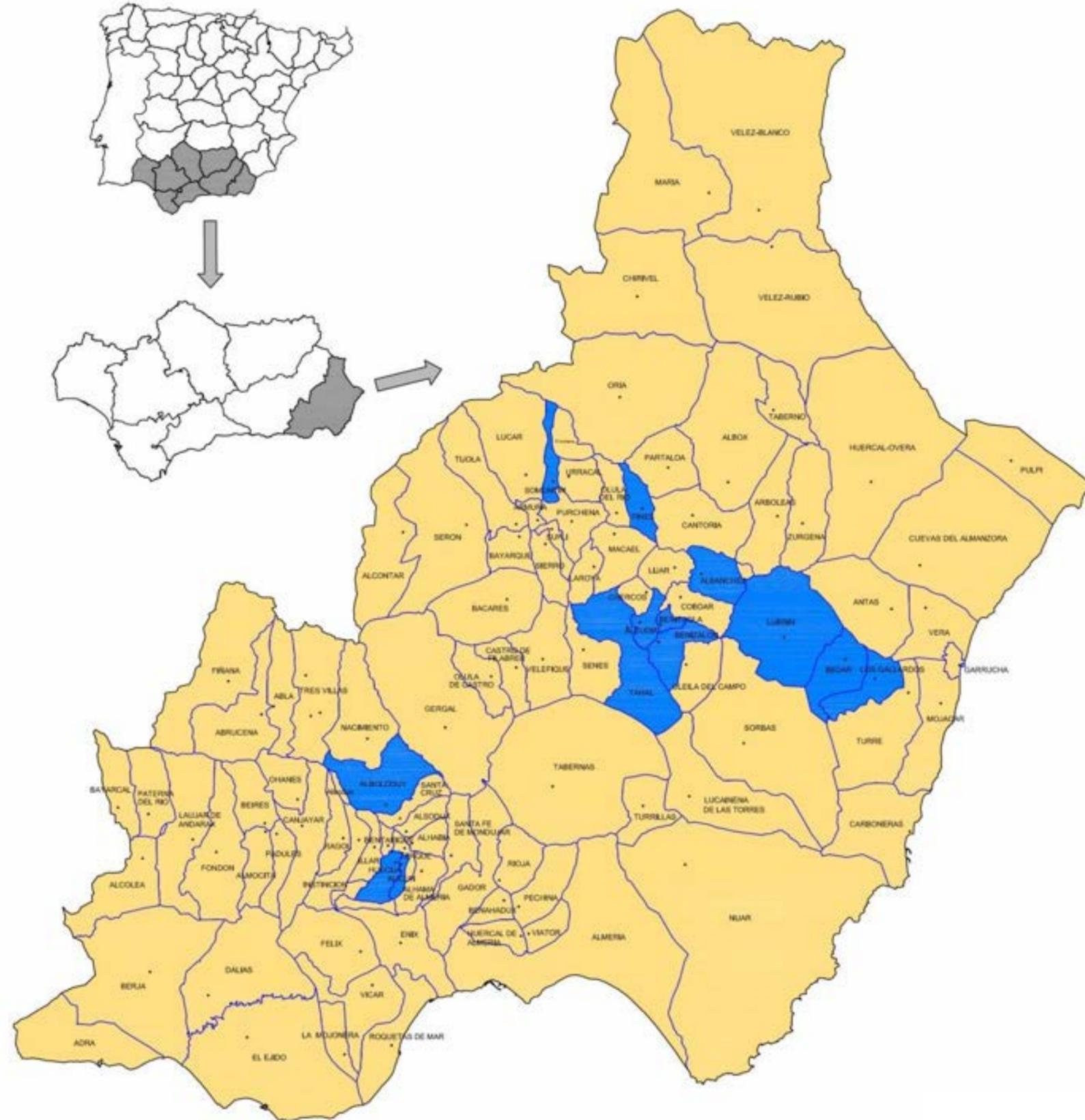
ETAP Huécija

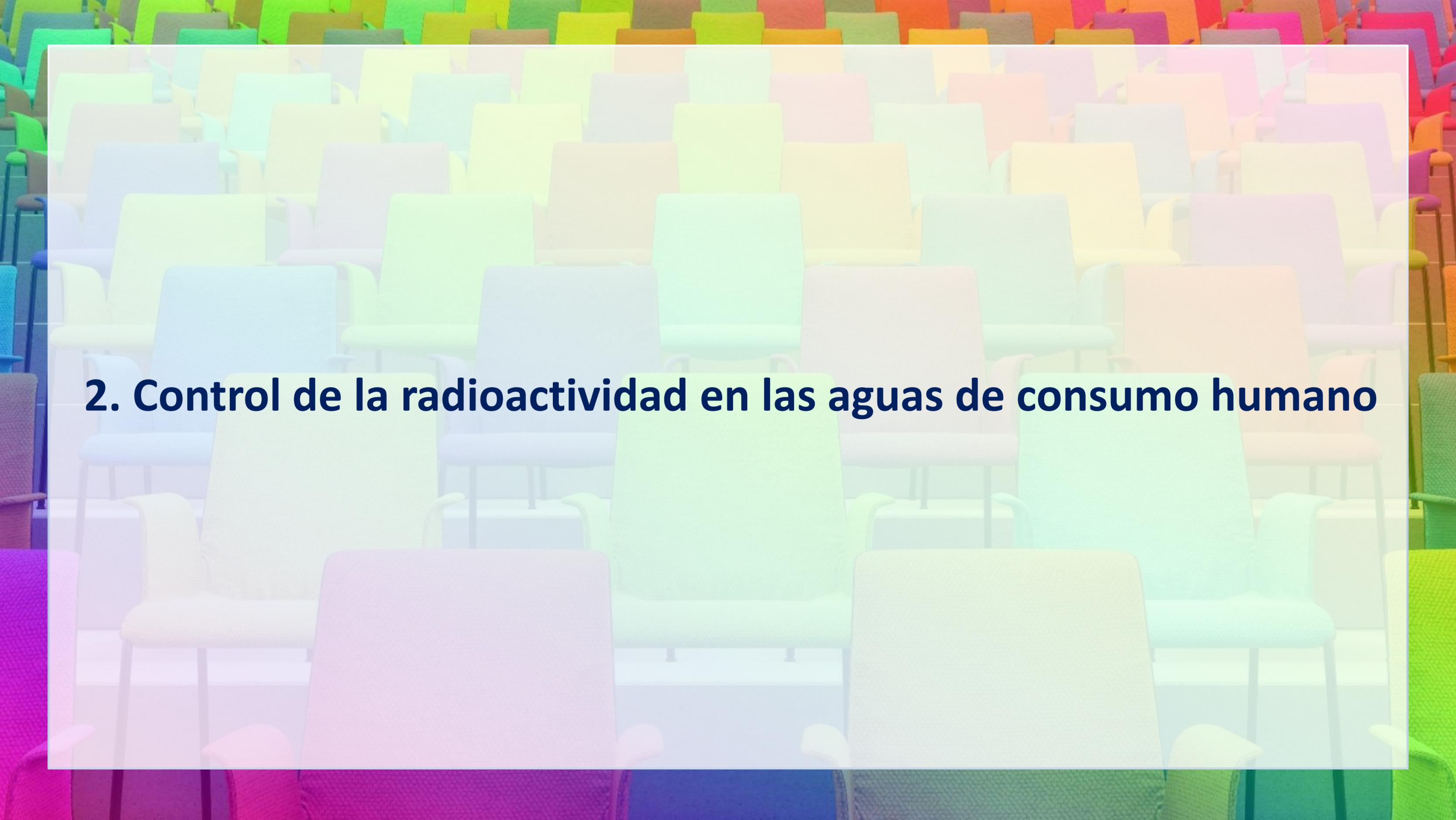
ETAPs EN SERVICIO PARA LA ELIMINACIÓN DE RADIOACTIVIDAD

ETAP	T.M.	PUESTA SERVICIO	TIPO TRATAMIENTO ACTUAL	CAUDAL PRODUCCIÓN (m ³ /h)	VERTIDO RECHAZO
Alboloduy	Alboloduy	2009	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	6	Riego
Albanchez	Albanchez	2010	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	15	-
Alcudia Monteagud	Alcudia Monteagud	2010	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	4,5	Riego
Fines	Fines	2011	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	38	Rambla o riego
Huécija	Huécija	2011	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	36	Riego
Benitagla	Benitagla	2011	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	5	Rambla o riego
Almocaizar	Los Gallardos	2012	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	1	Riego
Somontín	Somontín	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	11	Rambla
Benizalón	Benizalón	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	7,5	Saneam. o riego
Fuente La Higuera	Benizalón	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	2	Rambla o riego
Escúllar	Las Tres Villas	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	-	Rambla
Tahal	Tahal	2014	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	10	Saneamiento
Alicún	Alicún	2014	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	5	Riego
El Campico de Bédar	Lubrín	2016	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	1,4	Rambla o riego
Alboloduy	Alboloduy	2019	Piloto ALCHEMIA. Filtración	10,8	Saneamiento
Benizalón	Benizalón	2019	Piloto ALCHEMIA. Filtración	10,8	Saneamiento
Tahal	Tahal	2019	Piloto ALCHEMIA. Filtración	10,8	Saneamiento
Lubrín	Lubrín	2020	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	15	Saneamiento



SITUACIÓN ETAPs EN SERVICIO PARA LA ELIMINACIÓN DE RADIOACTIVIDAD

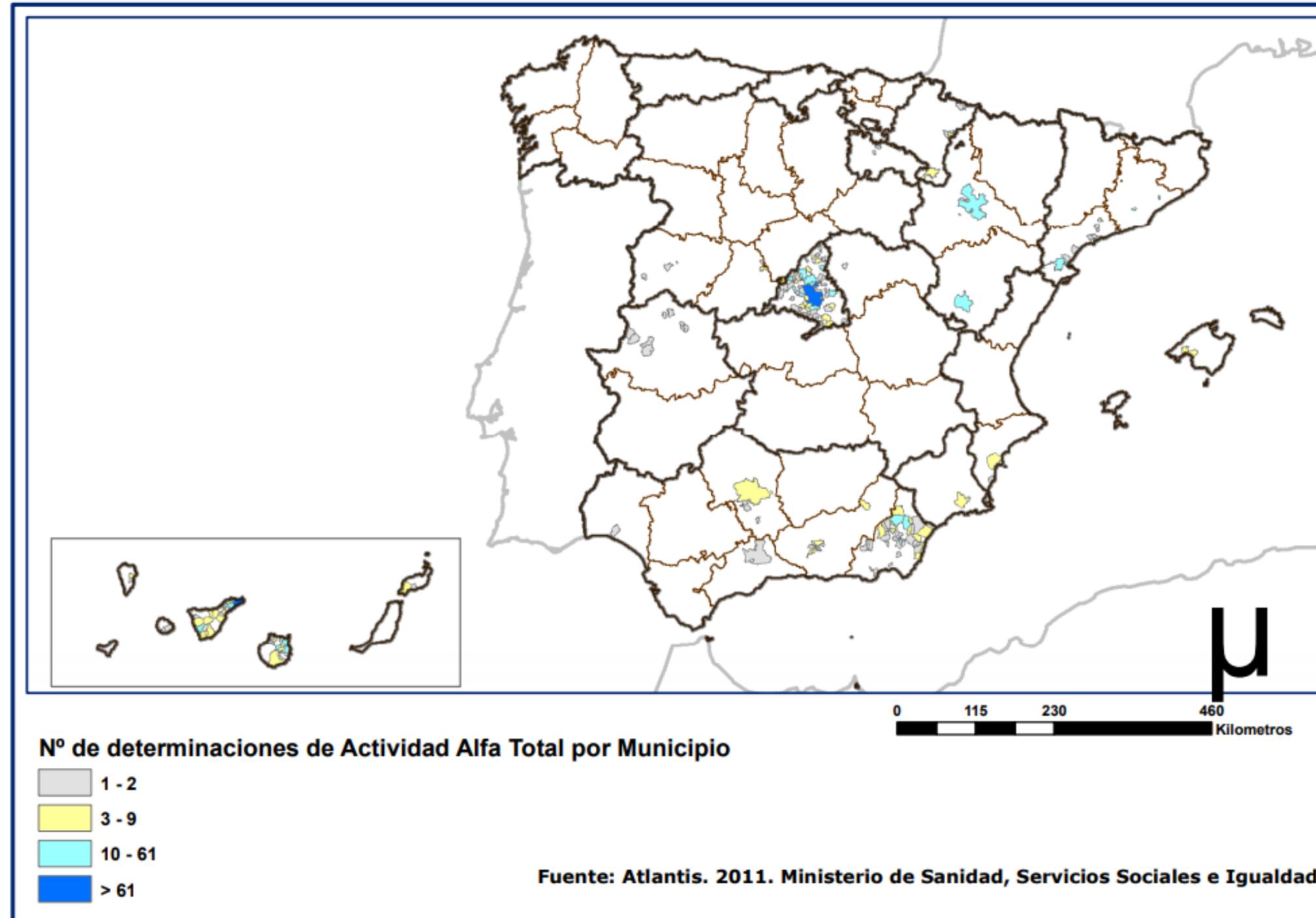




2. Control de la radioactividad en las aguas de consumo humano

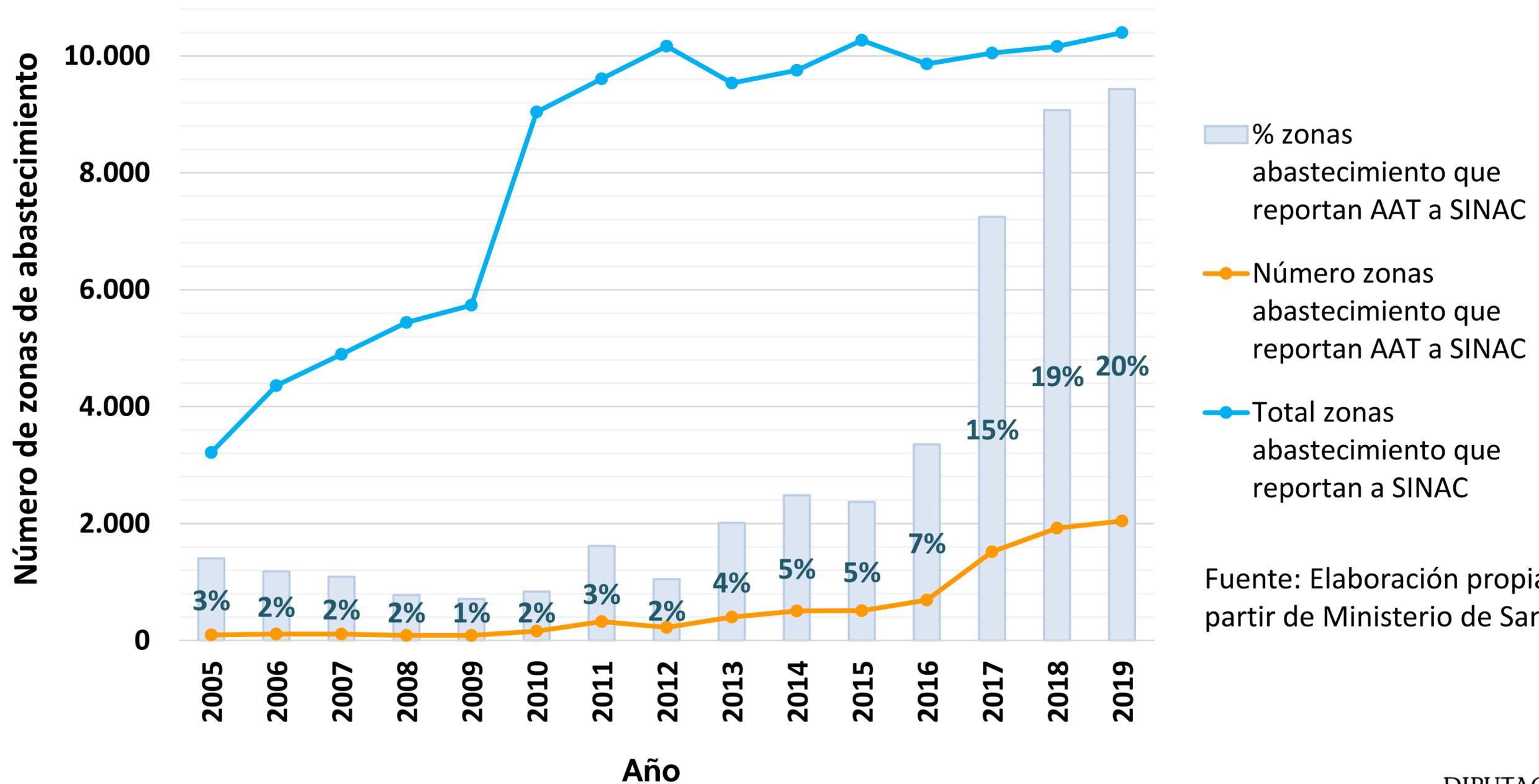


NÚMERO DE ANÁLISIS DE ACTIVIDAD ALFA TOTAL POR MUNICIPIO EN 2011





EVOLUCIÓN REPORTE DE ACTIVIDAD ALFA TOTAL (AAT) A SINAC ENTRE 2005 Y 2019

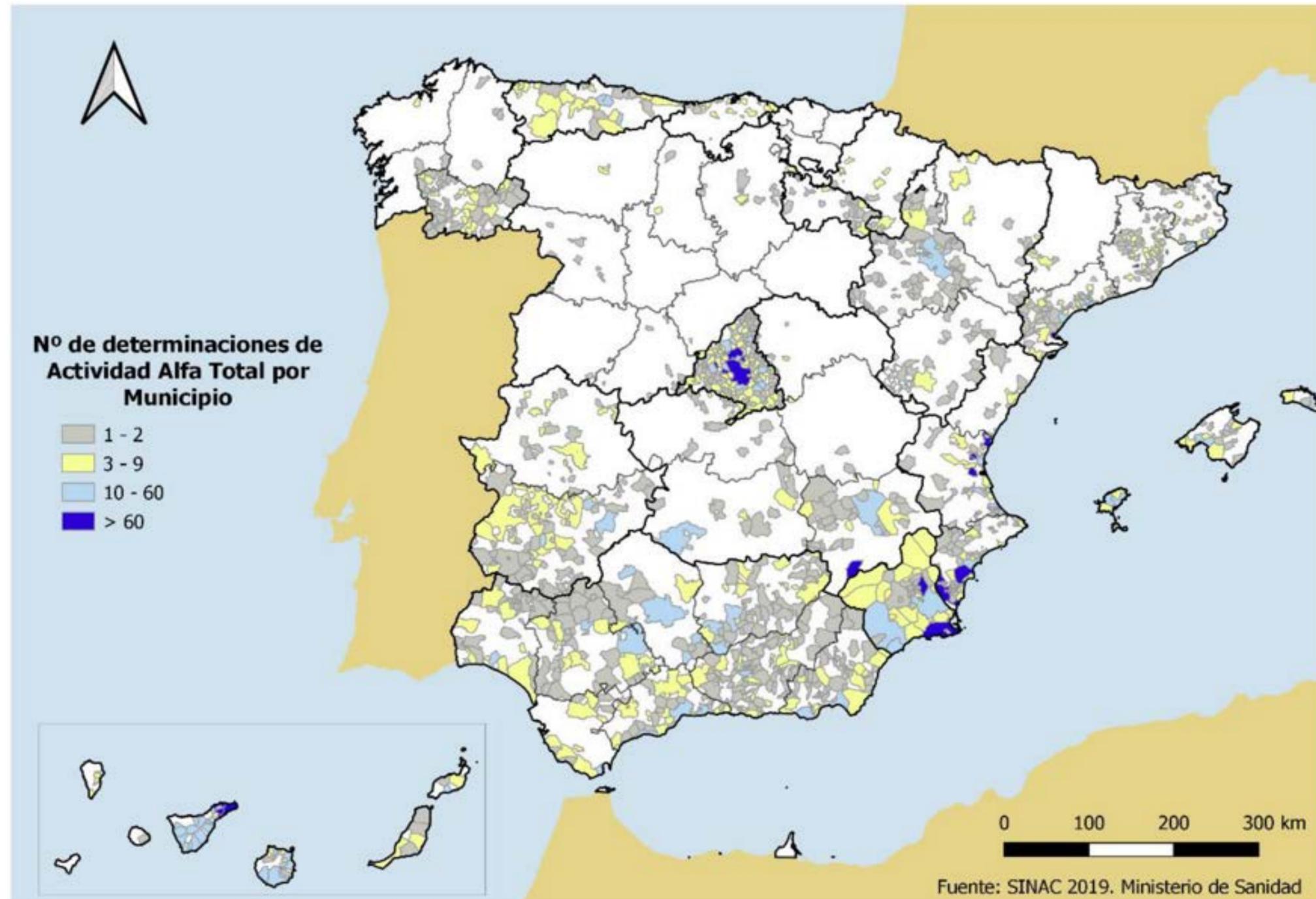


Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Sanidad



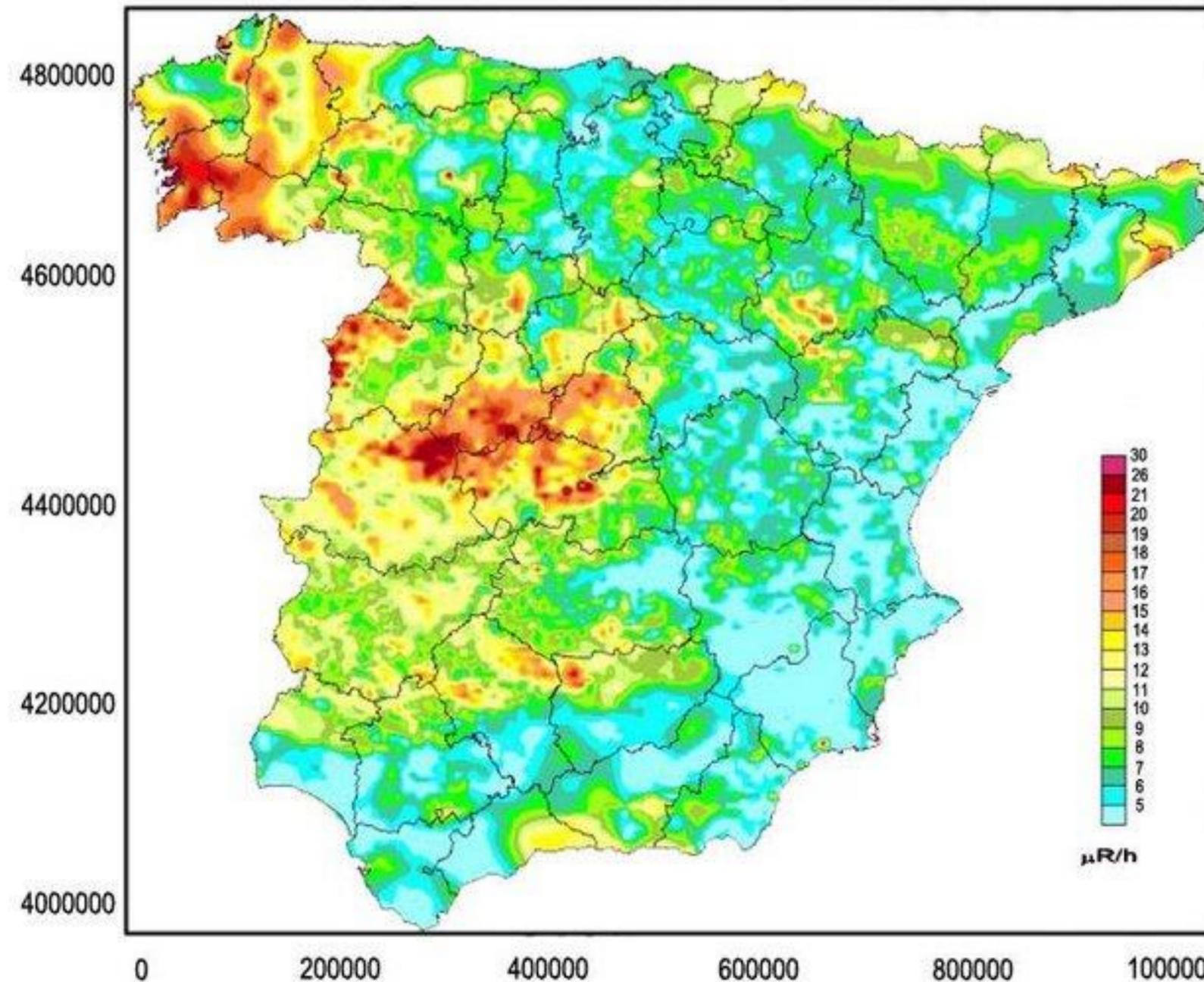


NÚMERO DE ANÁLISIS DE ACTIVIDAD ALFA TOTAL POR MUNICIPIO EN 2019



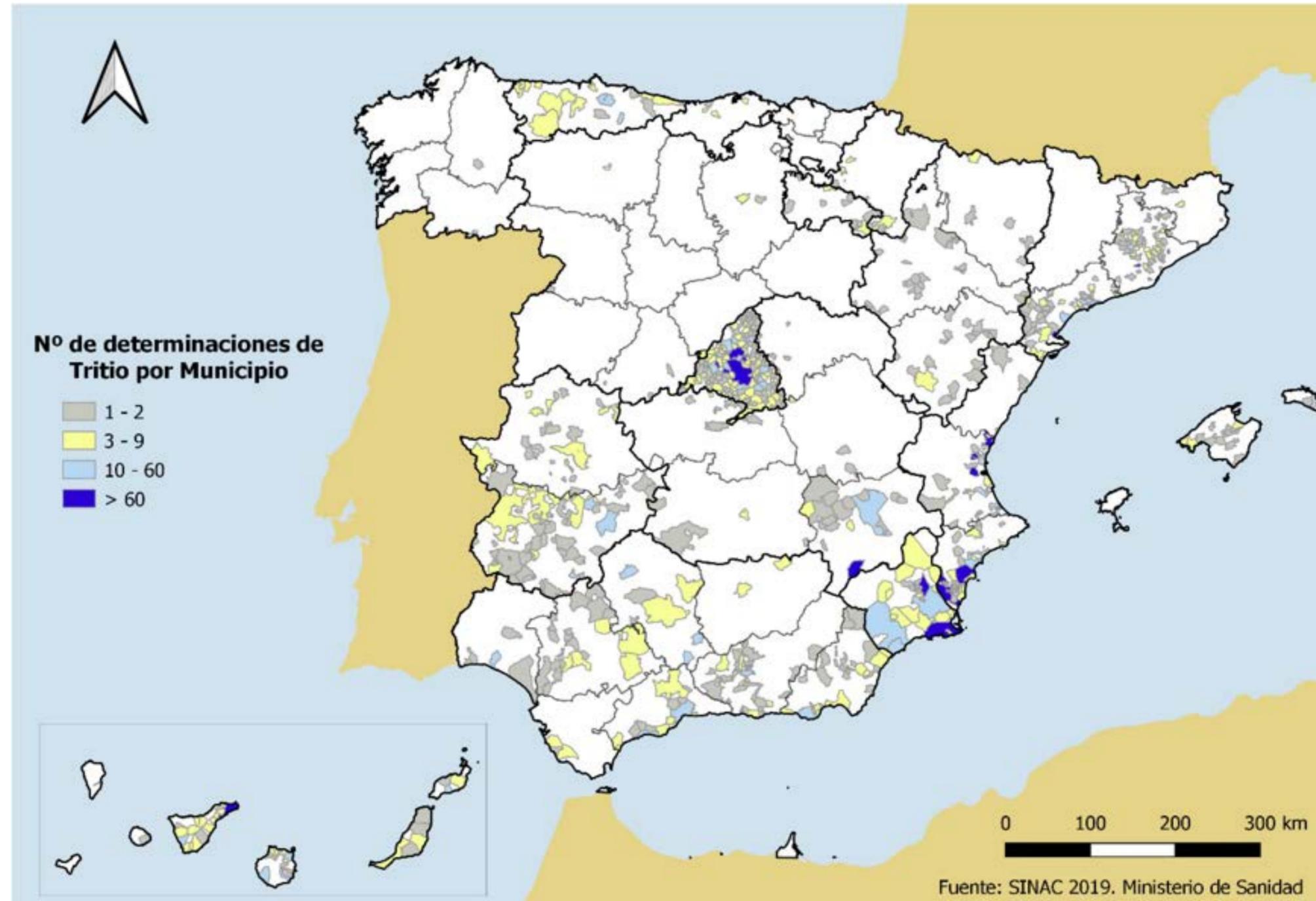


TASA DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN GAMMA NATURAL. PROYECTO MARNA. MAPA DE RADIACIÓN GAMMA NATURAL. CSN COLECCIÓN INFORMES TÉCNICOS 5.2000



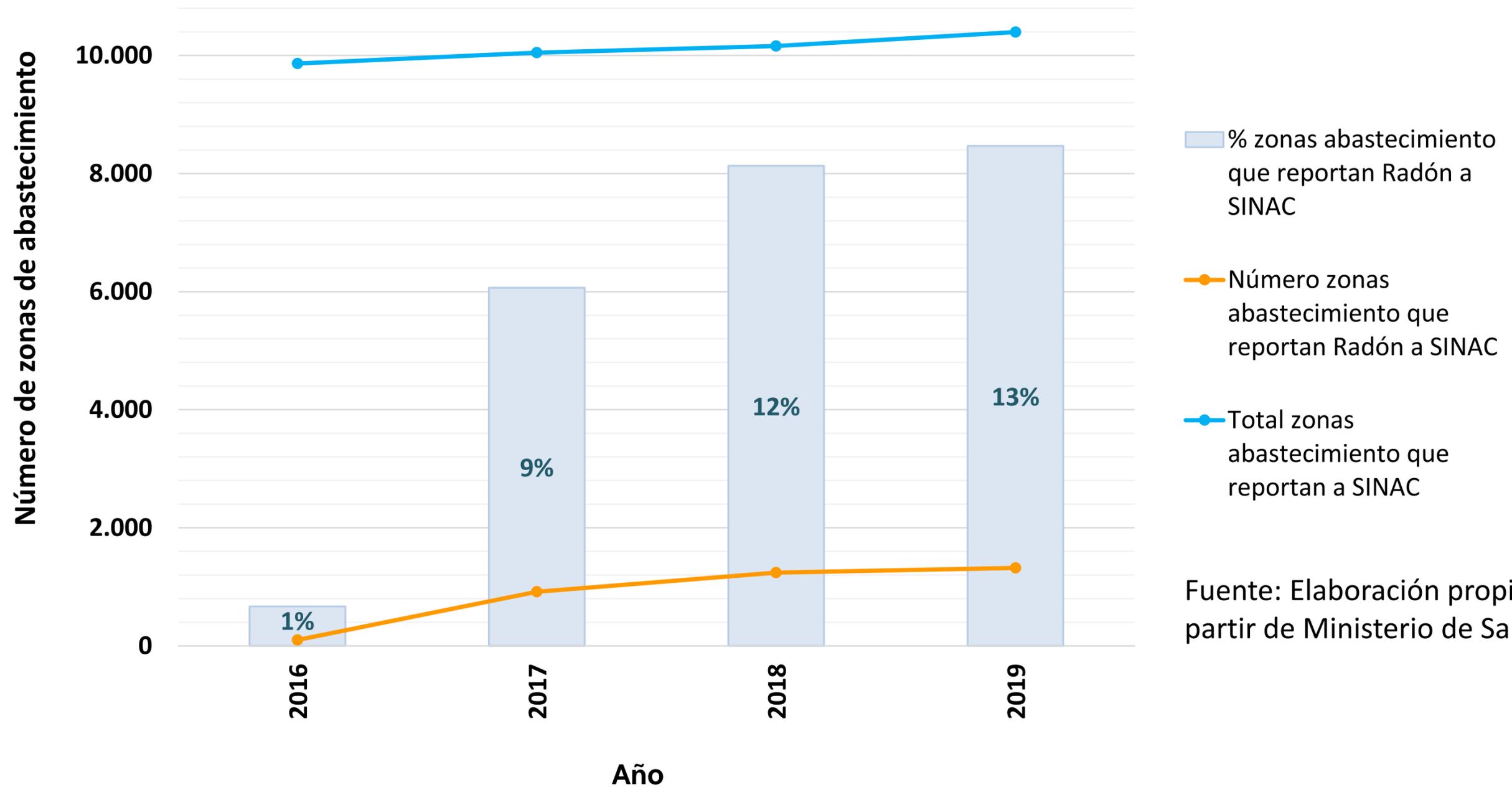


NÚMERO DE ANÁLISIS DE DOSIS INDICATIVA TOTAL POR MUNICIPIO EN 2019





EVOLUCIÓN REPORTE DEL RADÓN A SINAC ENTRE 2016 Y 2019

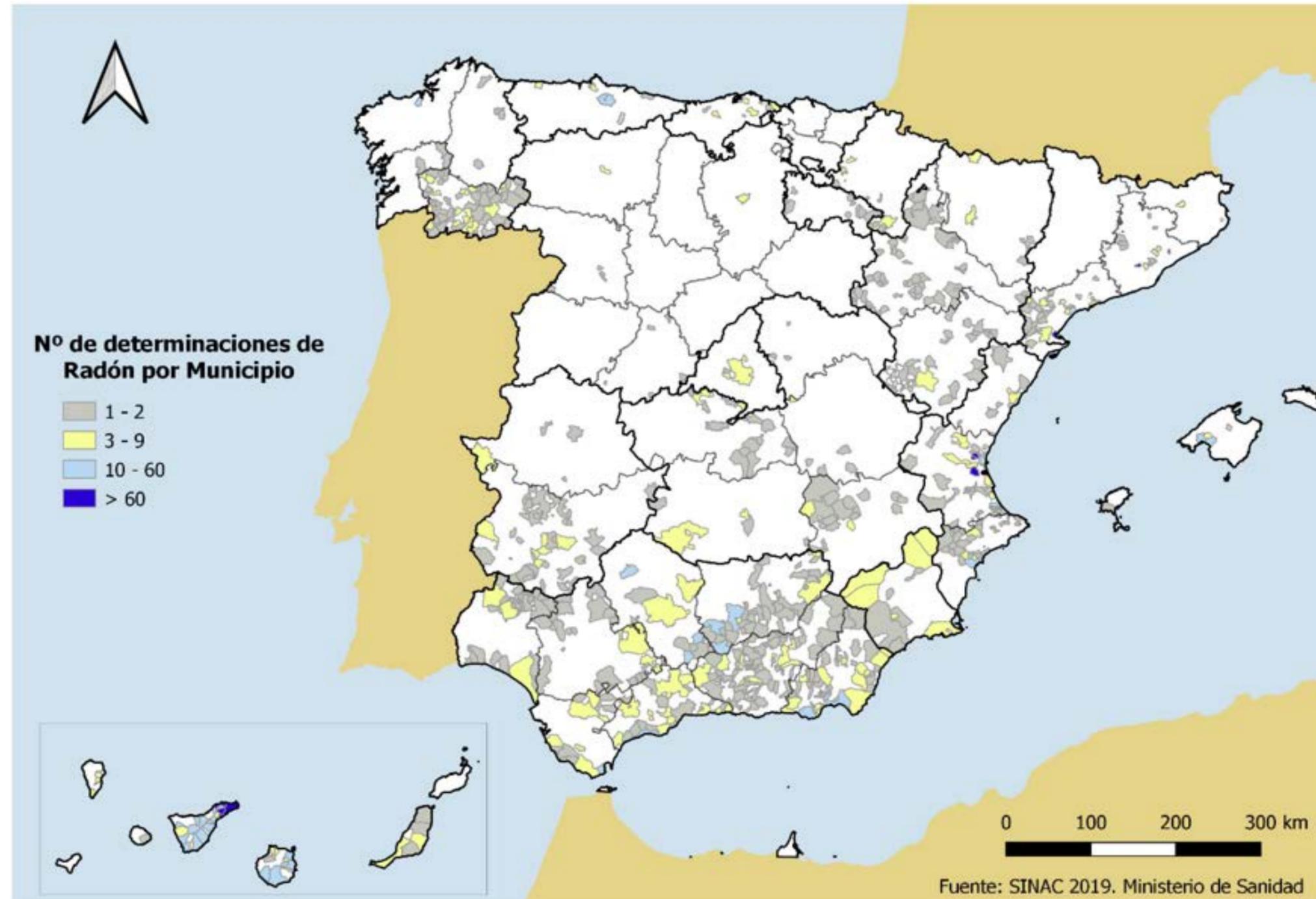


Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Sanidad





NÚMERO DE ANÁLISIS DE RADÓN POR MUNICIPIO EN 2019



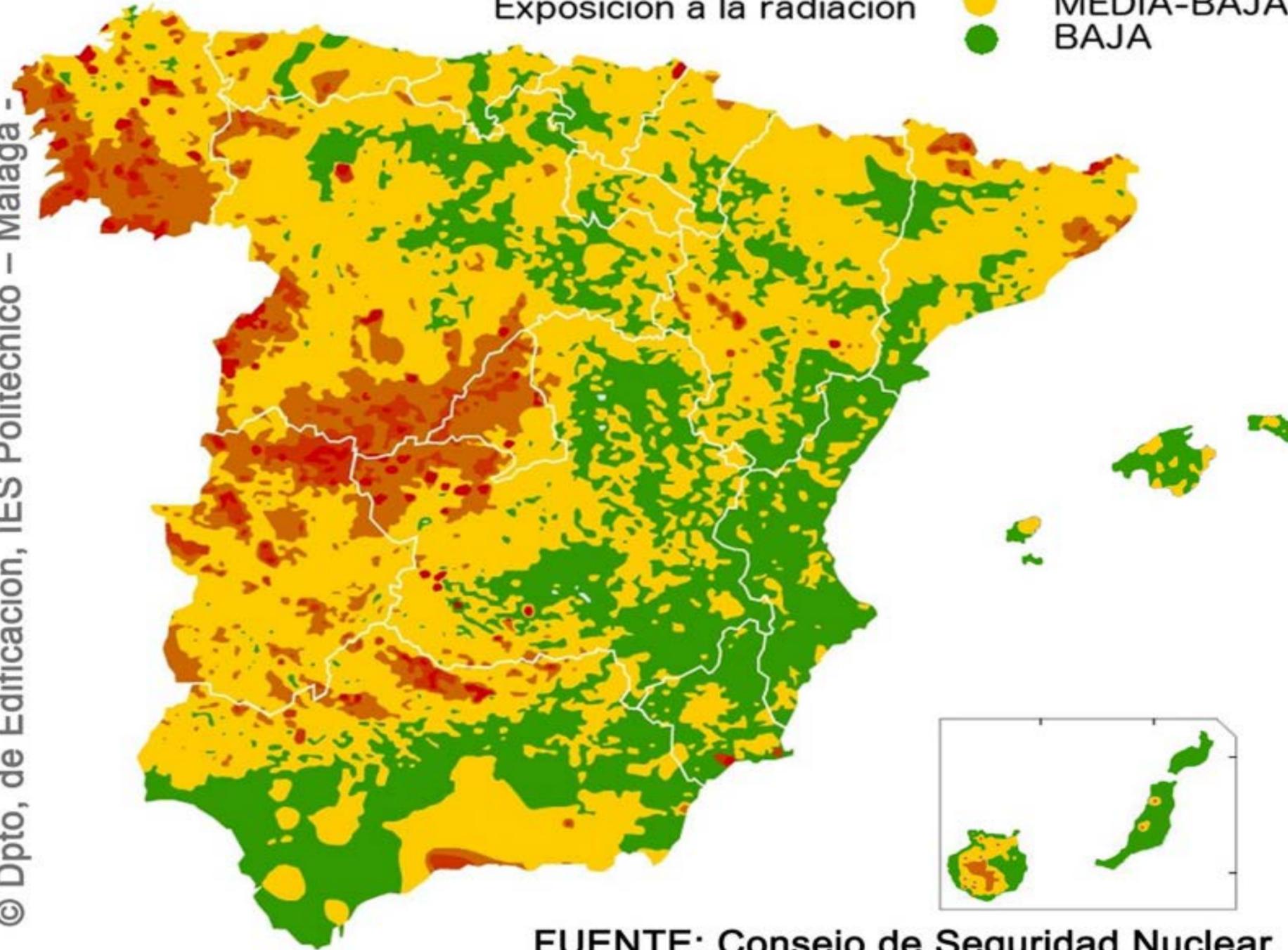


MAPA DEL RADÓN EN ESPAÑA

Exposición a la radiación

- ALTA
- MEDIA-BAJA
- BAJA

© Dpto. de Edificación, IES Politécnico – Málaga -



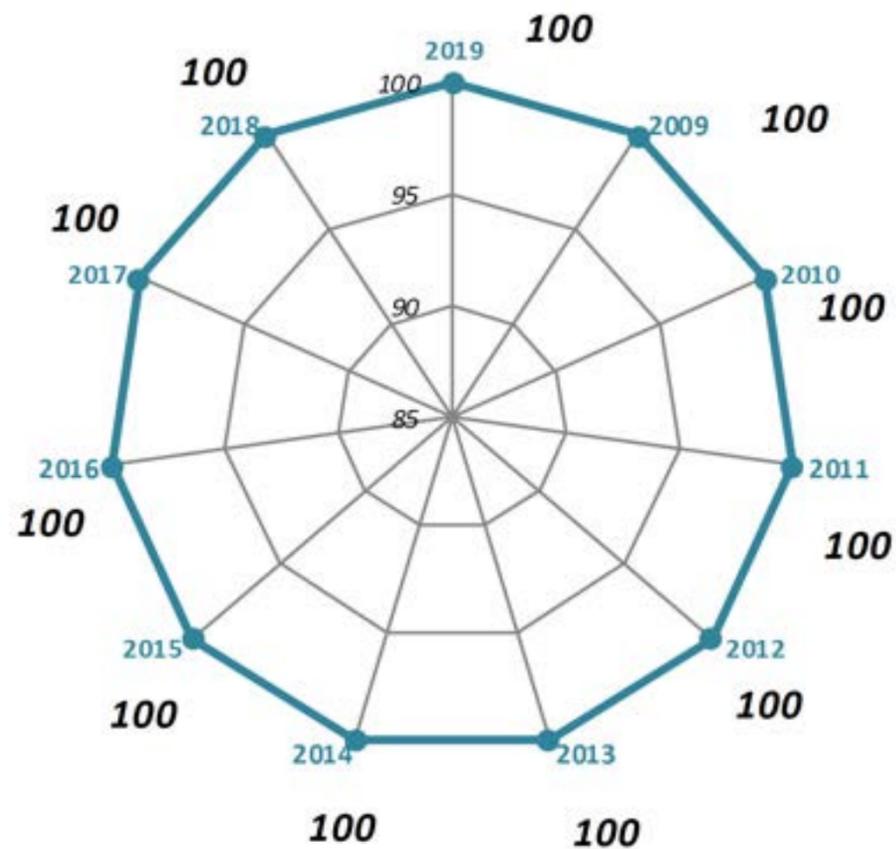
FUENTE: Consejo de Seguridad Nuclear



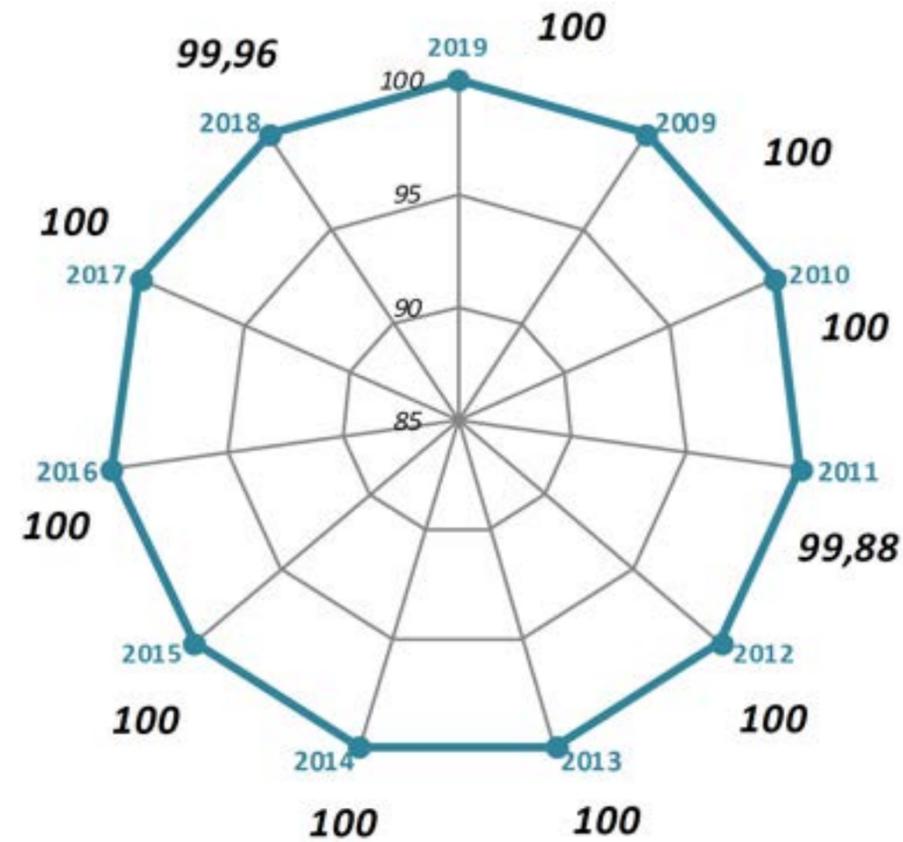


EVOLUCIÓN DE LA CONFORMIDAD EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO

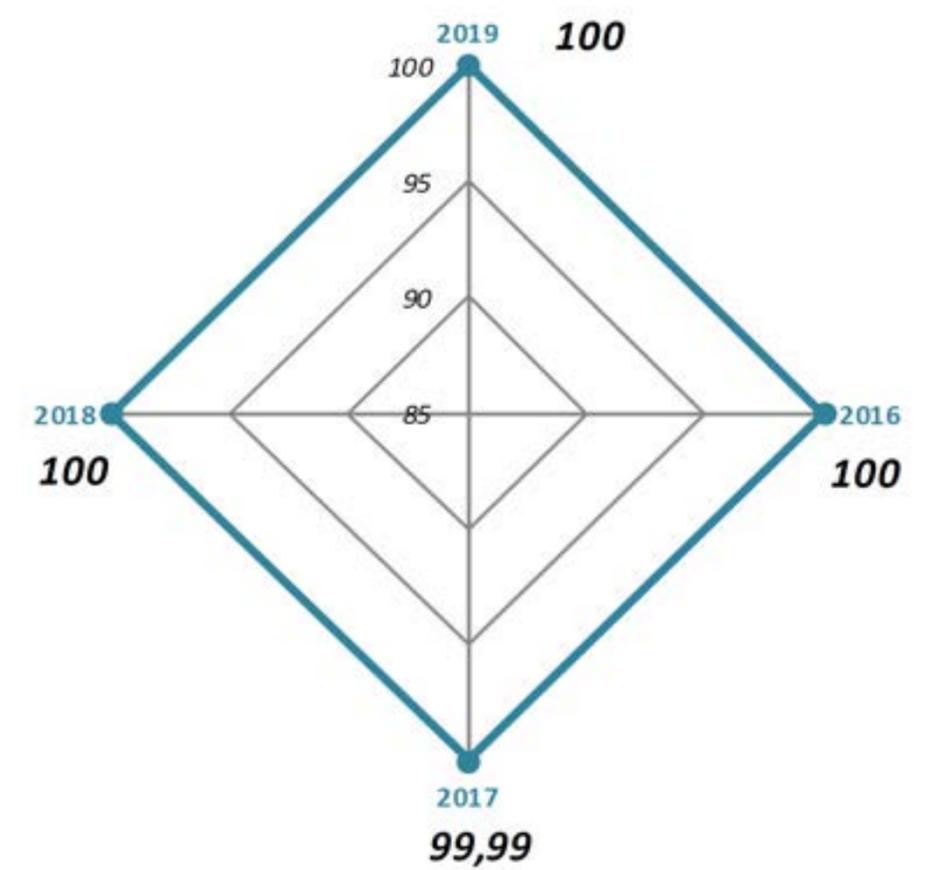
TRITIO



BETA RESTO



RADÓN



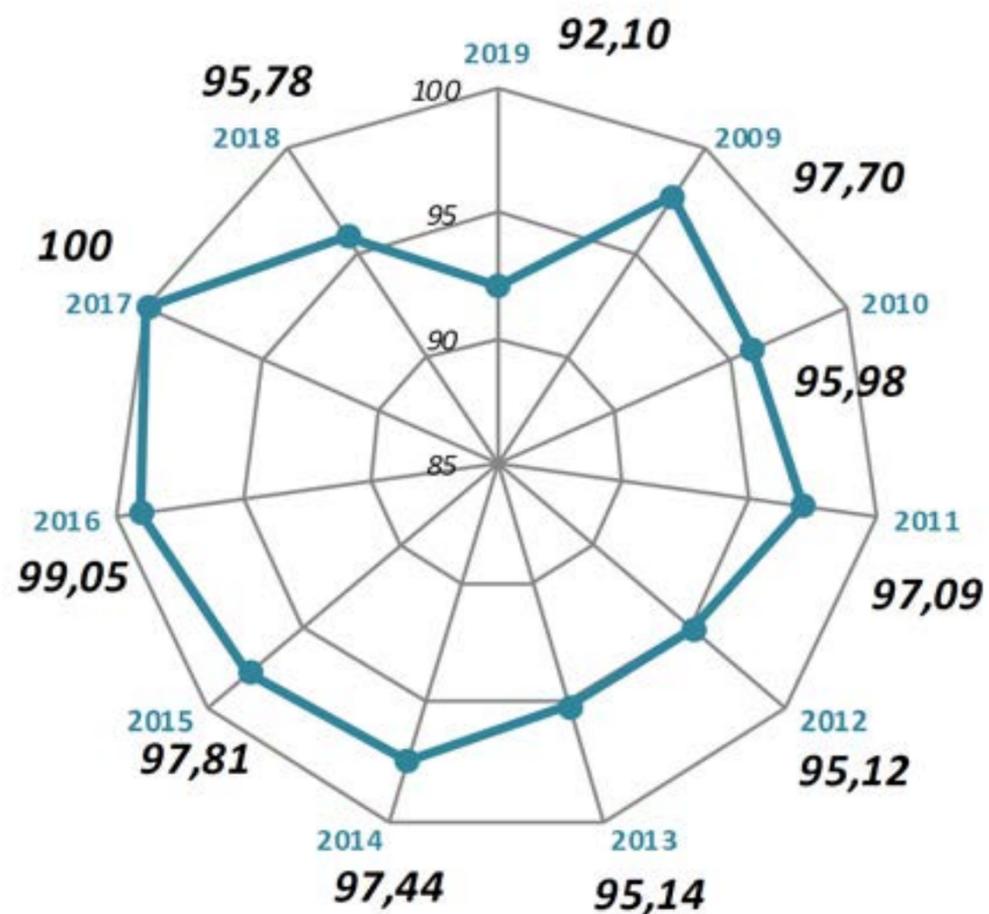
Fuente: Ministerio de Sanidad



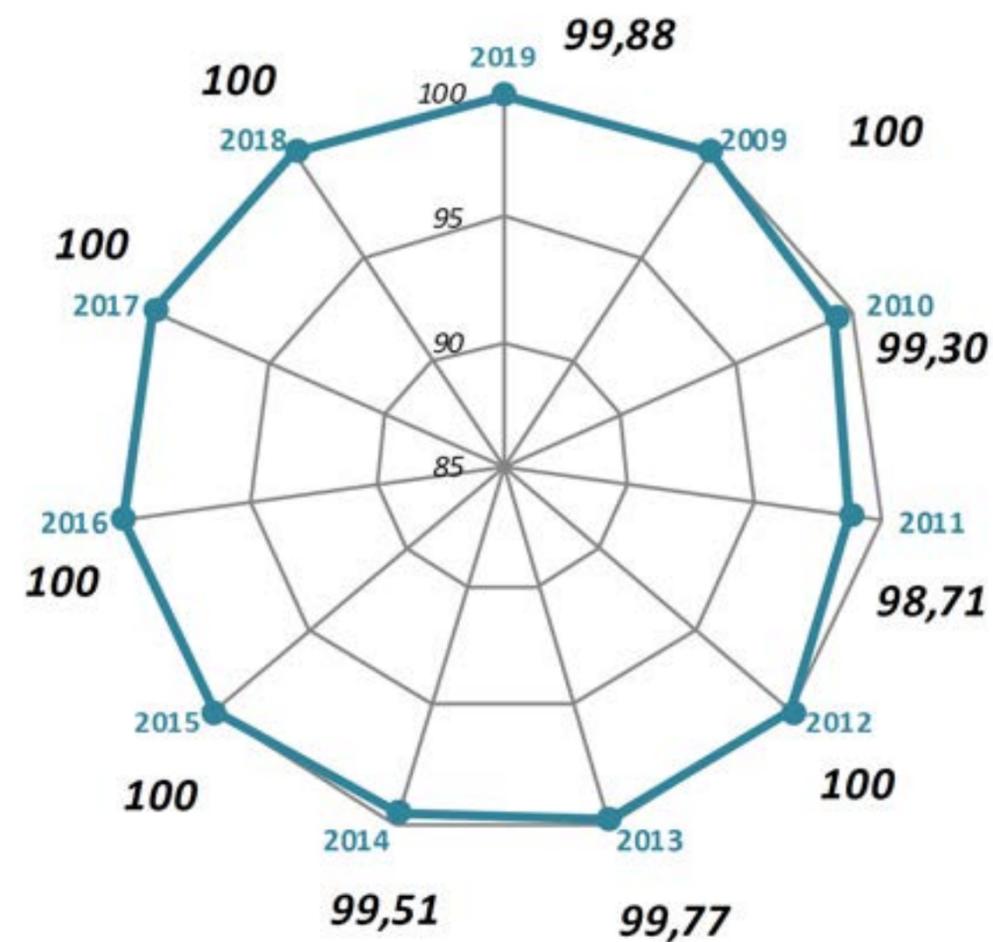


EVOLUCIÓN DE LA CONFORMIDAD EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO

ALFA TOTAL



D.I.T.

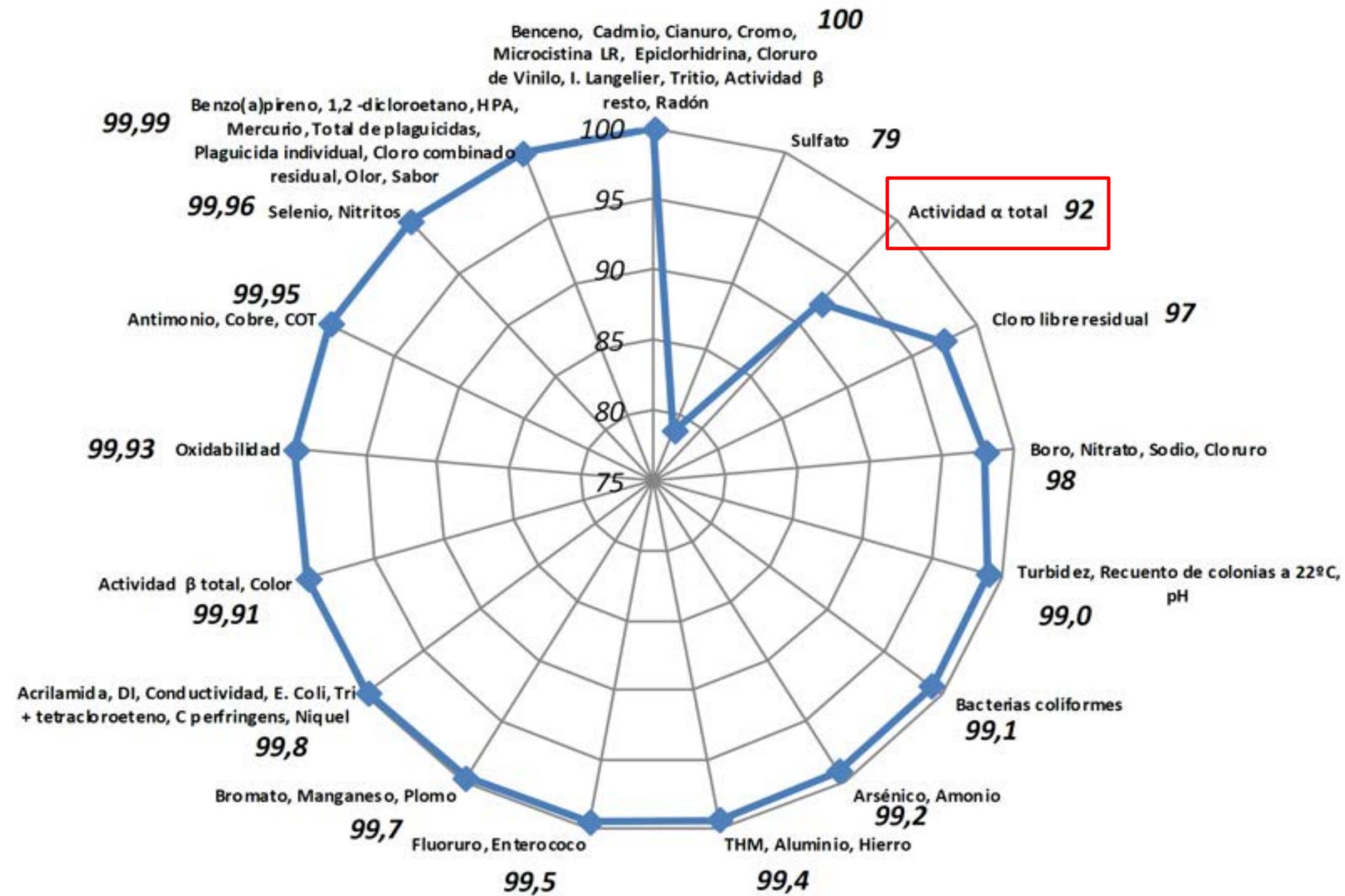


Fuente: Ministerio de Sanidad



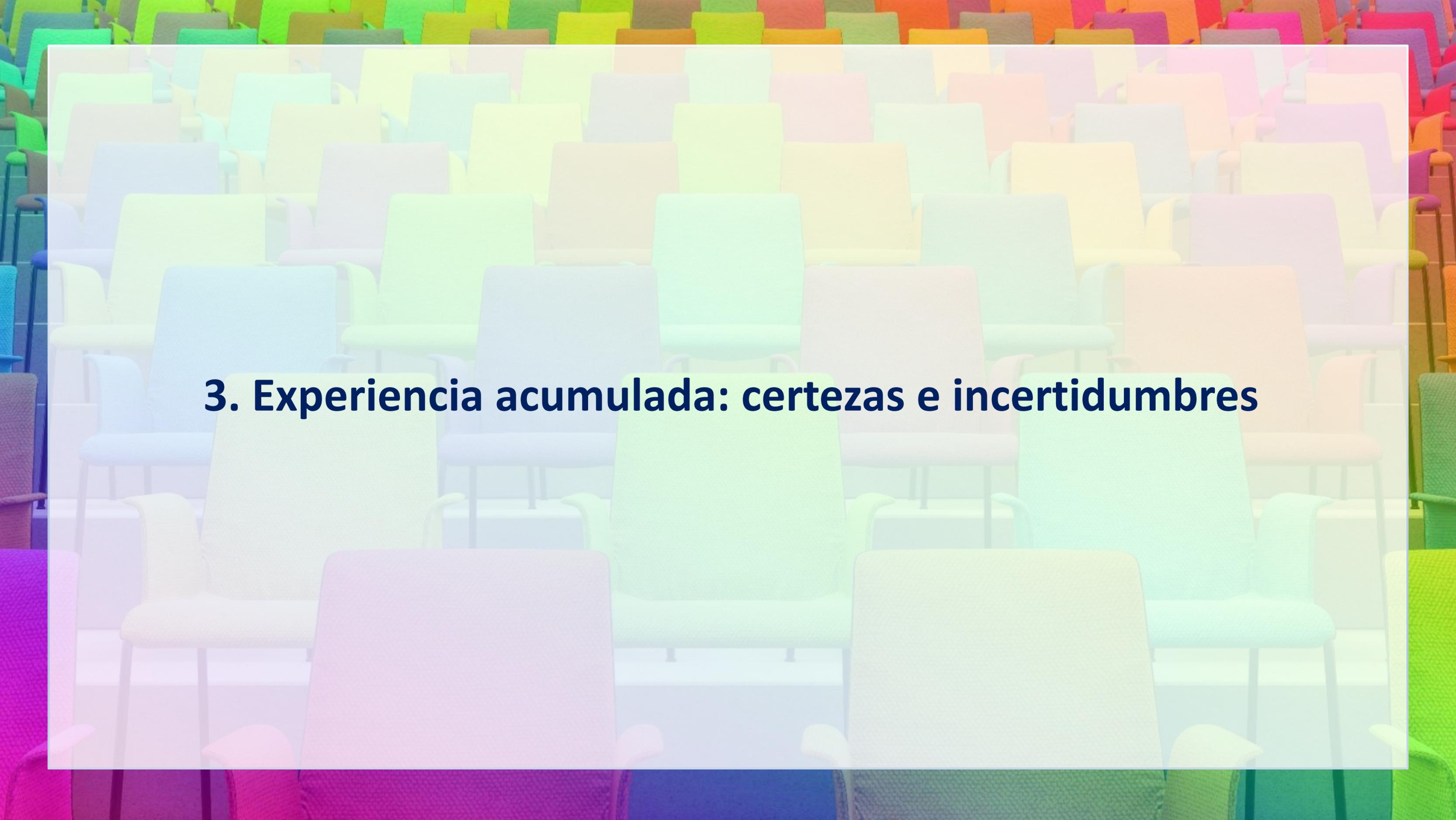


APTITUD DE AGUAS DE CONSUMO HUMANO POR PARÁMETRO EN 2019



Fuente: Ministerio de Sanidad





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres



ETAPs EN SERVICIO PARA LA ELIMINACIÓN DE RADIOACTIVIDAD

ETAP	T.M.	PUESTA SERVICIO	TIPO TRATAMIENTO ACTUAL	CAUDAL PRODUCCIÓN (m ³ /h)	VERTIDO RECHAZO
Alboloduy	Alboloduy	2009	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	6	Riego
Albanchez	Albanchez	2010	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	15	-
Alcudia Monteagud	Alcudia Monteagud	2010	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	4,5	Riego
Fines	Fines	2011	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	38	Rambla o riego
Huécija	Huécija	2011	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	36	Riego
Benitagla	Benitagla	2011	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	5	Rambla o riego
Almocaizar	Los Gallardos	2012	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	1	Riego
Somontín	Somontín	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	11	Rambla
Benizalón	Benizalón	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	7,5	Saneam. o riego
Fuente La Higuera	Benizalón	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	2	Rambla o riego
Escúllar	Las Tres Villas	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	-	Rambla
Tahal	Tahal	2014	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	10	Saneamiento
Alicún	Alicún	2014	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	5	Riego
El Campico de Bédar	Lubrín	2016	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	1,4	Rambla o riego
Alboloduy	Alboloduy	2019	Piloto ALCHEMIA. Filtración	10,8	Saneamiento
Benizalón	Benizalón	2019	Piloto ALCHEMIA. Filtración	10,8	Saneamiento
Tahal	Tahal	2019	Piloto ALCHEMIA. Filtración	10,8	Saneamiento
Lubrín	Lubrín	2020	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	15	Saneamiento



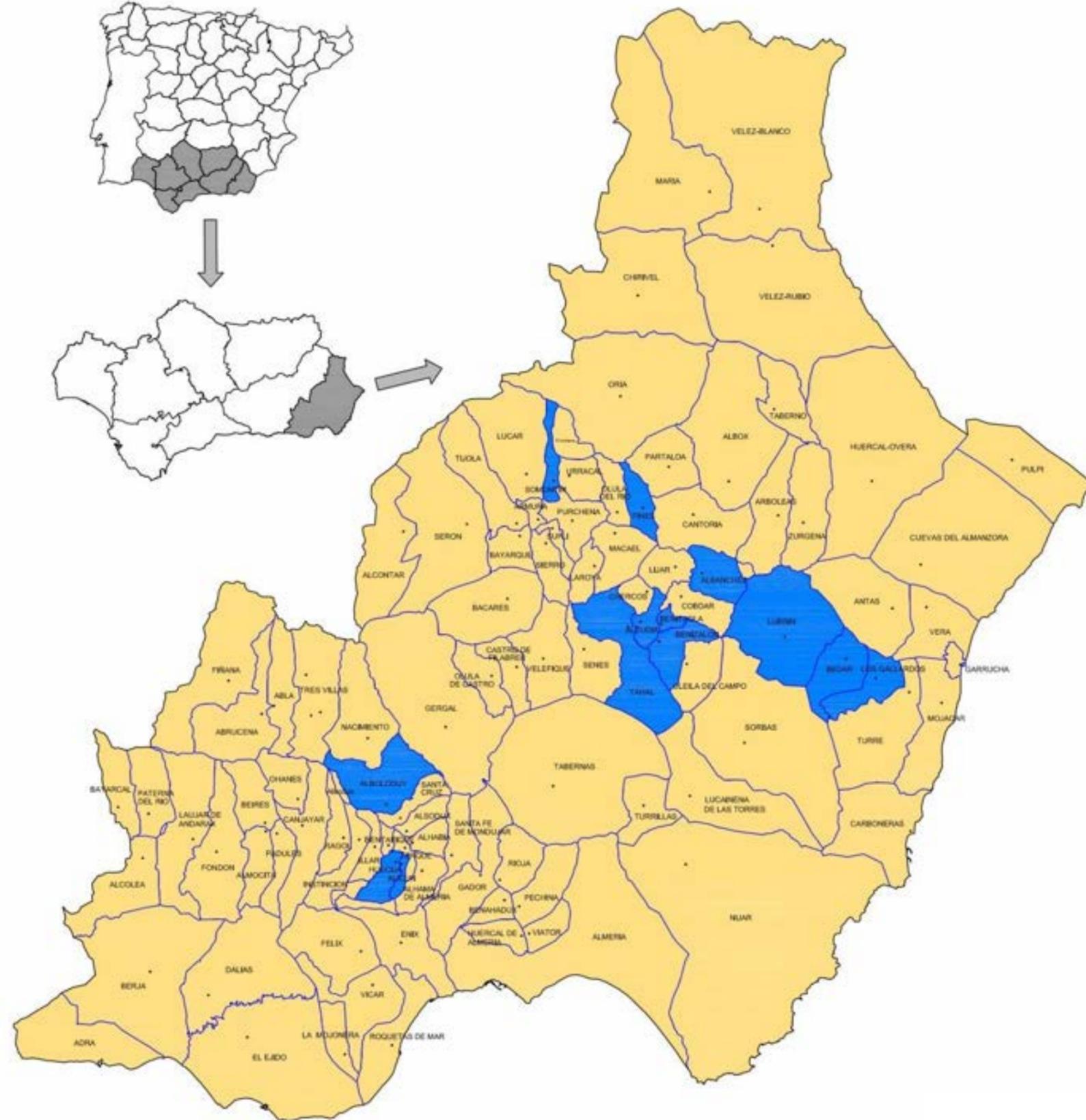
3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres

SITUACIÓN ETAPs EN SERVICIO PARA LA ELIMINACIÓN DE RADIOACTIVIDAD





INCONVENIENTES ESPECÍFICOS DE LAS ETAPS POR ÓSMOSIS INVERSA

- *Elevado consumo de recursos hídricos : certeza*
- Tecnología de eliminación muy efectiva pero poco específica: certeza
- Gestión compleja del rechazo: incertidumbre
- Elevados costes de explotación: certeza
- Escasa vida útil equipos instalados y sustitución membranas y filtros: certeza
- Dificultades de explotación: certeza





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres



ETAP Benizalón



ETAP	% de rechazo
Alboloduy	42%
Alicún	39%
Benizalón	37%
Huécija	40%
Tahal	39%

Necesidad de optimizar el consumo de recursos hídricos

La reducción de rechazos implicará la reducción de costes de explotación y de inversión





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres



**1,5 – 1,8
litros**

Se extraen

**1
litro**

Para producir





INCONVENIENTES ESPECÍFICOS DE LAS ETAPS POR ÓSMOSIS INVERSA

- Elevado consumo de recursos hídricos : certeza
- *Tecnología de eliminación pero poco específica: certeza*
- Gestión compleja del rechazo: incertidumbre
- Elevados costes de explotación: certeza
- Escasa vida útil equipos instalados y sustitución membranas y filtros: certeza
- Dificultades de explotación: certeza





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres



ETAP Tahal



INCONVENIENTES ESPECÍFICOS DE LAS ETAPS POR ÓSMOSIS INVERSA

- Elevado consumo de recursos hídricos : certeza
- Tecnología de eliminación pero poco específica: certeza
- *Gestión compleja del rechazo: incertidumbre*
- Elevados costes de explotación: certeza
- Escasa vida útil equipos instalados y sustitución membranas y filtros: certeza
- Dificultades de explotación: certeza





ETAPs EN SERVICIO PARA LA ELIMINACIÓN DE RADIOACTIVIDAD

ETAP	T.M.	PUESTA SERVICIO	TIPO TRATAMIENTO ACTUAL	CAUDAL PRODUCCIÓN (m ³ /h)	VERTIDO RECHAZO
Alboloduy	Alboloduy	2009	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	6	Riego
Albanchez	Albanchez	2010	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	15	-
Alcudia Monteagud	Alcudia Monteagud	2010	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	4,5	Riego
Fines	Fines	2011	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	38	Rambla o riego
Huécija	Huécija	2011	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	36	Riego
Benitagla	Benitagla	2011	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	5	Rambla o riego
Almocaizar	Los Gallardos	2012	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	1	Riego
Somontín	Somontín	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	11	Rambla
Benizalón	Benizalón	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	7,5	Saneam. o riego
Fuente La Higuera	Benizalón	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	2	Rambla o riego
Escúllar	Las Tres Villas	2013	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	-	Rambla
Tahal	Tahal	2014	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	10	Saneamiento
Alicún	Alicún	2014	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	5	Riego
El Campico de Bédar	Lubrín	2016	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	1,4	Rambla o riego
Alboloduy	Alboloduy	2019	Piloto ALCHEMIA. Filtración	10,8	Saneamiento
Benizalón	Benizalón	2019	Piloto ALCHEMIA. Filtración	10,8	Saneamiento
Tahal	Tahal	2019	Piloto ALCHEMIA. Filtración	10,8	Saneamiento
Lubrín	Lubrín	2020	Filtros arenas + Microfiltración+ OI	15	Saneamiento



INCONVENIENTES ESPECÍFICOS DE LAS ETAPS POR ÓSMOSIS INVERSA

- Elevado consumo de recursos hídricos : certeza
- Tecnología de eliminación pero poco específica: certeza
- Gestión compleja del rechazo: incertidumbre
- *Elevados costes de explotación: certeza*
- Escasa vida útil equipos instalados y sustitución membranas y filtros: certeza
- Dificultades de explotación: certeza





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres

CONSUMO ENERGÉTICO ETAPS POR ÓSMOSIS INVERSA

ETAP	kWh / m ³
Alboloduy	1,1
Benizalón	1,2
Tahal	1,1



ETAP Tahal



3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres



0,13 €/m³

Coste pasado



+



0,65 €/m³

Coste en la actualidad



INCONVENIENTES ESPECÍFICOS DE LAS ETAPS POR ÓSMOSIS INVERSA

- Elevado consumo de recursos hídricos : certeza
- Tecnología de eliminación pero poco específica: certeza
- Gestión compleja del rechazo: incertidumbre
- Elevados costes de explotación: certeza
- *Escasa vida útil equipos instalados y sustitución membranas y filtros: certeza*
- *Dificultades de explotación: certeza*





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres





ALGUNAS LECCIONES APRENDIDAS EN ESTOS AÑOS

- La ósmosis inversa es un sistema totalmente efectivo para la eliminación de la radioactividad, pero no exento de inconvenientes.
- No contar con medidas rápidas de evaluación de los niveles de radioactividad dificulta considerablemente la explotación. Se debe trabajar en la búsqueda de medidas indirectas, por ejemplo con la medición radiación gamma.
- Los valores indicadores de la radioactividad varían con el tiempo en el agua de un único sondeo. Mucho más aun entre distintos sondeos de un municipio.
- *Todas las ETAPs por ósmosis inversa con aguas procedentes de sondeos contruidos en acero deben incluir pretratamientos para la eliminación del hierro, diga lo que diga la analítica.*





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres





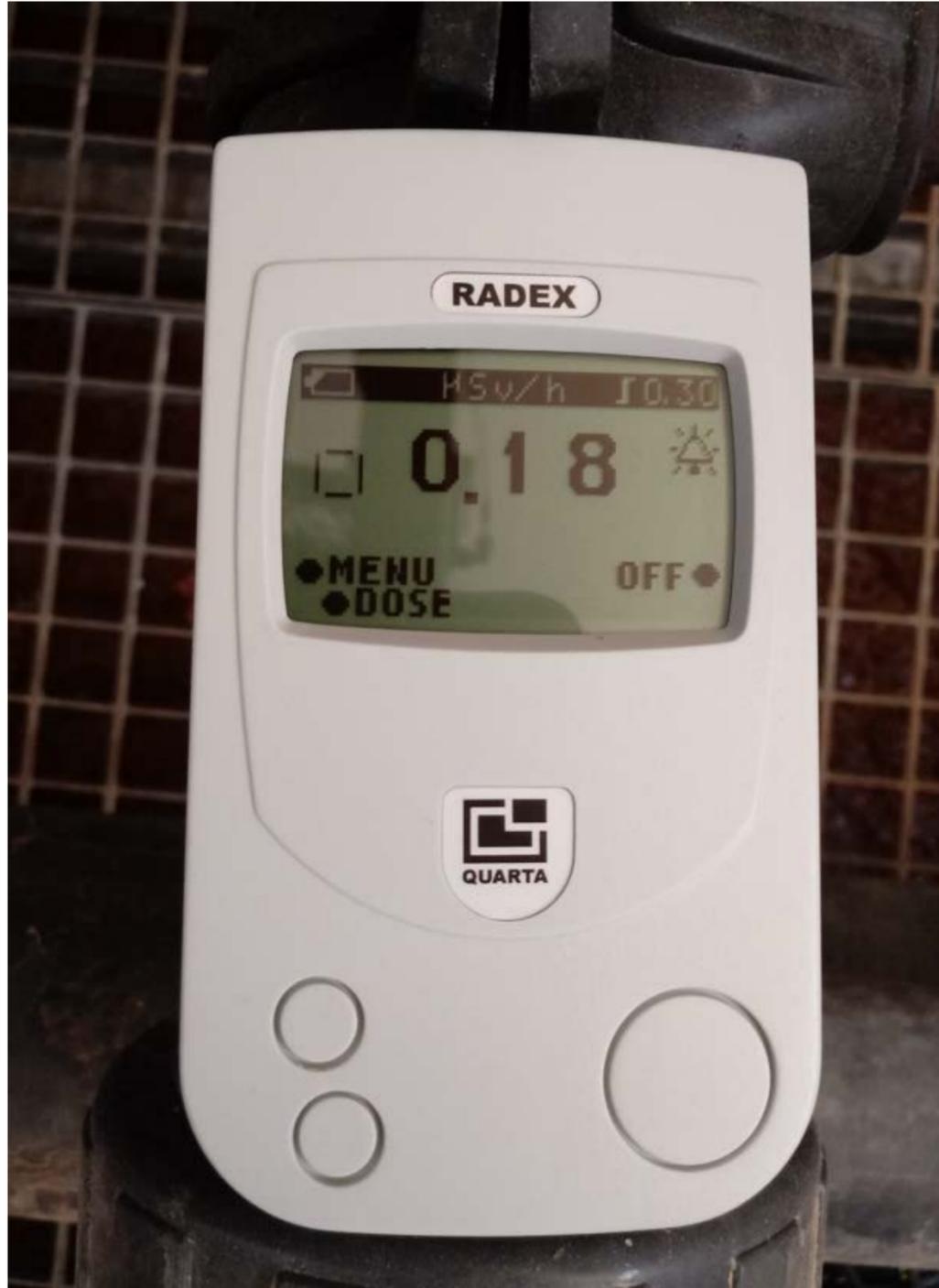
ALGUNAS LECCIONES APRENDIDAS EN ESTOS AÑOS

- *Todos los proyectos deberán incluir la adquisición de medidores de radiación gamma y de radón en el ambiente.*
- Se deberá efectuar un seguimiento de la radiación gamma como medida indirecta en todos los elementos de las ETAPs.
- Se tratará de que los espacios en los que se ubiquen las ETAPs estén lo más ventilados posibles para evitar concentración de radón.
- Los vasos de los depósitos de agua bruta deberán estar completamente aislados de espacios donde se prevea la presencia de trabajadores.





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres





ALGUNAS LECCIONES APRENDIDAS EN ESTOS AÑOS

- Todos los proyectos deberán incluir la adquisición de medidores de radiación gamma y de radón en el ambiente.
- *Se deberá efectuar un seguimiento de la radiación gamma como medida indirecta en todos los elementos de las ETAPs.*
- Se tratará de que los espacios en los que se ubiquen las ETAPs estén lo más ventilados posibles para evitar concentración de radón.
- Los vasos de los depósitos de agua bruta deberán estar completamente aislados de espacios donde se prevea la presencia de trabajadores.





3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres

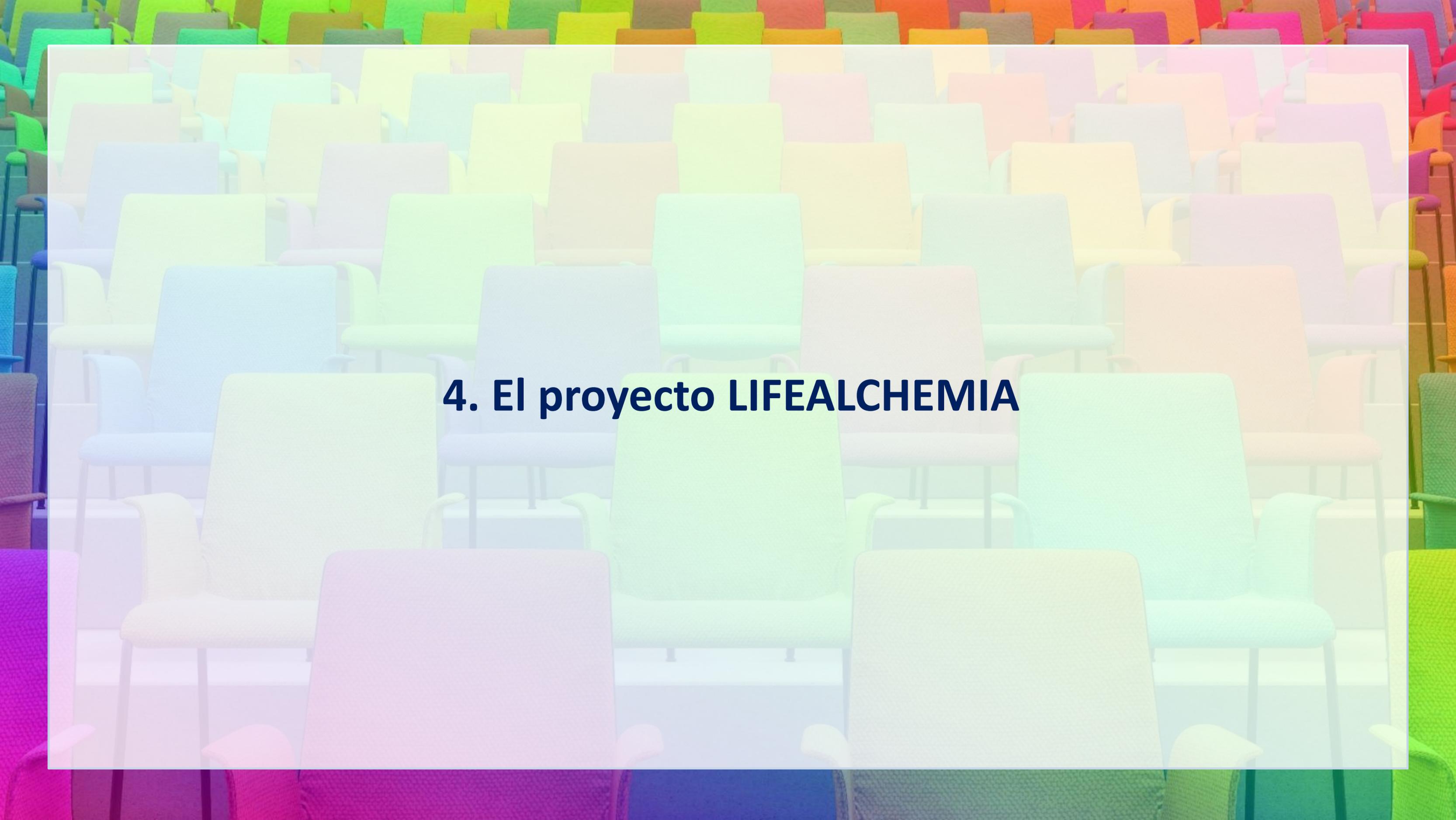




ALGUNAS LECCIONES APRENDIDAS EN ESTOS AÑOS

- Todos los proyectos deberán incluir la adquisición de medidores de radiación gamma y de radón en el ambiente.
- Se deberá efectuar un seguimiento de la radiación gamma como medida indirecta en todos los elementos de las ETAPs.
- *Se tratará de que los espacios en los que se ubiquen las ETAPs estén lo más ventilados posibles para evitar concentración de radón.*
- *Los vasos de los depósitos de agua bruta deberán estar completamente aislados de espacios donde se prevea la presencia de trabajadores.*





4. El proyecto LIFEALCHEMIA

Ante esta situación surgió la pregunta:

¿Existirían otras tecnologías en el mercado eficientes y baratas alternativas a la Ósmosis Inversa?

**NO EXISTIAN EXPERIENCIAS
CONTRASTADAS APLICABLES**

Se pudo constatar la relación entre la presencia de hierro en el agua y la radioactividad natural





4. El proyecto LIFEALCHEMIA

Life ALCHEMIA

European Project Life+

Presupuesto total: 1.523.450 €
 Contribución europea: 803.960 €
 Duración del proyecto: 02/10/2017 - 31/12/2020

Logos included: Diputación de Almería, Centro Tecnológico CARTIF, Tallinn University of Technology, University of Tartu, Universidad de Almería, CIESOL, Viimsi Vesi.

OBJETIVOS GENERALES DEL PROYECTO LIFEALCHEMIA

- Demostrar la viabilidad técnica y económica del empleo de filtros de lecho fijo optimizados en España y de dióxido de manganeso líquido en Estonia para la eliminación de la radiactividad natural en las aguas de consumo humano.
- Reducir las actividades alfa y beta total y la concentración de radionucleidos de U y el Ra entre un 75 y un 90%.
- Reducir la cantidad de residuos NORM generados en un 90%.
- Reducir el coste de explotación, el impacto ambiental y los gases de efecto invernadero en un 80%.
- Replicar las soluciones del proyecto a otras zonas de la UE.



ESQUEMA GENERAL DE INSTALACIÓN DE LAS ETAPS PILOTO LIFEALCHEMIA EN ALMERÍA

Sondeo existente



ETAP O.I. existente



Depósito existente

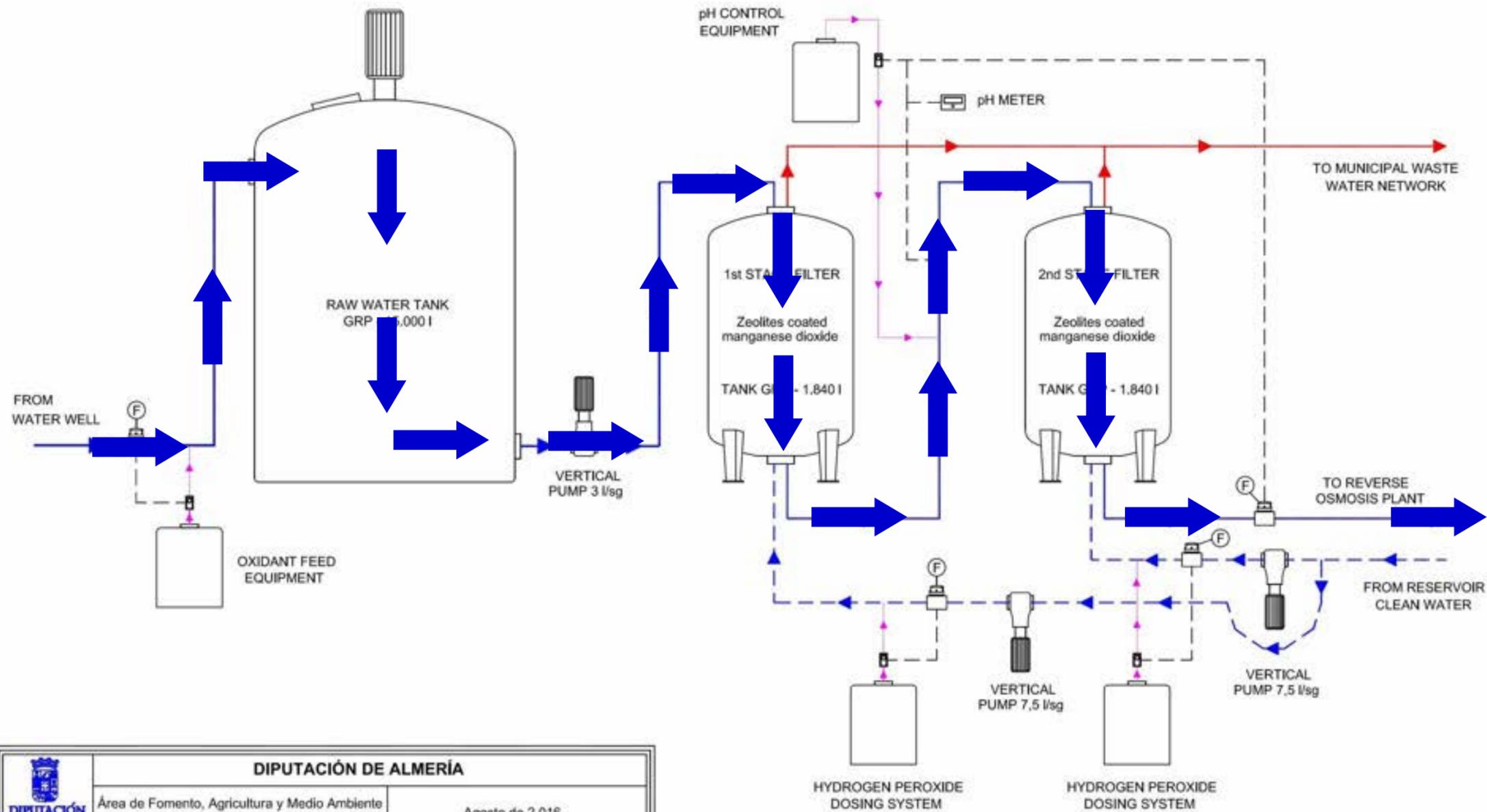


ETAP piloto LIFEALCHEMIA





ESQUEMA DE FILTRADO DE ETAPS PILOTO LIFEALCHEMIA EN ALMERÍA



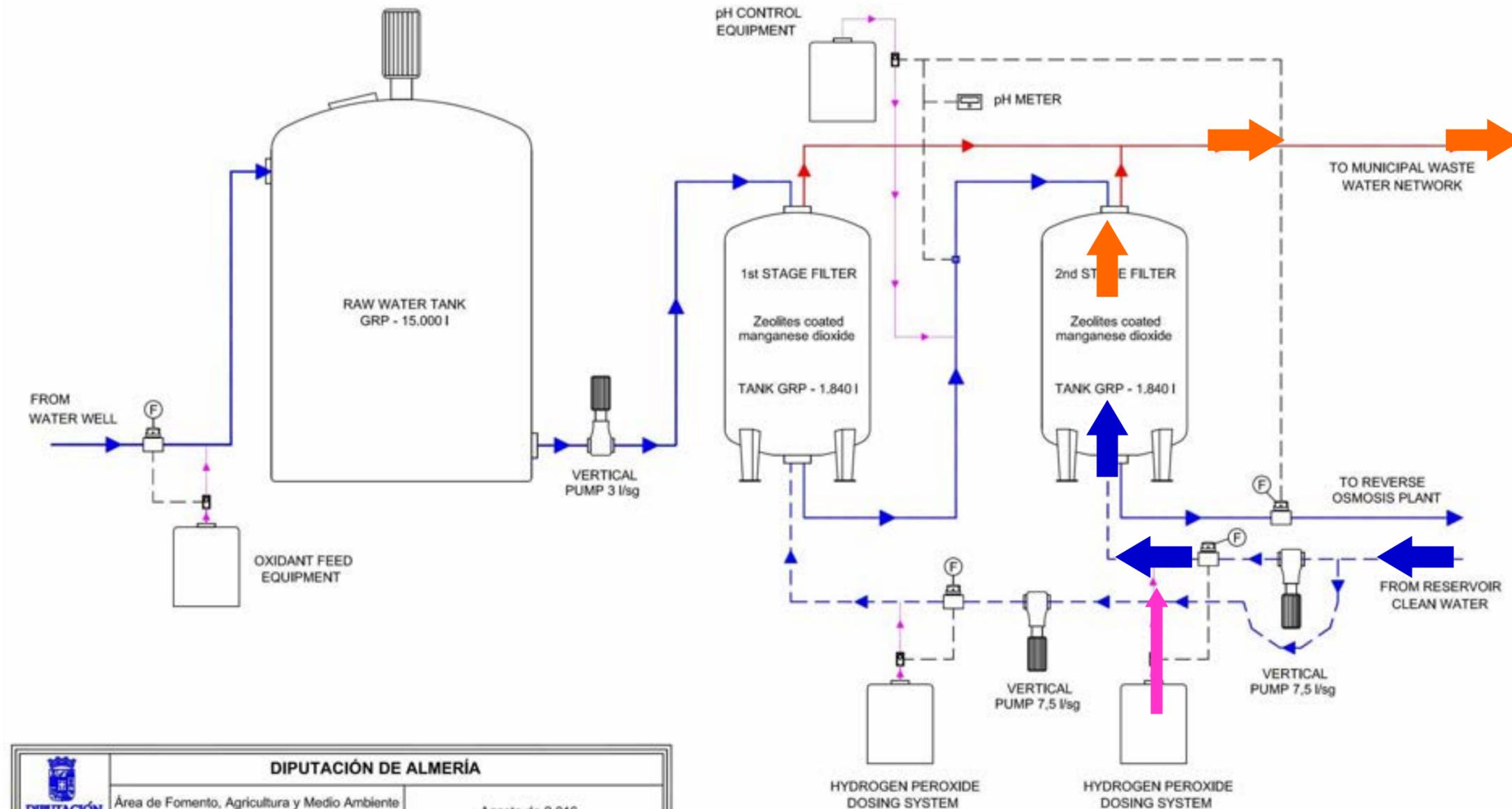
	DIPUTACIÓN DE ALMERÍA	
	Área de Fomento, Agricultura y Medio Ambiente Servicio de Infraestructura Urbana	Agosto de 2.016
PROYECTO ALCHEMIA		
PLANO:	RADIUM 1 AND RADIUM 2 PLANTS - Operating diagram	

- CICLO DE FILTRADO -





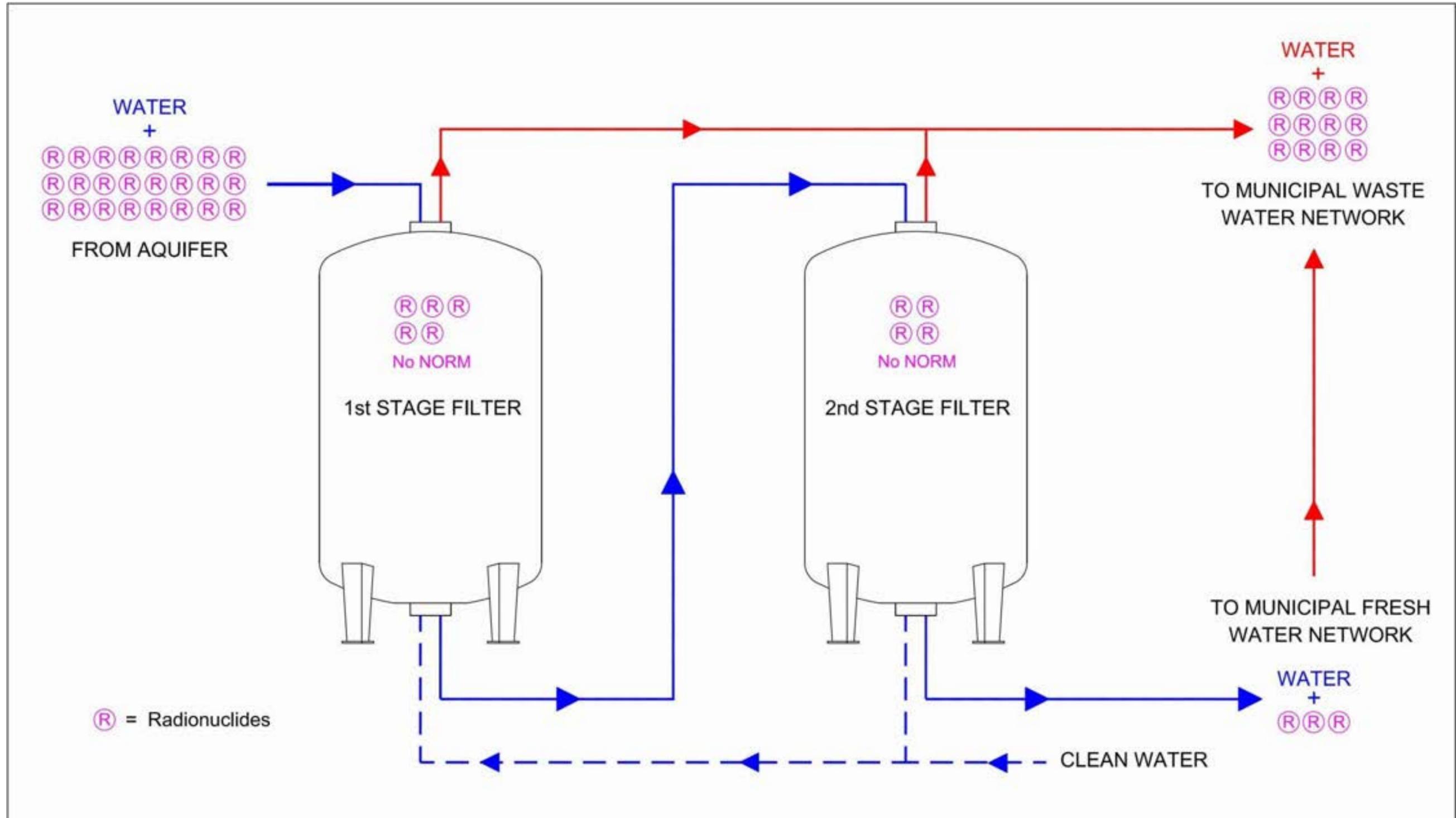
ESQUEMA DE LAVADOS DE ETAPS PILOTO LIFEALCHEMIA EN ALMERÍA



	DIPUTACIÓN DE ALMERÍA	
	Área de Fomento, Agricultura y Medio Ambiente Servicio de Infraestructura Urbana	Agosto de 2.016
PROYECTO ALCHEMIA		
PLANO:	RADIUM 1 AND RADIUM 2 PLANTS - Operating diagram	

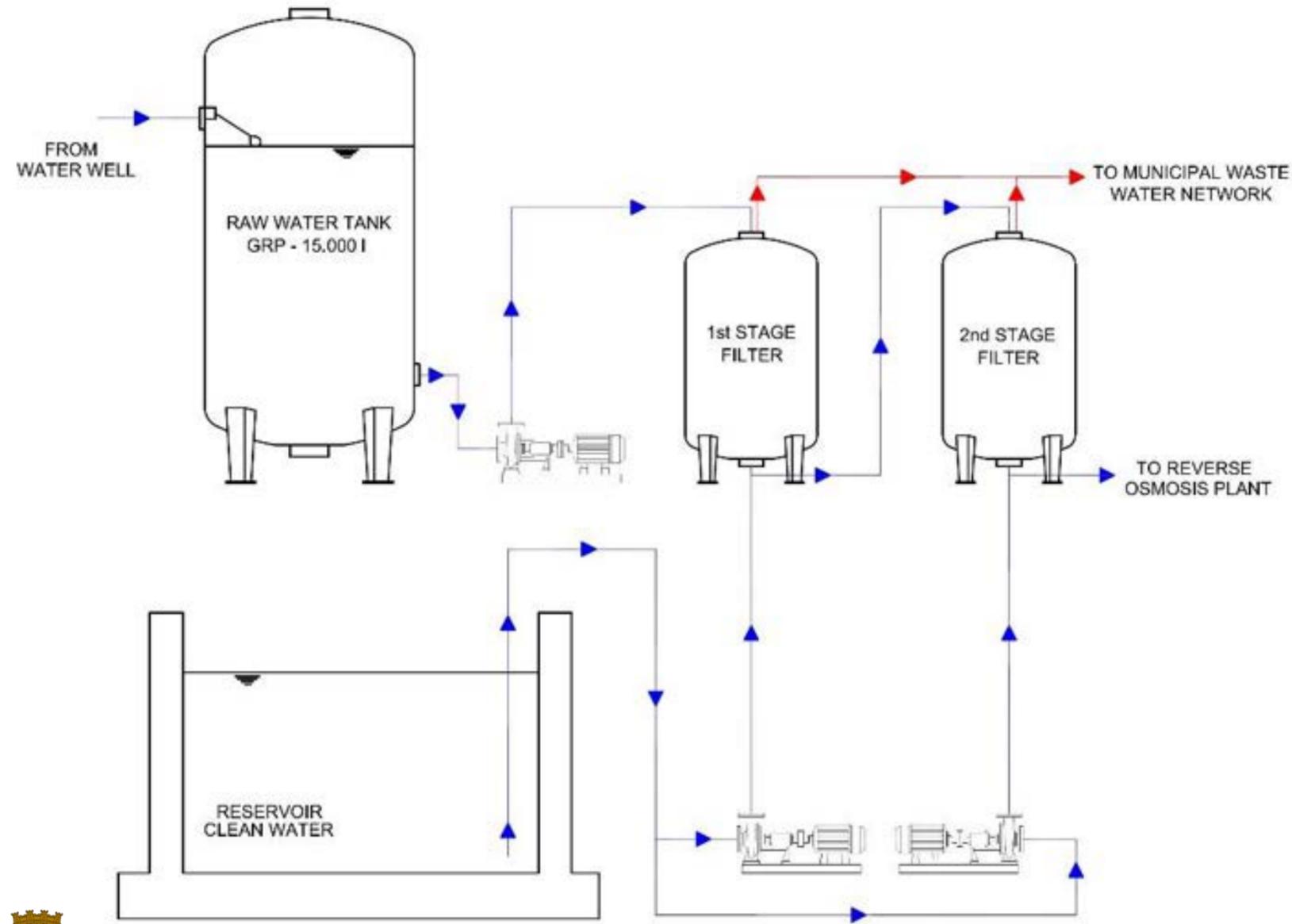
- CICLO DE LAVADO -





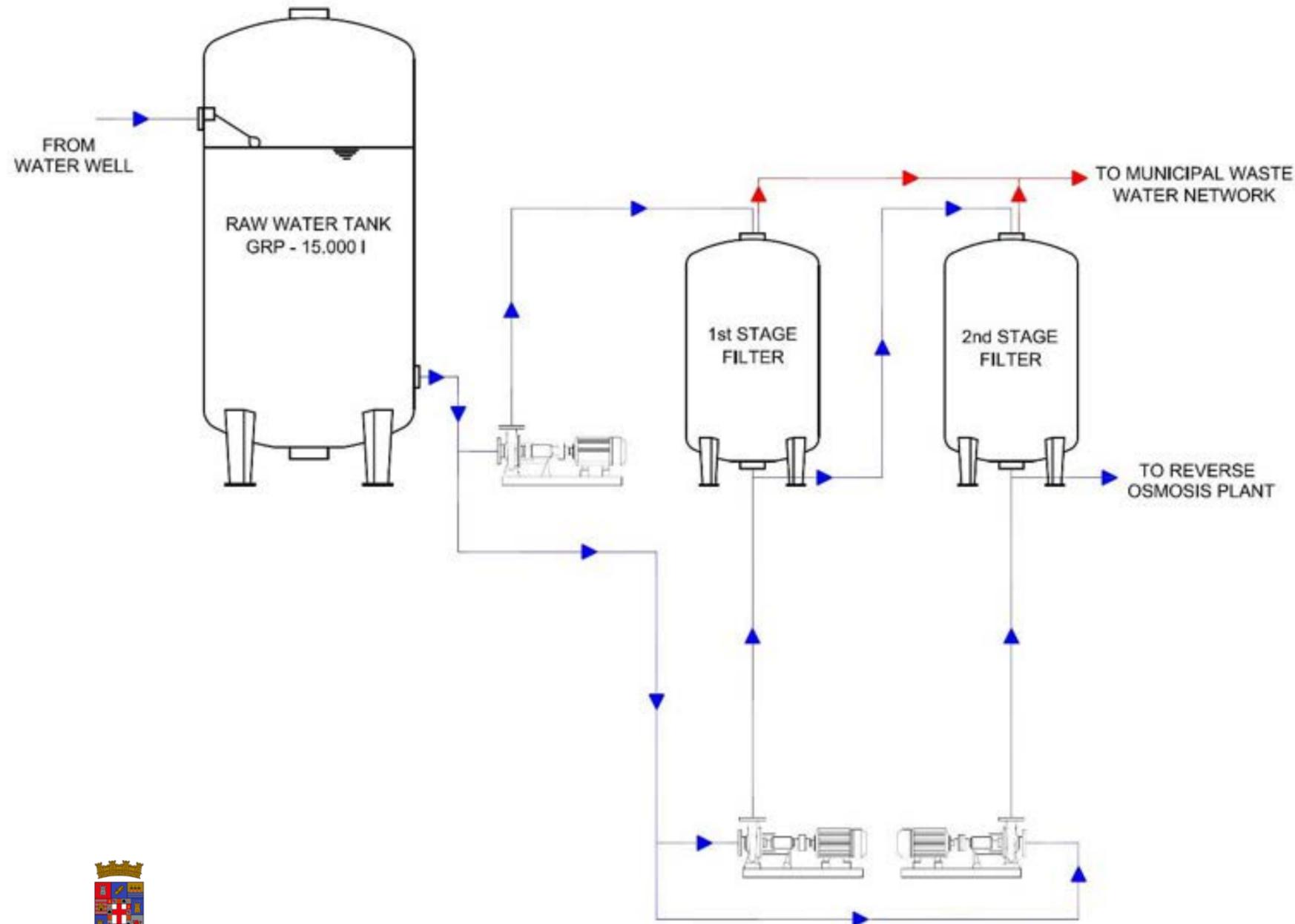


ETAP PILOTO ALBOLODUY



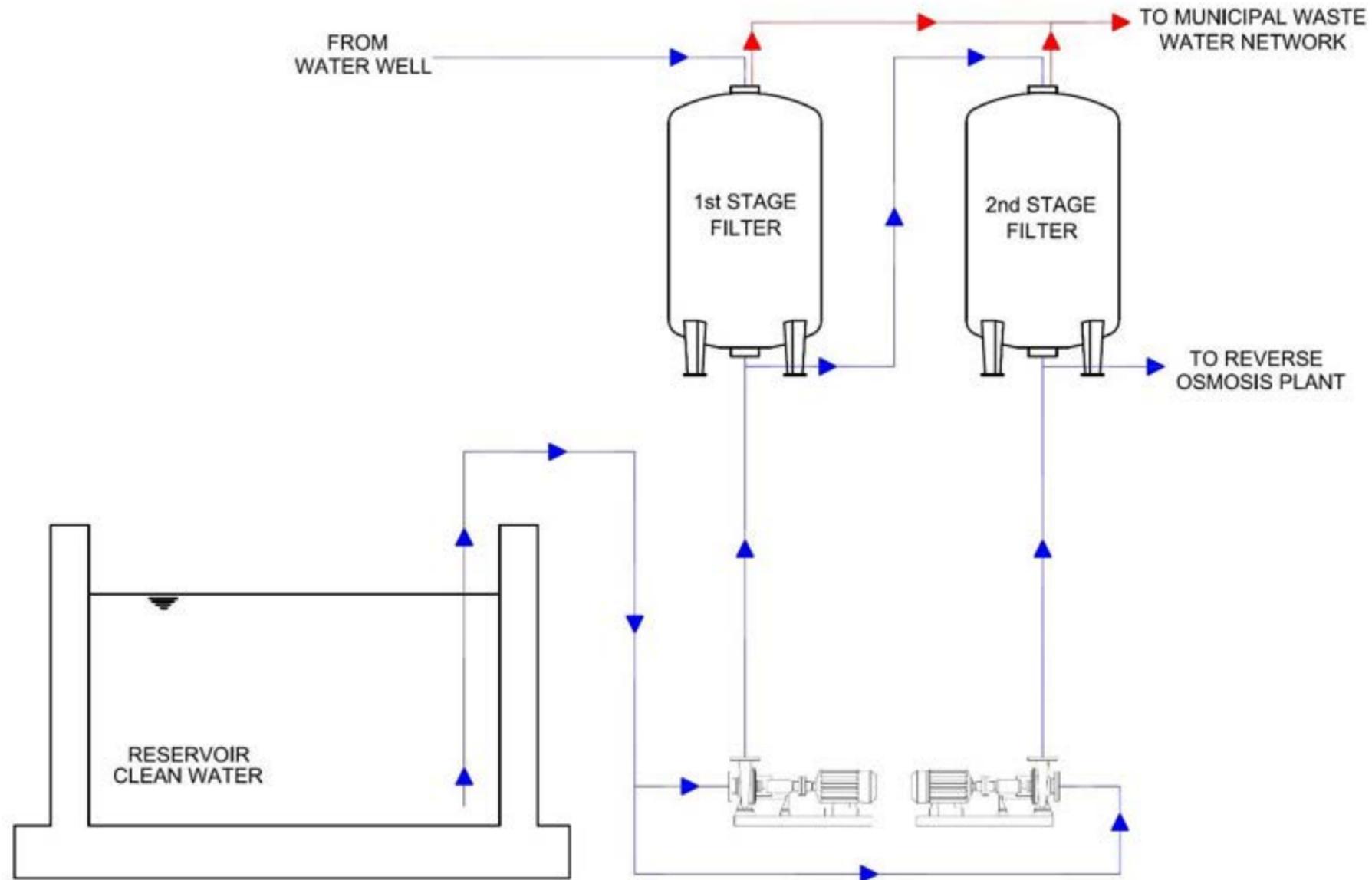


ETAP PILOTO BENIZALÓN





ETAP PILOTO TAHAL





RESULTS OF LIFE ALCHEMIA PROJECT (ESTONIA)

Juri Bolobajev, PhD

Researcher

Department of Materials and Environmental Technology

Tallinn University of Technology

Estonia



RAW WATER (GROUNDWATER) QUALITY PARAMETERS

- Viimsi drinking water treatment plant (DWTP) is fed by Cambrian-Vendian groundwater with elevated radium content
- Besides the presence of radionuclides, groundwater consists of other inorganic constituents, e.g. Fe, Mn, and NH_4^+

Table 1. Average values of water quality parameters and corresponding threshold limits

Parameter	Measured value (average)	Threshold limit
Fe, mg/L	0.197	0.200
Mn, mg/L	0.147	0.050
NH_4^+ , mg/L	0.654	0.500
Ra-226, Bq/L	0.359	-
Ra-228, Bq/L	0.483	-
Indicative Dose (ID), mSv/year	0.317	0.100
pH	8.12	6.5-9.5
Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$	883	2500



Figure 1. Iron and manganese staining

(<https://www.americanwatercollege.org/>)



Figure 2. Iron staining

(<https://www.americanwatercollege.org/>)



GENERAL DESCRIPTION

- The HMO-pilot plant was designed for removing radionuclides (Ra-226, Ra-228) and other water constituents, i.e. Fe, Mn, and NH_4^+ .
- The HMO-pilot plant is situated in the filtration hall of Drinking Water Treatment Plant (DWTP) of Viimsi Vesi AS.



Figure 3. HMO-pilot plant, main facility, and Viimsi Vesi AS location on map (Map data © Google)



HMO-BASED PILOT PLANT STRUCTURE

General water treatment steps:

- Aeration
- Injection of HMO slurry
- Filtration (sand filter)

Table 2. Process parameters

Parameter	Value
Electricity consumption (kWh/m ³)	1.9
Water flow (L/h)	300
Total water produced (m ³) (September 2018 – September 2020)	4360
The rate of HMO-slurry injection (L/h)	0.10 – 0.20
MnO ₂ (g/m ³)	0.8 – 1.6

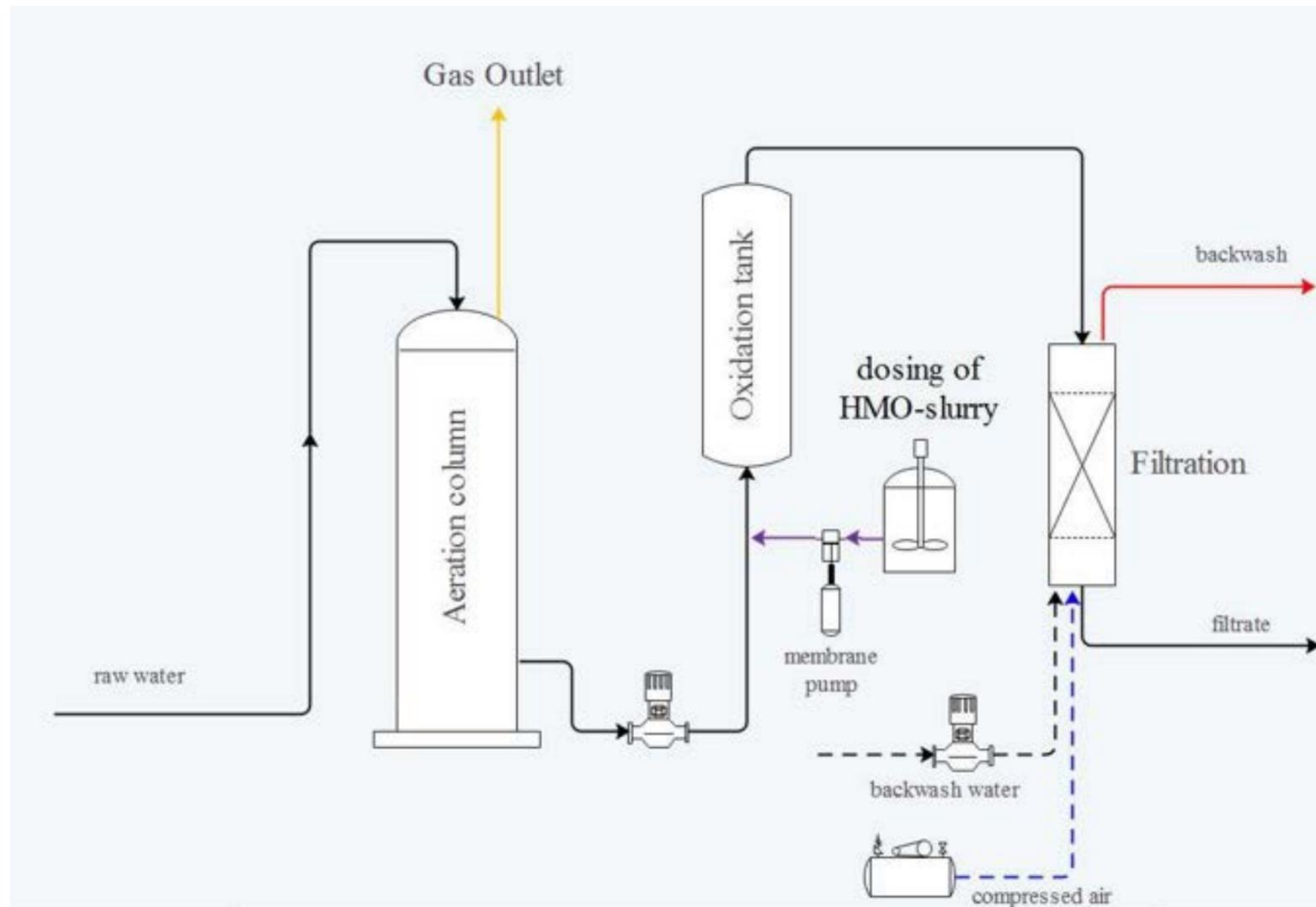
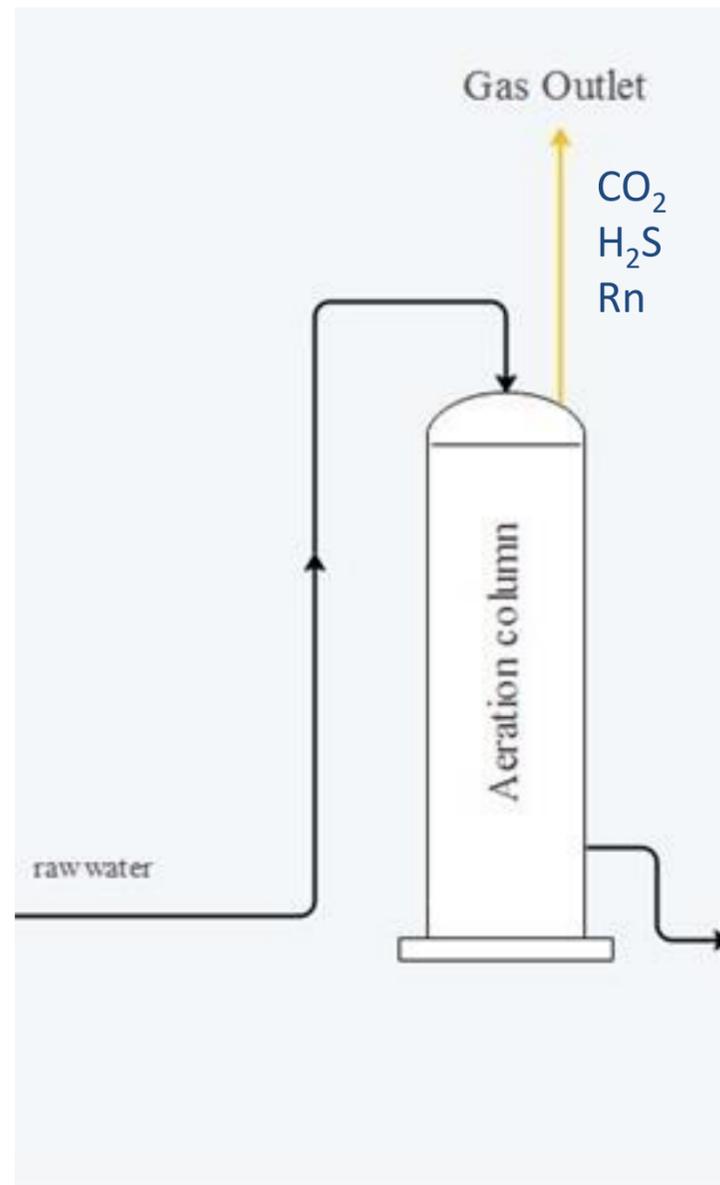


Figure 4. Process flow diagram



WATER OPEN AERATION



- Aeration is often the first major process at the drinking water treatment plant
- Aeration is the process of bringing water and air into close contact in order to
 - ✓ Remove dissolved gases
 - ✓ Saturate water with oxygen
 - ✓ Oxidize iron

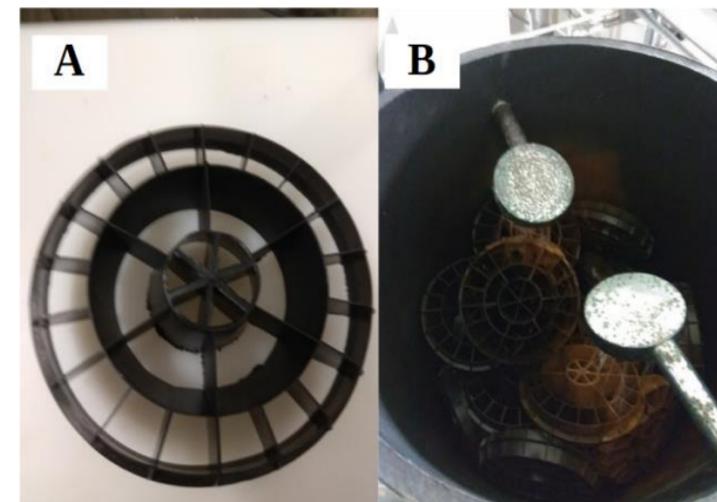


Figure 5. A – Clean filler, B – Fillers during operation in aerator



APPLICATION OF HMO SLURRY

- Manganese dioxide is often called hydrous manganese oxide (**HMO**)
- HMO slurry can be prepared using $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ and KMnO_4 according to the reaction:
- $3\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{KMnO}_4 \rightarrow 5\text{MnO}_2 \downarrow + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- NaOH solution is used to maintain pH between 8 - 9.5
- The average dose of HMO could be as low as 1.0 mg MnO_2 per liter of water. At such low concentration HMO does not pose any risk to human health!

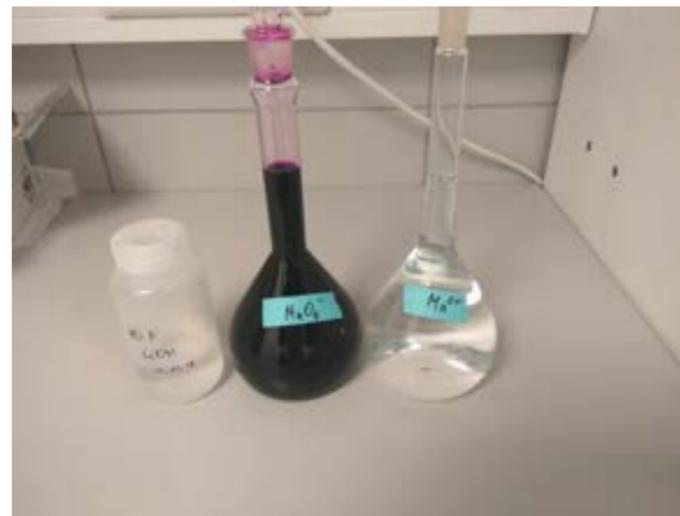
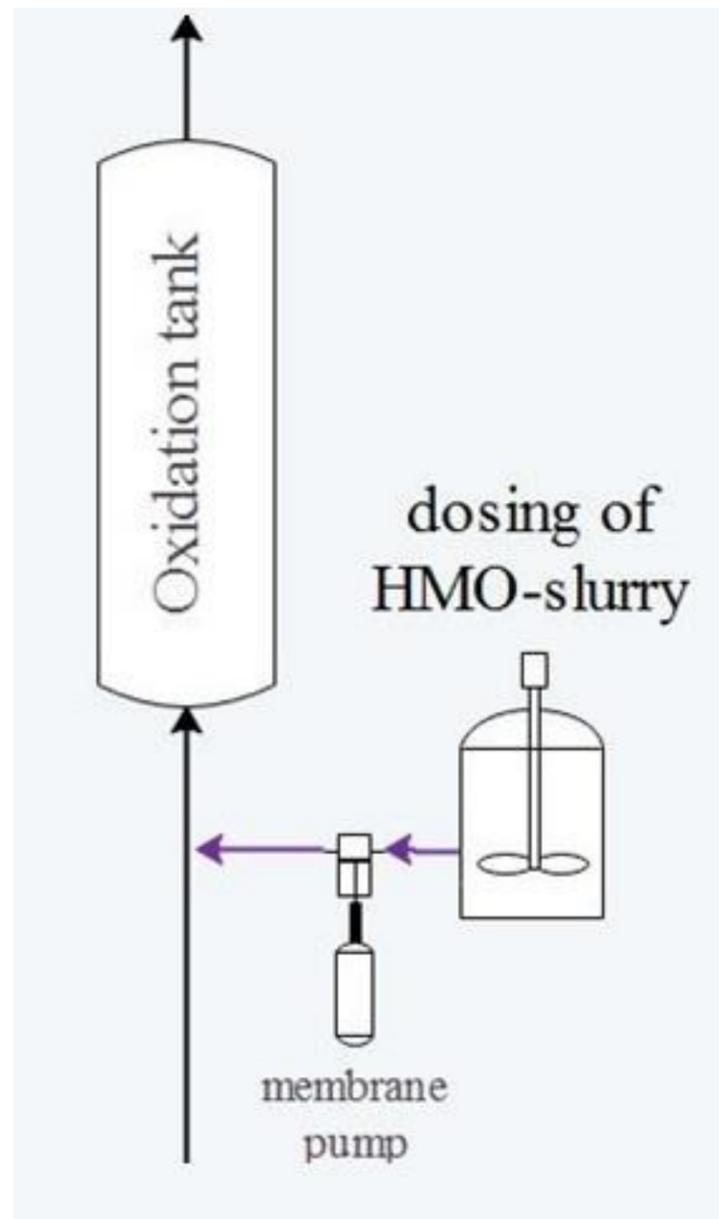


Figure 6. Preparation of HMO-slurry in a laboratory



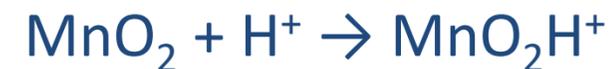
APPLICATION OF HMO SLURRY

The mechanism of redox precipitation of Fe and Mn



Why does HMO adsorb Ra^{2+} ?

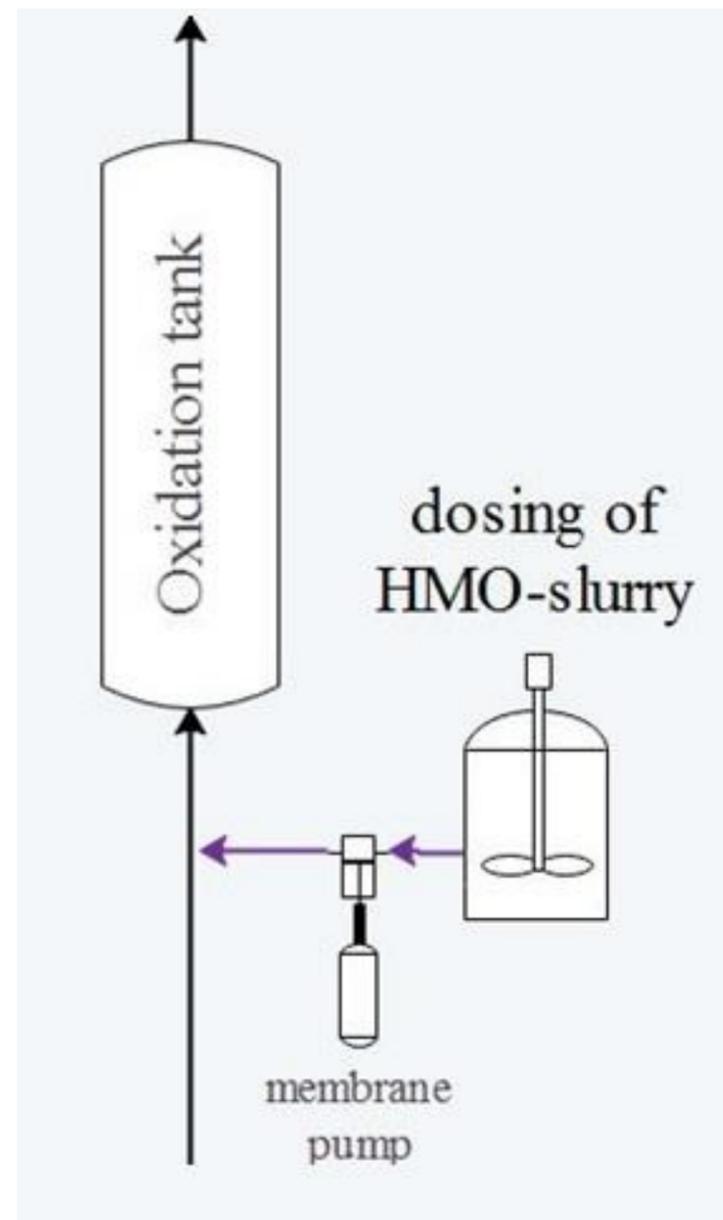
- At acidic conditions H^+ reacts with MnO_2 surface to give an anionic exchanger site



- At alkaline conditions hydroxide ion (OH^-) produces the surface for removing cationic species



- The rise of water pH supports the increase of cationic capacity of HMO particle





FILTRATION

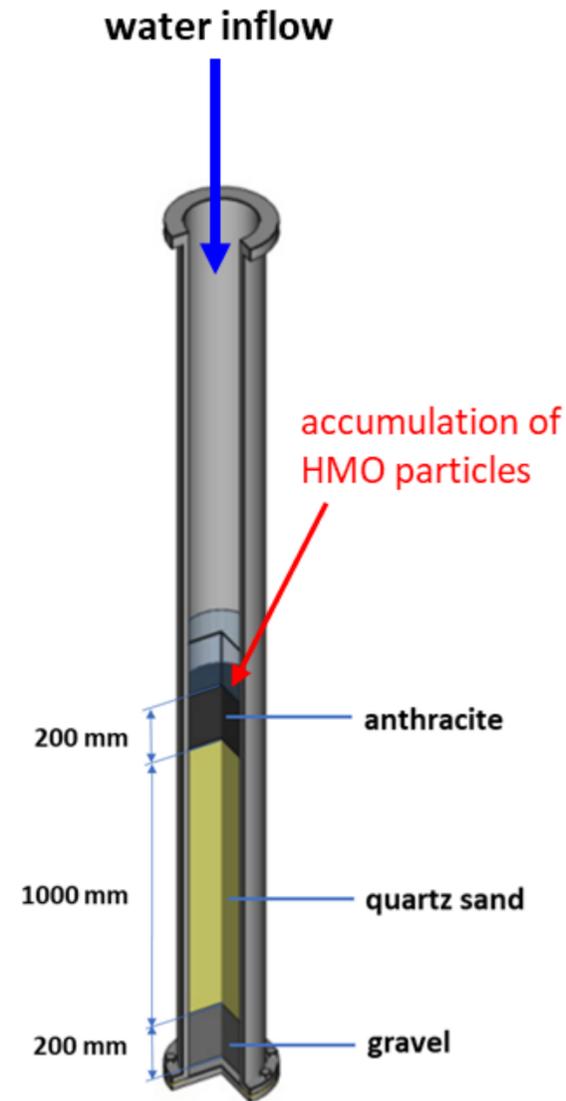
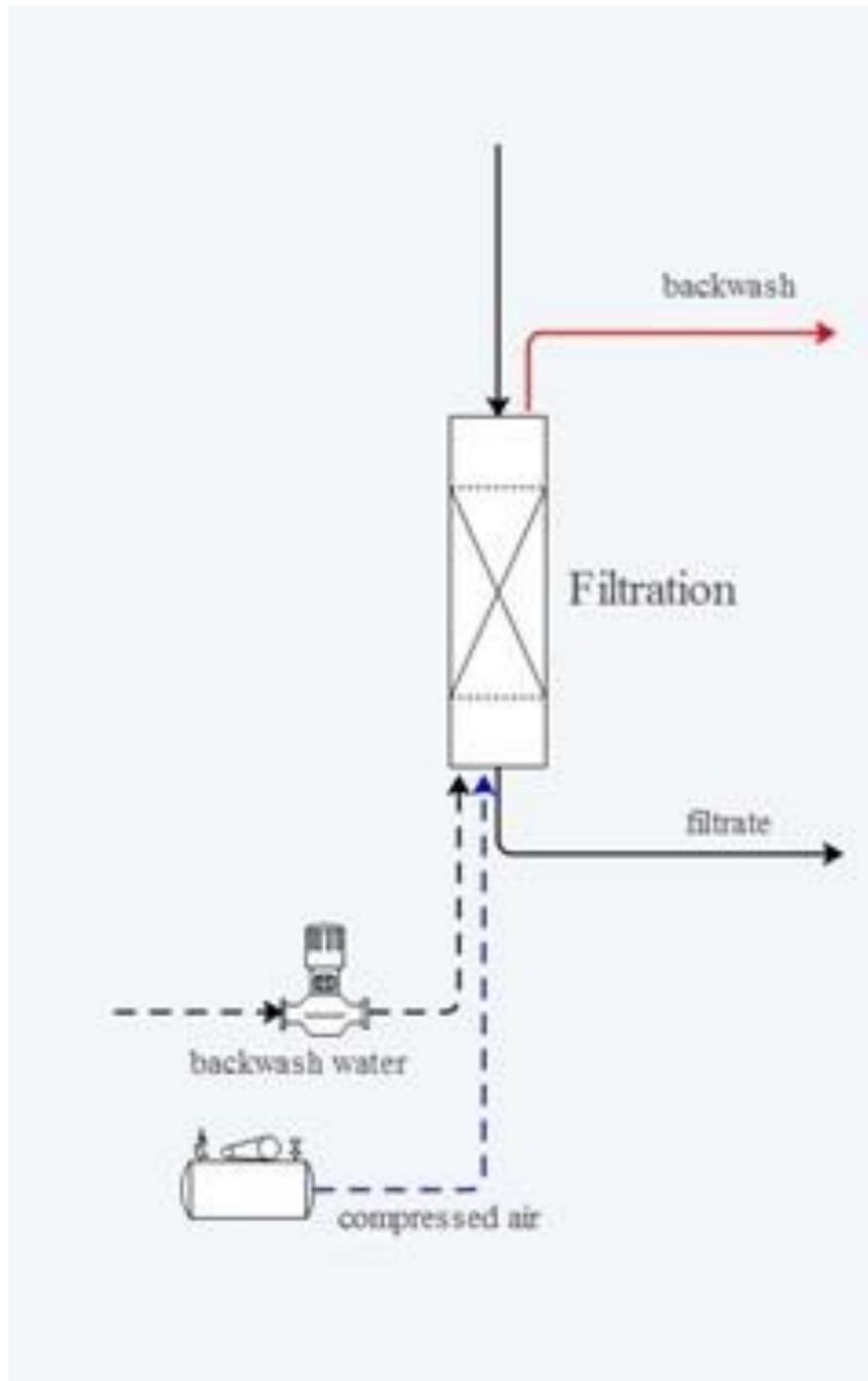


Figure 7. Filter bed composition

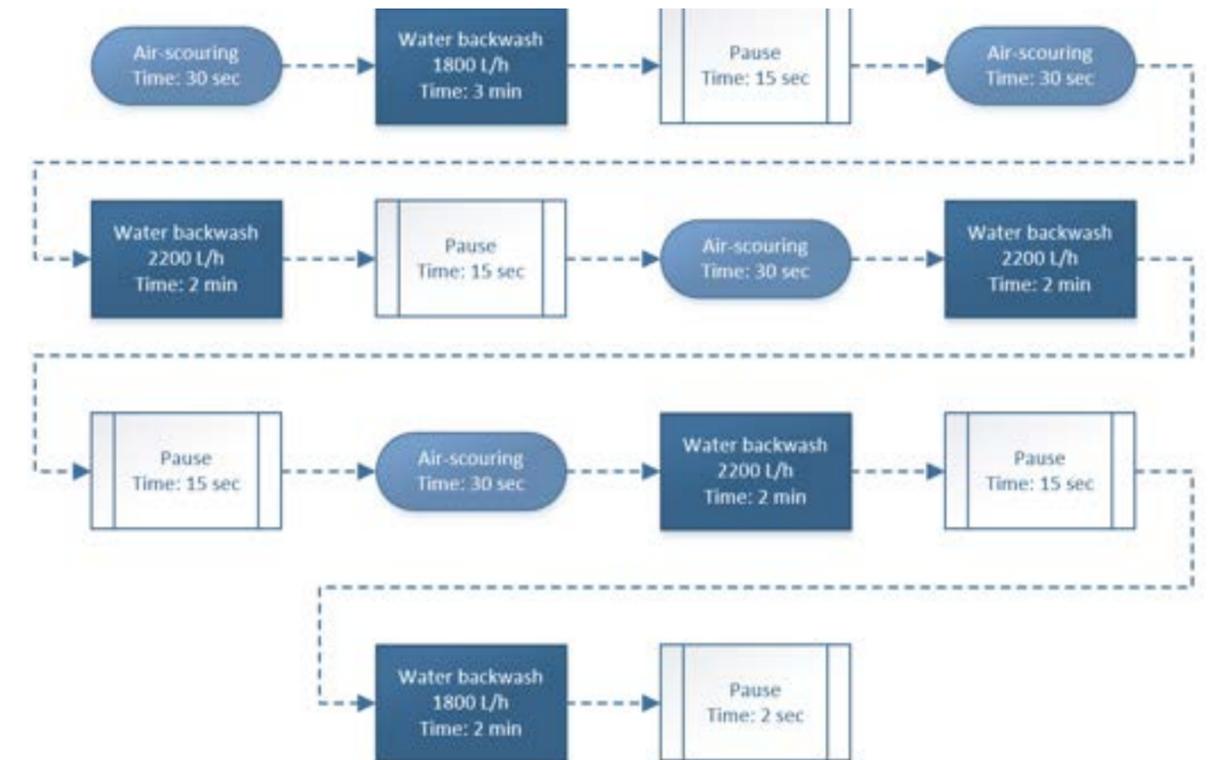


Figure 8. Backwashing algorithm



REMOVAL OF IRON AND MANGANESE

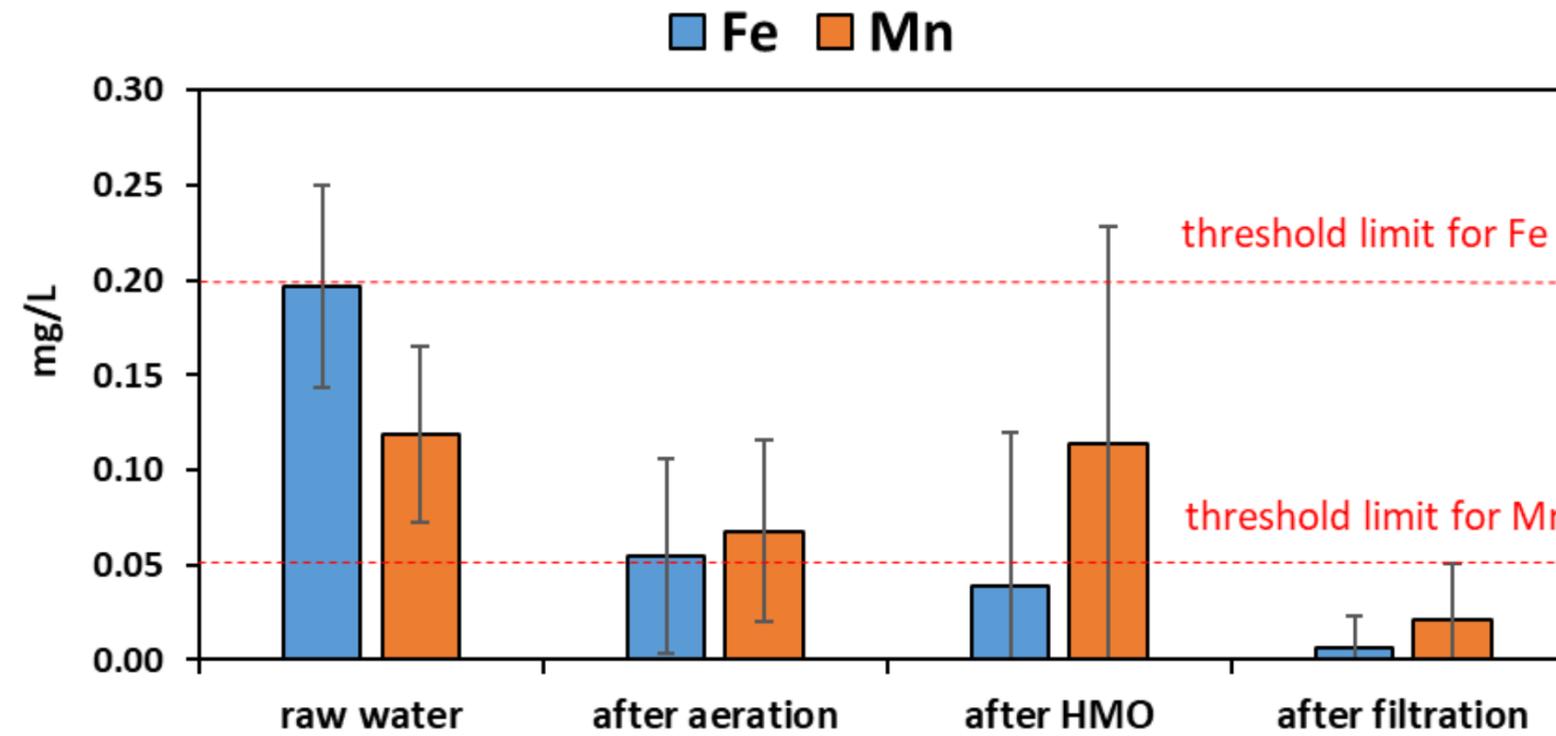


Figure 9. Average concentration of Fe and Mn after each step of treatment



WHAT ABOUT AMMONIUM ION?

Biological oxidation of NH_4^+ to nitrate could be described by the net reaction:



The nitrification process consists usually of two stages:

- ammonium-oxidizing bacteria, i.e. *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus* and *Nitrosovibrio*, oxidize ammonium ion to nitrite as follows:



- the nitrite-oxidizing bacteria, i.e. *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrospina*, and *Nitrococcus*, oxidize next the nitrite to nitrate:

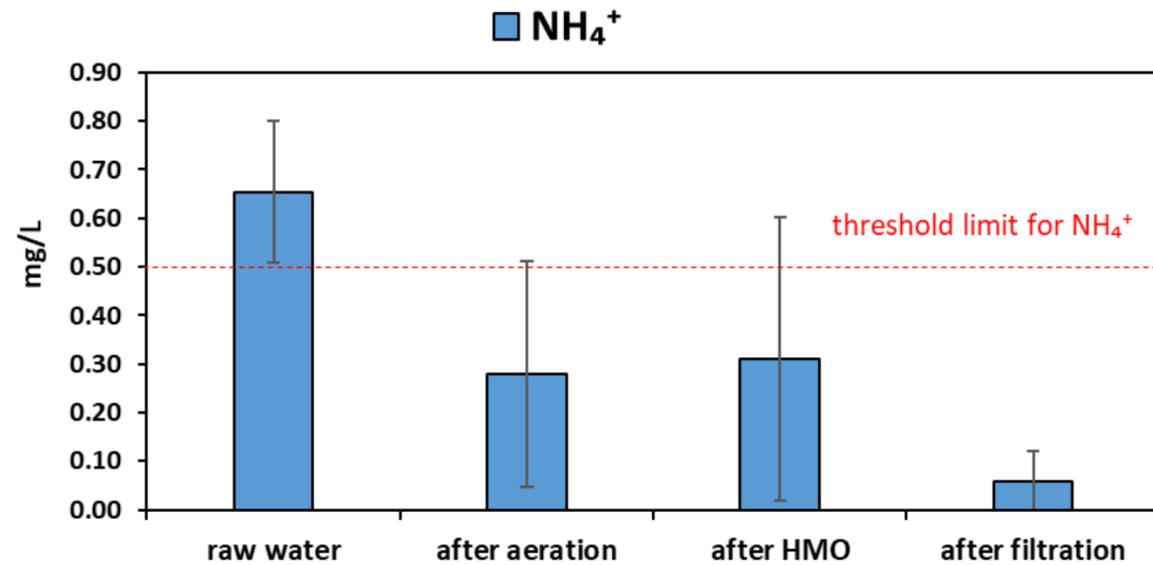


Figure 10. Average concentration of NH_4^+ after each step of treatment



RESULTS OF THE LIFE ALCHEMIA PROJECT

Radionuclide removal in the HMO pilot plant in Viimsi, Estonia

Siiri Salupere, PhD

researcher in radiation protection

Institute of Physics, University of Tartu

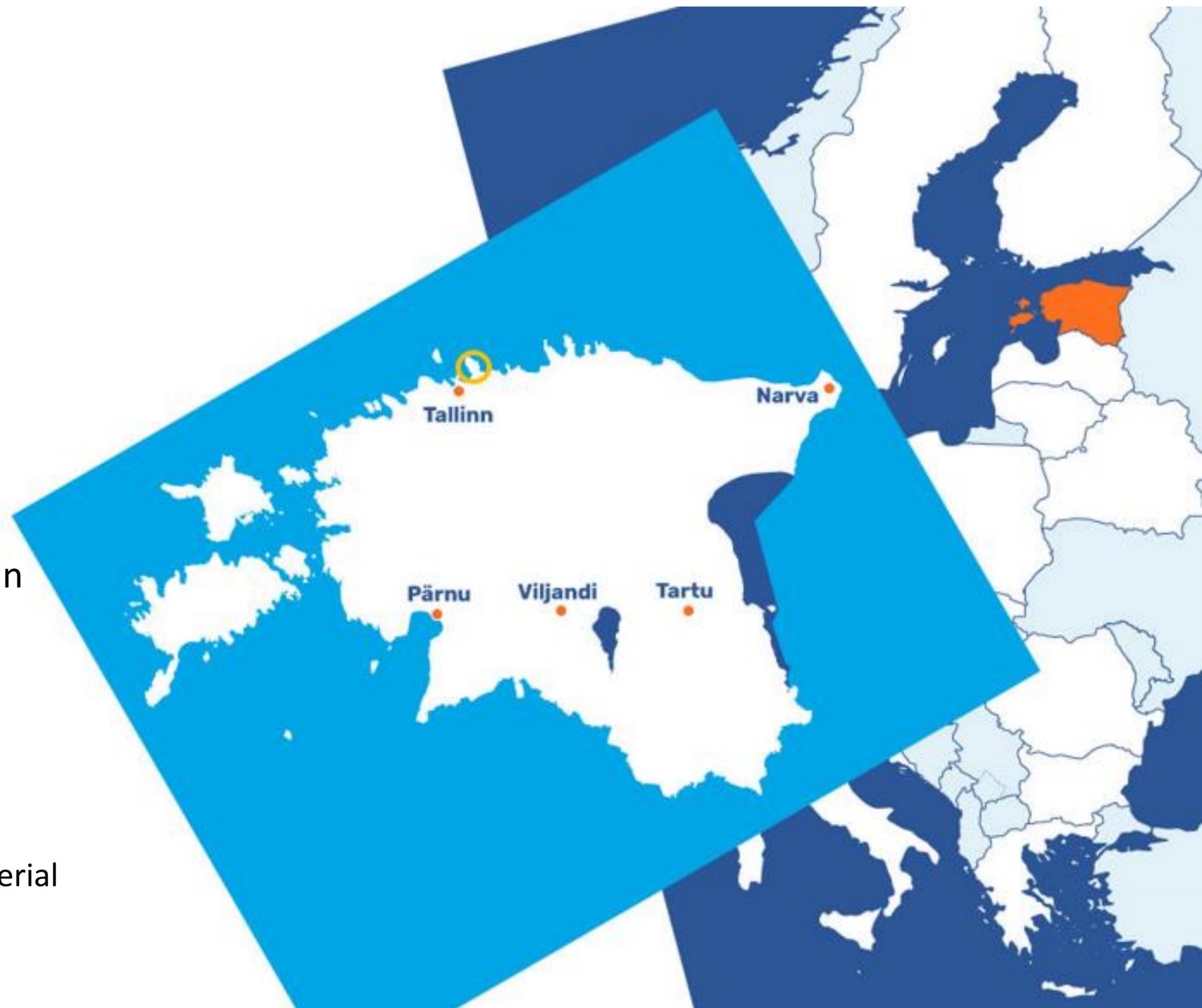
Estonia

17.06.2021



OUTLINE

- How does HMO work for radionuclide removal?
- What does it mean for a water treatment plant operator?
- Regulatory requirements in Estonia
- Results:
 - Radium removal efficiency
 - Radionuclides in filter backwash water
 - Radionuclides in filter material





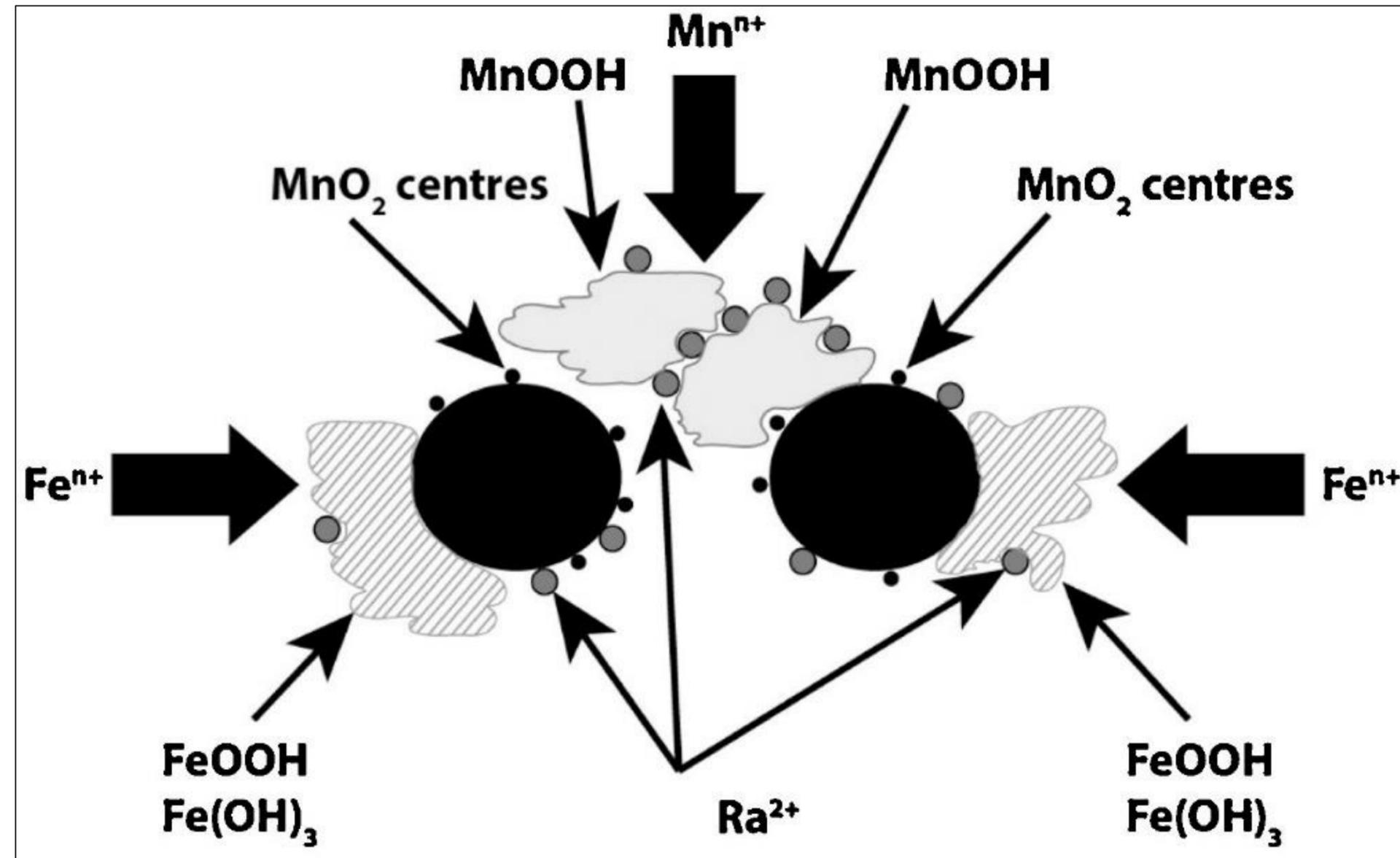
RADIONUCLIDE REMOVAL WITH THE HMO-TECHNOLOGY. HOW DOES IT WORK?

HMO =
hydrous manganese oxide

Radium removal*:

- Sorption on MnO_2
- Sorption on hydrous oxides
 - $\text{Fe}(\text{OH})_3$
 - $\text{Mn}(\text{OH})_4$

*Also works for other bivalent metal cations.





RADIONUCLIDE REMOVAL WITH THE HMO-TECHNOLOGY. WHAT DOES IT MEAN?



Clean drinking water for the consumers

- Compliant with drinking water quality standards



Accumulation of radium in the filter material

- NORM waste management (Naturally Occurring Radioactive Material)
- Potential increase of indoor ^{222}Rn .
- Ingrowth of ^{228}Th in the filter.

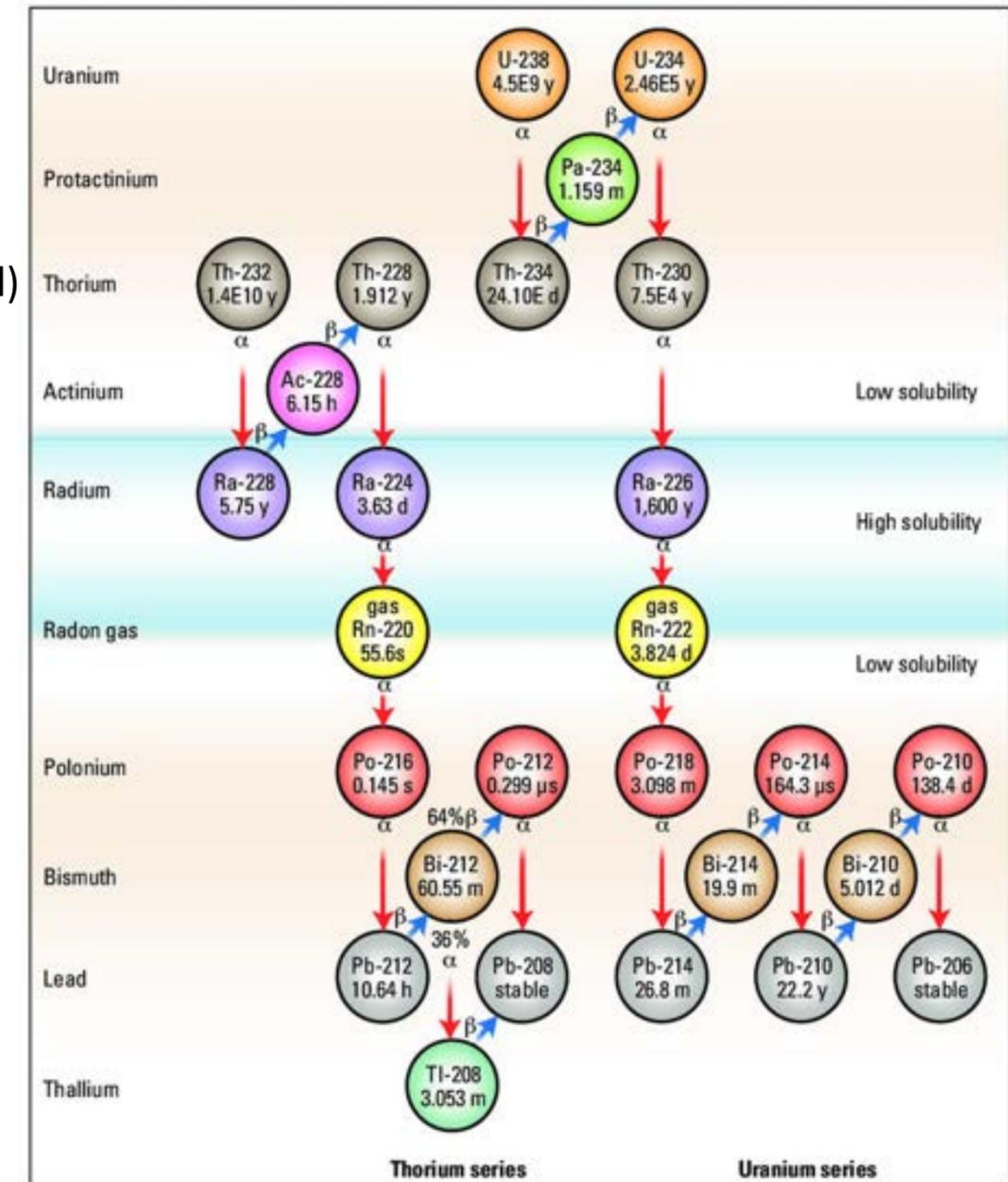
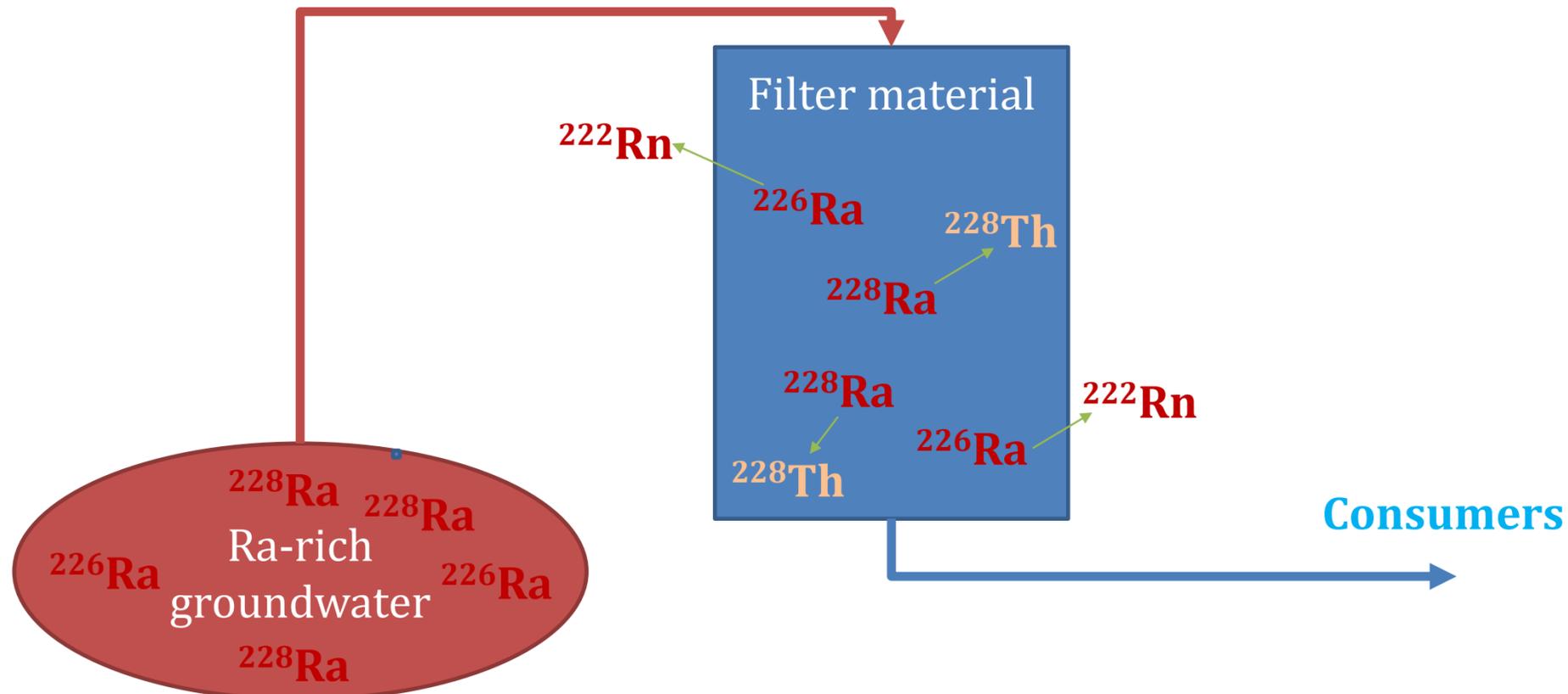


Fig.: Nelson et al, 2015. Environmental Health Perspectives, 123(7).



REGULATORY REQUIREMENTS FOR RADIOLOGICAL PARAMETERS

Drinking water

Parametric values given by EU Directive 2013/51/Euratom.

- **Indicative dose (ID)** ≤ 0.10 mSv/year
- Tritium (^3H) activity concentration ≤ 100 Bq/L
- Radon (^{222}Rn) activity concentration ≤ 100 Bq/L

$$ID = \sum A_i \cdot f_i \cdot V$$

Committed effective dose from all the radionuclides* in water.

*Excluding tritium, potassium-40, radon and short-lived radon decay products.

- A_i – Activity concentration of radionuclide in water (Bq/L)
- f_i – Effective dose coefficient of the radionuclide (Sv/Bq)
- V – Yearly water consumption (2 L per day = 730 L per year)

Filter material

Limit values given by EU Directive 2013/59/Euratom.

- **Exemption levels**
 - ^{226}Ra : ^{238}U decay series **1000 Bq/kg**
 - ^{228}Ra , ^{228}Th : ^{232}Th decay series **1000 Bq/kg**
- Dose criteria for NORM **1 mSv/year**

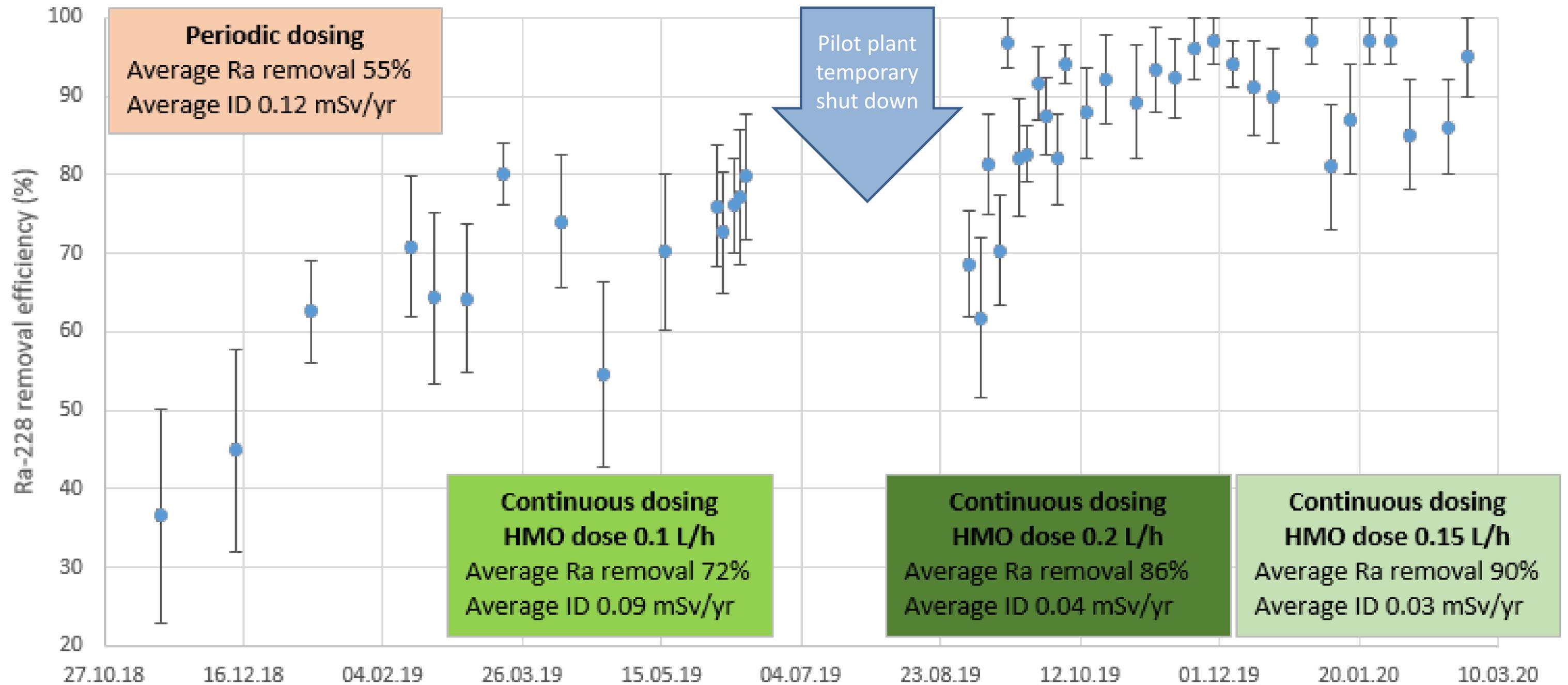
Our aim with the HMO pilot plant:

OPTIMIZED TREATMENT

- Remove as much radium as needed to guarantee $ID < 0.10$ mSv/year.
Not as much radium as possible!
- Reduce NORM accumulation.

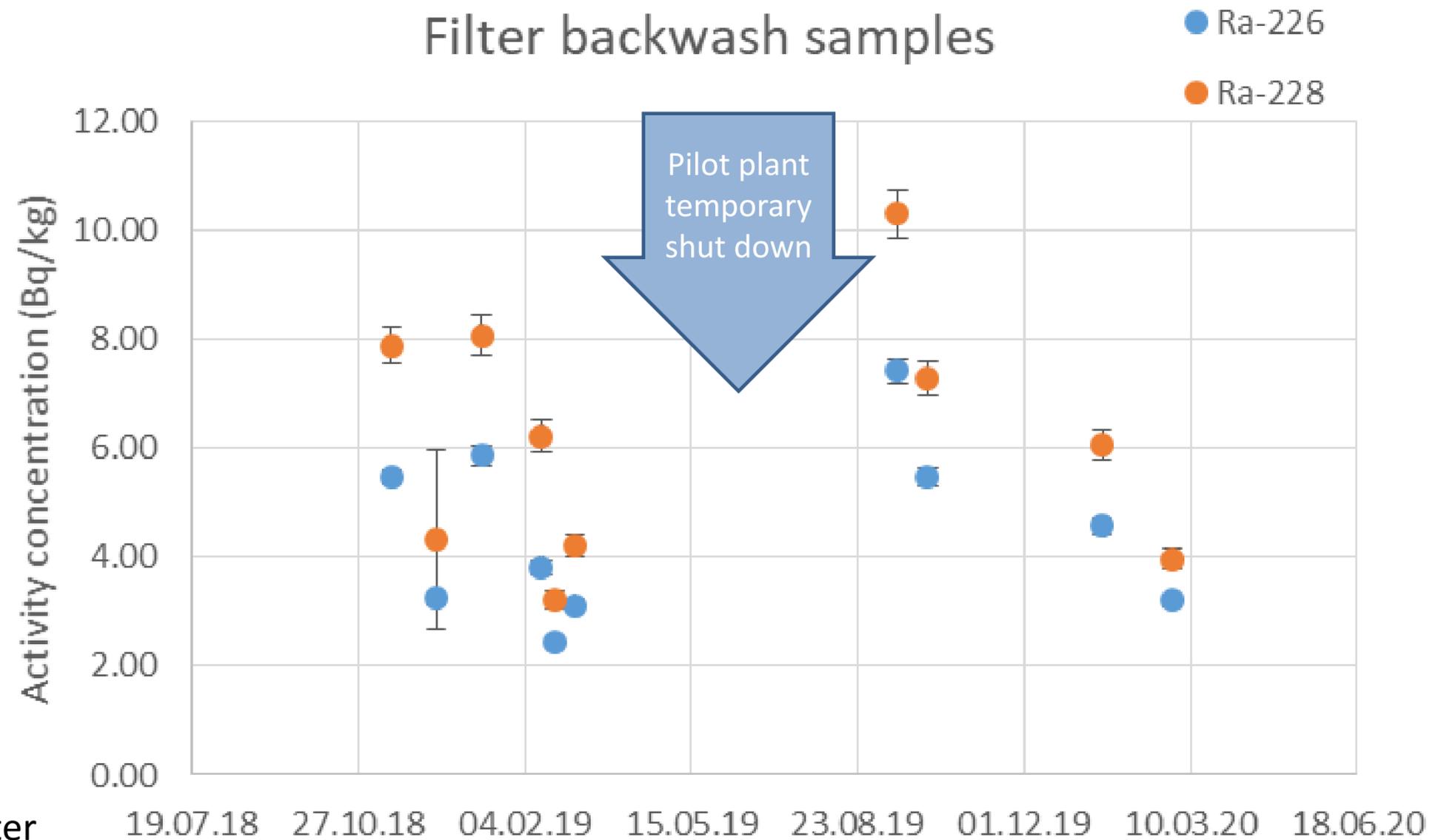
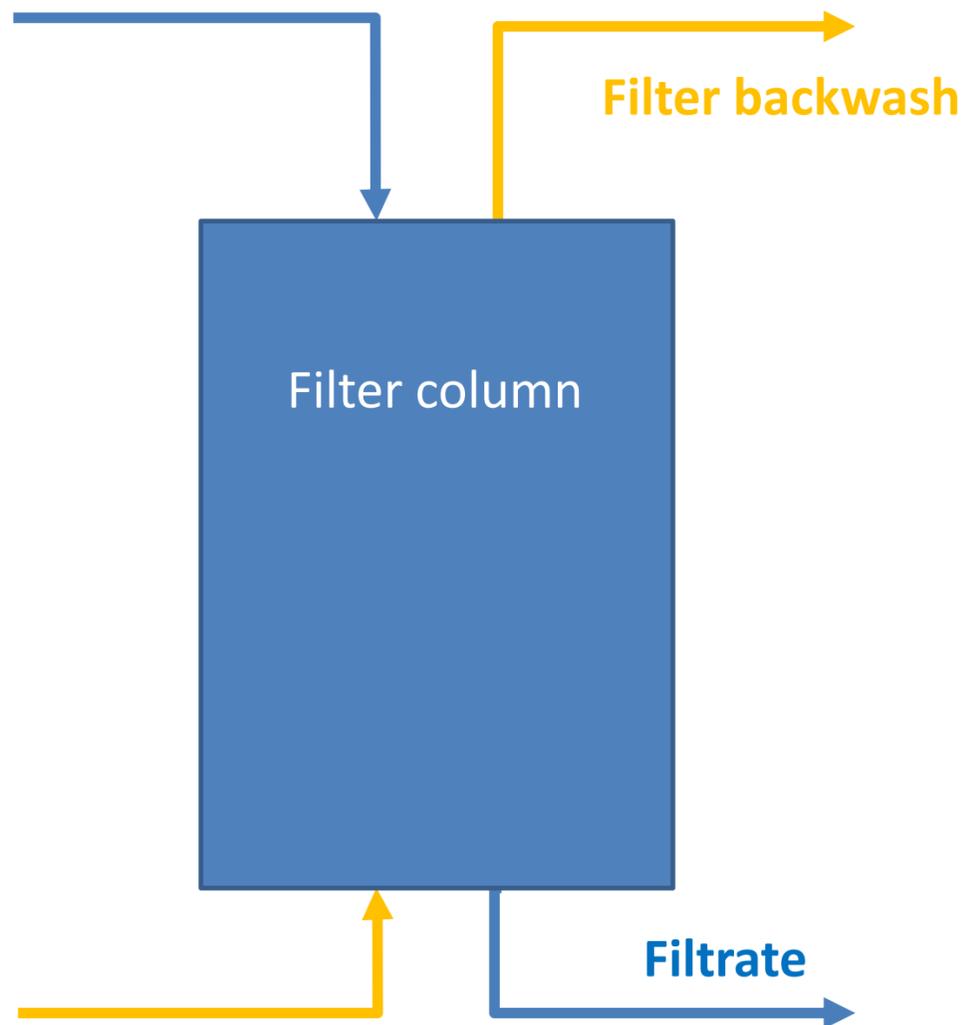


RESULTS: RADIUM REMOVAL EFFICIENCY FROM WATER





RESULTS: RADIONUCLIDES IN FILTER BACKWASH WATER

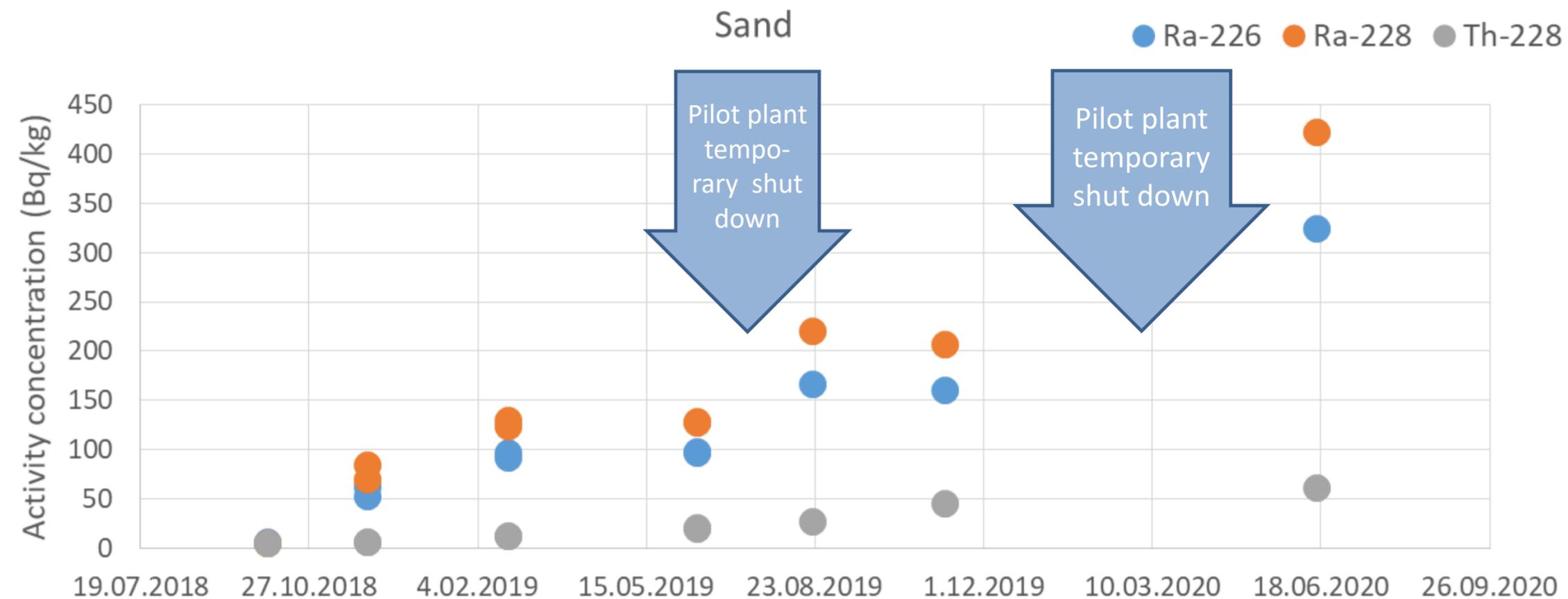
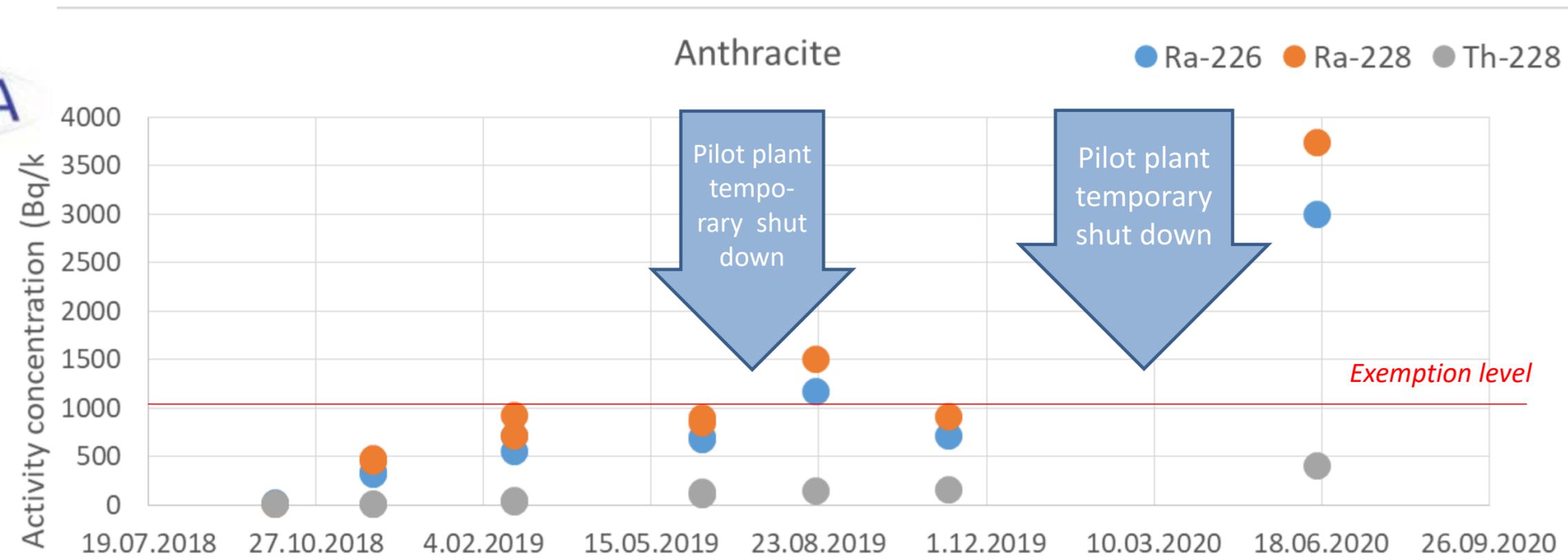


- Most of the radium is not removed from the filter material.
- Backwash water is discharged directly to the sewerage.



RESULTS: RADIONUCLIDES IN FILTER MATERIALS

- Radionuclides accumulate more on the upper part of the filter.
- Exemption levels exceeded in **anthracite** → NORM waste.
- Exemption levels are not exceeded in **sand** → regular waste.





CONCLUSIONS

HMO technology for drinking water treatment:

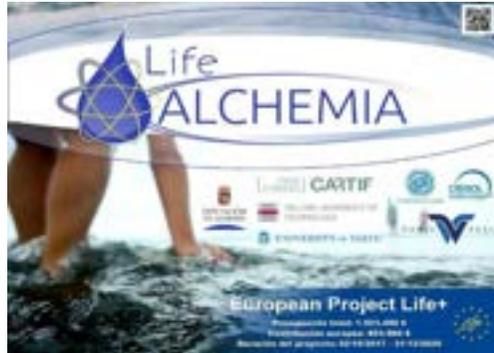
- Continuous dosing (HMO dose rate 0.15 L/h) ensures radium removal efficiency 80-90%.
- Significantly lower NORM waste generation rate than the current technology in Viimsi.
- Stable performance when the technology is operated continuously.

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!

Any questions?

The study is performed in the framework of the LIFE ALCHEMIA project – LIFE16 ENV/ES/000437 (www.lifealchemia.eu) – which is financially supported by the LIFE Programme of the European Union.

The presentation reflects only the views of the authors. The European Commission/Agency is not responsible for any use that may be made of the information it contains.



RESULTADOS DEL PROYECTO LIFE ALCHEMIA (CIESOL/DIPALME)

*J.L. Casas López^{1,2}, G. Pinna Hernández^{1,2}, I. Rodríguez Ruano^{1,2},
F. J. Martínez Rodríguez³*

(1) Solar Energy Research Centre (CIESOL), University of Almería, Almería, Spain. jlcasas@ual.es

(2) Chemical Engineering Department. University of Almería, Spain.

(3) Diputación Provincial de Almería, Almería, Spain.

CIESOL, Centro de Investigación de la Energía Solar

El CIESOL fue creado en 2005, es un centro de investigación conjunto, entre la Universidad de Almería y el Centro de Energía, Medio Ambiente y Tecnología (CIEMAT) adscrito al Ministerio de Ciencia e Innovación.



Centro Interdisciplinar:
Físicos, Químicos, Biólogos e Ingenieros de diversas ramas.

Investigación dirigida a diversos sectores industriales:

- Energía solar térmica de media y alta temperatura
- Tratamiento de aguas (desalación, purificación, microalgas)
- Integración de la energía solar térmica y fotovoltaica en edificios
- Diseño y optimización de sistemas de refrigeración y calefacción solar térmica



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Descripción de las plantas Alchemia (Almería)

Análisis de agua bruta

Materiales filtrantes

RESULTADOS

Agua y Materiales filtrantes

Consumos de Agua y Energía

Seguridad del entorno de trabajo

CONCLUSIONES

Introducción y objetivos del proyecto



LIFE ALCHEMIA

Hacia un tratamiento integral e inteligente de la radioactividad natural en los servicios de abastecimiento de agua



European Union programme LIFE Project (LIFE16 ENV/ES/000437)

www.lifealchemy.eu

WATER INTAKE
DRILLING



Principales objetivos del proyecto

- ✓ Eliminar la radioactividad **natural** del agua de consumo humano a través de sistemas sostenibles basados en lechos filtrantes.
- ✓ Minimizar la generación de Materiales Radioactivos de Origen Natural (NORM) en esos tratamientos.
- ✓ Replicar las soluciones demostradas en el proyecto LIFE ALCHEMIA en otros países Europeos.



- 📍 1 pilot plant in the Viimsi Parish (Estonia)
- 📍 3 pilot plants in the province of Almería (Spain)



DRINKING WATER TREATMENT PLANT

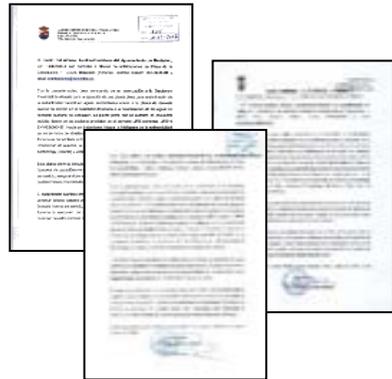


DRINKING WATER



Descripción de las plantas Alchemia (Almería) Análisis de agua bruta Materiales de relleno

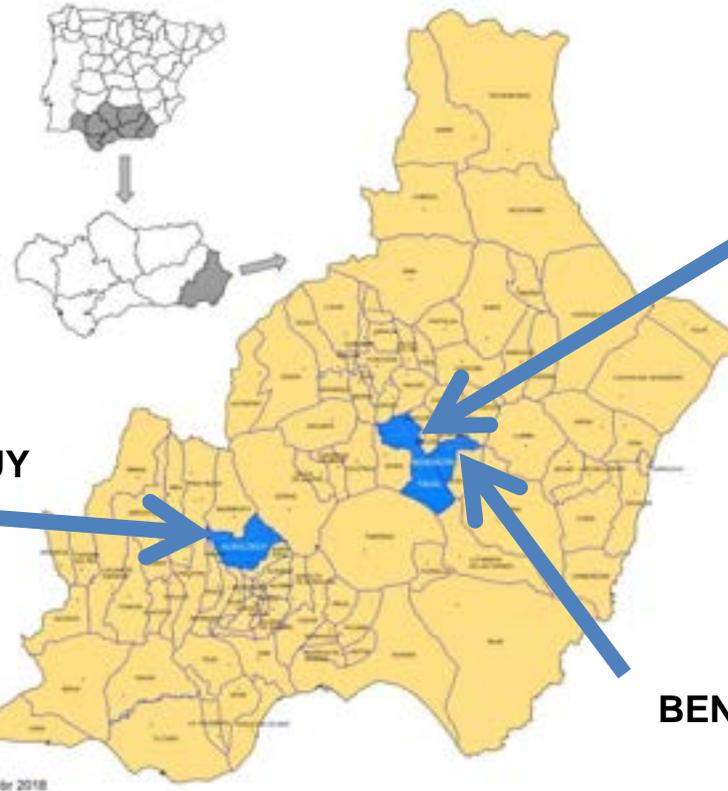
UBICACIÓN PLANTAS ALCHEMIA



Alboloduy

WATER TREATMENT PLANTS SITUATION

PILOT PLANTS ALCHEMIA



ALBOLODUY

TAHAL

BENIZALÓN

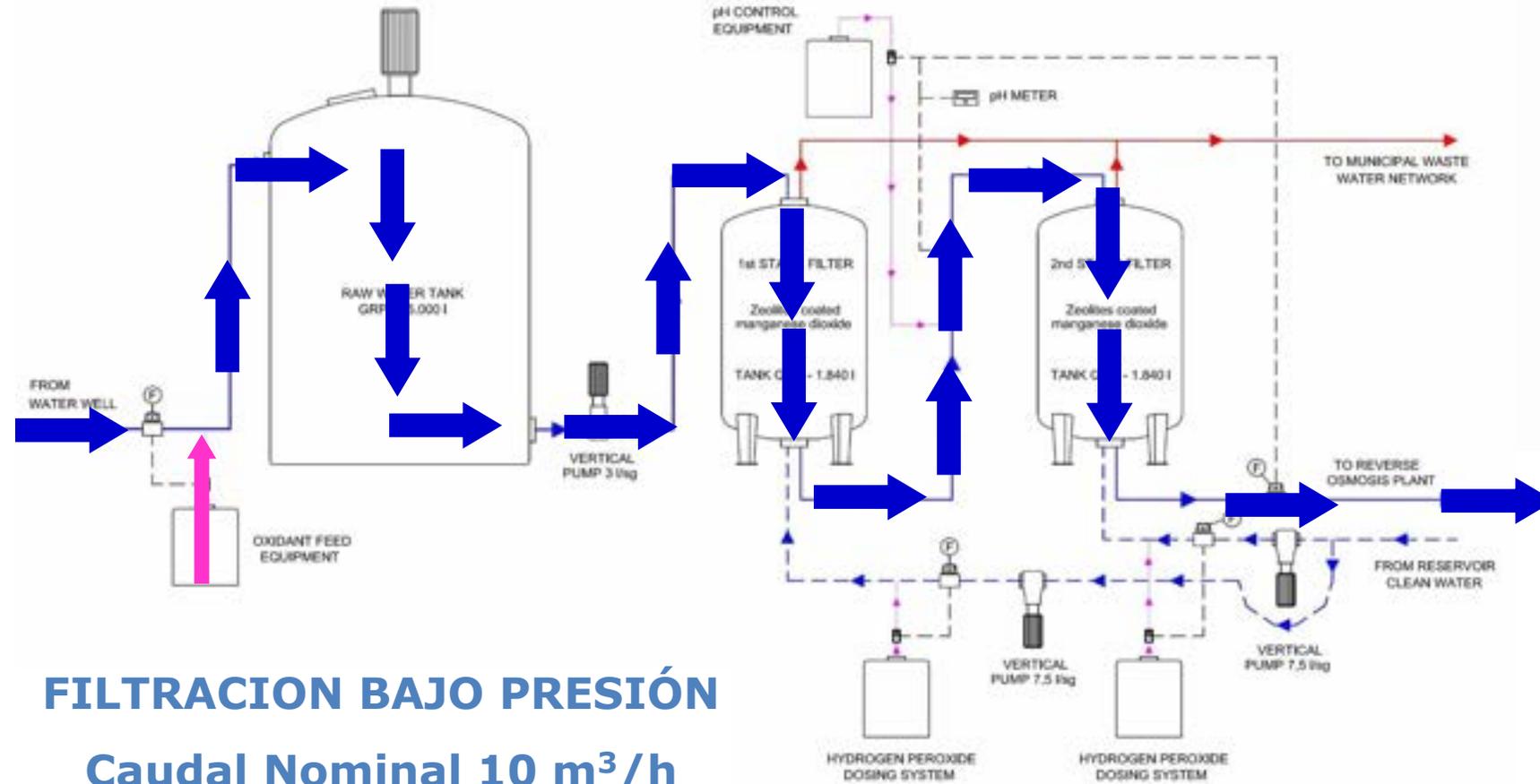


Tahal



Benizalon

ETAPA DE FILTRACIÓN



FILTRACION BAJO PRESIÓN

Caudal Nominal 10 m³/h

**Caída de presión
en cada tanque
≈ 0,5 kg/cm²**

**Operación
controlada por la
necesidad de
agua tratada y
por la
disponibilidad de
agua en el tanque
de agua bruta**

ETAPA DE CONTRALAVADO

Programado cada 24h

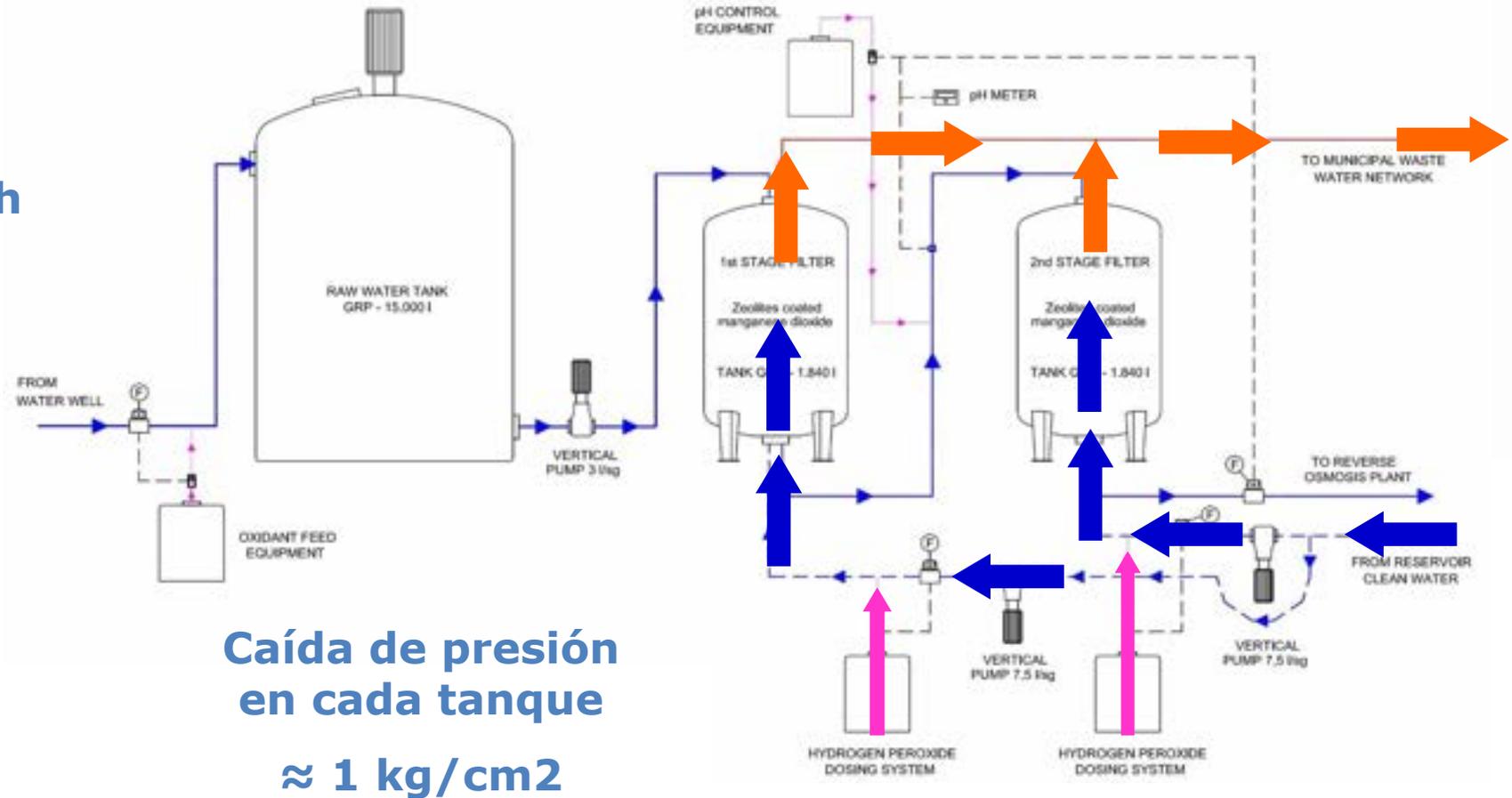
10 minutos de
contralavado

+

5 minutos
asentamiento

CAUDAL NOMINAL

20 m³/h



Análisis de agua bruta

En todos los casos el los niveles de actividad alfa total excedieron los límites siendo necesario realizar analíticas completas para determinar la Dosis Indicativa Total

Contribución a la Dosis Indicativa Total

	U	Ra	Pb	Po
Alboloduy	74,4%	3,3%	18,3%	4,0%
Benizalón	57,9%	30,9%	8,0%	4,0%
Tahal	25,6%	59,7%	15,3%	3,1%

Los isótopos de Radio y Uranio son los predominantes en las tres aguas representado > 80% DIT

ALBOLODUY

Radionuclide	Activity (Bq/L)	% DI
²³⁴ U	0.218±0.031	35,46%
²³⁵ U	0.021±0.005	
²³⁸ U	0.239±0.034	35,70%
²²⁶ Ra	0,0035	
²²⁸ Ra	<0.020	
²¹⁰ Po	<0.001	
²¹⁰ Pb	0.008	18,32%
ID	0.0220 mSv/y	

BENIZALÓN

Radionuclide	Activity (Bq/L)	% DI
²³⁴ U	3.43±0.42	34,69%
²³⁵ U	0.090±0.013	
²³⁸ U	2.40±0.29	22,29%
²²⁶ Ra	0.195±0.017	
²²⁸ Ra	0.133±0.013	18,94%
²¹⁰ Po	0.016±0.003	
²¹⁰ Pb	0.056	
ID	0.3537 mSv/y	

TAHAL

Radionuclide	Activity (Bq/L)	% DI
²³⁴ U	0.392±0.043	16,43%
²³⁵ U	0.010±0.002	
²³⁸ U	0.229±0.026	
²²⁶ Ra	0.061±0.004	
²²⁸ Ra	0.070±0.009	41,32%
²¹⁰ Po	0.0030±0.0005	
²¹⁰ Pb	0.26	15,35%
ID	0.0853 mSv/y	

MATERIALES DE RELLENO EN LOS LECHOS FILTRANTES

ETAP	1 ^{er} Tanque de filtración (T1)	2 ^o Tanque de filtración (T2)
Alboloduy AB	KATALOX LIGHT WatchWater [®] Manganese dioxide coated zeolite (10%) (1.000 Kg)	ZEOSORB WatchWater [®] Zeolites (748 Kg)
Benizalón BZ	KATALOX LIGHT PLUS Watch Water [®] Manganese dioxide coated dolomite (15%) (1.450 Kg)	FERROLOX Watch Water [®] Ferric Hydroxide (75%) (600 Kg)
Tahal TH	KATALOX LIGHT WatchWater [®] Manganese dioxide coated zeolite (10%) (1.000 Kg)	KATALOX LIGHT WatchWater [®] Manganese dioxide coated zeolite (10%) (1.000 Kg)

- **Alboloduy:** los principales isótopos son U234 y U238 (74,4% DIT). Alta salinidad y baja [Fe]. Primer filtro: Katalox light, buena eficiencia para eliminar Ra y U. Segundo filtro: Zeosorb ha demostrado eliminar eficientemente Ra del agua y ser un buen intercambiador de iones.

- **Benizalón:** los parámetros fisicoquímicos cumplen con la normativa y las características radiológicas de esta agua son las más complejas, ya que la DIT ($0,34 \pm 0,005$ mSv/año) supera en 3 veces el valor fijado por reglamento. Contribución U (57,9) y Ra (30,9%)

- **Tahal:** el agua bruta supera los límites umbral de concentración de Fe establecidos por el RD 314/2016, Mn está cerca del límite y los isótopos de Ra (Ra-228 41.%) son los principales radionucleidos responsables de la DIT (59,7%). Primer y segundo filtro: Katalox Light (zeolita recubierta de MnO₂) porque es eficiente en la eliminación de Mn y Ra.



Physical Properties

Appearance	Granular black beads
Odor	none
Mesh size	US 14 x 30 SI 0.6 - 1.4 mm
Uniformity Coefficient	≤ 1.75
Bulk density	US 66 lb / ft ³ SI 1060 kg / m ³
Moisture Content	< 0.5 % as shipped
Filtration	< 3 micron
Loading Capacity	for Fe ²⁺ alone 3000 mg / l 85000 mg / ft ³ (aprx)
	for Mn ²⁺ alone 1500 mg / l 42500 mg / ft ³ (aprx)
	for H ₂ S alone 500 mg / l 14000 mg / ft ³ (aprx)

Composition of Katalox Light®

Compounds	Typical value	Specifications
ZEOSORB (Naturally Mined)	85 %	> 85 %
Manganese dioxide	10 %	> 9.5 %
Hydrated Lime	5 %	< 5 %



Recommended System Operating Conditions

Inlet water pH	5.8 - 10.5
Freeboard	40%
Minimal Bed Depth	US 29.5 inches SI 75 cm
Optimal Bed Depth	US 47 inches SI 120 cm
Service flow	US 4 - 8 gpm / ft ² SI 10 - 20 m/h
Backwash velocity **	US 10 - 12 gpm / ft ² SI 25 - 30 m/h
Backwash time **	10 - 15 minutes
Rinse time **	2 - 3 minutes

Regeneration / Dosing*

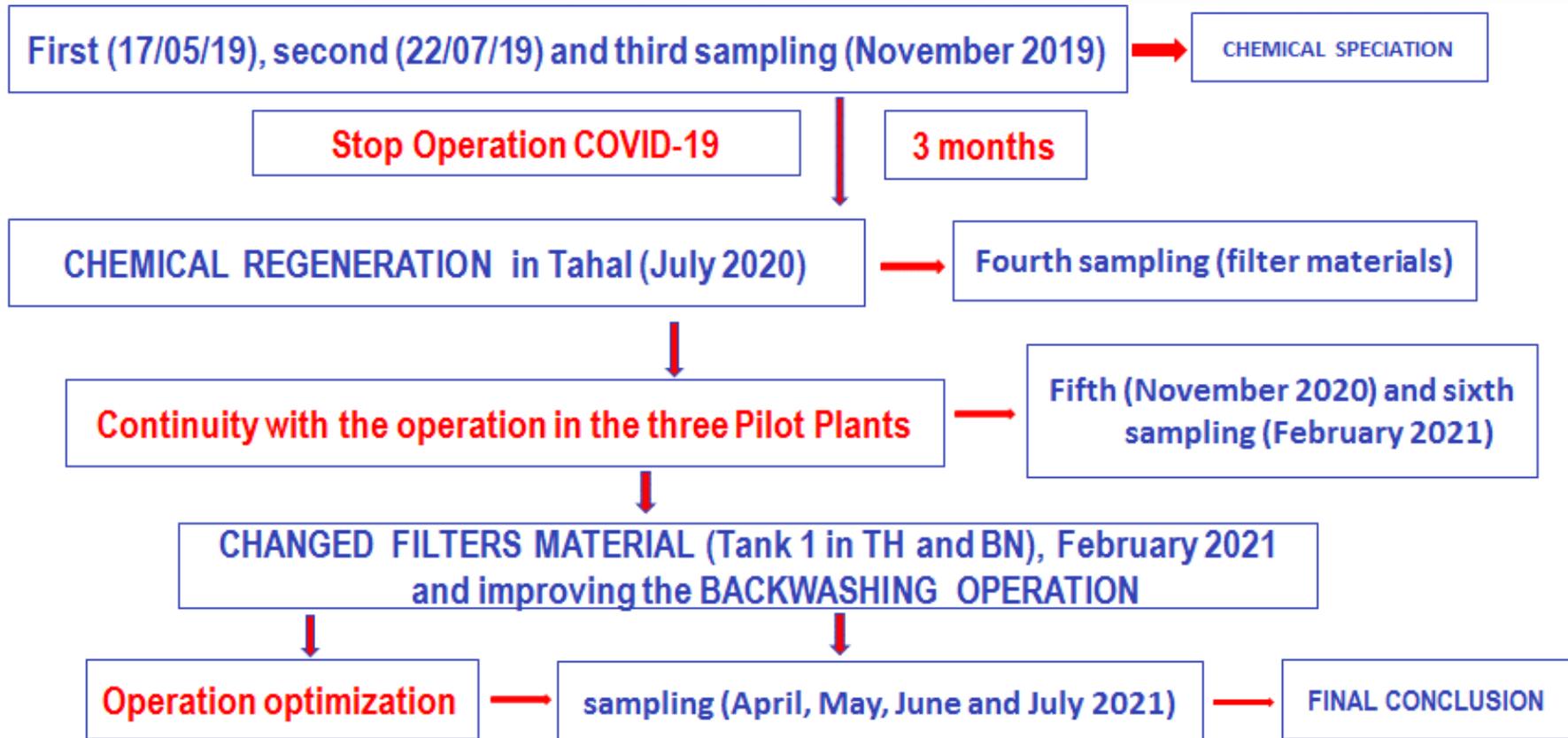
for 1.0 mg/l of

	Fe ²⁺	Mn ²⁺	H ₂ S
H ₂ O ₂	0.9 mg/l	1.8 mg/l	4.5 mg/l
KMnO ₄ /Cl	1.0 mg/l	2.0 mg/l	5.0 mg/l

* Optional: Only if the water doesn't have sufficient ORP (Oxidation Reduction Potential) to oxidize the contaminants. OXYDES-P helps to keep the media surface clean and could be used during backwash.

Resultados Calidad del Agua tratada

Validación y operación de las plantas piloto



Validación y operación de las plantas piloto

ALBOLODUY

Límite DIT 0.1 mSv/y

ALBOLODUY	Radionucleidos	Entrada	Salida	Eliminación %	Actividad alfa total Entrada	Actividad alfa salida	% reducción Actividad alfa total	DIT entrada mSv/y	DIT salida mSv/y	DIT reducción %
17/05/2019	U-238 (Bq/l)	0,2160	0,2360	-9,26	0,25 ± 0,019	0,31 ± 0,023	0,28 ± 0,021	0,0158	0,0161	-2,32
	U-234 (Bq/l)	0,2160	0,2290	-6,02						
	Ra-226 (Bq/l)	0,0046	0,0009	80,43						
	Ra-228 (Bq/l)	<0,020	<0,020	-						
11/11/2019	U-238 (Bq/l)	0,204	0,190	6,86	0,28 ± 0,04	0,22 ± 0,03	0,23 ± 0,04	0,0147	0,0138	5,89
	U-234 (Bq/l)	0,204	0,199	2,45						
	Ra-226 (Bq/l)	0,003	0,002	33,33						
	Ra-228 (Bq/l)	<0,020	<0,020	-						
29/10/2020	U-238 (Bq/l)	0,219	0,203	7,31	0,25 ± 0,04	0,200 ± 0,025	0,19 ± 0,024	0,0159	0,0147	7,53
	U-234 (Bq/l)	0,22	0,211	4,09						
	Ra-226 (Bq/l)	0,0039	0,0022	43,59						
	Ra-228 (Bq/l)	<0,020	<0,020	-						

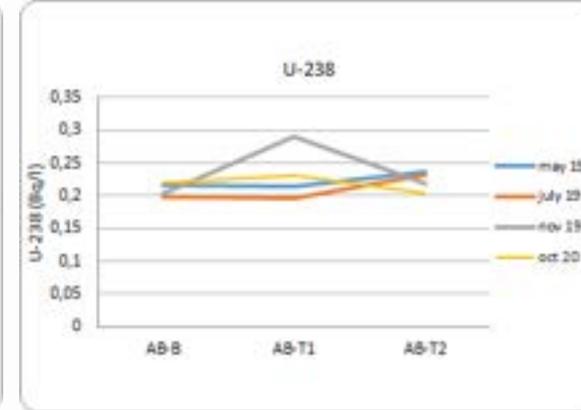
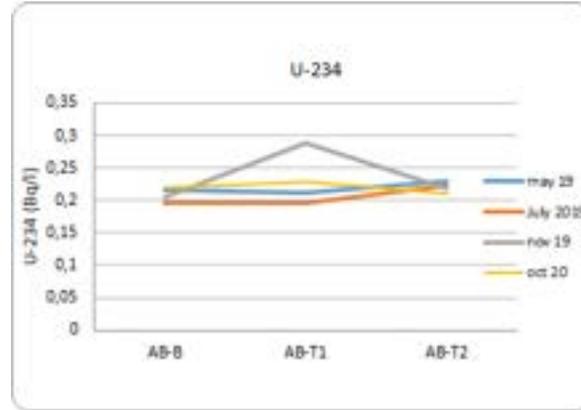
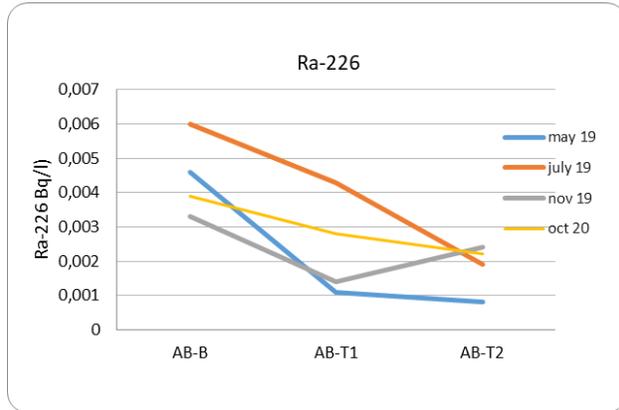
Eliminación de Uranio y Radio estrechamente ligada a la eliminación de hierro.

Agua con muy baja concentración de hierro y muy alta salinidad especialmente debida a la alta concentración de iones cloro, sodio y sulfato lo que reduce la eficiencia del lecho

Como se puede observar, la reducción de U234 y U238 es insignificante. Sin embargo, el Ra226 muestra un mejor comportamiento debido a la adsorción en el material filtrante.

Validación y operación de las plantas piloto

ALBOLODUY



Actividad del Ra228 por debajo del límite de detección

Porcentajes de reducción

	Fe	Ra-226	U-234	U-238
May-19	14,83	80,43	-6,02	-9,26
Nov-19	-10,78	33,33	-7,35	-7,35
Oct-20	-2,16	43,59	4,09	7,31

Diferentes condiciones de operación:

A) Lavados:
 Mayo y julio 2019 : retrolavado con agua.
 Noviembre 2019: retrolavado con H2O2 (50%).
 Noviembre de 2020 y febrero de 2021:retrolavado con agua.

Eliminación de Uranio y Radio estrechamente ligada a la eliminación de hierro.

Agua con muy baja concentración de hierro y muy alta salinidad especialmente debida a la alta concentración de iones cloro, sodio y sulfato lo que reduce la eficiencia del lecho

Se propone la adición de hierro o el uso de otros materiales como Trappsorb combinado con Crystolite

Validación y operación de las plantas piloto

BENIZALON

Límite DIT 0.1 mSv/y

BENIZALON	Radionucleidos	Entrada	Salida	Eliminación %	Actividad alfa total Entrada	Actividad alfa salida	% reducción Actividad alfa total	DIT entrada mSv/y	DIT salida mSv/y	DIT reducción %
17/05/2019	U-238 (Bq/l)	2,500	1,500	40,00	4,3± 0,3	1,8± 0,22	69,77	0,2923	0,1358	53,54
	U-234 (Bq/l)	3,600	2,100	41,67						
	Ra-226 (Bq/l)	0,090	0,007	92,78						
	Ra-228 (Bq/l)	0,125	0,020	84,00						
11/11/2019 Outlet (T1)	U-238 (Bq/l)	0,930	0,600	35,48	1,9±0,3	1±0,17	47,36	0,2053	0,0694	66,18
	U-234 (Bq/l)	1,620	0,940	41,98						
	Ra-226 (Bq/l)	0,177	0,022	87,57						
	Ra-228 (Bq/l)	0,160	0,023	85,63						
2/12/2020	U-238 (Bq/l)	2,07	1,14	44,93 (T1)	3,2±0,4	1,2±0,14	62,50	0,3625	0,0929	71,59
	U-234 (Bq/l)	3,15	1,53	51,43 (T1)						
	Ra-226 (Bq/l)	0,372	0,0035	99,06						
	Ra-228 (Bq/l)	0,21	<0,020	>90,48						

En este caso, se obtiene una buena reducción tanto para los isótopos de Uranio como de Radio. La dosis indicativa de este influente de agua supera el límite.

Con el tratamiento se consigue un agua apta para consumo a pesar de la actividad alfa total

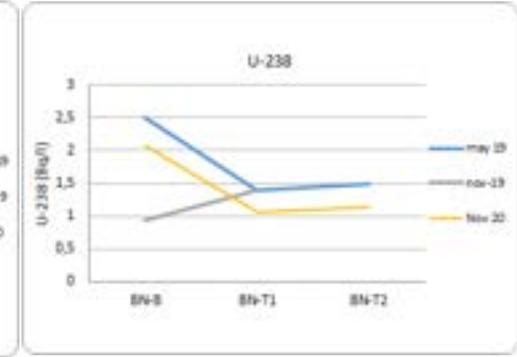
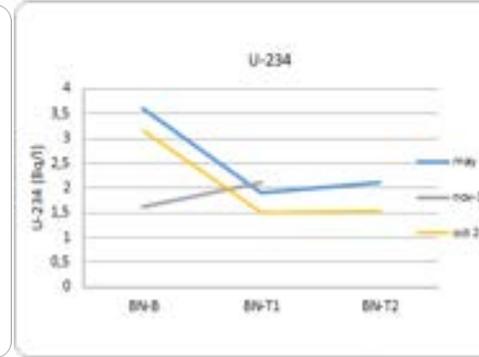
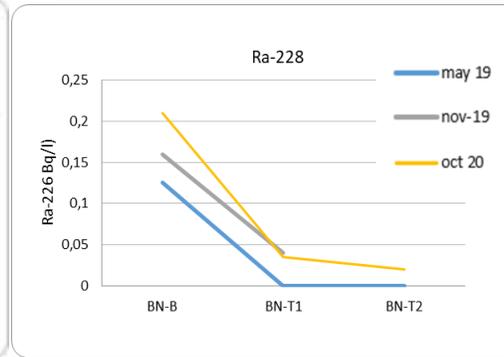
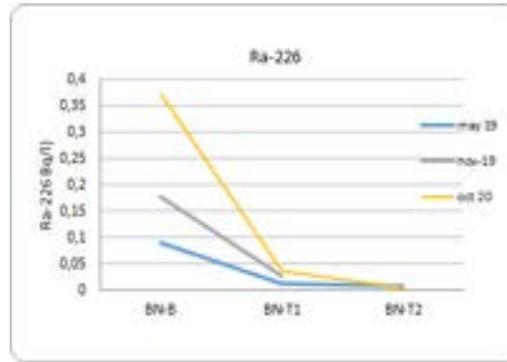
La reducción de la actividad Alfa total es acorde con la reducción de la DIT.

Aspecto a tener en cuenta en el control y operación de la planta.

AAT diez veces superior al límite con DIT inferior al límite.

Validación y operación de las plantas piloto

BENIZALON



Different conditions in samples to optimization de operation:

A) Washings:

- May 2019: backwashing with water.
- November 2019: backwashing with H₂O₂ (50%).
- November 2020 and february 2021: backwashing with water and using a blower to increase ORP

Eliminación de Uranio y Radio estrechamente ligada a la eliminación de hierro.

La mayor parte de la eliminación de radionucleidos tiene lugar en el T1

Porcentajes de reducción

	Fe	Ra-226	U-234	U-238
May-19	35,12	92,78	41,67	40,00
Nov-19	-18,78	84,75	-29,63	-50,538
Dic-20	34,27	99,06	51,43	44,93

Validación y operación de las plantas piloto

TAHAL

Límite DIT 0.1 mSv/y

TAHAL	Radionucleidos	Entrada	Salida	Eliminación %	Actividad alfa total Entrada	Actividad alfa total salida	% reducción Actividad alfa total	DIT entrada mSv/y	DIT salida mSv/y	DIT reducción %
17/05/2019	U-238 (Bq/l)	0,37	0,24	35,14	0,60±0,14	0,52±0,09	13,33	0,0916	0,0316	65,47
	U-234 (Bq/l)	0,56	0,36	35,71						
	Ra-226 (Bq/l)	0,091	0,0014	98,46						
	Ra-228 (Bq/l)	0,081	0,021	74,07						
11/11/2019	U-238 (Bq/l)	0,910	0,570	37,36	1,70±0,15	0,9±0,11	47,06	0,1171	0,0651	44,38
	U-234 (Bq/l)	1,160	0,710	38,79						
	Ra-226 (Bq/l)	0,061	0,019	68,85						
	Ra-228 (Bq/l)	0,066	0,034	48,48						
29/10/2020	U-238 (Bq/l)	0,409	0,35	14,43	0,80±0,110	0,48±0,06	40,00	0,0779	0,0431	44,61
	U-234 (Bq/l)	0,594	0,52	12,46						
	Ra-226 (Bq/l)	0,076	0,017	77,63						
	Ra-228 (Bq/l)	0,055	<0,020	>63,64						
09/02/2021	U-238 (Bq/l)	0,526	0,304	42,21	1,00±0,22	0,29±0,03	71,00	0,0779	0,0336	60,71
	U-234 (Bq/l)	0,850	0,411	52,65						
	Ra-226 (Bq/l)	0,054	0,019	69,81						
	Ra-228 (Bq/l)	0,038	0,0040	89,47						

En este caso, se obtiene una buena reducción tanto para los isótopos de Uranio como de Radio. La dosis indicativa de este influente se encuentra cerca del límite.

Con el tratamiento se consigue un agua apta para consumo a pesar de la actividad alfa total

La reducción de la actividad alfa total es acorde con la reducción de la DIT.

Aspecto a tener en cuenta en el control y operación de la planta, coste analíticas para pequeñas poblaciones. AAT diez veces superior al límite con DIT inferior al límite.

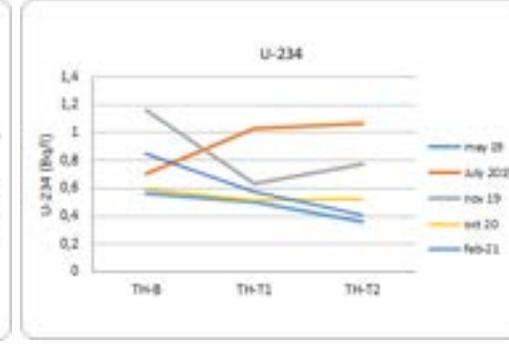
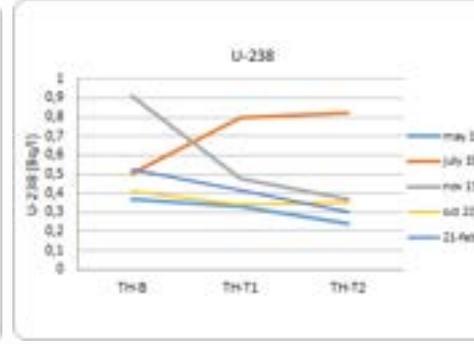
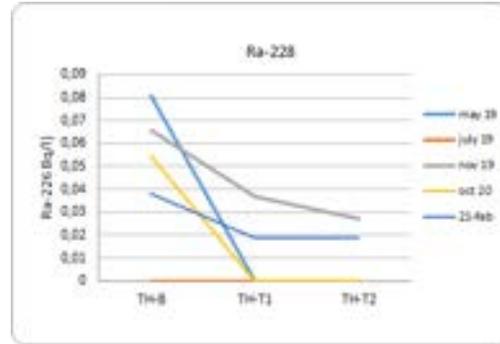
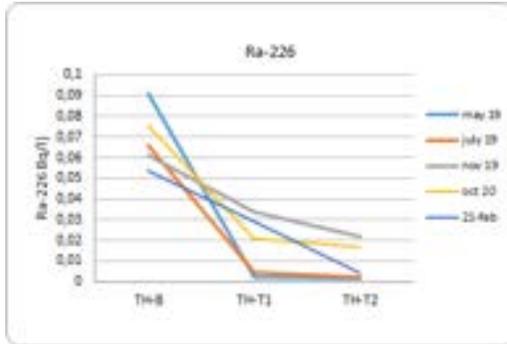
Validación y operación de las plantas piloto

TAHAL

Eliminación de Radio > 90%

Eliminación de Uranio > 45%

Agua con altas concentraciones de hierro (TH y BZ) favorecen la eliminación de Ra y U mediante coprecipitación



Different conditions in samples to optimization de operation:

A) Washings:

- May and July 2019 : backwashing with water.
- November 2019: backwashing with H2O2 (50%).
- November 2020 and february 2021: backwashing with water before chemical regeneration

Con el tratamiento se consigue un agua apta para consumo a pesar de la actividad alfa total.

Eliminación de Uranio y Radio estrechamente ligada a la eliminación de hierro.

La mayor parte de la eliminación de radionucleidos tiene lugar en el T1

Porcentajes de reducción

	Fe	Ra-226	Ra-228	U-234	U-238
May-19	8,12	98,46	74,07	35,71	35,14
Nov-19	34,01	63,93	48,48	33,10	59,23
Oct-19	-6,85	77,63	>63,64	12,46	14,43
Feb-21	38,90	92,59	89,47	51,65	42,21

¿Se están acumulando los radionucleidos en el relleno?

Resultados Materiales de relleno

Directiva 2013/59/Euratom del Consejo de la UE

Pendiente de su completa transposición

Materiales con radionucleidos naturales

Valores de exención o desclasificación para radionucleidos naturales en materiales sólidos en equilibrio secular con sus descendientes:

Radionucleidos naturales de la serie del U-238 (U-234, Ra-226 y otros)	1 kBq / kg
Radionucleidos naturales de la serie del Th-232 (Ra-228 y otros)	1 kBq / kg

RESIDUOS SÓLIDOS NORM

En España, la **Orden IET/1946/2013**, de 17 de octubre, regula la gestión de los residuos NORM

Caracterización de los residuos NORM: Contenido de radionucleidos inferior o igual a los niveles establecidos en la tabla pueden ser gestionados de forma convencional.

En el caso de la mezcla de radionucleidos, debe aplicarse la regla de la suma de los cocientes entre la concentración del radionucleido presente (C_i) y el nivel aplicable (C_{li}) de modo que se verifique la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1,n} C_i / C_{li} \leq 1$$

*Niveles aplicables a los residuos NORM en kBq/kg (Bq/g)
Anexo de la Orden IET/1946/2013 de 17 de Octubre*

Radionucleido	Todos los materiales
U-238 (sec) incl. U-235 (sec)	0,5
U natural	5
Th-230	10
Ra-226+	0,5
Pb-210+	5
Po-210	5
U-235 (sec)	1
U-235+	5
Pa-231	5
Ac-227+	1
Th-232 (sec)	0,5
Th-232 (sec)	5
Ra-228+	1
Th-228+	0,5
K-40	5

(Sec): Radionúclido en equilibrio secular con todos sus descendientes.

(+): Radionúclido en equilibrio secular con sus descendientes de vida corta.

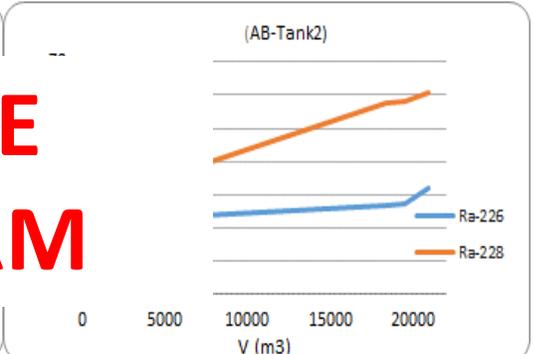
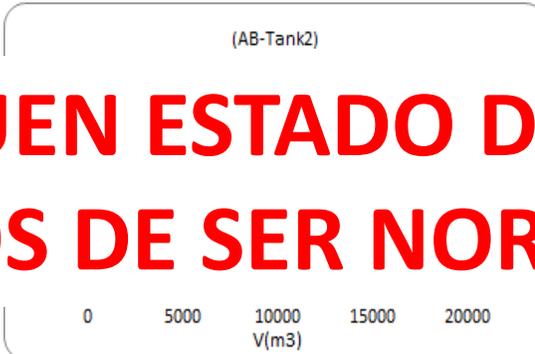
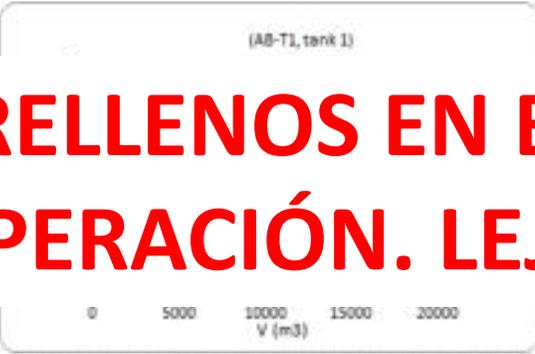
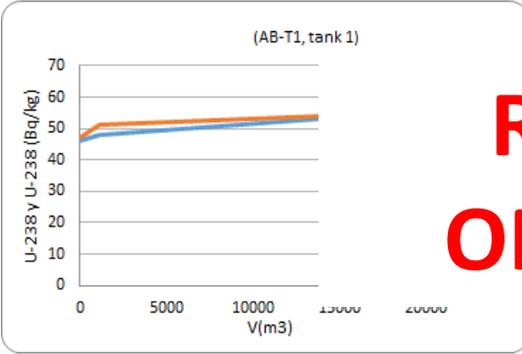
MÁS RESTRICTIVA QUE LA DIRECTIVA 2013/59 EURATOM

EVOLUCIÓN CONTENIDO RADIONUCLEIDOS

ALBOLODUY

TANQUE 1					
Fecha	U-234 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	V (m3)
Material Inerte	46±6	47±6	32±3	28±3	0
May-19	48±5	51±5	36±2	30±2	1119
Nov-19	55±9	55±5	68±4	44±4	18305
Jul-19	60±7	59±7	71± 6	44± 4	19500
Nov-20	62±7	65±8	43±4	28±2	20900

TANQUE 2					
Fecha	U-234 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	V (m3)
May-19	21±3	29±4	22±2	29±4	1119
Nov-19	22±5	34±6	27±2	55±4	18305
Jul-19	27±5	37±6	27±6	58±5	19500
Nov-20	24±4	27±5	32±3	61±5	20900



RELLENOS EN BUEN ESTADO DE OPERACIÓN. LEJOS DE SER NORM

EVOLUCIÓN CONTENIDO RADIONUCLEIDOS

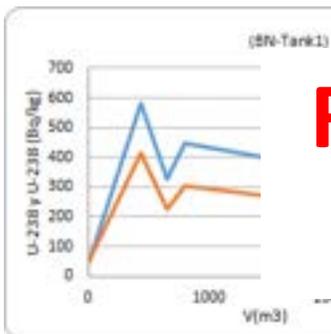
BENIZALON

TANQUE 1

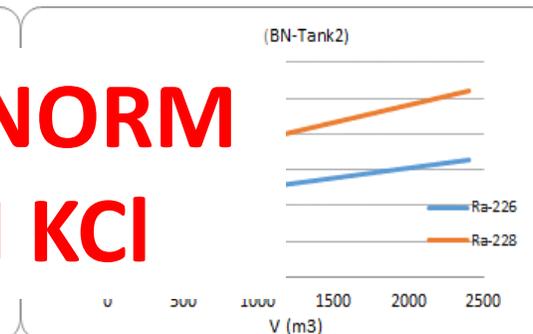
Date	U-234 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	V (m3)
Materia Inerte	46±6	47±6	32±3	28±3	0
May-19	580±45	416±33	55±5	38±4	438
Nov-19	326±28	223±20	54±4	47±4	653
Jul-20	449±35	305±24	144±12	214±14	800
Nov-20	332±48	224±33	180±15	262±21	2400

TANQUE 2

Date	U-234 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	V (m3)
May-19	387±47	286±35	125±10	211±17	438
Jul-20	460±47	320±34	120±10	181±14	800
Nov-20	707±106	501±76	163±13	260±20	2400



**RELLENOS EN TORNO AL LÍMITE NORM
REGENERACIÓN PREVISTA CON KCl**



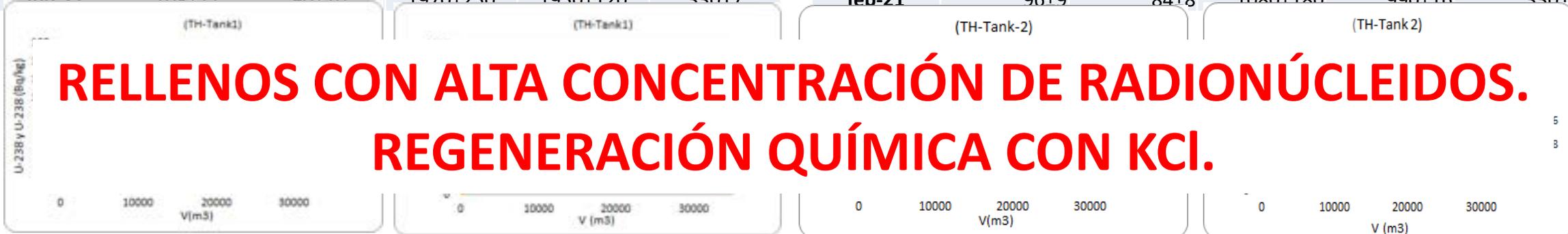
EVOLUCIÓN CONTENIDO RADIONUCLEIDOS

TAHAL

TANQUE 1					
Fecha	U-234 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	V (m3)
Material Inerte	46±6	47±6	32±3	28±3	0
may-19	114±13	89±10	394±33	422±33	2010
nov-19	121±21	88±16	2670±220	2650±206	13200
jul-20 (before chemical Reg)	149±21	51±8	2680±211	2310±147	17395
jul-20 (after chemical Reg)	28±5	37±6	996±82	1124±147	17395
nov-20	110±11	76±9	1180±100	1180±90	26523
feb-21	102±11	90±10	1970±250	1950±120	33017

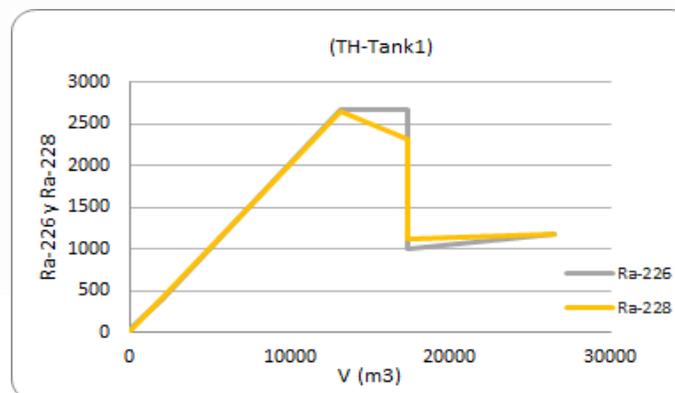
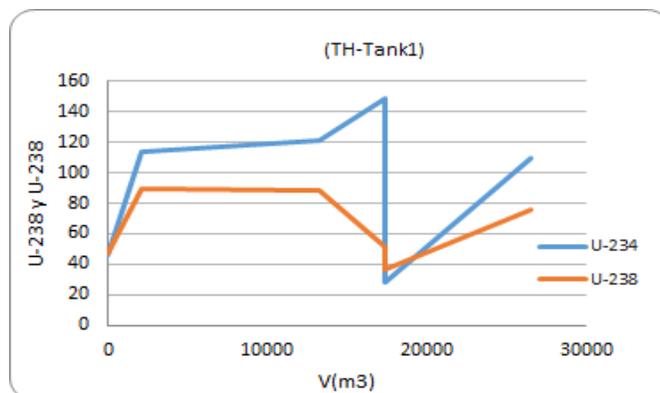
TANQUE 2					
Fecha	U-234 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	V (m3)
Material Inerte	46±6	47±6	32±3	28±3	0
may-19	109±12	90±10	58±5	58±5	2010
nov-19	136±18	109±15	290±14	307±24	13200
jul-20 (before chemical Reg)	124±12	104±10	406±34	377±25	17395
jul-20 (after chemical Reg)	133±10	105±12	167±10	177±16	17395
nov-20	106±15	86±13	1297±107	1338±109	26523
feb-21	96±9	84±8	1080±180	990±16	33017

**RELLENOS CON ALTA CONCENTRACIÓN DE RADIONÚCLEIDOS.
REGENERACIÓN QUÍMICA CON KCl.**



REGENERACIÓN DE LECHOS FILTRANTES MEDIANTE TRATAMIENTO CON DISOLUCIÓN CONCENTRADA DE KCl. T1 DE TAHAL.

La regeneración permite controlar la acumulación de radionucleidos evitando la generación de residuos NORM



11 dosis de disolución de KCl,
 Ratio en peso KCl/Material filtrante = 1,06
 (639 kg de KCl)
 Volumen tratado hasta la regeneración
 (T1) = 17325 m³
 Tiempo de contacto por lote = 90 minutos

Se incorpora la regeneración cada 2000 m³ tratados y el contralavado a pH 6 a la estrategia de operación de la planta

Removal porcentajes

Ra-226	Ra-228	U-238	U-234
63	51	27	81

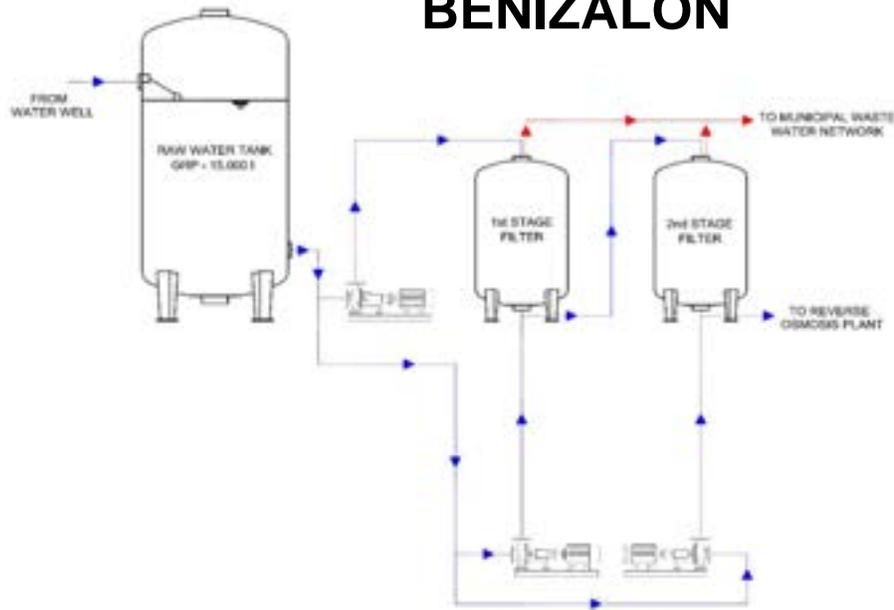
Gamma dentro de los tanques
 Tanque 1 (de 1,04 a 0,66 μSv/h)
 Tanque 2 (de 0,3 a 0,14 μSv/h)

Resultados Consumos de Agua y Energía

Plantas ALCHEMIA vs Plantas de Ósmosis inversa

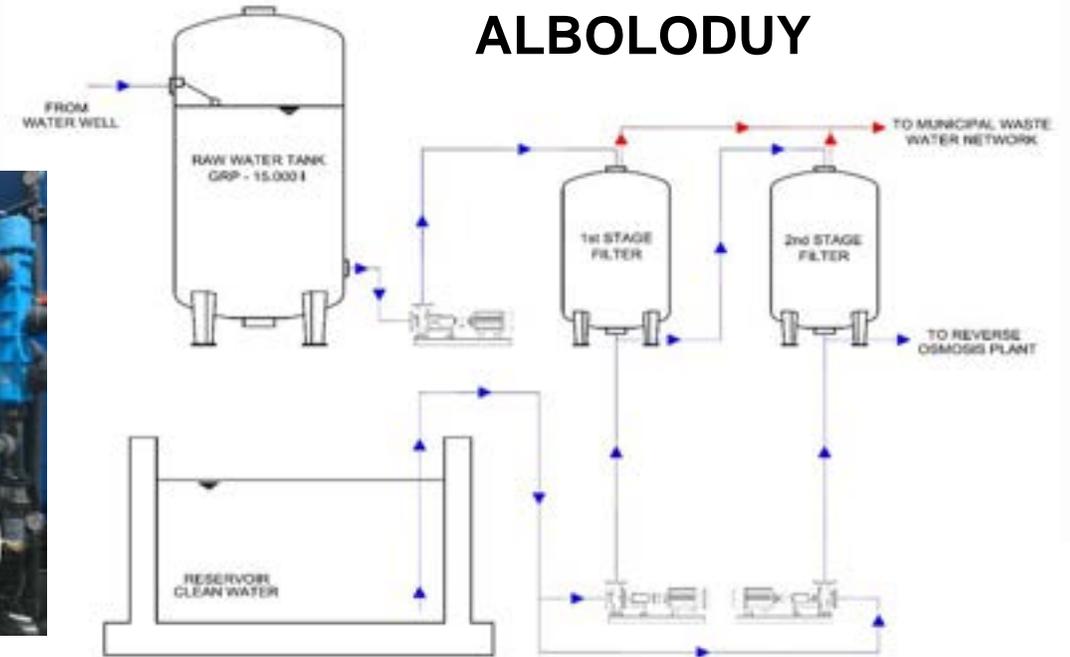
DESCRIPCIÓN PLANTAS Alchemia

BENIZALÓN



- Tanque de agua bruta garantiza la estabilidad del flujo
- Filtración y retrolavado con bombas
- Retrolavado con agua bruta
- Restricciones importantes de agua durante el verano
- Tanque de agua bruta provisto de aireación

ALBOLODUY



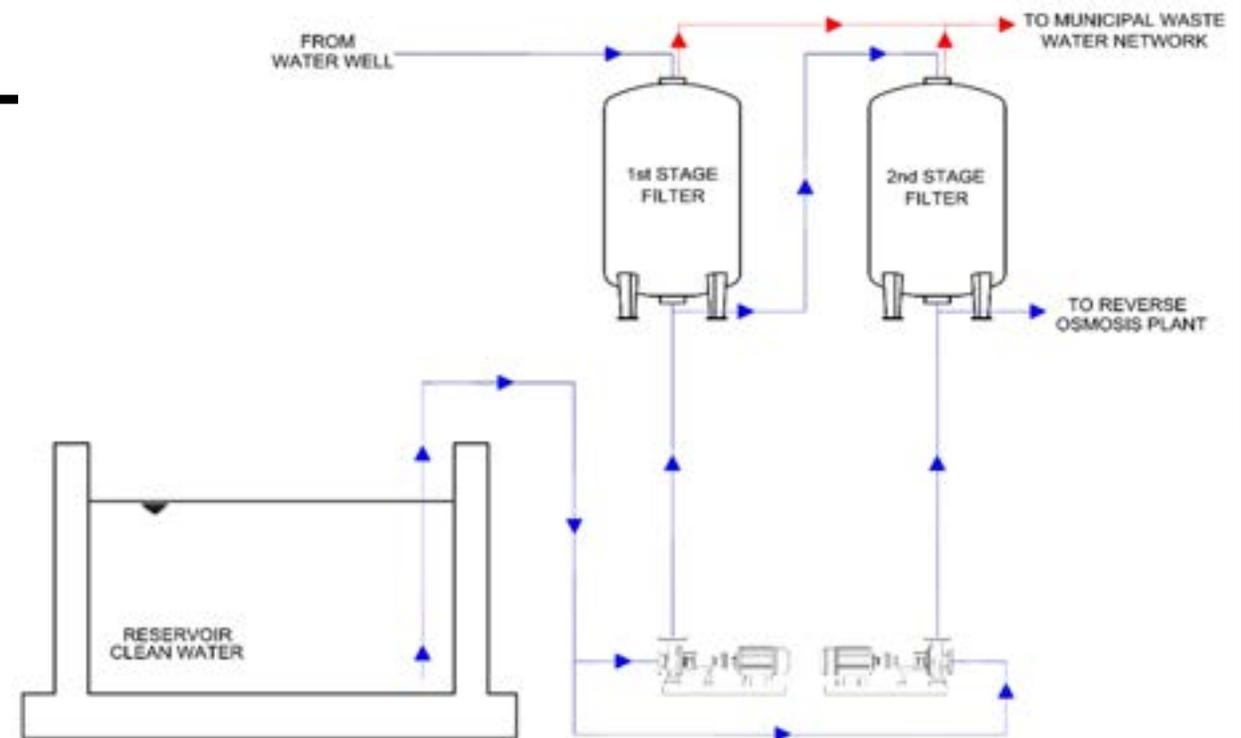
- Tanque de agua bruta garantiza la estabilidad del flujo
- Filtración y retrolavado con bombas
- Depósito de agua limpia para retrolavado
- Tanque de agua bruta provisto de aireación

DESCRIPCIÓN PLANTAS Alchemia



TAHAL

- ❑ Pozos de suministro 100 m más altos que la ubicación de la planta.
- ❑ La operación de filtración se lleva a cabo sin bomba.
- ❑ Agua limpia del depósito para el retrolavado



PLANTAS ALCHEMIA vs PLANTAS OSMOSIS INVERSA

Datos recogidos entre 12/2019 y 06/2021

	ALBOLODUY	BENIZALON	TAHAL
Fecha	03/06/2021	03/06/2021	03/06/2021
ALCHEMIA PLANT WATER TREATED (m3)	22.739	3.906	37.037
ALCHEMIA PLANT DRINKING WATER PROCUCED (m3)	20.312	2.989	33.278
REVERSE OSMOSIS PLANT WATER TREATED (m3)	152.595	30.651	43.206
REVERSE OSMOSIS PLANT DRINKING WATER PROCUCED (m3)	88.718	19.459	26.858
ALCHEMIA INDICATOR (ALCHEMIA WATER TREATED (m3)/ALCHEMIA PLANT DRINKING WATER PROCUCED (m3))	1,12	1,31	1,11
ALCHEMIA INDICATOR (RO PLANT TREATED (m3)/RO PLANT DRINKING WATER PROCUCED (m3))	1,72	1,58	1,61
ALCHEMIA REJECTION (%)	11	24	10
RO REJECTION (%)	42	37	38
WATER REJECTION REDUCTION (%)	74	35	74

RESULTADOS MEJORABLES REDUCIENDO LOS TIEMPOS Y FRECUENCIA DE LAVADOS

PLANTAS ALCHEMIA vs PLANTAS OSMOSIS INVERSA

Datos recogidos entre 12/2019 y 06/2021

	ALBOLODUY	BENIZALON	TAHAL
FECHA	03/06/2021	03/06/2021	03/06/2021
KWh ALCHEMIA ENERGY CONSUMPTION	5.585	858	859
KWh REVERSE OSMOSIS ENERGY CONSUMPTION	97.718	19.958	34629
ALCHEMIA PLANT DRINKING WATER PROCUCED (m3)	22.739	3.906	37.037
REVERSE OSMOSIS PLANT DRINKING WATER PROCUCED (m3)	152.594	30.651	43.206
ALCHEMIA INDICATOR= KWh ENERGY CONSUMPTION/DRINKING WATER PROCUCED (m3)	0,27	0,29	0,02
REVERSE OSMOSIS INDICATOR= KWh ENERGY CONSUMPTION/DRINKING WATER PROCUCED (m3)	0,9	1,4	1,3
ENERGY CONSUMPTION REDUCTION (%)	70	80	98,5

RESULTADOS MEJORABLES REDUCIENDO LOS TIEMPOS Y FRECUENCIA DE LAVADOS

Resultados

Seguridad del entorno de trabajo

Seguridad del entorno de trabajo: Evaluación de la emisión de radón y rayos gamma.

VISITA DE CONTROL DEL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (11/09/2020)



- Supervisión de la operación en plantas piloto de Tahal y Benizalón.
- Toma de medidas radiológicas con sus equipos y con el equipo de supervisión del proyecto ALCHEMIA

Informe de inspección sobre seguridad del medio ambiente de trabajo en las plantas piloto de Tahal y Benizalón



Gamma en diversos lugares de las plantas
0,15 – 0,17 $\mu\text{Sv/h}$
(sin restar radiación de fondo $\approx 0,12 \mu\text{Sv/h}$)

RADÓN cerca de los tanques por debajo del límite de cuantificación
< QL (20 Bq/m³)

Conclusiones

CONCLUSIONES

La tecnología de lechos catalíticos filtrantes basados en MnO_2 es sensible a la composición del agua a tratar, no solo respecto a los radionucleidos presentes sino también al resto de aniones y cationes.

Altos contenidos en hierro (TH y BZ) favorecen la coprecipitación del Ra y U mientras que la alta salinidad de las aguas (AB) compite reduciendo la eficacia de los lechos.

Aspecto a tener en cuenta en ETAPs alimentadas por varios sondeos.

Los resultados relativos a la eliminación de radionucleidos muestran la estrecha relación con la eliminación de hierro. La operación de la planta sin adición de reactivos da buenos resultados, no obstante, puede optimizarse el mediante el control del pH y la adición de reactivos que aumenten el ORP para promover la coprecipitación del uranio con hierro y manganeso.

La operación de retrolavado puede optimizarse para aumentar la vida útil del filtro evitando convertirse en residuos NORM y dilatando la necesidad de realizar regeneraciones.

CONCLUSIONES

La regeneración química con KCl se presenta como una estrategia de control de la acumulación de radionucleidos en los lechos filtrantes.

Los resultados muestran como a pesar de la acumulación de radionucleidos en los materiales filtrantes, el ambiente de trabajo no supone el mínimo riesgo radiológico a los operarios.

En cuanto a la operación hidráulica, se ha logrado un funcionamiento estable de las plantas debido al óptimo diseño y construcción. En este sentido, se han demostrado importantes ahorros de agua ($\approx 80\%$) y energía ($\approx 85\%$) en comparación con la ósmosis inversa.



PROYECTO LIFE16/ENV/ES/196 ECOGRANULARWATER

Proyecto demostrativo para el tratamiento de agua subterránea con un sistema innovador basado en tecnología granular aerobia.

Fco. Javier García Martínez
Jefe de Servicio del Ciclo Integral del Agua y Energía
Diputación de Granada



Socio coordinador:



Socios beneficiarios:





0. ÍNDICE DE CONTENIDOS.

- 1.- Datos generales del proyecto.
- 2.- Contexto y problema ambiental.
- 3.- Objetivo del proyecto.
- 4.- Área de Actuación.
- 5.- Diseño y construcción de la planta a escala real.
- 6.- Resultados: rendimientos del sistema.
- 7.- Resultados: análisis económico.
- 8.- Resultados: análisis de ciclo de vida.
- 9.- Acciones divulgativas.

1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO.

Programa LIFE - convocatoria 2016.

Sector: Aguas (agua potable).

Fecha de inicio: 1/09/2017.

Fecha de finalización: 30/09/2021.

Socios: Diputación de Granada, Universidad de Granada, Universidad de Aalto (Finlandia), Construcciones Otero S.L. y Gedar S.L.



Presupuesto total del proyecto: 995.000 €

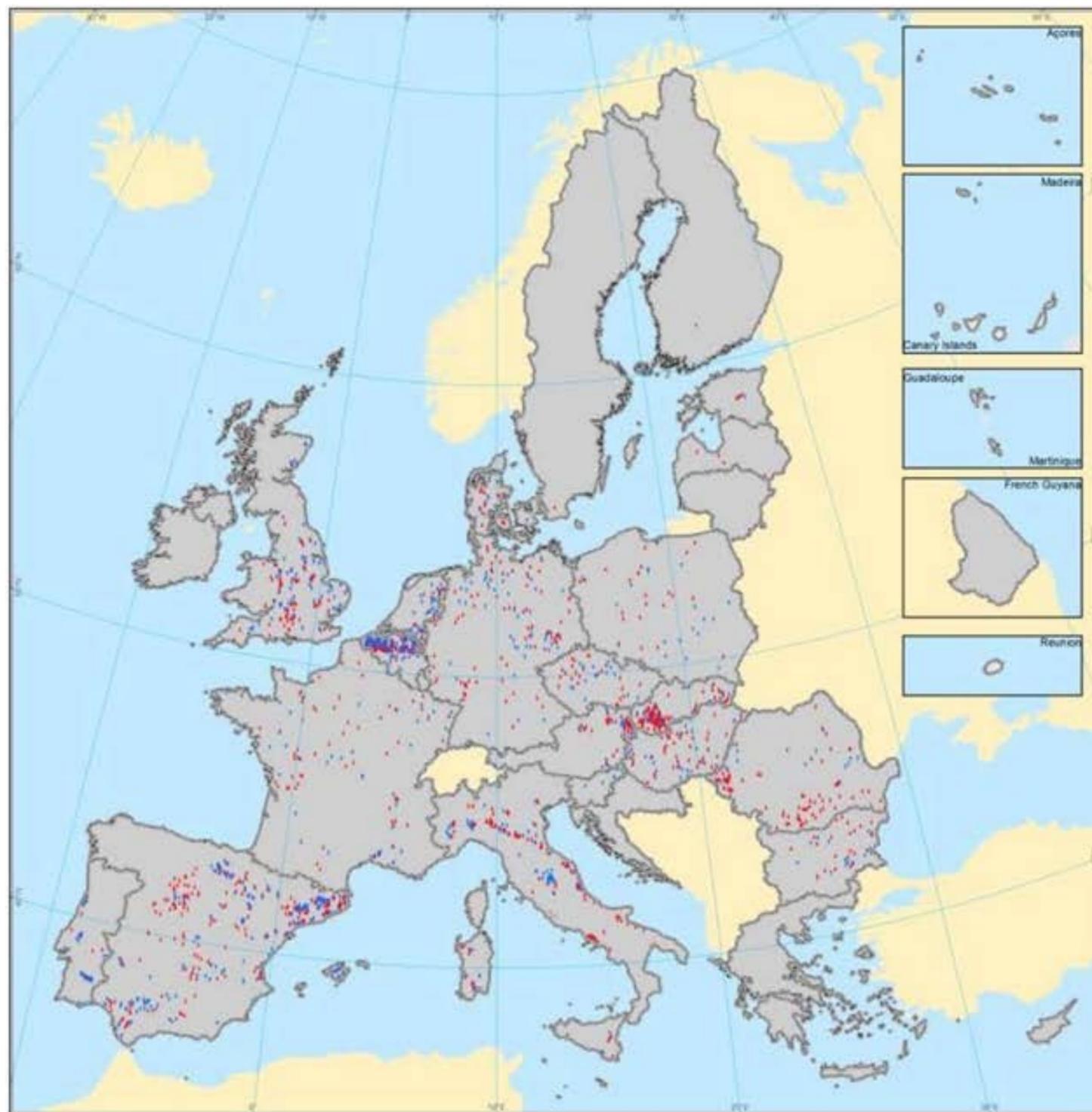
Subvención aprobada: 546.113 € (54,94 % del total)

Aplicación excesiva e inadecuada de fertilizantes nitrogenados en la agricultura





2. CONTEXTO Y PROBLEMA AMBIENTAL.



MAP 3. Trends in nitrates concentrations in groundwater between the reporting periods 2008-2011 and 2012-2015, for stations with an average annual nitrate concentration equal to or above 50 mg/L in 2012-2015.

NITRATES DIRECTIVE EU-28

REPORTING PERIOD 2012-2015

EU28

GROUNDWATER

STATIONS $\geq 50 \text{ NO}_3 \text{ mg/l}$

Trend $\text{NO}_3 \text{ mg/l}$

▼ < -5 strong decrease

▲ $> +5$ strong increase

SOURCE:

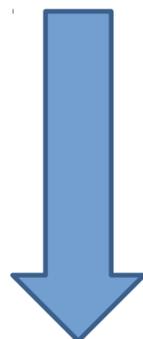
REPORT FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT on the implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources based on Member State reports for the period 2012–2015 Brussels, 4.5.2018, COM(2018) 257 final

Problema extendido en toda Europa



2. CONTEXTO Y PROBLEMA AMBIENTAL.

CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS POR NITRATOS DE ORIGEN AGRÍCOLA



MEDIDA PREVENTIVA



PROYECTO LIFE +. Convocatoria 2010

EUTROMED: Técnica demostrativa de prevención de la eutrofización provocada por nitrógeno agrícola en las aguas superficiales en clima mediterráneo



2. CONTEXTO Y PROBLEMA AMBIENTAL.

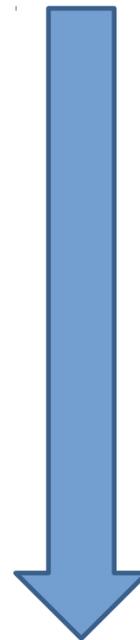


CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS POR
NITRATOS DE ORIGEN AGRÍCOLA

Tecnología actual: ósmosis inversa.



MEDIDA CORRECTIVA



**BÚSQUEDA DE UNA
ALTERNATIVA MÁS SOSTENIBLE**



3. OBJETIVO DEL PROYECTO.

Demostrar a escala real en municipio entre 500-1.000 habitantes

TECNOLOGÍA GRANULAR AEROBIA PARA LA ELIMINACIÓN DE NITRATOS, DEL AGUA SUBTERRÁNEA



- ❖ Agua apta para el consumo humano (RD 140/2013; Directiva UE 2020/2184).
- ❖ Menores costes de explotación.

- ❖ Menor consumo energético.
- ❖ No generación de residuos.
- ❖ Menor consumo de agua.



4. ÁREA DE ACTUACIÓN.

Municipio de Torre Cardela, Granada.

Habitantes: 813 (Padrón 2016).

Análisis realizados en pozos y manantial de Torre Cardela, Abril 2013:



	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ^{**}	Ca ^{**}
Deposit with osmosis	7,088	43,353	27,817	1,128	n.a.	0,04	32,323	65,653
Pedrín Survey	15,662	93,224	58,407	4,89	n.a.	0,393	33,475	131,774
Doña Marina Survey	22,858	2,108	40,216	9,516	n.a.	0,958	32,99	68,532
Fuente la Bella Survey	12,962	90,15	46,965	5,41	n.a.	0,329	33,792	115,512
Avenida Jaén Well	19,678	78,988	78,211	10,917	n.a.	8,75	33,329	116,85

Declaración de NO APTITUD del agua de abastecimiento en el pasado.

Actualmente dispone de un sistema de ÓSMOSIS INVERSA para la eliminación de nitratos.



5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.

CONSTRUCCIÓN

INSTRUMENTACION

- Sensor PH
- Sensor Redox
- Sensor galvánico digital de oxígeno
- Controladores para sondas analógicas y digital
- Detector de nivel flotador
- Medidor electromagnético de caudal

ELECTRICIDAD Y CONTROL

- Cuadro general de protección
- Cuadro eléctrico de distribución protección y mando.
- Variadores de frecuencia
- PLC + tarjetas de entradas analógicas y digitales
- Analizador de redes
- Programación

REACTIVOS

- Bomba dosificadora compacta de membrana

AIREACION

- Soplante
- Rotámetro
- Difusor+membrana burbuja gruesa 9"

BIORREACTOR y AGUA DE PROCESO

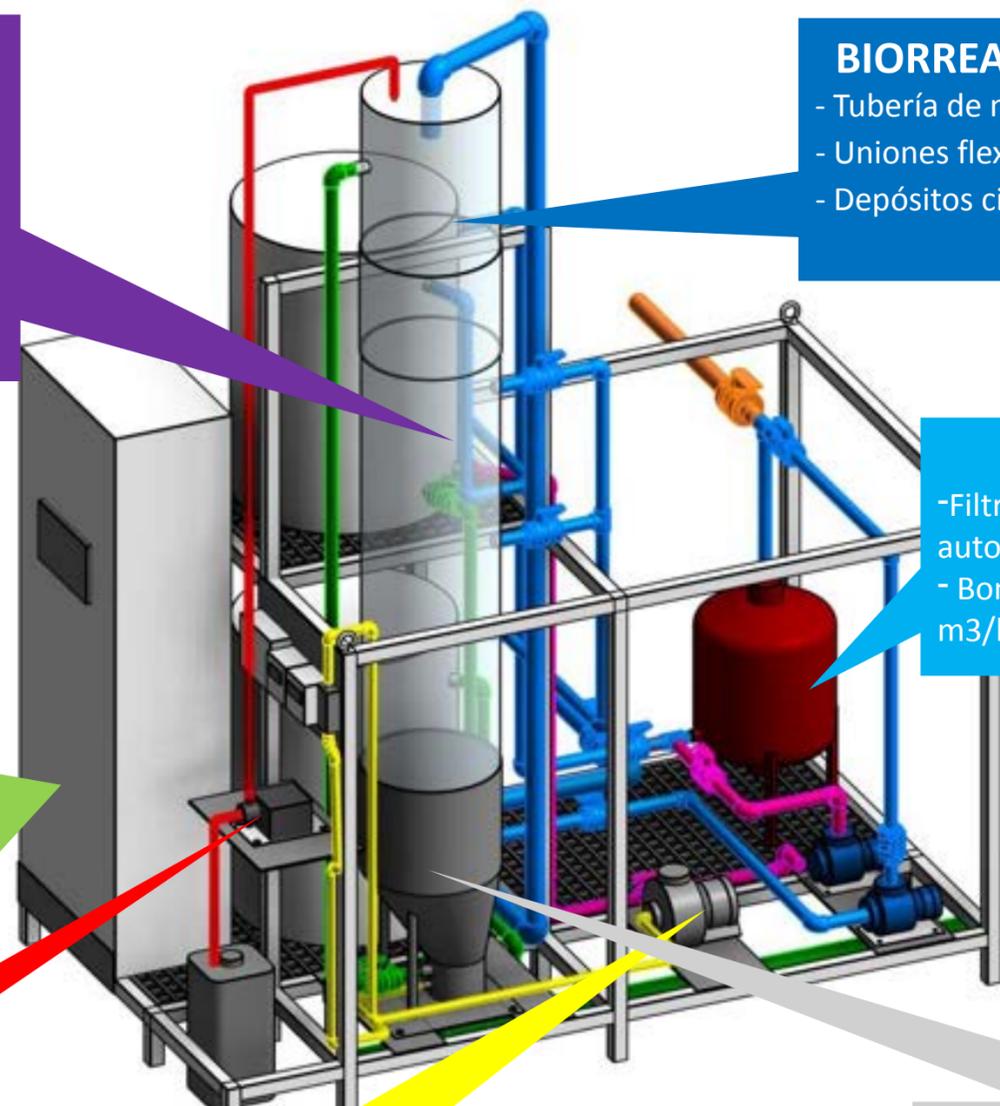
- Tubería de metacrilato de 490 mm
- Uniones flexibles en acero inoxidable
- Depósitos cilíndricos de 500 litros

BOMBEO Y FILTRACION

- Filtro de arena y equipo de control automático
- Bombas centrifugas horizontales de Q 12 m³/h, 2 m³/h y 6 m³/h

BASTIDOR y BASE REACTOR

- Estructura de acero Inox 304 en tubo 50x50x3
- Base troncocónica para soporte en acero Inox 304





5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.





5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.



BIORREACTORES:

- 1ª Fase: Biorreactor de metacrilato.



VIDEO





5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.



BIORREACTORES:

- 1ª Fase: Biorreactor de metacrilato.



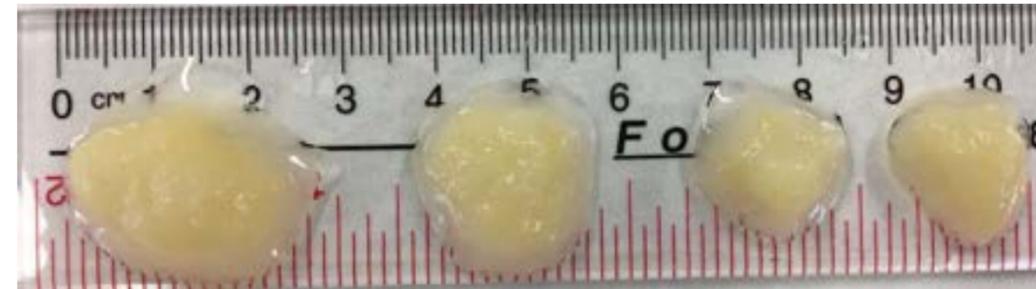


5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.



BIORREACTORES:

- 1ª Fase: Biorreactor de metacrilato.
- Biorreactores inoculados con gránulos formados en laboratorio a partir de lodos de EDAR.



VIDEO



VIDEO





5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.



CONDICIONES OPERACIONALES:

- 4 fases secuenciales:
 - Llenado.
 - Aireación.
 - Decantación.
 - Vaciado.
- Actualmente funcionando con ciclos de 2 horas (12 ciclos/día).
- Sistema alimentado con 100 mg/l de acetato de sodio y otros nutrientes: cloruro de potasio, magnesio sulfato, dipotasio hidrógeno fosfato, entre otros.
- Agua de salida pasa a través de filtro de arena.
- Posterior cloración.
- Lavado periódico de filtro de arena.
- Tratamiento de agua de lavado en humedal artificial.

**VIDEO
DECANTACIÓN**



5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.



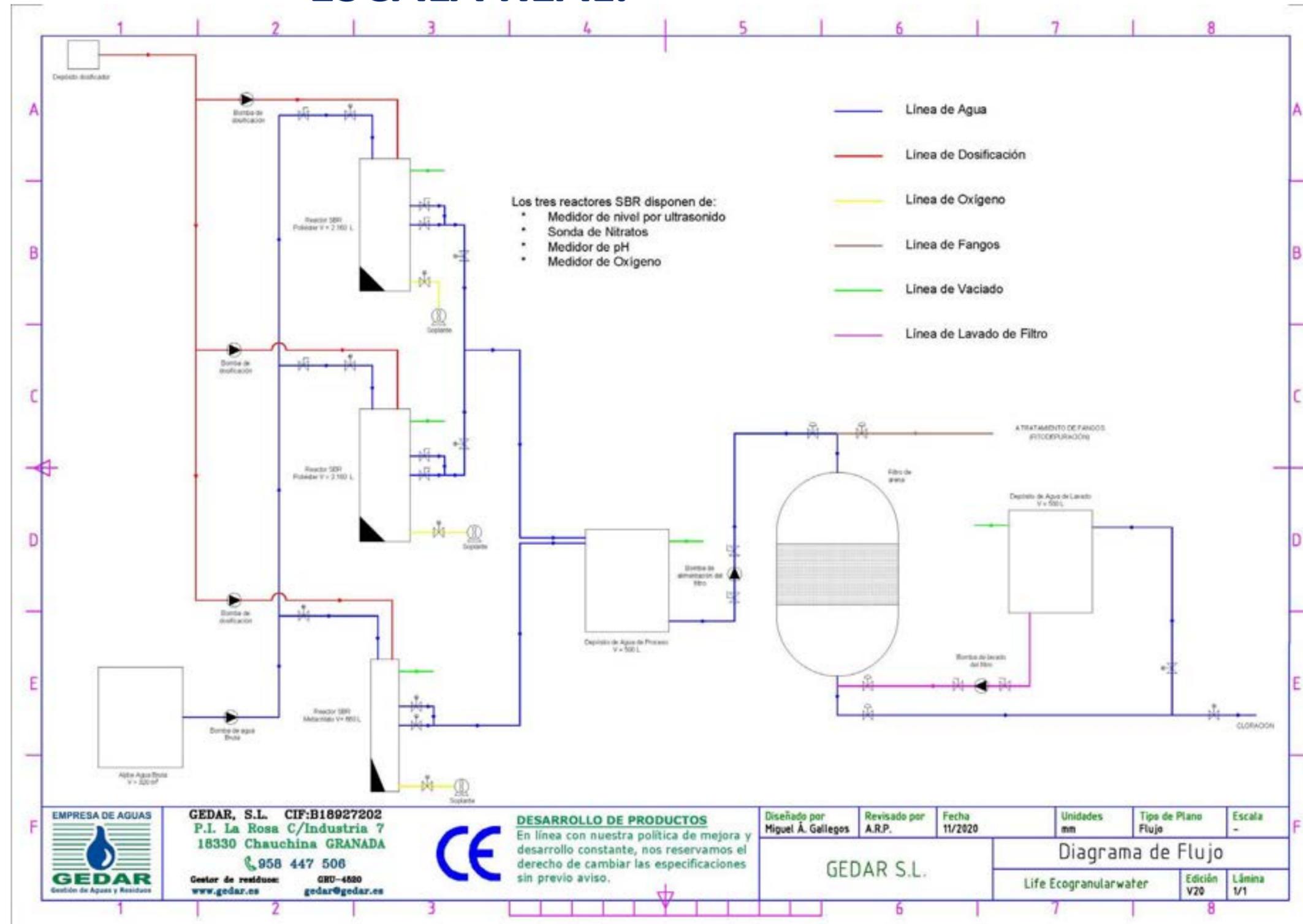
BIORREACTORES:

- 2ª Fase: 2 biorreactores adicionales de poliéster.





5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.

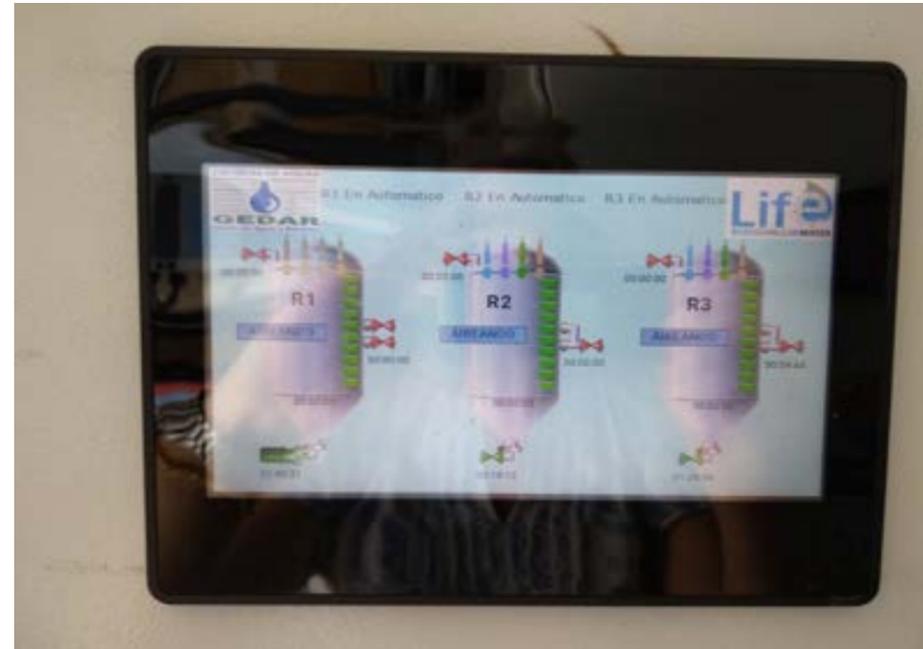




5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.



FILTRO DE ARENA



PANEL DE CONTROL



SONDAS DE CONTROL QUÍMICO



PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS



BATERÍAS ACUMULADORAS



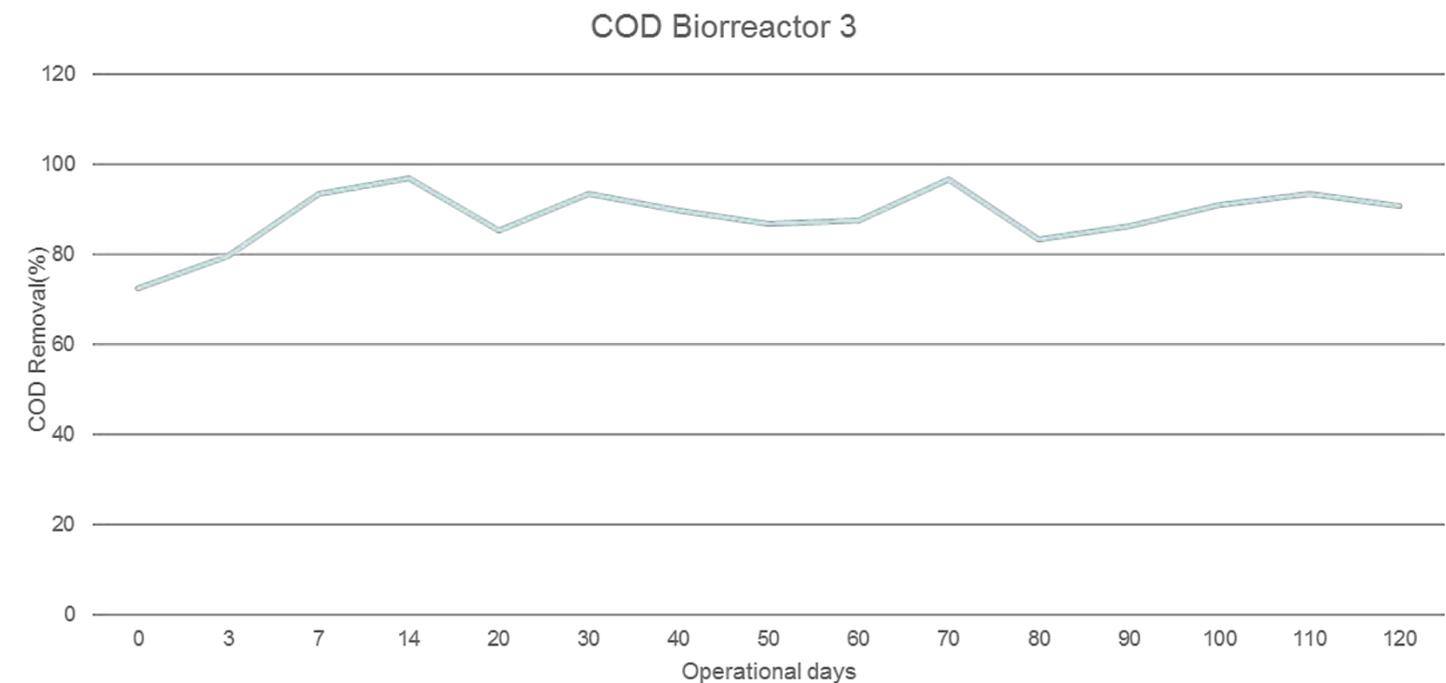
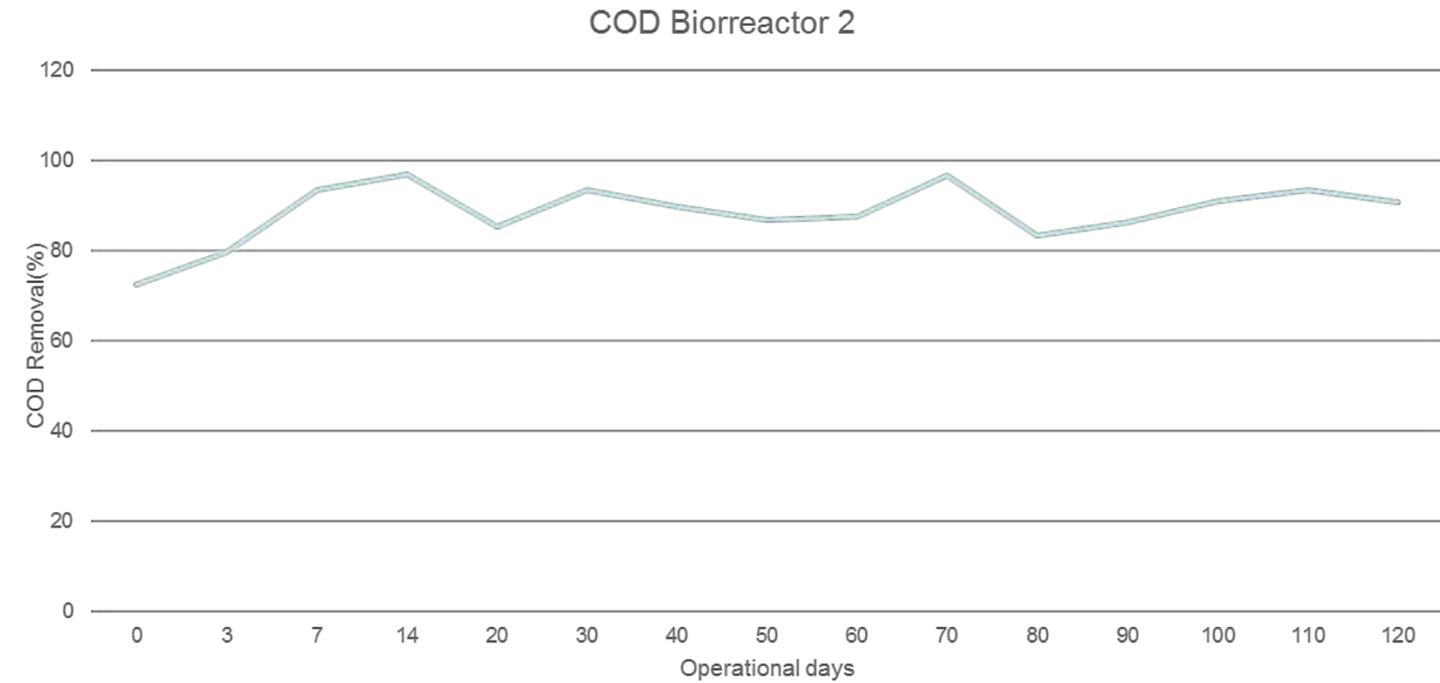
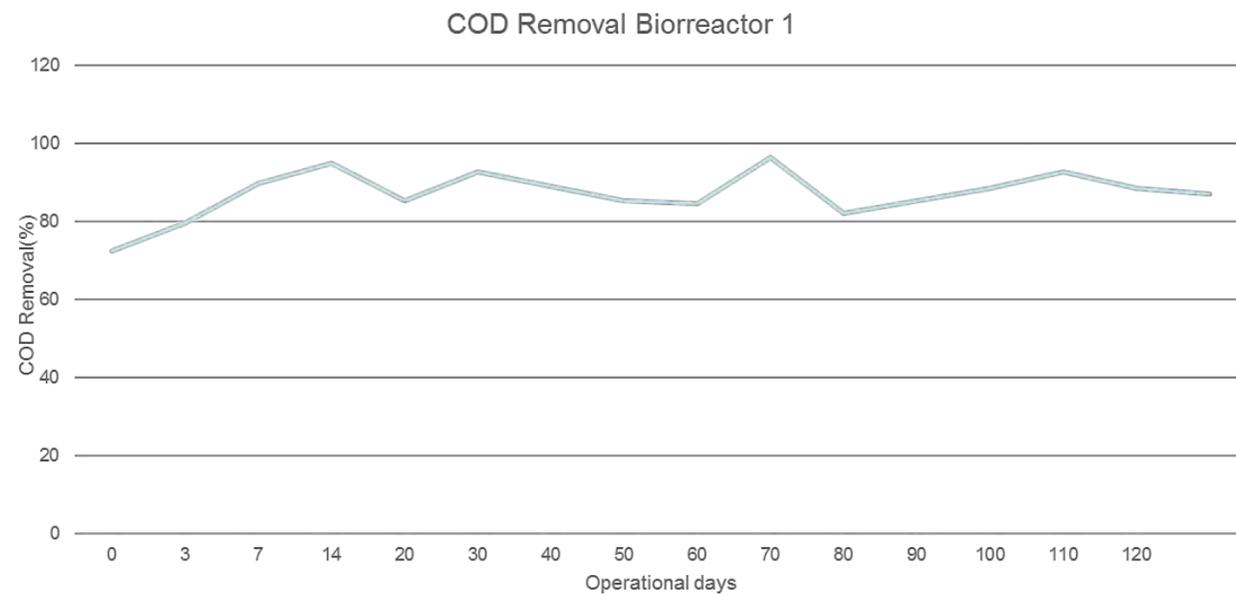
BOMBAS DOSIFICADORAS DE NUTRIENTES



6. RESULTADOS: RENDIMIENTOS DEL SISTEMA.



ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA



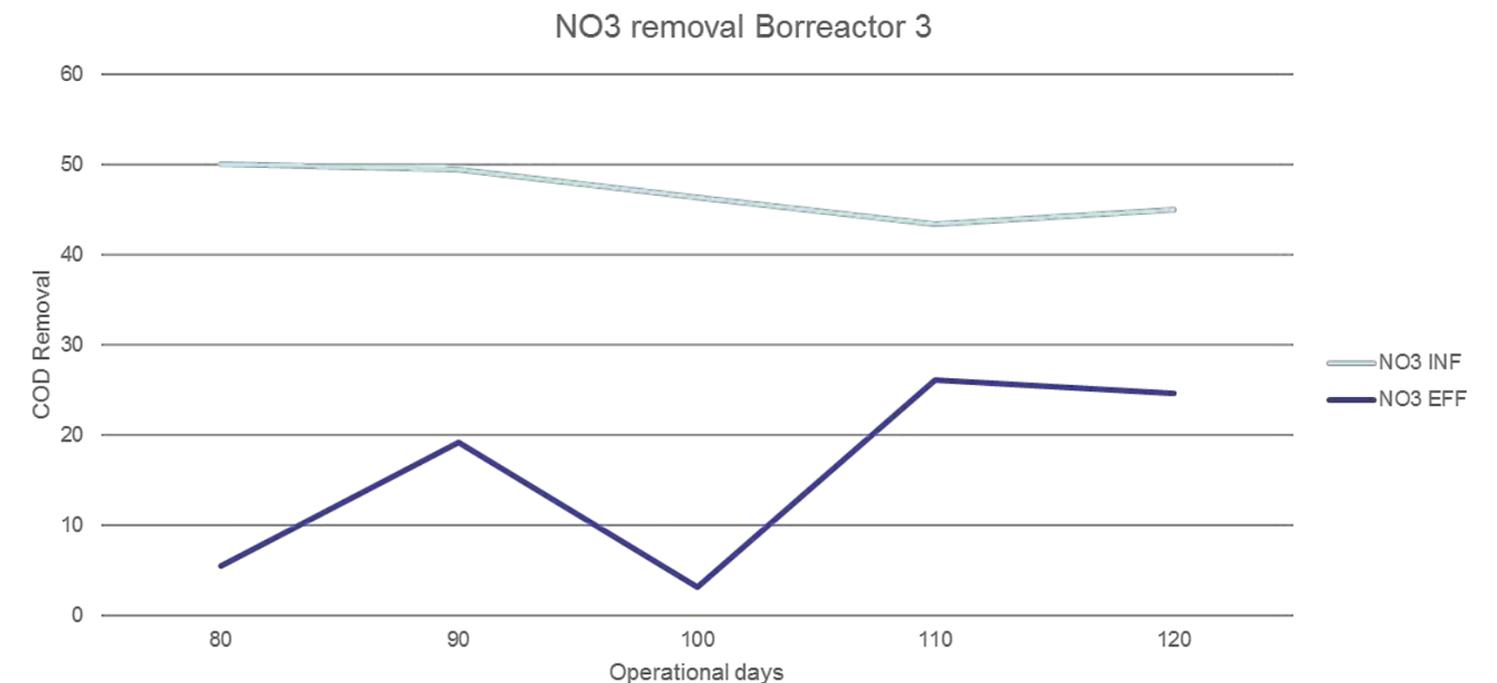
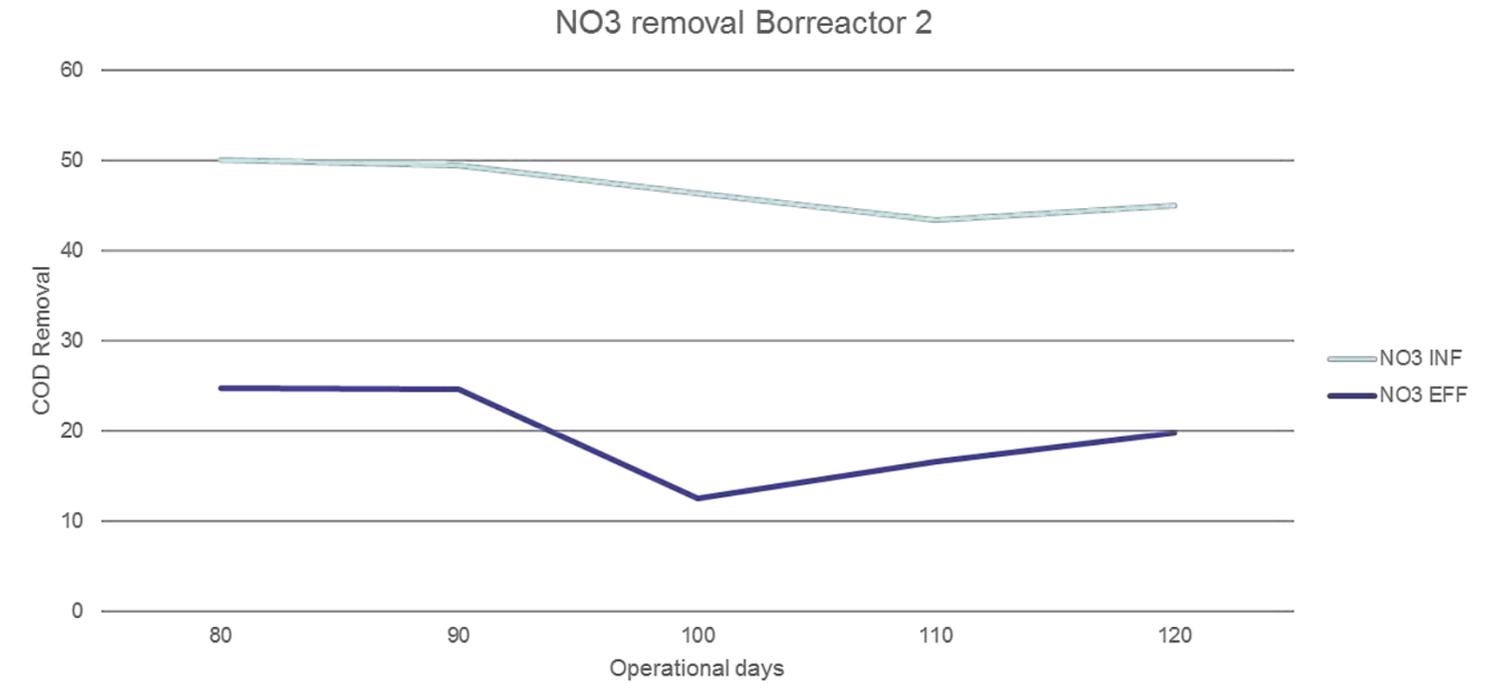
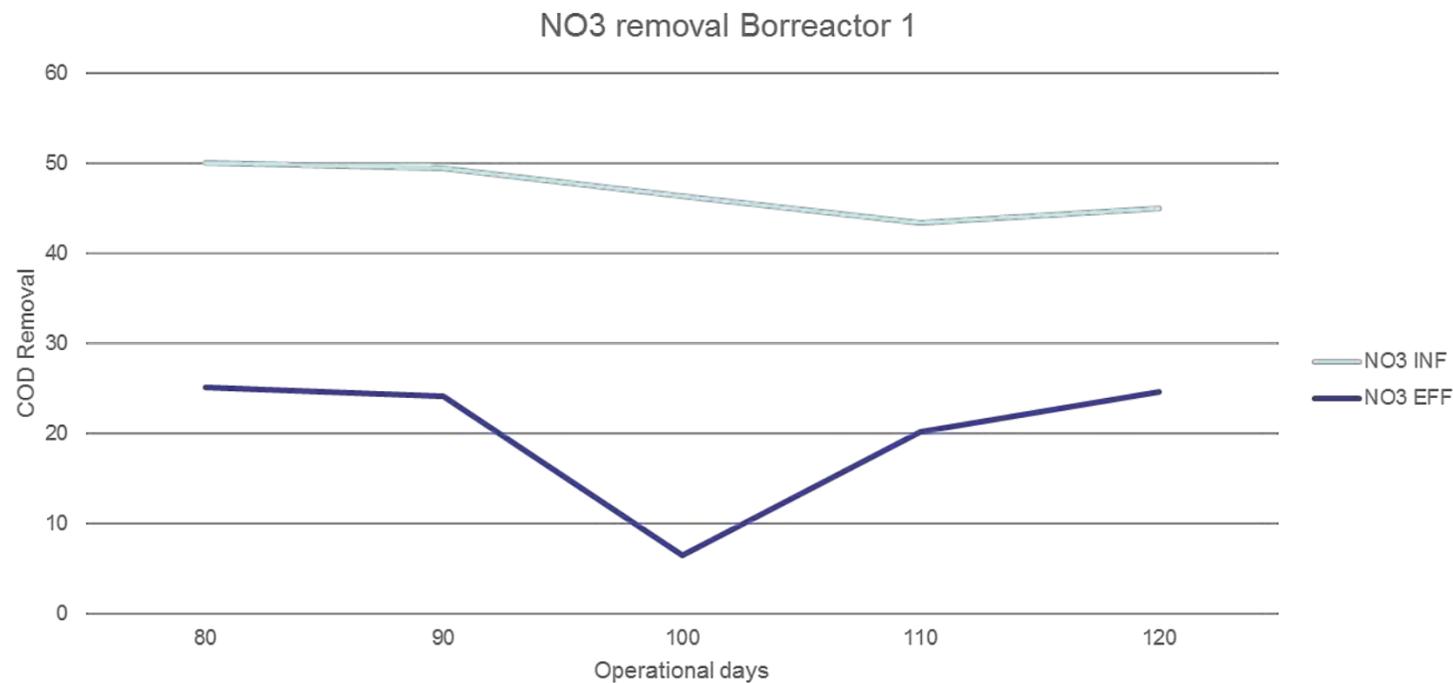
El Sistema presenta un rendimiento por encima del 95% en eliminación de materia orgánica.



6. RESULTADOS: RENDIMIENTOS DEL SISTEMA.



ELIMINACIÓN DE NITRATOS



Con la puesta en marcha de los 3 biorreactores, sistema presenta un rendimiento por encima del 60 % en eliminación de nitratos.

En una primera fase se llegó al **80 %**.



6. RESULTADOS: RENDIMIENTOS DEL SISTEMA.



BIOSEGURIDAD: RECUENTO DE UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS EN EL AGUA

Recuento a 24 Horas	Media colonias 37°C	Media colonias 22°C
Agua Entrada	110	≥300
Agua Salida Filtro	1	7
Mezcla 50/50	58	116

El agua a la salida del filtro de arena cuenta con menor presencia de bacterias que el agua subterránea.

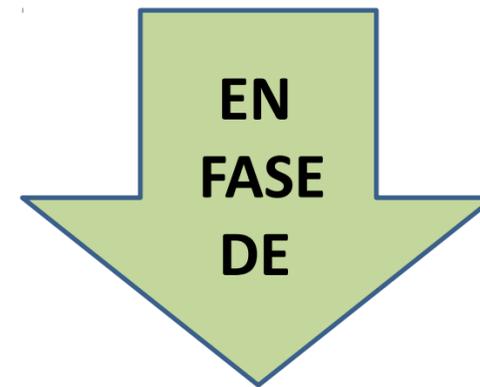
ESTUDIOS DE ECOTOXICIDAD: los realizados hasta ahora no han detectado ningún tóxico en el agua de salida del sistema biológico.



6. RESULTADOS: RENDIMIENTOS DEL SISTEMA.



**A PARTIR DE ESTOS RESULTADOS DE EFICIENCIA DEL SISTEMA,
RENDIMIENTO, AUSENCIA DE TOXICIDAD**



- Solicitud de Informe sanitario de “proyecto de nuevas instalaciones”. RD 70/2009-Reglamento de Vigilancia Sanitaria y Calidad del Agua de Consumo Humano de Andalucía.
- Estudio de patentabilidad del sistema.
- Análisis económico y análisis de ciclo de vida, comparando Ósmosis inversa y sistema Ecogranularwater.



7. RESULTADOS: ANÁLISIS ECONÓMICO.

Planta de ósmosis
inversa

Vs.

Planta biológica
-ECOGRANULARWATER-

Análisis Coste Efectividad



€/m³



7. RESULTADOS: ANÁLISIS ECONÓMICO.



DIRECTIVA MARCO DEL AGUA

- Costes financieros (I): operativos.
- Costes financieros (II): inversión en infraestructura
- Costes del recurso (de oportunidad) y costes ambientales



7. RESULTADOS: ANÁLISIS ECONÓMICO.



COSTES FINANCIEROS (I). Operativos

Conceptos	Tecnología				Variación porcentual del coste en €/m ³ de agua entre ambas plantas
	€/m ³		Estructura porcentual (%)		
	Ósmosis Inversa	Planta ECW	Ósmosis Inversa	Planta ECW	
Personal	0,0893	0,2228	8,84	33,74	149,50
Energía	0,3856	0,0701	38,19	10,61	-81,82
Reactivos	0,4231	0,3675	41,90	55,65	-13,14
Membranas y filtros	0,1117	0,0000	11,06	0,00	-100,00
TOTAL	1,0097	0,6604	100,00	100,00	-34,59



7. RESULTADOS: ANÁLISIS ECONÓMICO.



COSTES FINANCIEROS (II). Operativos + **Inversión***

Conceptos	Tecnología				Variación porcentual del coste en €/m ³ de agua entre ambas plantas
	€/m ³		Estructura porcentual (%)		
	Ósmosis Inversa	Planta ECW	Ósmosis Inversa	Planta ECW	
Personal	0,0893	0,2228	7,69	28,52	149,50
Energía	0,3856	0,0701	33,19	8,97	-81,82
Reactivos	0,4231	0,3675	36,41	47,04	-13,14
Membranas	0,1117	0,0000	9,61	0,00	-100,00
CAE de la planta de tratamiento	0,1522	0,1208	13,10	15,46	-20,63
TOTAL	1,1619	0,7812	100,00	100,00	-32,77

Inversión

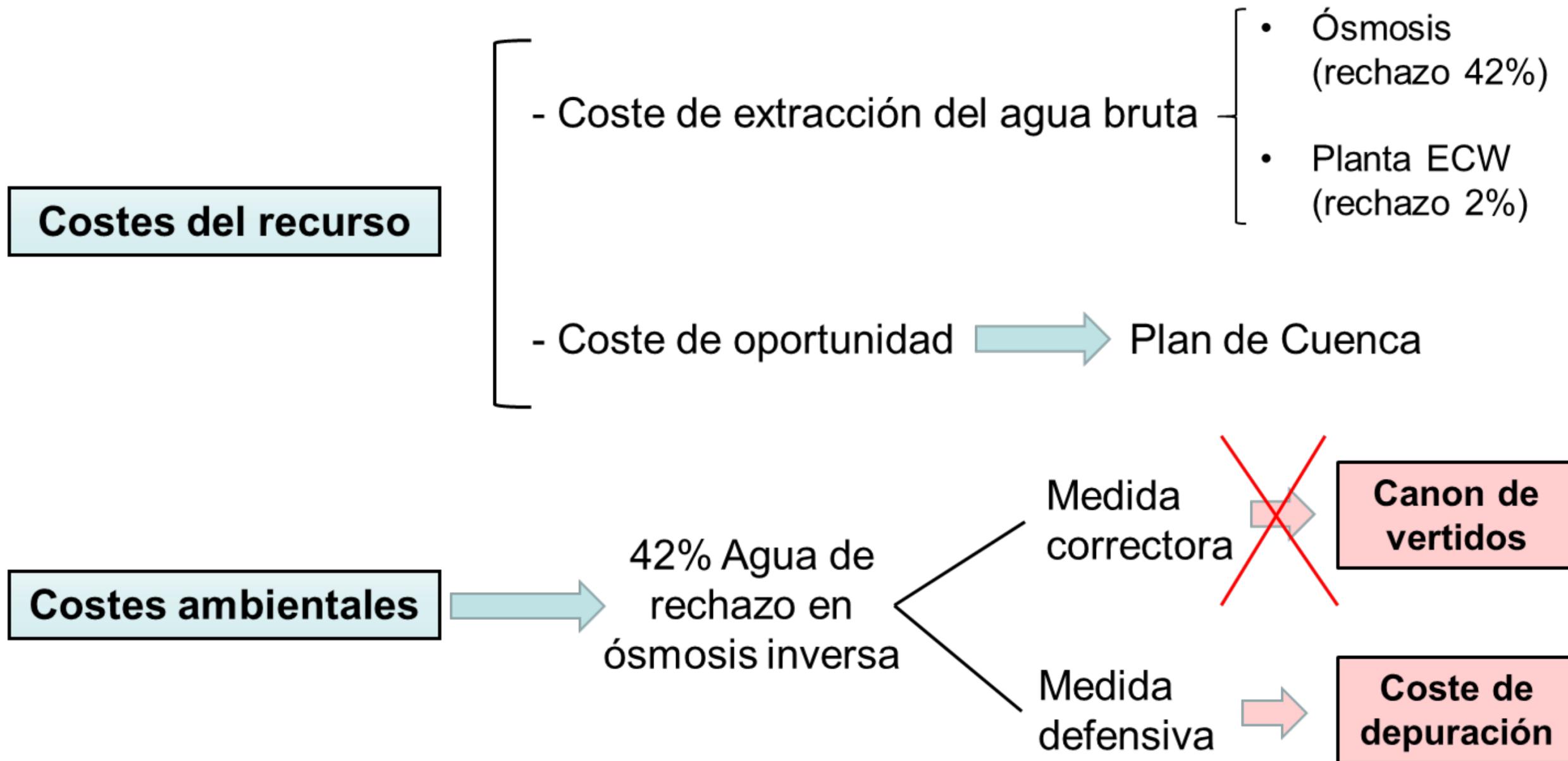


**Planta ECW = 500 Hab*



7. RESULTADOS: ANÁLISIS ECONÓMICO.

COSTES DEL RECURSO Y AMBIENTALES. Financ. + **Recurso + ambientales**





7. RESULTADOS: ANÁLISIS ECONÓMICO.



COSTES DEL RECURSO Y AMBIENTALES. Financ. + **Recurso + ambientales**

Conceptos	Tecnología				Variación porcentual del coste en €/m ³ de agua entre ambas plantas
	€/m ³		Estructura porcentual (%)		
	Ósmosis Inversa	Planta ECW	Ósmosis Inversa	Planta ECW	
Personal	0,0893	0,2228	5,95	28,06	149,496
Energía	0,3856	0,0701	25,71	8,83	-81,821
Reactivos	0,4231	0,3675	28,21	46,29	-13,141
Membranas	0,1117	0,0000	7,45	0,00	-100,000
CAE de la planta de tratamiento	0,1522	0,1208	10,15	15,22	-20,631
Coste por bombeo de agua bruta	0,0599	0,0037	3,99	0,47	-93,823
Coste de oportunidad	0,1464	0,0090	9,76	1,13	-93,852
Costes ambientales	0,1315	0,0000	8,77	0,00	-100,000
TOTAL	1,4997	0,7939	100,00	100,00	-47,063



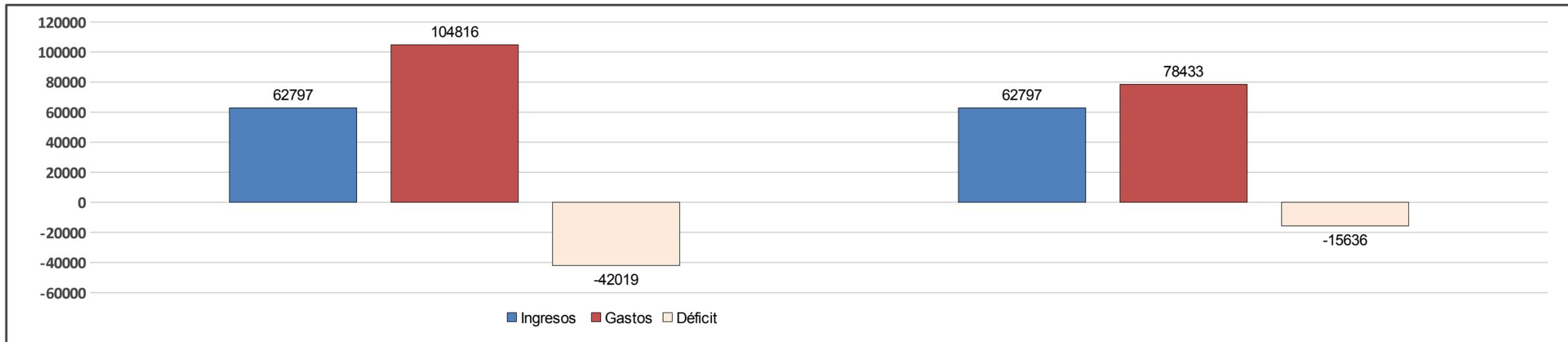
7. RESULTADOS: ANÁLISIS ECONÓMICO.

Impacto en el equilibrio financiero del servicio de aguas en Torre Cardela

Ingresos y gastos del servicio de aguas en Torre Cardela (en euros)

Planta de ósmosis. TR = 60%

Planta de ECW. TR = 85%



Estimación del ahorro en costes del servicio de agua de Torre Cardela

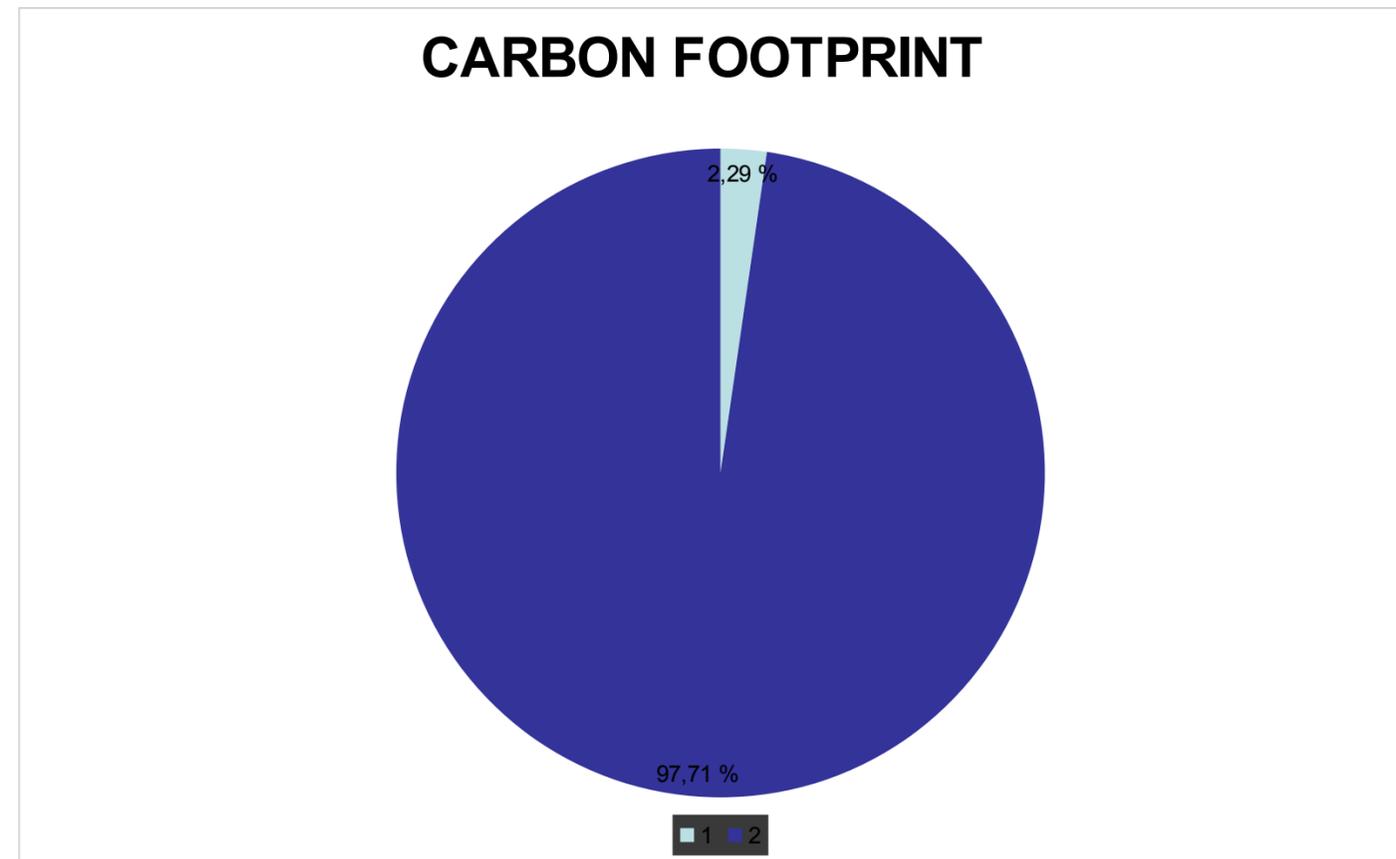
	Costes presupuestados con la planta de ósmosis inversa	Costes estimados con la planta Ecogranularwater	Ahorro de costes
Ahorro en costes de energía en la planta de ósmosis	8.181,51	1.859,43	6.322,08
Ahorro en costes de energía en pozos	20.383,83	1.258,92	19.121,91
Ahorro en costes de reactivos	7.143,04	6.204,36	938,68
Ahorro en costes ambientales (vertidos)	1,648,81	0,00	1.648,81
TOTAL	37.354,19	9.322,71	28.031,48



8. RESULTADOS: ANÁLISIS CICLO DE VIDA.

COMPARACIÓN ENTRE INFRAESTRUCTURAS (HUELLA DE CARBONO)

Inputs	CARBON FOOTPRINT (kg CO2 eq)
INFRAESTRUCTURA (ósmosis)	1,51E-04
INFRAESTRUCTURA (ecogranularwater)	6,42E-03





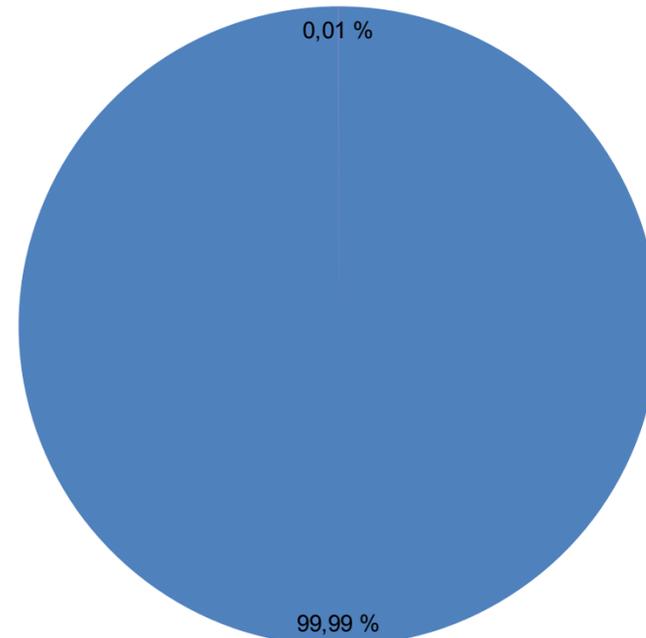
8. RESULTADOS: ANÁLISIS CICLO DE VIDA.

COMPARACIÓN INFRAESTRUCTURA-PRODUCCION DE LA PLANTA DE OSMOSIS (HUELLA DE CARBONO)

Inputs	CARBON FOOTPRINT (kg CO2 eq)
Proceso Producción (osmosis)	1,02E+00
Infraestructura (osmosis)	1,51E-04

TOTAL 1,02E+00

CARBON FOOTPRINT



■ Proceso Producción (osmosis) ■ Infraestructura (osmosis)

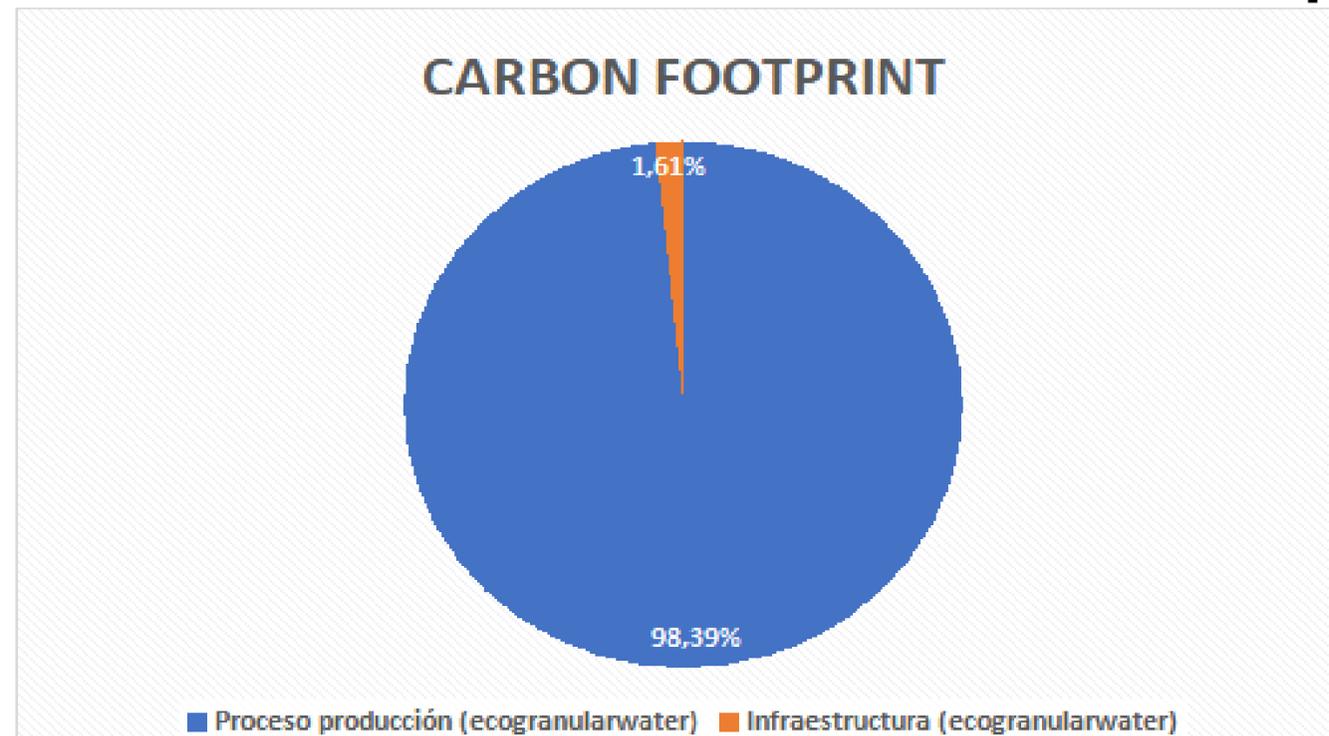


8. RESULTADOS: ANÁLISIS CICLO DE VIDA.

COMPARACIÓN ENTRE INFRAESTRUCTURA Y PRODUCCIÓN DE LA PLANTA ECOGRANULARWATER (HUELLA DE CARBONO)

Inputs	CARBON FOOTPRINT (kg CO2 eq)
Proceso producción (ecogranularwater)	3,92E-01
Infraestructura (ecogranularwater)	6,42E-03

TOTAL 3,98E-01

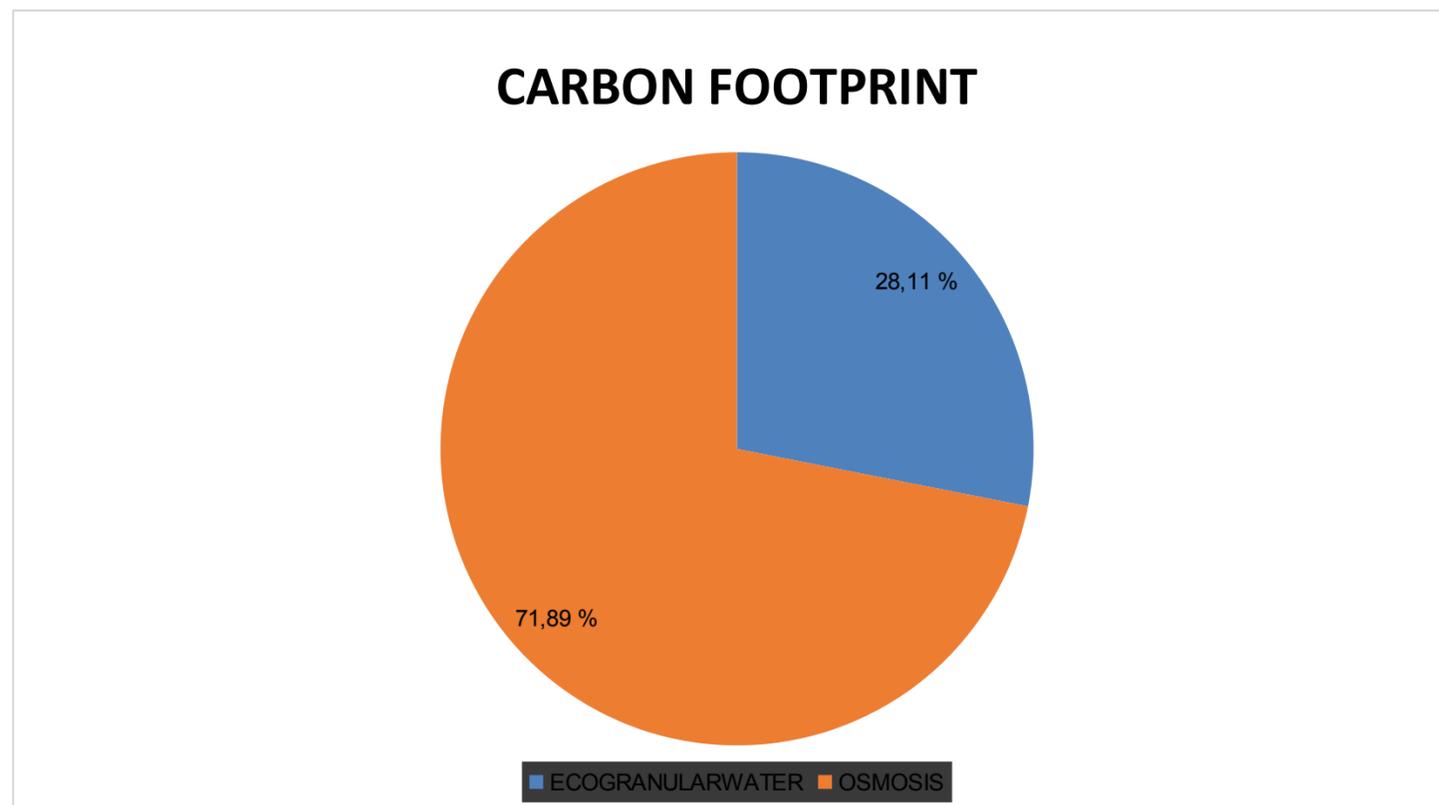




8. RESULTADOS: ANÁLISIS CICLO DE VIDA.

COMPARACIÓN ENTRE PLANTAS (HUELLA DE CARBONO) Infraestructura + proceso de producción

Inputs	CARBON FOOTPRINT (kg CO2 eq)
PROCESO FÍSICO (ósmosis)	1,02E+00
PROCESO BIOLÓGICO (ecogranularwater)	3,980E-01



OI > 2,5ECW

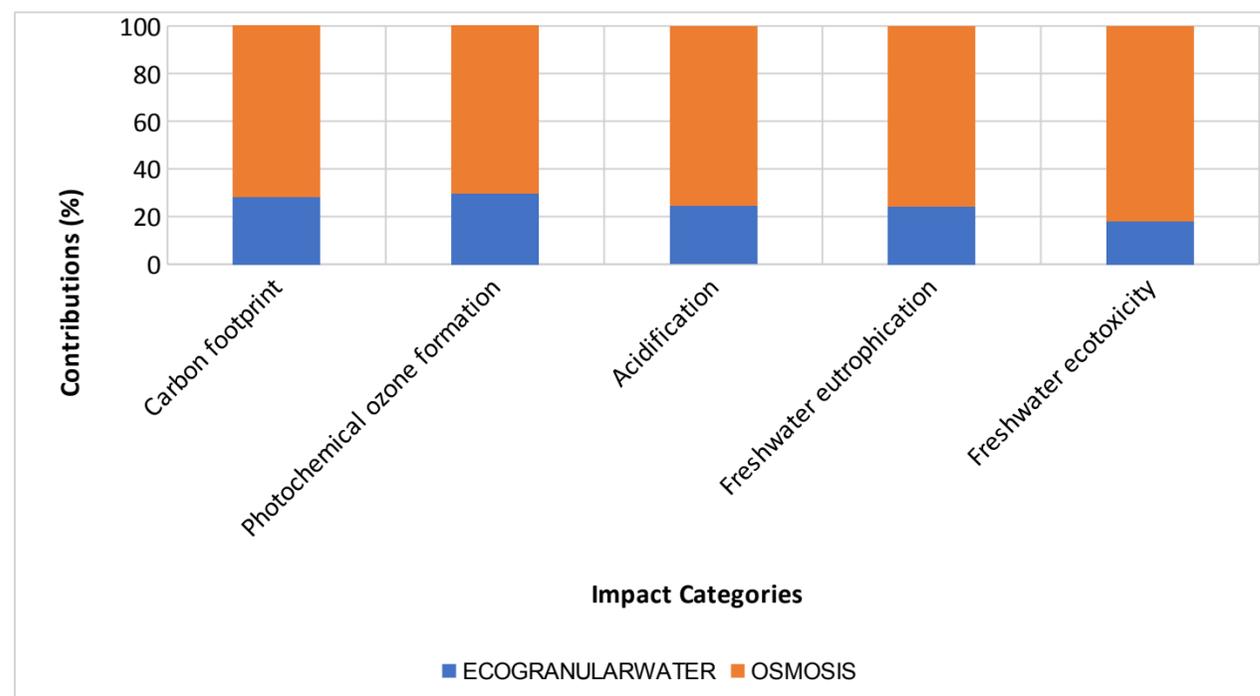


8. RESULTADOS: ANÁLISIS CICLO DE VIDA.

COMPARACIÓN ENTRE PLANTAS (HUELLA AMBIENTAL)

Infraestructura + proceso de producción

Impacts per m3 Water		PROCESO FÍSICO (ósmosis)	PROCESO BIOLÓGICO (ecogranularwater)
Carbon footprint	kg CO2 eq	1,02E+00	4,80E-01
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,27E-03	1,63E-03
Acidification	molc H+ eq	8,17E-03	3,36E-03
Freshwater eutrophication	kg P eq	3,34E-04	1,32E-04
Freshwater ecotoxicity	CTUe	2,41E+01	7,24E+00

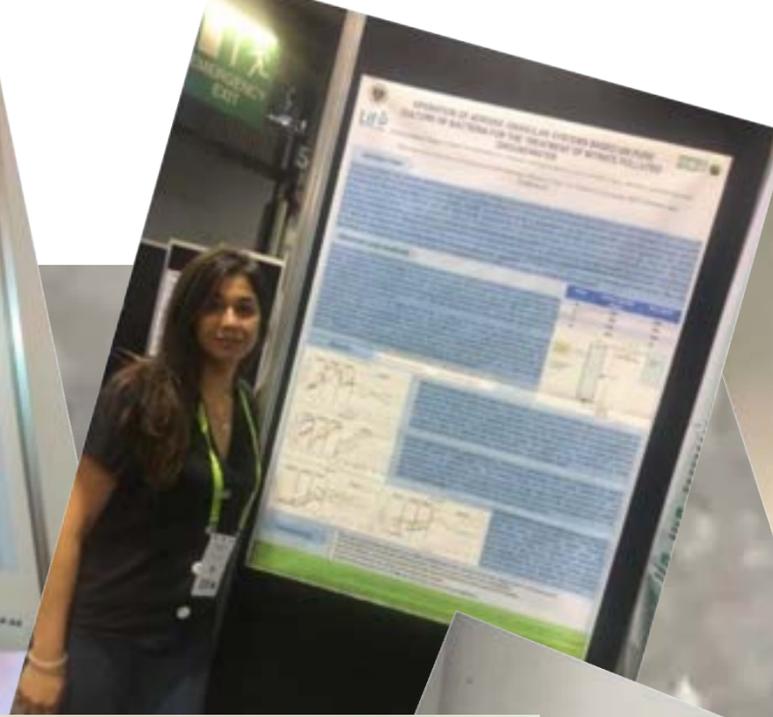
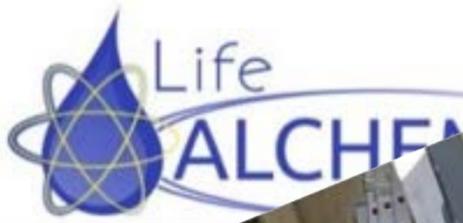




11. CONCLUSIONES.



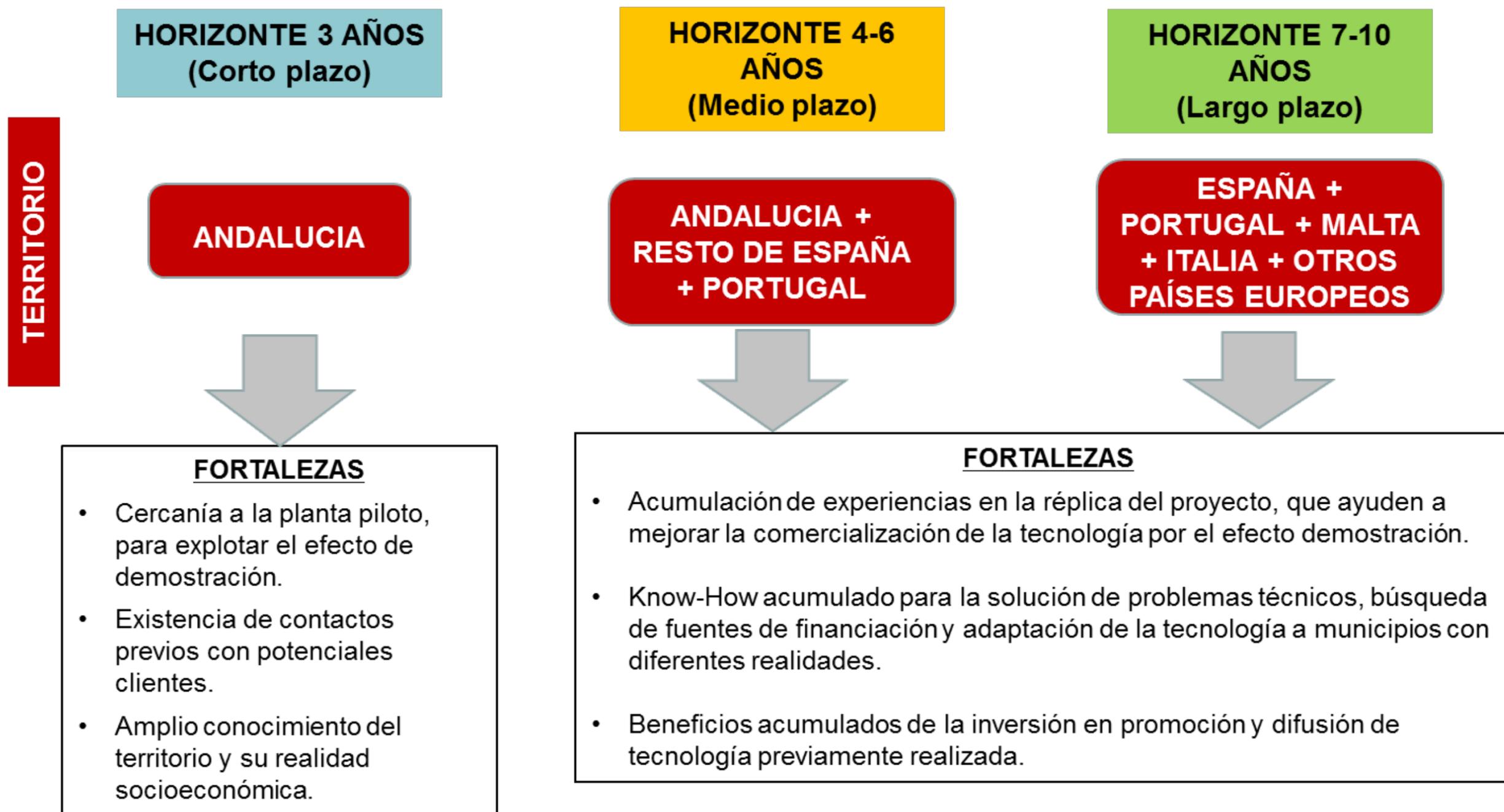
- Sistema biológico eficiente en la eliminación de nitratos.
- Costes de explotación por debajo de la ósmosis inversa.
- Menor huella ambiental y de carbono que la ósmosis inversa.
- Menor consumo energético.
- Menor consumo de agua.
- Sistema versátil, ampliable, adaptable a las necesidades de la población.
- Ausencia de ecotoxicidad en el proceso.
- Iniciativa de economía circular: menor consumo de agua embotellada, reducción del consumo energético, reducción de vertidos de salmuera.



MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN



9. PLAN DE NEGOCIO.





9. PLAN DE NEGOCIO.



IDENTIFICACIÓN DE SECTORES ECONÓMICOS QUE PODRÍAN BENEFICIARSE DE LA TECNOLOGÍA APARTE DEL ABASTECIMIENTO DE LA POBLACIÓN

Distribución en % del consumo de agua suministrada por red, según actividades empresariales





10. ACCIONES DIVULGATIVAS.



PÁGINA WEB: www.lifeecogranularwater.com

The screenshot shows the website interface for 'Life ECOGRANULARWATER'. On the left is a navigation menu with items: INICIO, PROYECTO, PARTICIPANTES, NETWORKING, NOTICIAS, PUBLICACIONES / DESCARGAS, CONTACTO, and SOBRE LIFE. Below the menu is a button 'Suscríbete a nuestro BOLETÍN' and social media icons for Facebook and LinkedIn. The main content area is titled 'NOTICIAS Y EVENTOS' and features three news items:

- Seminario Técnico del Proyecto LIFE ALCHEMIA**
ON: 05/20/2021
La Diputación de Almería es uno de los socios de este proyecto. Fecha: 17 de junio 2021, on-line.
[VER / MORE](#)
- Primera toma de contacto por parte de la autoridad sanitaria**
ON: 04/15/2021
Inspectores de la Delegación Territorial de Salud de Granada han realizado una primera visita a Torre Cardela para conocer de primera mano el sistema biológico instalado en la estación de tratamiento de agua potable para la eliminación de nitratos del agua de consumo humano.
[VER / MORE](#)
- El sistema muestra rendimientos de eliminación de nitratos alrededor del 80 %**
ON: 03/05/2021
Los resultados de la puesta en marcha de la planta de tratamiento biológico se encuentran publicados en la revista científica Journal of Water
[VER / MORE](#)
- Nuevas entrevistas para el video del proyecto**
ON: 02/15/2021
El pasado 4 de febrero, se grabaron nuevas entrevistas a agentes clave del proyecto LIFE ECOGRANULARWATER que formarán parte del video final del proyecto.



10. ACCIONES DIVULGATIVAS.

ENVÍO DE BOLETINES PERIÓDICOS





BOLETÍN / Septiembre 2020

Octavo Boletín Informativo con los Avances del Proyecto LIFE ECOGRANULARWATER



NEWSLETTER / September 2020

Eighth Newsletter with the Advances of the LIFE ECOGRANULARWATER Project



Los microorganismos siguen confinados en el biorreactor, eliminando nitratos.
07/05/2020

La eficiencia del sistema en la primera fase del prototipo ha quedado demostrada. El sistema granular elimina el 80% de los nitratos presentes en el agua.
[Ver noticia](#)

Microorganisms continue confined in the bioreactor, removing nitrates.
07/05/2020

In the first phase of the prototype, the efficiency of the system has been demonstrated. The granular system removes by 80% of the nitrates dissolved in the water.
[See more](#)





BOLETÍN / Abril 2021

Noveno Boletín Informativo con los Avances del Proyecto LIFE ECOGRANULARWATER



NEWSLETTER / April 2021

Ninth Newsletter with the Advances of the LIFE ECOGRANULARWATER Project



MICROBIOS PURIFICADORES

LIFE ECOGRANULARWATER presente en la pequeña pantalla.
09/10/2020

ConCiencia, el programa de Canal Sur, ha dedicado un espacio a este interesante proyecto que afecta a un bien tan básico como es el agua potable.
[Ver noticia](#)

LIFE ECOGRANULARWATER present on the small screen.
09/10/2020

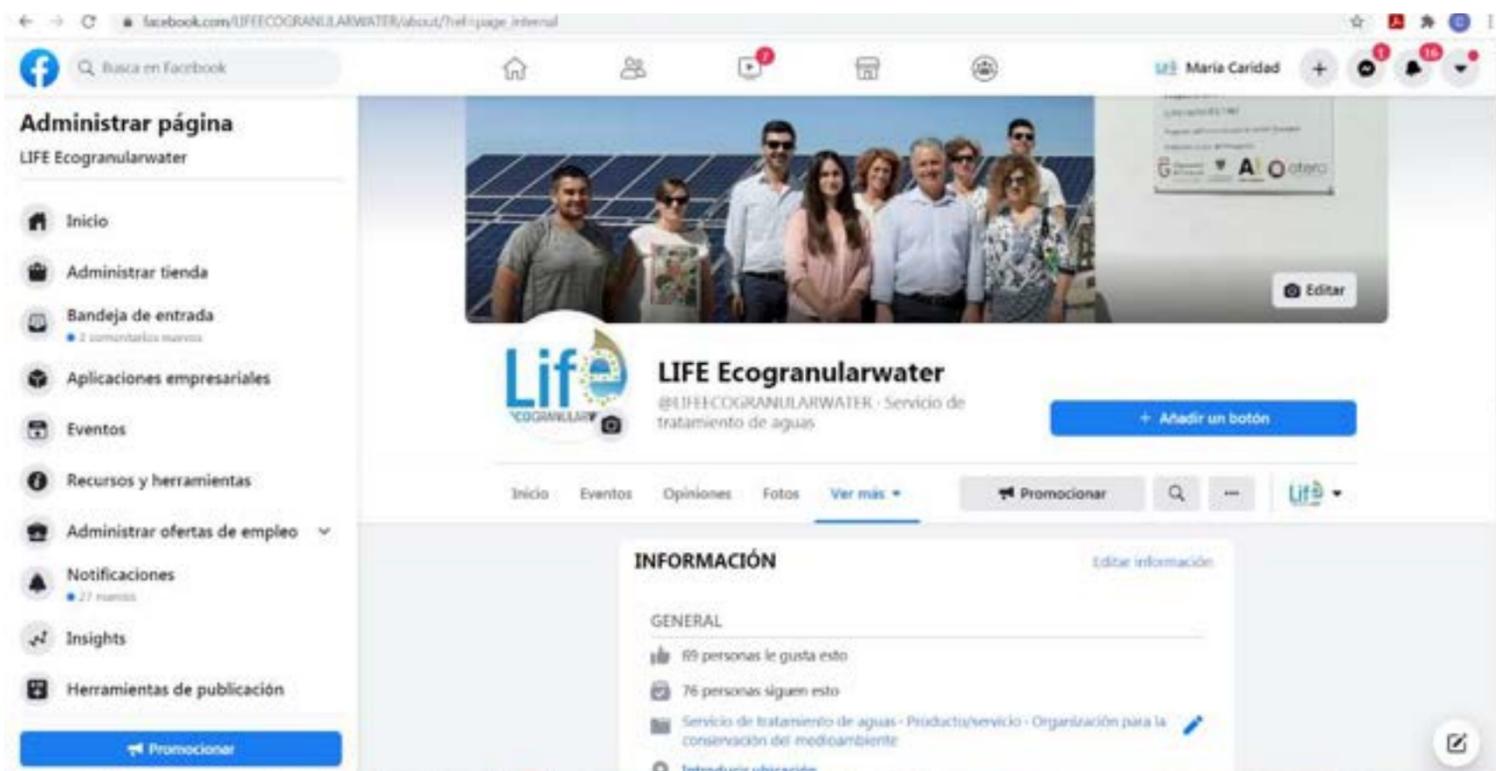
ConCiencia, the Canal Sur programme, has dedicated a space to this interesting project that affects such a basic good as drinking water.
[See more](#)



10. ACCIONES DIVULGATIVAS.



REDES SOCIALES: FACEBOOK Y LINKEDIN





10. ACCIONES DIVULGATIVAS.

AUDIOVISUALES: 2 SPOTS Y 2 VÍDEOS DOCUMENTALES



Spot divulgativo proyecto LIFE ECOGRANULARWATER.

Proyecto demostrativo de un sistema de potabilización del agua contaminada por nitratos basado en métodos biológicos. Utilización de sistema granular aerobio.



Spot LIFE ECOGRANULARWATER.

Presentación general del proyecto LIFE ECOGRANULARWATER, invitando a participar en la Jornada Técnica del proyecto que tuvo lugar el 10 de octubre de 2019 en la Diputación Provincial de Granada.





10. ACCIONES DIVULGATIVAS.

NETWORKING CON OTROS PROYECTOS / DIFUSIÓN TÉCNICA EN SEMINARIOS Y CONGRESOS



[CENTRO]
[TECNOLÓGICO] **CARTIF**



DIPUTACIÓN DE ALMERÍA



TALLINN UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY



UNIVERSITY OF TARTU



www.lifealchemia.eu



With the contribution of the
LIFE Programme of the European Union