



HANDBOOK OF THE ON-LINE SEMINAR **NATURAL RADIOACTIVITY IN DRINKING WATER FOR HUMAN CONSUMPTION**

17th June 2021 - Almería (Spain)



HANDBOOK OF THE ON-LINE SEMINAR
**NATURAL RADIOACTIVITY IN DRINKING
WATER FOR HUMAN CONSUMPTION**



17th June 2021. Almería (Spain)

Contents

FOREWORD	1
ACKNOWLEDGEMENTS.....	3
LIFE ALCHEMIA PROJECT	4
ON-LINE SEMINAR NATURAL RADIOACTIVITY IN DRINKING WATER FOR HUMAN CONSUMPTION.....	5
SEMINAR PROGRAMME	6
ABSTRACTS.....	8
Natural radioactivity problem in drinking water in spain	9
Legal requirements for underground water treatment facilities.....	12
Experiences in the elimination of natural radioactivity in small towns: LIFE ALCHEMIA project	16
Results of the LIFE ALCHEMIA project: general considerations about the HMO pilot plant in Viimsi (Estonia).....	18
Results of the LIFE ALCHEMIA project: radionuclide removal at the HMO pilot plant in Viimsi (Estonia)	20
Results of the LIFE ALCHEMIA project: pilot plants in Almeria (Spain).....	23
Demonstration project for groundwater treatment with an innovative system based on aerobic granular technology	26
SPEAKERS' PRESENTATIONS.....	29

Foreword

The on-line seminar "*Natural radioactivity in drinking water for human consumption*" was held in the framework of the LIFE ALCHEMIA project (LIFE 16 ENV/ES/000437).

This project is the result of the collaboration between different entities located in areas of the European Union facing the problem of natural radioactivity in groundwater: the province of Almería (Spain) and the municipality of Viimsi (Estonia).

Natural radionuclides from the uranium and thorium decay chains are transferred to groundwater, which has higher concentrations of natural radioactivity than surface water. This is a consequence of the contact time between the water and the radionuclides present in the ground, their concentration depending on the geological characteristics of the subsoil. The main problems related to natural radioactivity in water come from igneous and metamorphic rocks, such as granite or slate.

Currently, reverse osmosis is the most widely used advanced filtration treatment to remove natural radioactivity from water, however, it has associated a high water and energy footprint, generating high volumes of reject water and complex management of its consumables. There is a need for more environmentally and economically cost-effective treatment technologies in order to comply with the parametric values set out in Council Directive 2013/51/EURATOM, laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption.

The LIFE ALCHEMIA project seeks a solution to the existing problem. On the one hand, by demonstrating alternative technologies based on filter beds for the elimination of natural radioactivity, and on the other, by reducing the concentrations of natural radionuclides present in NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials), in order to avoid their management as radioactive waste when they have reached the end of their useful life. The expected results and environmental benefits are:

- Reduce the concentration of radionuclides in drinking water by 75-90%.
- Reduce the concentration of radionuclides in NORM waste by 90%.
- Reduce operating costs, environmental impact and greenhouse gases by 80%.
- To have a cost-benefit analysis of the different treatment technologies available.
- Replicating the project solutions to other areas of the EU.
- Enable authorities to increase competitiveness and improve environmental legislation for better management of radioactivity.

For this purpose, four pilot plants have been installed, three of them located in the province of Almería (Spain) and one in Viimsi (Estonia), which are being exploited with different operating strategies to prevent the generated NORM waste from being managed by a different route than the conventional one (radioactive waste).

During the on-line seminar broadcast from Almería (Spain), the results obtained to date from each of the pilot plants of the project were presented, as well as the different operating conditions studied during their exploitation time. This seminar presented to various professionals in the water sector, alternative treatment systems to remove natural radioactivity in a more environmentally and economically sustainable way.

This handbook provides an overview of the on-line seminar held in Almería by compiling the abstracts received by the invited speakers and their presentations. This document contains the programme of the day as well as the presentations made by the invited speakers at the seminar.

Seminar presentations are available for download through the LIFE ALCHEMIA project website:
<https://www.LIFE ALCHEMIA.eu/en/seminars-and-events/>

Acknowledgements

The training seminar "*Natural radioactivity in drinking water for human consumption*" was organised by the University of Almería and the Provincial Government of Almería. The event was financially supported by the LIFE ALCHEMIA project (LIFE16 ENV/ES/000437).

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

LIFE ALCHEMIA Project

The LIFE ALCHEMIA project, " Towards a smart & integral treatment of natural radioactivity in water provision services ", aims to demonstrate alternative technologies for the elimination of natural radioactivity present in groundwater intended for human consumption, ensuring compliance with the legislation in force and minimising the concentration of natural radionuclides present in the NORM waste (Naturally Occurring Radioactive Materials) associated with this type of facilities so that they can be managed by conventional routes.

The project is being funded by the LIFE programme of the European Union and will be developed between October 2017 and September 2021. Its consortium is integrated by the CARTIF Technology Centre as project coordinator, as well as the following entities: the Provincial Government of Almería, the Solar Energy Research Centre (CIESOL) of the University of Almería, the Tallinn University of Technology, the University of Tartu and Viimsi Vesi Ltd. (Estonian public water company).

The objectives of the LIFE ALCHEMIA project are:

- To demonstrate the technical and economic feasibility of using optimised bed filters in Spain and hydrous manganese oxide (HMO) in Estonia for the removal of natural radioactivity in drinking water.
- Reducing the concentration of radionuclides in NORM waste.
- Replicating the project solutions to other areas of the EU.
- Encourage the transfer of the project solutions to other areas of the EU.
- To promote compliance with Directive 2013/51/EURATOM on radioactive substances in water intended for human consumption.

More information on the project activities and results can be found on the website of the project: <https://www.LIFEALCHEMIA.eu/>

On-line seminar Natural radioactivity in drinking water for human consumption

The on-line seminar "*Natural radioactivity in drinking water for human consumption*" is organised within the framework of the European project LIFE ALCHEMIA, and took place on 17th June 2021 in Almería, Spain.

The main objective was to give visibility to the current problems related to the elimination of natural radioactivity in drinking water treatment plants (DWTPs) that filter groundwater, as well as to the management of NORM waste associated with this type of installation and the legal requirements that their owners must comply with at national level.

In addition, the experiences acquired after the installation and operation of 15 municipal DWTPs using advanced filtration systems by reverse osmosis for the elimination of natural radioactivity in small towns in the province of Almería were presented, as well as the results obtained during the months of operation and exploitation of the LIFE ALCHEMIA pilot plants in Estonia and Spain.

In conclusion, another problem related to the treatment of groundwater intended for human consumption was addressed through the LIFE ECOGRANULARWATER project, which aims to demonstrate innovative technologies based on biological methods for the elimination of nitrates, phosphates, pesticides and other pollutants.

This seminar was addressed to all professionals of the water sector related to drinking water treatment, technicians and operators of DWTPs, water suppliers and managers, drinking water treatment companies, Public Administrations, as well as policy makers in the field of environment and water policies. A total of 125 registration requests were received, reaching up to 85 connected participants during the broadcasting of the event.

Seminar programme

Natural radioactivity in water for human consumption

17th June 2021 – On-line seminar

Registration: <https://www.LIFE ALCHEMIA.eu/seminario-online-17-junio-2021/>

9:00 – 9:30 Opening act

9:30 – 10:00 Natural radioactivity problem in drinking water in Spain

Mr. Antonio Baeza Espasa. Technical Director of the Environmental Laboratory of the University of Extremadura.

10:00 – 10:30 Legal requirements for underground water treatment facilities

Ms. Beatriz Robles Atienza. Technician of the Natural Radiation Area of the Spanish Nuclear Safety Board.

10:30 – 11:00 Management of NORM wastes: water treatment facilities

Mr. Juan Carlos Mora Cañadas. Environmental Department of CIEMAT.

11:00 – 11:30 Experiences in the removal of natural radioactivity in small towns: LIFE ALCHEMIA Project

Mr. Francisco Javier Martínez Rodríguez. Hydraulics Infrastructure Service of Development, Environment and Water Area of the Almería Provincial Government.

11:30 – 12:00 Break

12:00 – 12:30 Results of the LIFE ALCHEMIA Project: general considerations and radionuclide removal at the HMO pilot plant in Viimsi (Estonia). (Simultaneous translation)

Mr. Juri Bolobajev. Researcher in the Materials and Technology Faculty of the Technological University of Tallinn (Estonia).

Ms. Siiri Salupere. Researcher in the Science and Technology Faculty of the University of Tartu (Estonia).

12:30 – 13:00 Results of the LIFE ALCHEMIA Project: pilot plants in Almería (Spain)

Mr. José Luis Casas López. Professor of the Chemical Engineering Department and Researcher of the Solar Energy Research Center of the University of Almería.

13:00 – 13:30 LIFE ECOGRANULARWATER - Demonstration project for groundwater treatment with an innovative system based on aerobic granular technology

Mr. Francisco Javier García Martínez. Manager of the Integral Water and Energy Cycle Service of the Granada Provincial Government.

13:30 – 14:00 Discussion and Conclusion

European LIFE project



"With the contribution of the LIFE financial instrument of the European Community"

Abstracts

NATURAL RADIOACTIVITY PROBLEM IN DRINKING WATER IN SPAIN

Antonio Baeza Espasa¹ and Alejandro Salas García¹

¹ Environmental Radioactivity Laboratory of the University of Extremadura, LARUEX / University of Extremadura. Department of Applied Physics. Faculty of Veterinary Medicine. Avda. de la Universidad, s/n. 10003, Cáceres (Spain). ymiralle@unex.es.

Abstract

This presentation is developed in four sections: the regulations that establish the activities and reference doses to allow consumption; a brief review of the radioactive content present in drinking water in our country; how to proceed if these reference values are exceeded. In particular, the possible treatments to remove high radioactive contents from water before its consumption are summarised; and finally, the possible implications of the use of these treatments are reviewed.

Regulations applicable to the radioactive content of drinking water

In 2013, it was enacted the Directive EURATOM nº. 51, which establishes the requirements for the protection of the health of the population with regard to radioactive substances in water intended for human consumption. This Directive was transposed into our legislation in 2016, by Royal Decree 314/2016. This RD establishes that water for human consumption must undergo an initial assessment, relatively quick and comparatively inexpensive, of its overall radioactive content, specifically: the activity levels of radon and tritium and the dose due to ingestion, based on measurement of the total alpha and residual beta activity indices. In the case that these parameters do not exceed the parametric reference values established in the aforementioned RD, respectively: 500, 100, 0,1 and 1,0 Bq/l, the dose per ingestion may be considered to be less than 0,1 mSv/y, and no additional radiological investigations should be carried out. If any of these parameters exceeds the aforementioned reference value, RD 314/2016 establishes the list of radionuclides whose activity must be measured to check whether or not the aforementioned dose per ingestion of 0,1 mSv/y is exceeded.

The most frequent component of the presence of radioactivity in water is due to the dissolution of the radioactive contents naturally present in soils. In fact, as shown in the MARNA map drawn up by the Nuclear Safety Council, there are several areas in Spain with soils with significantly high naturally occurring radioactive contents. Groundwater flowing through these areas has a significant probability of incorporating non-negligible activities of alpha-emitting radionuclides, such as: ²¹⁰Po, ²²⁶Ra, ²³⁴U and ²³⁸U. For this reason, it is not uncommon to find drinking water, mainly of underground origin, with total alpha activity levels above 0,1 Bq/l.

Detected levels for naturally occurring radionuclides in drinking water

We have compiled part of the results of the drinking water analyses requested by different companies throughout the Iberian Peninsula for the years 2020 and 2021, not knowing in all of them the specific origin of the water. Without trying to be a statistic that faithfully reflects the overall radiological status of these waters, the results of the 1299 samples tested indicate that: Only 5,8% of these have total alpha activity levels higher than 0,1 Bq/l. Without trying to be a statistic that faithfully reflects the overall radiological status of these waters, the results of the 1299 samples tested indicate that: Only 5,8% of these have total alpha activity levels higher than 0,1 Bq/l. All these waters were subjected to the spectrometric analyses indicated in RD 314/2016 and the dose per ingestion was calculated. The result is that the consumption of 12 of these waters, approximately 1% of the total of the waters analysed, would result in a dose per ingestion of more than 0,1 mSv/y. It is obvious that the extent of the problem: 12 supplies compared to the total number of those considered in the study is a tiny fraction. However, the most common rule for such supplies is that they feed relatively small populations, who have no other water resources and for whom alternative or technically sophisticated solutions are unfeasible.

Remedy actions for waters exceeding the reference level of dose per ingestion

Three types of remedial actions can be applied to water with levels above 0,1 mSv/y in order to significantly reduce this value before consumption. 1.- To act on the chemical reactions that take place in the coagulation and flocculation processes of making water drinkable, logically only applicable where this type of DWTPs exist. 2.- To act on the physical part of making water drinkable, replacing or incorporating new filtering systems. 3.- To implement reverse osmosis treatment for the making water with radiological problems drinkable. Despite the high cost of the water produced by this last procedure and its technical requirements, it is often the most widely used to solve these problems. On the other hand, our laboratory has experience in the two types of actions mentioned above (first and second sections).

By acting on the chemical reactions that make water drinkable, we have shown that by carrying out the coagulation process at pH = 6 for uranium and at pH ≥ 10 for radium, good removal of these radionuclides from water is achieved. The removal efficiency is almost independent of the reagents used and, on the contrary, is dependent on the chemical characteristics of the major elements present in the water. With regard to the adsorbents used, we have incorporated the use of manganese green sand, which has demonstrated for radium isotopes that: a) it has a high selective adsorption for radium; b) it has a very slow clogging; and c) it is relatively easy to desorb.

Implications of the application of these treatments

All of the aforementioned treatments manage to eliminate the natural radioactive content of the water to a greater or lesser degree of efficiency, but it does not disappear, but is transferred to another receptor medium. For this reason, the implementation of any of these treatments must be accompanied by an analysis of the radioactive waste generated, the possible use of

these media in which the radionuclides extracted from the water have been stored and the ease or not with which they can be transferred along the trophic chain.

Only two examples of the importance of valuing the waste generated are enough to illustrate this point. In the chemical part of the water treatment process, the extracted radionuclides accumulate in the sludges generated, which are often used as fertilisers or as amendments in certain soils. In the actions on the adsorbent filters for the elimination of radium, their activity in the filters for this radionuclide and for the radon it generates may significantly increase the dose levels due to external irradiation and inhalation received by the workers at these DWTPs.

LEGAL REQUIREMENTS FOR UNDERGROUND WATER TREATMENT FACILITIES

Beatriz Robles Atienza¹

¹Nuclear Safety Council. Subdirectorate of Environmental Radiation Protection, Natural Radiation Area. C/Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040, Madrid (Spain). beatriz.robles@csn.es.

Introduction

We define NORM materials as those whose radioactivity has a natural origin, but where some human activity has increased the potential for exposure compared to the unaltered situation (TRS-419 IAEA). These human activities may: produce an increase in the activity concentrations of the raw materials they use; change the exposure pathways or the number of people exposed; transport materials from one place to another by bringing to the surface radionuclides that were in the earth's crust; and increase the bioavailability of the radionuclides.

Exposure to natural sources is linked to radionuclides of the ^{238}U , ^{232}Th , ^{235}U chain and ^{40}K . The radionuclides of major radiological significance in the NORM industries are: ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb and ^{210}Po of the ^{238}U series; ^{224}Ra , ^{228}Th and ^{224}Ra of the ^{232}Th series; and ^{40}K .

NORM industries have a number of common characteristics, which have to be taken into account when carrying out exposure assessment studies for workers and the public in the surrounding area:

- In general, the main problem is the large quantities of raw materials, by-products and waste, in the order of millions of tonnes per year, which they use and produce.
- These are the same radionuclides that are ubiquitous in nature and therefore indistinguishable.
- The industrial processes to which the raw materials are subjected break the secular equilibrium of the natural chains and cause selective accumulations of radionuclides in the various products, waste and equipment (pipes, pumps, filters, etc.).
- There are no studies describing the situation prior to the start of the operation.
- The industries do not intend to use these materials with increased radioactivity concentrations.
- Usually the alteration in activity concentration leads to alteration in other chemical elements. Therefore, NORMs are often associated with other non-radioactive contaminants.

Current regulatory framework

Current Spanish legislation, and I stress the word current, as we are in the process of adapting our regulations to Directive 2013/59/EURATOM, is contained in the Regulation on Health Protection against Ionising Radiations (RHPIR). Furthermore, there is a Nuclear Safety Council Instruction, IS-33, a series of Safety Guides from the NSC and a Ministerial Order regulating the management of wastes generated in NORM Industries.

Article 62 of Title VII of the RHPIR on natural sources of radiation establishes that the owners of non-regulated work activities in which there are natural sources of radiation shall declare these activities to the competent authorities in the area of industry of the Autonomous Communities in whose territory these work activities are carried out and shall perform the necessary studies in order to determine whether there is a significant increase in the exposure of the workers or members of the public that may not be considered negligible from the point of view of radiological protection.

This Title VII was complemented with Instruction IS-33, which establishes the work activities that should be the object of study; the contents of the different studies; the dose values for workers for which exceedance requires the application of corrective measures in the NORM industries; the concentrations of ^{222}Rn in workplaces and dwellings and the criteria for the application of radiation protection measures in accordance, totally or partially, with Titles II, III, IV and V. Figure 1 summarises the radiological criteria for both NORM industries and workplaces where the reference value for radon is likely to be exceeded.

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	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Nivel de referencia 600 Bq/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">< 600</td><td style="text-align: center; padding: 5px;">No necesario control</td></tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">600–1000</td><td style="text-align: center; padding: 5px;">Nivel bajo de control</td></tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">> 1000</td><td style="text-align: center; padding: 5px;">Nivel alto de control</td></tr> </table>	Nivel de referencia 600 Bq/m ³		< 600	No necesario control	600–1000	Nivel bajo de control	> 1000	Nivel alto de control
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									

Figure 1. Radiological criteria for NORM and radon industries of IS-33.

The Annex of this Instruction defines the occupational activities whose owners must carry out the studies required by the RHPIR. It includes installations where groundwater is stored and treated, although they are only considered as an activity that may give rise to annual average radon concentration values above the defined reference levels.

As previously mentioned, the NSC issued a series of Safety Guides related to the quality of radon measurements and the methodology to be followed in Title VII surveys:

- GS 11.01. Guidelines on the competence of laboratories and services for the measurement of radon in air.
- GS 11.02. Control of exposure to natural sources of radiation. This guide recommends exemption/declassification levels for materials from NORM industries. The values are based on a dose criterion of 300 $\mu\text{Sv}/\text{y}$, according to the scenarios set out in the EU publication Radiation Protection 122 part. II of the EU. These values are the same as those included in Order IET/1946/2013 of 17 October regulating the management of wastes generated in activities using materials containing natural radionuclides.
- GS 11.03 Methodology for the assessment of the radiological impact of NORM industries.
- GS 11.04 Methodology for the assessment of exposure to radon in the workplace.

Adaptation to the European Directive

The adaptation to the new Directive 2013/59/EURATOM and its transposition to the national legal regime implies the repeal of the RHPIR, the revision of the Regulation on nuclear and radioactive facilities (RD 1836/1999), which for the first time will include that referring to NORM industries and in which the new list of industrial sectors will be included. In the same, groundwater filtration installations will be included, since in addition to the risk of exposure to radon concentrations in excess of the new reference level (300 Bq/m^3), these installations release effluents and generate waste during the treatment of water for human consumption, such as sludge, filters, ion exchange resins, active carbon filters, etc., the activity of which varies considerably depending on the water treated.

As mentioned above, the RHPIR will be repealed and replaced by the Royal Decree on health protection against the risks derived from exposure to ionising radiation, which is about to be published. It will also be necessary to revise the Safety Guides and IS-33, adapting them to the new radiological criteria.

NORM industries are placed on an equal footing with other practices involving ionising radiation in Directive 2013/59/EURATOM, with a gradual approach to regulatory control. The radiological criteria for these industries are summarised below:

- If the levels exceed the reference levels, then regulatory control will be increased as necessary:
 - *Notification.*
 - *Registration. If $E > 1 \text{ mSv/y}$ for workers.*
 - *Licensing. If $E > 8 \text{ mSv/y}$ for workers or if there are discharges of liquid or gaseous effluents to the environment in significant amounts.*
- If $E > 1 \text{ mSv/y}$ for workers - Authorities will require managers to keep exposures under review taking into account whether protection can be improved and whether doses may increase over time due to modifications in the industrial process or work methods.
- If $E > 6 \text{ mSv/y}$ for workers - The whole system covered by other practices shall apply.

Another novelty of the Directive is to include the exposure of the population to radon in dwellings as an existing exposure, establishing a reference level of 300 Bq/m^3 and requiring countries to establish action plans at national level (National Radon Plan) to jointly address the risks arising from radon exposure in dwellings, publicly accessible buildings and workplaces.

For workplaces, a reference level is imposed which may exceed 300 Bq/m^3 only under exceptional conditions. In workplaces where doses above 6 mSv/y may be received after actions have been taken to reduce radon concentrations, the exposure situation will be managed as planned and the relevant requirements will be applied. The radiological criteria for radon according to Directive 2013/59/EURATOM are summarised below:

- Includes radon exposure in dwellings with a reference level of 300 Bq/m^3 .
- Reference level for radon in workplaces of 300 Bq/m^3 .
- Exposure is managed as occupational when dose $> 6 \text{ mSv/y}$.
- Each country must develop a National Radon Plan in order to reduce the number of radon-related cancers in the population.

Current situation of regulatory compliance

As established in article 62 of Title VII of the RHPIR, the owners of the work activities included in the list of the Annex to IS-33 are required to declare their activities to the competent bodies of the Autonomous Communities in whose territory the work activities are carried out and to perform the radiological risk studies necessary to determine whether there is a significant increase in the exposure of the workers or members of the public that may not be considered to be negligible from the point of view of radiation protection. At present, the level of compliance with these requirements is rather poor, in general for all these work activities and in particular for groundwater treatment plants. The reasons for this non-compliance are diverse and range from ignorance to deliberate non-compliance. In many cases, a wait-and-see approach has been detected where the owners wait to be requested to do so by the authorities.

With a view to improving compliance, the NSC has carried out several actions, such as: meetings with business associations; the sending of personalised letters; the performance of and participation in informative conferences and talks and coordination with the Autonomous Communities which are responsible for natural radiation. The NSC is currently carrying out inspections of both NORM installations and workplaces with special exposure to radon.

Another issue to be addressed is to ensure both the quality of radon concentration measurements and radiological risk assessments. In order to guarantee the reliability of the measurements taken in homes and workplaces, the laboratories carrying out the measurements are required to be accredited by the ISO 1725 Standard. The NSC is also promoting and funding intercomparison campaigns of radon measurement systems. The radiological risk assessment studies and the protective measures to be implemented must be performed by a Radiological Protection Technical Unit (RPTU), which are authorised and inspected by the NSC. There are currently several in the process of authorisation.

EXPERIENCES IN THE ELIMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY IN SMALL TOWNS: LIFE ALCHEMIA PROJECT

Fco. Javier Martínez Rodríguez¹ and Isabel María Rodríguez Ruano²

¹ Provincial Government of Almería. Area of Development, Environment and Water. C/ Hermanos Machado, 27. 04004, Almería (Spain). fmartinr@dipalme.org

² University of Almería - Solar Energy Research Center (CIESOL). Chemical Engineering Department. Carretera Sacramento s/n, 04120 Almería (Spain). imrodriguez@ual.es.

The problematic in the province of Almería and accumulated experience

In 2003, simultaneously with the approval of the current Royal Decree 140/2003, which establishes the sanitary criteria for the quality of water for human consumption, Diputación de Almería undertook regional hydrogeological studies with the participation of Institute of Geology and Geochemistry of Russian Academy of Sciences and the University of Saint Petersburg. This Royal Decree included the obligation to control quality parameters related to radioactivity in urban waters. It was the specialization of these Russian scientific institutions in the matter that allowed the early detection in Almería of this problem in water for human consumption compared to other areas of Spain. The detection of high parametric values related to natural radioactivity in groundwater, which until then had been used normally in supplying the population, caused them to be declared unfit for human consumption. This declaration forced the municipalities to close their water wells with radioactivity problems, causing restrictions in the water supply and, in some cases, the use of mobile tanks to supply the population.

To resolve this situation, Junta de Andalucía and Diputación de Almería began with the installation of water treatment plants (WTP) through the use of two types of treatments: (1) coagulation / flocculation with lamellar decanter and multilayer pressure filters; and (2) by reverse osmosis, with multilayer pressure filters, microfiltration and reverse osmosis membranes. Due to the problems detected during the operation of the former, since 2011 Diputación de Almería proceeded to replace them with reverse osmosis systems, in addition to selecting this treatment for the rest of the facilities that have been running since then.

Currently 15 reverse osmosis WTP are in service for the elimination of natural radioactivity in the province of Almería, with production flow rates ranging between 1 and 38 m³/h. These facilities are operated and maintained directly by the City Councils. The experience accumulated during these years in the operation of the WTPs has revealed the following drawbacks: (1) their high consumption of water resources to supply the population, since the rejections range between 30-40% and it is necessary extract from the aquifers between 1,4 and 1,8 litres of raw water to produce 1 litre of water suitable for the consumption of the population; (2) it is a very effective but not very specific removal technology, which in many cases requires the remineralization of the product water through calcite beds; (3) the complex management of rejection, since there is no clear regulation for its discharge into the Public Hydraulic Domain or its reuse for other uses, such as agriculture; (4) high energy consumption, carbon footprint and operating costs of the WTPs and also of the water wells, given the need to extract 1,4 and 1,8 litres of raw water to produce 1 litre; and (5) operating difficulties and short useful life of

installed equipment (mainly replacement of membranes), due to the scarce economic and technical resources available to the City Councils for the management of the WTPs

Some of the considerations resulting from the experience in monitoring this type of facilities carried out by the staff of Área de Fomento, Medio Ambiente y Agua of Diputación de Almería are: (1) reverse osmosis is a totally effective system for the elimination of radioactivity, but not without its drawbacks; (2) not being able to count on quick measurements of radioactivity levels makes the exploitation of WTPs very difficult, so it is necessary to try to work in the search for indirect measurements, for example with the measurement of gamma radiation; (3) the indicator values of radioactivity vary with time in water from a single well and, therefore, much more even between different water wells in a municipality; (4) all reverse osmosis WTPs with water from wells built in steel must include pretreatments for the removal of iron from the water, regardless of the results of the water quality analysis for iron; (5) all projects must include the acquisition of meters for gamma radiation and radon in the environment, which must be installed in the WTPs; (6) gamma radiation should be monitored on all elements of the WTPs; and (7) the spaces where the WTPs are located will be as ventilated as possible to avoid radon concentration and the vessels of the raw water tanks must be completely isolated from spaces where the presence of workers is expected.

LIFE ALCHEMIA project

The aim of the project is to demonstrate sustainable technologies for the elimination of natural radioactivity present in groundwater so that it can be subsequently used for urban purposes, always ensuring compliance with Spanish regulations on water intended for human consumption. It responds, in its origin, to a need arising from the continuous work of technical, legal and economic advice to local authorities on issues related to the urban water cycle provided by Diputación de Almería and to the question of whether there are viable alternative technologies to reverse osmosis for the elimination of natural radioactivity in medium and small populations.

For this, three DWT pilot plants have been executed using fixed bed filters filled with granular materials in the province of Almería (Alboloduy, Benizalón and Tahal) and a fourth in Viimsi (Estonia), in which hydrous manganese oxide is used to remove radioactivity. In addition, the project includes the development of a database of DWTPs dealing with radioactivity in Europe; the laboratory evaluation of the different granular products available for the elimination of radioactivity; the evaluation of the useful life of materials used in the elimination of radioactivity, its removal and disposal in landfills; exploitation studies and cost-benefit analysis of existing pilot plants and osmosis plants, as well as analysis of their life cycle; analysis of radiological safety in water treatment equipment and rejects; etc.

RESULTS OF THE LIFE ALCHEMIA PROJECT: GENERAL CONSIDERATIONS ABOUT THE HMO PILOT PLANT IN VIIMSI (ESTONIA)

*Juri Bolobajev*¹

¹ Tallinn University of Technology. Ehitajate tee 5, 19086, Tallinn. Department of Materials and Environmental Technology. Juri.Bolobajev@taltech.ee.

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. iron, manganese, and ammonium, the concentration of which exceed the threshold limits stated by Estonian regulatory act on drinking water quality (table 1).

Parameter	Raw water (average conc.)	After treatment (average conc.)	Threshold limit
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	-
Indicative Dose (ID), mSv year ⁻¹	0.317	0.065	0.100
pH	8.12	8.09	6.5-9.5
Conductivity, $\mu\text{S cm}^{-1}$	883	877	2500

Table 1. Average parametric values of water before and after treatment and corresponding threshold limits.

It is important to mention here that a failure to meet an indicator parameter value does not necessarily mean that there is a human health risk from the supply. A failure is a signal that there may be a problem with the supply that needs investigation and consideration of whether there is a human health risk.

For example, iron is the second most abundant metal in the earth's crust. In drinking-water supplies, iron (II) salts are unstable and iron precipitates as insoluble iron hydroxide, which settles out as a rust-coloured silt. Staining of laundry and plumbing may occur at concentrations above 0.3 mg L⁻¹. Manganese occurs naturally in many surface water and groundwater sources. Similarly to iron, manganese is responsible for staining of laundry and plumbing. The maximum desirable level of manganese is 0.05 mg L⁻¹ to avoid staining. At concentrations exceeding 0.1 mg L⁻¹, the manganese ion imparts an undesirable taste to beverages. Despite NH₄⁺ is not considered as a toxic substance as well, this ion is a major constituent of many contaminated aquifers, and it is known to negatively influence the quality and usability of groundwater, i.e. at certain conditions, the presence of the ammonium cation in raw water may result in drinking-water containing nitrite. Therefore, reducing the concentration of these water constituents is an essential part of maintaining drinking water quality.

The HMO-pilot plant was designed for removing radionuclides (Ra-226, Ra-228) as well as other water constituents, i.e. Fe, Mn, and NH₄⁺. This plant is situated in the filtration hall of drinking water treatment plant (DWTP) of Viimsi Vesi AS. First, groundwater from borehole is directed into the aeration column (figure 1). Aeration is often the first major process at the drinking water treatment plants. Aeration is the process of bringing water and air into close contact in order to:

remove dissolved gases, and saturate water with oxygen, which oxidizes Fe (II) to insoluble iron hydroxide.

After aeration, water goes to oxidation tank (contact tank), where HMO slurry/suspension is injected. HMO slurry is known to adsorb radionuclides as well as to participate in catalytic oxidation of manganese and iron. Manganese is known to be resistant for oxidation by oxygen in aeration tank. Thus, manganese could be removed from water only after application of HMO. The general aim of using the oxidation tank is getting the contact between water and HMO particles. Afterwards, HMO particles are separated from water by means of conventional gravity filtration. For that purpose, a sand filter is implemented. Filtration setup comprises a composite filter packed with anthracite, sand, and gravel. During the exploitation of filter, HMO-particles are accumulated in the upper part of filter bed, which causes the filter clogging. To prevent filter clogging, a backwashing procedure was regularly complied. Backwashing procedure comprises an intermittent addition of compressed air and water into the filter in backward direction. The resultant backwash liquid was discharged next into the sewer.

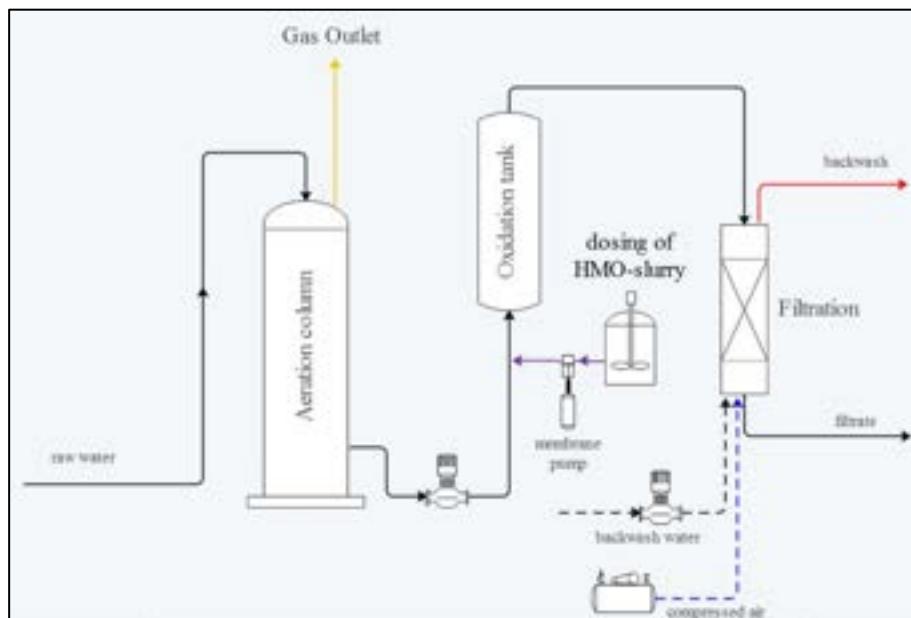


Figure 1. HMO pilot plant flow diagram.

As a result, as long as water passes through the treatment steps the concentrations of iron and manganese decrease meeting the required concentration below threshold limit (table 1). With respect to NH_4^+ , it is important to mention that HMO process is not intended to remove ammonium from water. However, the concentration of ammonium was successfully decreased during the treatment. The process behind the removal of ammonium from water is called biological nitrification of ammonium, where ammonium is oxidized stepwise to nitrite by ammonium-oxidizing bacteria and then to nitrate by means of nitrite-oxidizing bacteria consortium.

The results obtained from the pilot plant confirmed that HMO-technology may serve as an effective tool to deal with the problems related to the elevated concentrations of Mn, Fe, NH_4^+ and Ra in groundwater.

RESULTS OF THE LIFE ALCHEMIA PROJECT: RADIONUCLIDE REMOVAL AT THE HMO PILOT PLANT IN VIIMSI (ESTONIA)

Siiri Salupere¹, Taavi Vaasma¹ and Maria Leier¹

¹University of Tartu. W. Ostwaldi str. 1, 50411 Tartu, Estonia. Institute of Physics. siiri.salupere@ut.ee.

Radionuclide removal by the HMO process

HMO is an acronym for hydrous manganese oxide. The HMO process is targeted at iron and manganese removal from water, but it also removes other metal cations, for example radium isotopes. The process consists of three main steps: aeration of raw water, addition of the HMO slurry, and filtration of the resulting precipitate. The HMO slurry is a mixture of potassium permanganate and manganese sulphate monohydrate dissolved in water. Manganese dioxide is formed from the slurry. Due to the negative charge of the manganese particles, positively charged radium ions are easily sorbed onto its surface. Iron and manganese present in the raw water are oxidized into insoluble hydrous oxides particles which also sorb radium cations. The insoluble particles get trapped by a filter column.

What does using a treatment technology that removes radionuclides mean for a water treatment operator? On one hand, it means providing your clients clean drinking water which is compliant with drinking water quality standards. On the other hand, one needs to keep in mind that radium which is removed from the groundwater accumulates in the filter material. This may occur up to an extent where the exemption levels for radioactive material are exceeded and the filter material needs to be treated as NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) waste at the end of its lifetime.

Radium isotopes belong to naturally occurring radioactive decay chains. Radium-226 decays into gaseous radon. It may escape the filter material and significantly increase the radon concentration in the water treatment facility. Therefore it is important to pay attention on good ventilation of the room. Radium-228 decays into thorium-228. The ingrowth of radionuclides in the filter material also increases the gamma dose rate near the filter column.

The requirements for drinking water and NORM material are the basis for setting the objectives for the HMO plant performance. The technology has to be optimized to remove as much radium as needed to guarantee the parametric level of indicative dose in clean water. At the same time, we are not aiming at removing as much radium from the groundwater as possible, because it would result in higher radium accumulation in the filter material. Instead, the aim is to reduce NORM accumulation.

Results of the HMO pilot plant experiments in Viimsi, Estonia

The HMO technology was tested on a pilot plant scale for 1,5 years in Viimsi, Estonia. Figure 1 illustrates the results of radium removal efficiency. Soon after starting the experiment it became clear that the periodic dosing of the HMO slurry is not enough to achieve the needed radium removal efficiency, although periodic dosing gave sufficient results in the lab scale experiments. Continuous dosing with a HMO slurry dose rate 0,1 L/h gave more promising results, but the

parametric value of the indicative dose was not met in all the samples. Doubling the HMO dose rate enabled to get a very high and stable radium removal efficiency. Yet, it rose the question whether this is an optimal use of reagents and an optimal solution in terms of radium accumulation in the filter. Therefore an intermediate dose rate was finally chosen.

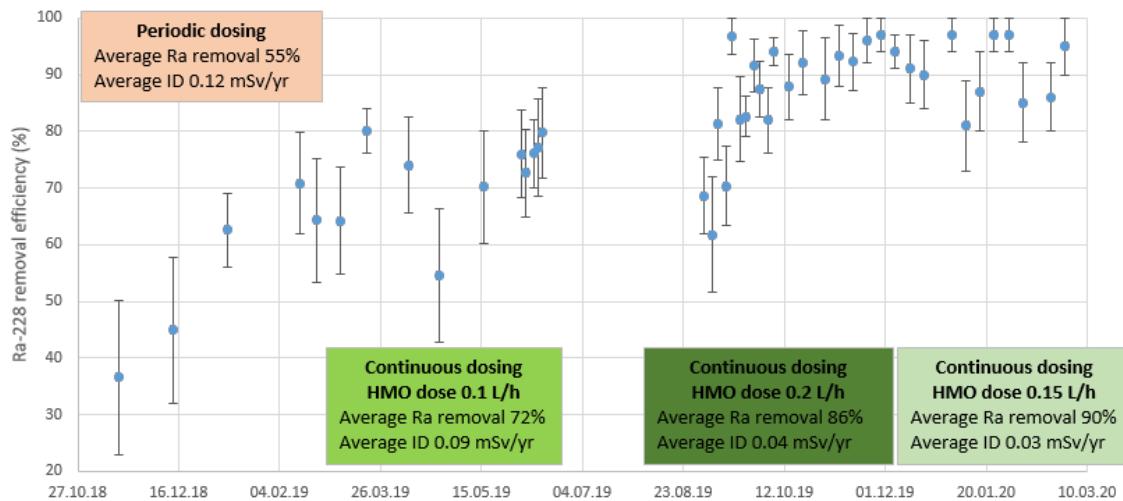


Figure 1. Results of radium-228 removal efficiency from groundwater by the HMO pilot plant in Viimsi, Estonia.

It became evident that the HMO technology is sensitive to temporal shut downs. The pilot device was switched off for the summer period. After starting the operation again radium removal efficiency had dropped significantly. It took about two weeks for the efficiency to rise again. On the contrary, one can see a “memory effect” in the filter material which boosts the radium removal efficiency if the system has been running in stable conditions for a longer time. Most probably it is caused by manganese dioxide particles which stay trapped in the filter material and continue to adsorb radium cations.

The filter needs to be regularly backwashed to prevent plugging of the filter material. Backwash water washes out some of the precipitate formed in the HMO process. However, the experimental results confirmed that most of the radium stays in the filter material and is not removed. Dilution effect in the sewerage is strong enough that the backwash water can be discharged directly to the sewerage.

The filter column in Viimsi pilot plant was packed with anthracite and sand. Radionuclides accumulate more on the upper part of the filter. Exemption levels for radium isotopes were exceeded in anthracite. Therefore, anthracite should be treated as NORM waste at the end of filter lifetime. At the same time, exemption levels were not exceeded in sand. If it can be separated from the anthracite layer, it can be disposed of as regular waste. This would reduce significantly the amount of NORM waste. When comparing the results of the HMO-plant with the technology that is currently applied in Viimsi, the NORM accumulation rates are considerably lower.

Conclusions

The experiments conducted as a part of the LIFE ALCHEMIA project enabled to define three main points in the use of HMO technology for radionuclide removal.

- Continuous dosing of the HMO slurry ensured sufficient radium removal efficiency to guarantee indicative dose below 0.10 mSv/year in the treated water.
- HMO-technology has a significantly lower NORM waste generation rate than the current technology in Viimsi.
- Stable performance is achieved when the technology is operated continuously without temporal shut downs.

RESULTS OF THE LIFE ALCHEMIA PROJECT: PILOT PLANTS IN ALMERIA (SPAIN)

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

¹ University of Almería - Solar Energy Research Center (CIESOL). Chemical Engineering Department. Carretera Sacramento s/n, 04120 Almería (Spain). jlcasas@ual.es / gpinnahernandez@ual.es / imrodriguez@ual.es.

² Provincial Government of Almería. Area of Development, Environment and Water. C/ Hermanos Machado, 27. 04004, Almería (Spain). fmartinr@dipalme.org

LIFE ALCHEMIA pilot plants in Spain

In the province of Almería, three pilot plants have been designed and built in the municipalities of Alboloduy Benizalón and Tahal. Each of them has a treatment capacity of 10,8 m³/h, and have been installed in series between the groundwater collection boreholes and the reverse osmosis plants in service that supply the aforementioned municipalities, in order to ensure the quality of the water that supplies the population and comply with the parametric values set out in Directive 2013/51/EURATOM. The consolidated text in force that transposes Directive 2013/51/EURATOM into Spanish legislation is Royal Decree 140/2003, which establishes health criteria for the quality of drinking water.

Due to the geological characteristics of these municipalities, the groundwater that flows between the different subsoil strata reaches levels of total alpha activity higher than the parametric value established in the current legislation (Royal Decree 140/2003), with predominant levels of natural radium radionuclides (Ra-226 and Ra-228) and uranium radionuclides (U-234 and U-238).

The general configuration of the LIFE ALCHEMIA pilot plants is shown in figure 1. They are composed of a preliminary raw water storage tank, which has an aeration system, and two filtration tanks containing different granular filter materials, mainly based on natural zeolites coated with manganese dioxide. During the filtering operation the selected beds favour the oxidation of metal cations such as iron and manganese leading to precipitation and retention in the bed together with Ra and U radionuclides.

The water used for the daily backwashing of the filter material comes from the supply municipal reservoirs of the respective populations. Both filter tanks have independent backwashing systems. The backwash water enters at the base of the filter tanks and exits at the top of the filters. This water is incorporated into the existing sanitation network of the DWTP by reverse osmosis in service, to be subsequently treated in the corresponding treatment plant.

The purpose of water washing is to keep the filter beds in good conditions, avoiding the formation of preferential paths in the bed, as well as to remove the precipitates formed during the filtration operation. However, this is not enough to remove the natural radionuclides that remain adsorbed on the filtering material, so it is necessary to carry out chemical regeneration processes from time to time in order to reduce the radionuclide content and to avoid that these NORM materials are managed as radioactive waste when they reach the end of their useful life.

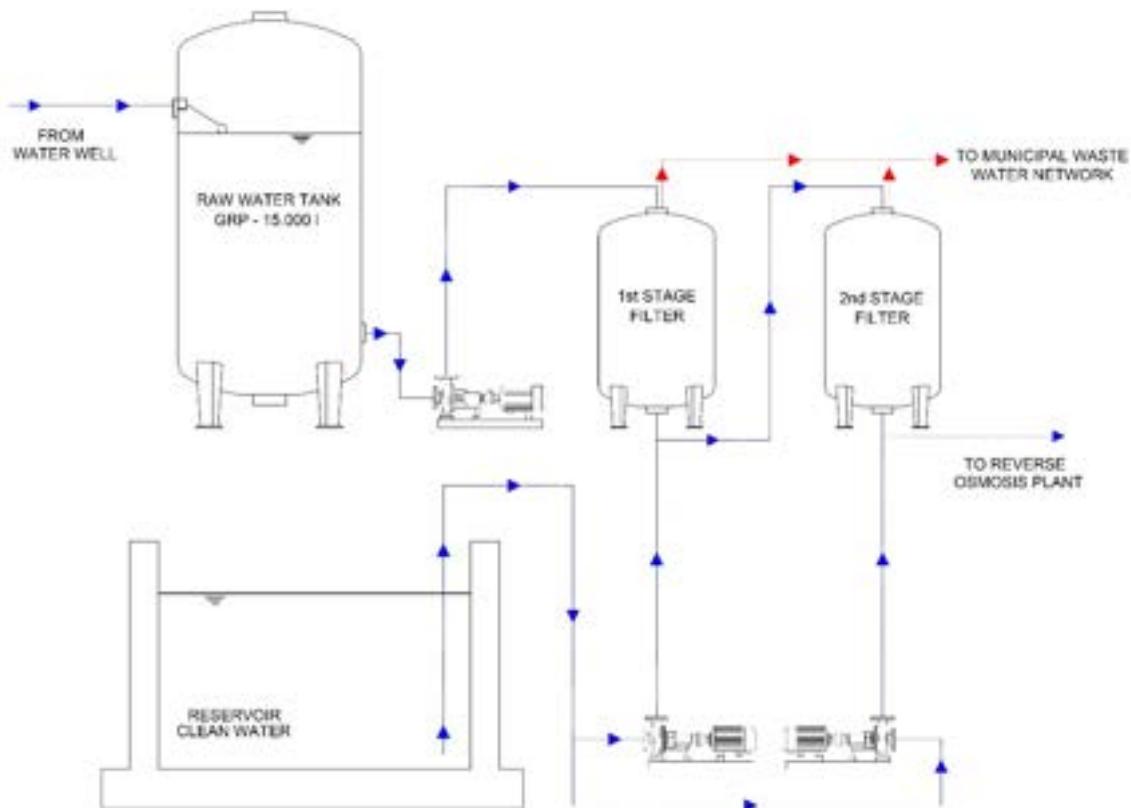


Figura 1. General scheme of the LIFE ALCHEMIA pilot plants in Almería.

Radionuclide removal

After several months of operation, the first analytical results conclude that the total indicative dose has been reduced by more than 65%, achieving elimination percentages for the radioisotopes Ra-226 and Ra-228 of 87% and 77%, and 43% and 44% in the case of U-234 and U-238. The results have shown a close relationship between the elimination of Fe and the elimination of Ra and U, so that a high concentration of Fe in the water improves the efficiency of the process.

Evolution of the state of filter materials

The accumulation of Ra and U in the filter materials has been monitored and the need to regenerate the beds by chemical processes every 2.000 – 2.500 m³ of treated water has been established. A treatment based on washing with saturated KCl solutions has been used, which has allowed to reduce the radionuclide content of Ra and U by about 60%. The results show that despite the accumulation of radionuclides in the filter materials, the working environment does not pose the slightest radiological risk to the operators.

Water and energy efficiency

The current reverse osmosis treatment systems have rejection volumes ranging from 37-42%, compared to the 10% obtained in the pilot plants of Alboloduy and Tahal, which represent an

average reduction in water consumption of 74%. In contrast, in the Benizalón pilot plant there is only a 35% reduction in the consumption of water resources. The pilot plants have scheduled daily washings in order to guarantee the good conditions of the filter materials. However, this principle of conservation means that the rejection percentages of the Benizalón pilot plant rise to 24%, as it has a lower demand for treated water than the other pilot plants, a consequence of the small number of inhabitants in the municipality. Similarly, energy consumption has been reduced by 83%, without considering the savings derived from the reduction in the volume extracted from the boreholes.

Conclusions

The LIFE ALCHEMIA project proposes treatments for the elimination of natural radioactivity in groundwater as an alternative to reverse osmosis. The results of the project show the feasibility of treatment using filter beds based on zeolites coated with manganese oxide, the performance of which is conditioned by the composition of the water to be treated. From the point of view of efficiency, the proposed process considerably reduces the water and energy consumption derived from the treatment.

DEMONSTRATION PROJECT FOR GROUNDWATER TREATMENT WITH AN INNOVATIVE SYSTEM BASED ON AEROBIC GRANULAR TECHNOLOGY

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

¹ Provincial Government of Granada. jgarcia@dipgra.es / caridadruizvalero@dipgra.es

² University of Granada. jgl@ugr.es / miguelhm@ugr.es / fcojose@ugr.es / falguacil@correo.ugr.es

Context and environmental problem

Water pollution by nitrates of agricultural origin is a widespread environmental problem throughout the world. In the province of Granada, the municipality of Torre Cardela had nitrate concentrations of more than 50 mg/l in water intended for human consumption, a value established as a limit in the legislation on the quality of water for human consumption, above which the water can be declared unfit for human consumption. As a solution to the problem of nitrate pollution, reverse osmosis systems have mainly been used. This is an effective but economically costly solution for small municipalities and involves greater consumption of water, a scarce resource in our territory.

The project LIFE ECOGRANULARWATER proposed, through the LIFE 2016 call, an innovative project based on a biological method that uses aerobic granular technology for the elimination of nitrates and other pollutants present in water intended for human consumption. The project is coordinated by the Diputación de Granada and involves as beneficiary partners the University of Granada, the University of Aalto in Finland and the companies Construcciones Otero SL and Gedar SL. The project began in September 2017 and will end in September 2021. It has a budget of 995.000 €, of which 546.113 € is provided by the LIFE Programme of the European Union.

Aerobic granular system proposed by LIFE ECOGRANULARWATER

Three bioreactors have been installed in Torre Cardela, in the province of Granada, which have been inoculated with granules formed in the laboratory from wastewater treatment plant sludge. The system operates sequentially in four phases: filling, aeration, settling and emptying. In each cycle, 65 % of the volume of the bioreactor is discharged. The treated water is then filtered through a sand filter where any organic matter that may have left the bioreactor is retained. Afterwards, the water would pass to the main tank where the chlorination process takes place. The sand filter is periodically washed and the wash water is passed to an artificial wetland for pre-treatment prior to discharge.

In order for biological denitrification to occur, a carbon source must be added to the groundwater. From the tests carried out, sodium acetate, added at a concentration of 100 mg/l, has shown the best performance. Salts such as potassium chloride, magnesium sulphate, di-potassium hydrogen phosphate, among others, are also introduced. The operating conditions have been optimised over time, reaching cycles of 2 hours and adding up to a total of 12 cycles per day.

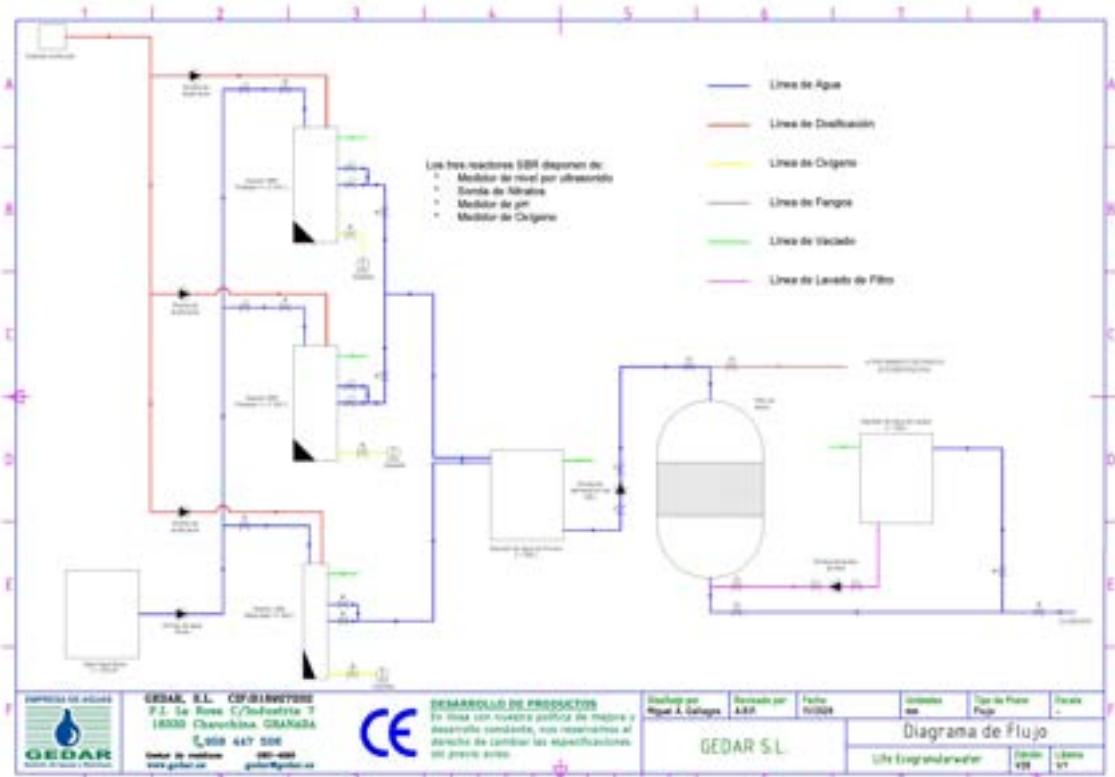


Figure 1. Scheme of the biological plant.

Results

Analysing the nitrate concentration of the inlet and outlet water of the system, nitrate removal efficiencies of around 80% have been obtained. To achieve this performance, the granules must be mature and have adequate aeration. In addition, the system has a performance of over 95% in organic matter removal.

To control the presence of microorganisms in the outlet water, colony-forming unit counts have been carried out, both at the inlet and outlet. In the following table:

Count at 24 h	Colonies average at 37°C	Colonies average at 22°C
Inlet water	110	≥ 300
Filter outlet water	1	7

Table 1. Colony forming units in water.

Likewise, the ecotoxicity studies carried out to date have not detected any toxins in the output water. On the other hand, economic studies have been carried out to compare the investment, exploitation and environmental costs of reverse osmosis and the proposed new biological system. The data obtained show that the costs of the new system are 47% lower than those of reverse osmosis, mainly due to lower energy consumption and a high reduction in the volume of reject water from the biological system. The life cycle analyses of both systems are also favourable to the biological system, resulting, in the treatment of one cubic metre of water, a carbon footprint for reverse osmosis of 2.5 times the footprint of the biological plant. The same magnitude also results from the environmental footprint analysis, which also considers other environmental impacts.

In conclusion, we highlight that the technology proposed by LIFE ECOGRANULARWATER consists of a biological system designed for the treatment of drinking water in small populations, efficient in the elimination of nitrates under conditions of total biosafety. It is an environmentally and economically more advantageous system than reverse osmosis, as it involves lower operating costs, as well as a smaller environmental and carbon footprint, as can be seen from the studies carried out.

Speakers' presentations



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."

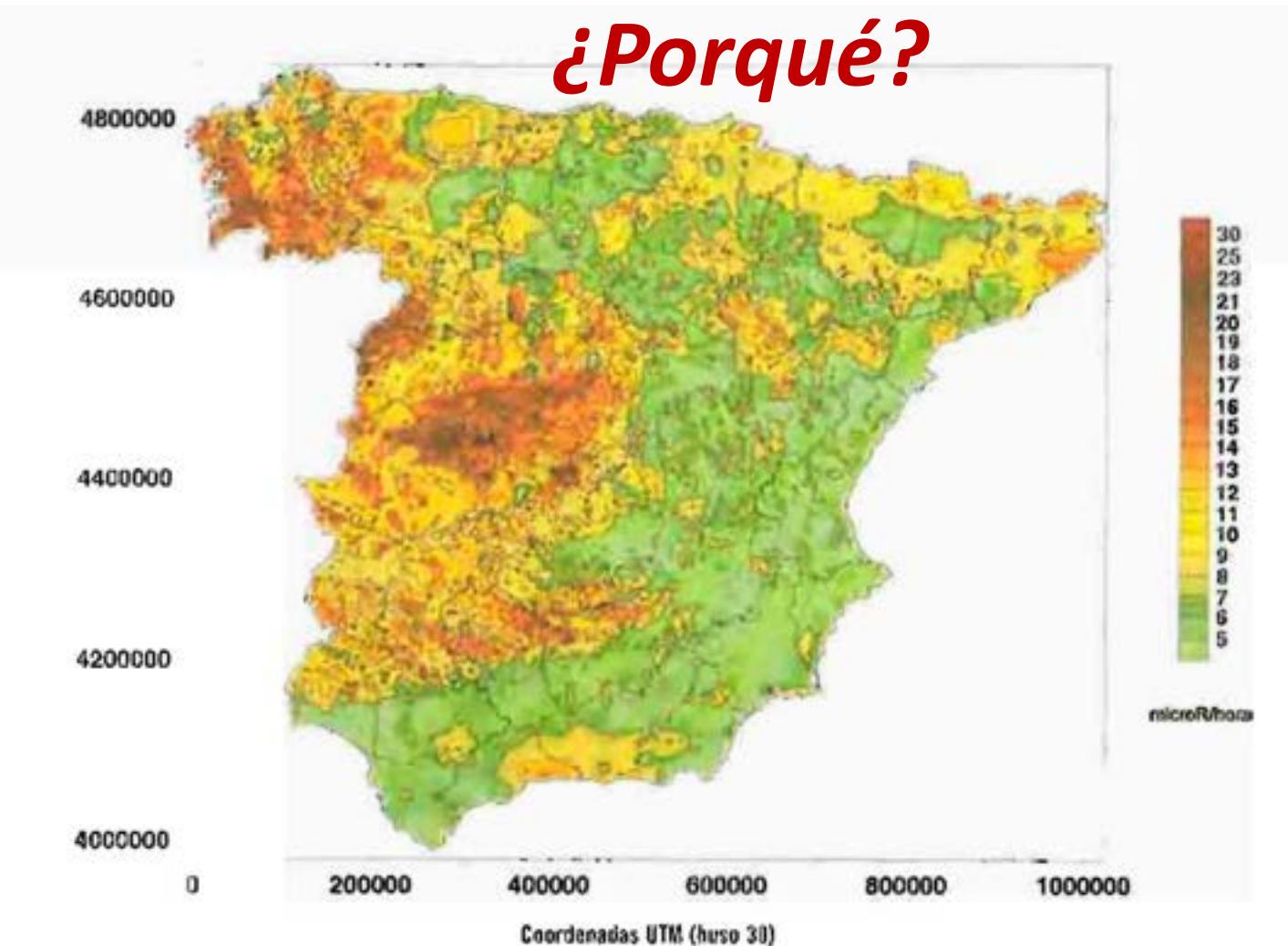


NO los cumplen: Entonces se aplica el R.D. 314/2016, Anexo VII. 1.:

- 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



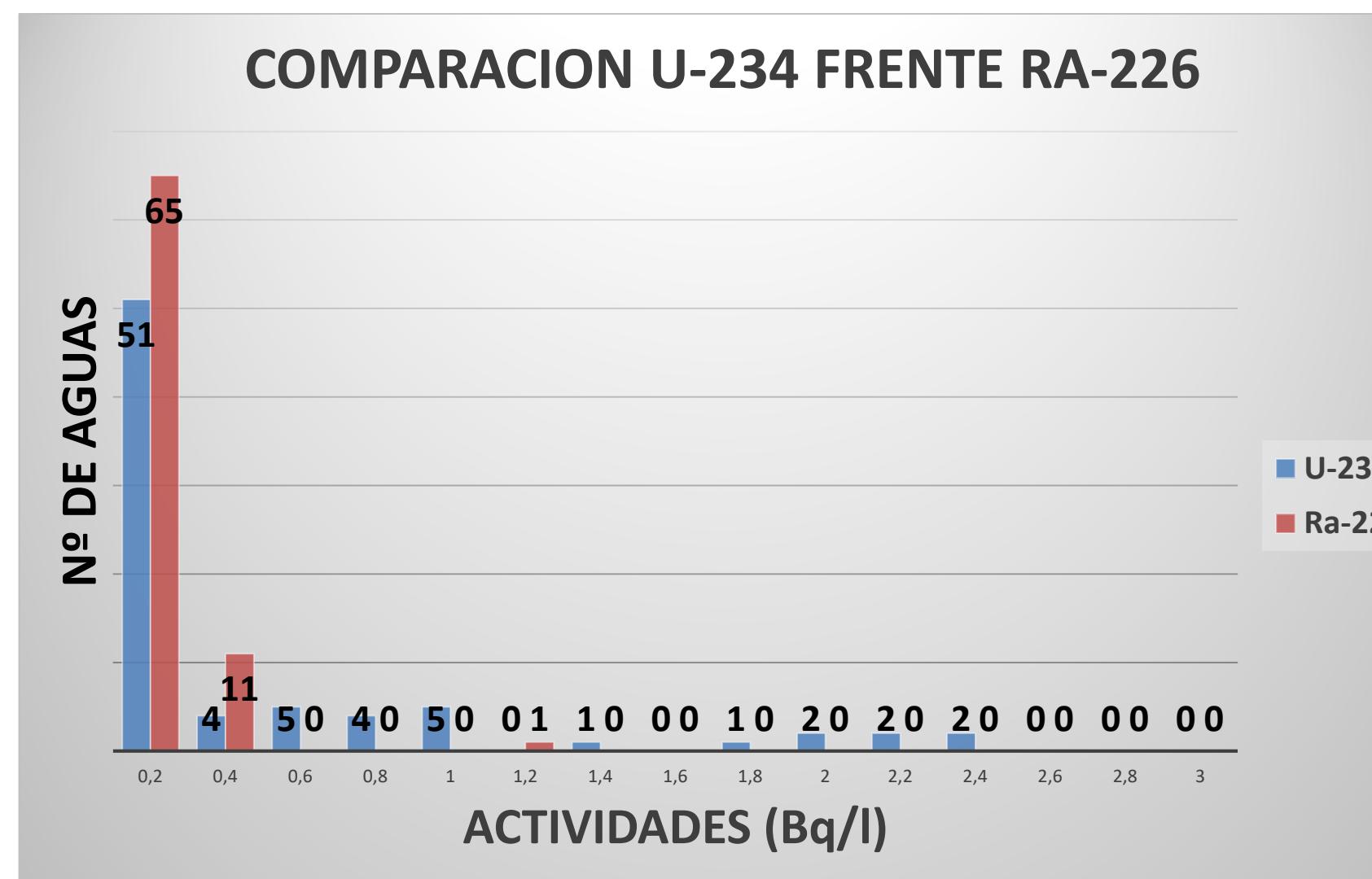


2. Niveles detectados para los radionúclidos naturales en las aguas de consumo

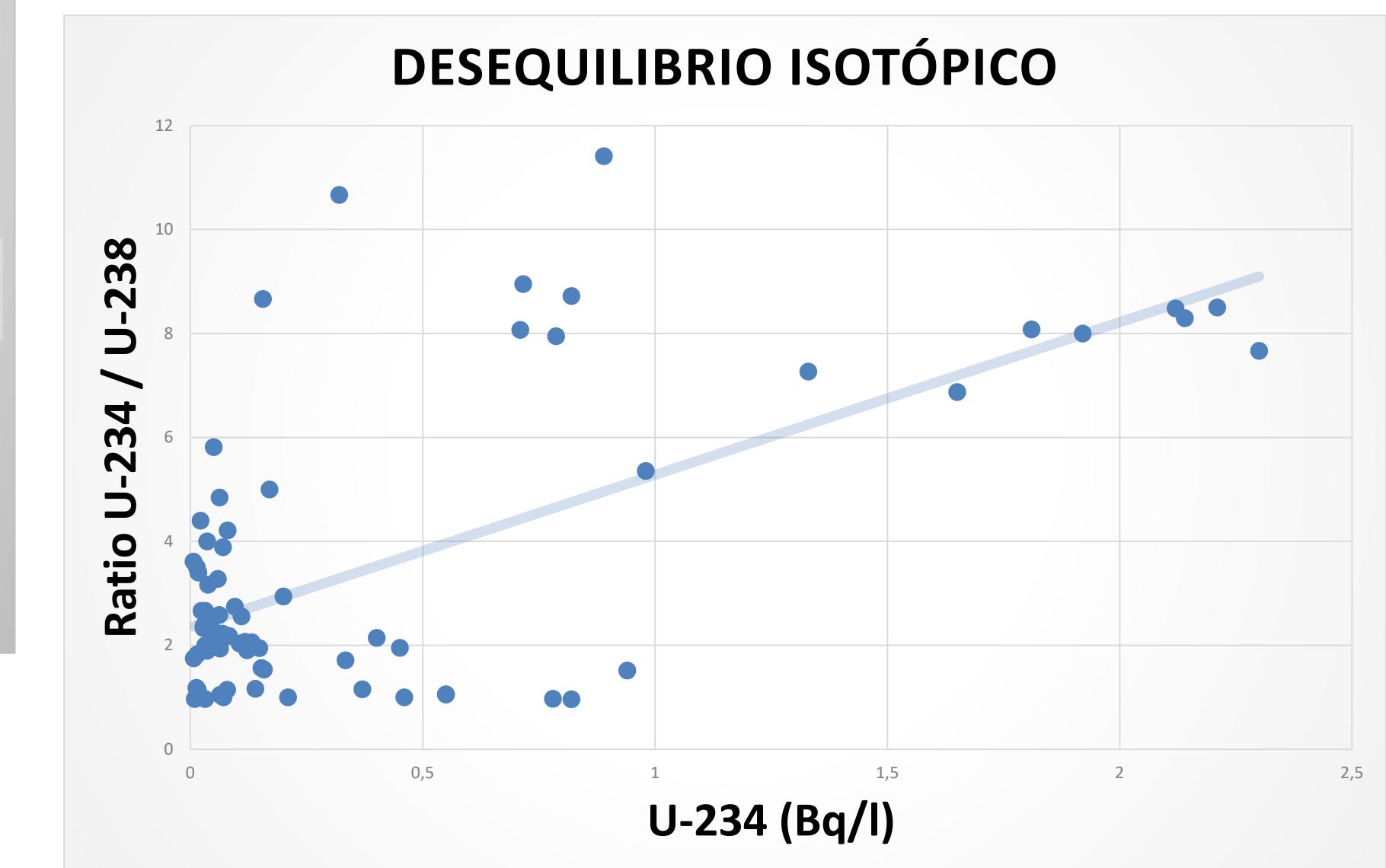
✓ *Hemos recopilado los resultados de los niveles radiactivos de las aguas de consumo analizadas por el LARUEX durante 2020 y 2021 en toda la Península Ibérica, de las que desconocemos su procedencia concreta:*

Nº aguas ensayo “basal”: 1299

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



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



- 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 actividad 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:

Poblaciones con ETAP

- Actuación en las Reacciones químicas durante la potabilización.
- Actuación en la parte física de la potabilización: Adsorción
- Métodos de potabilización específicos: ósmosis inversa.

NUESTRA EXPERIENCIA



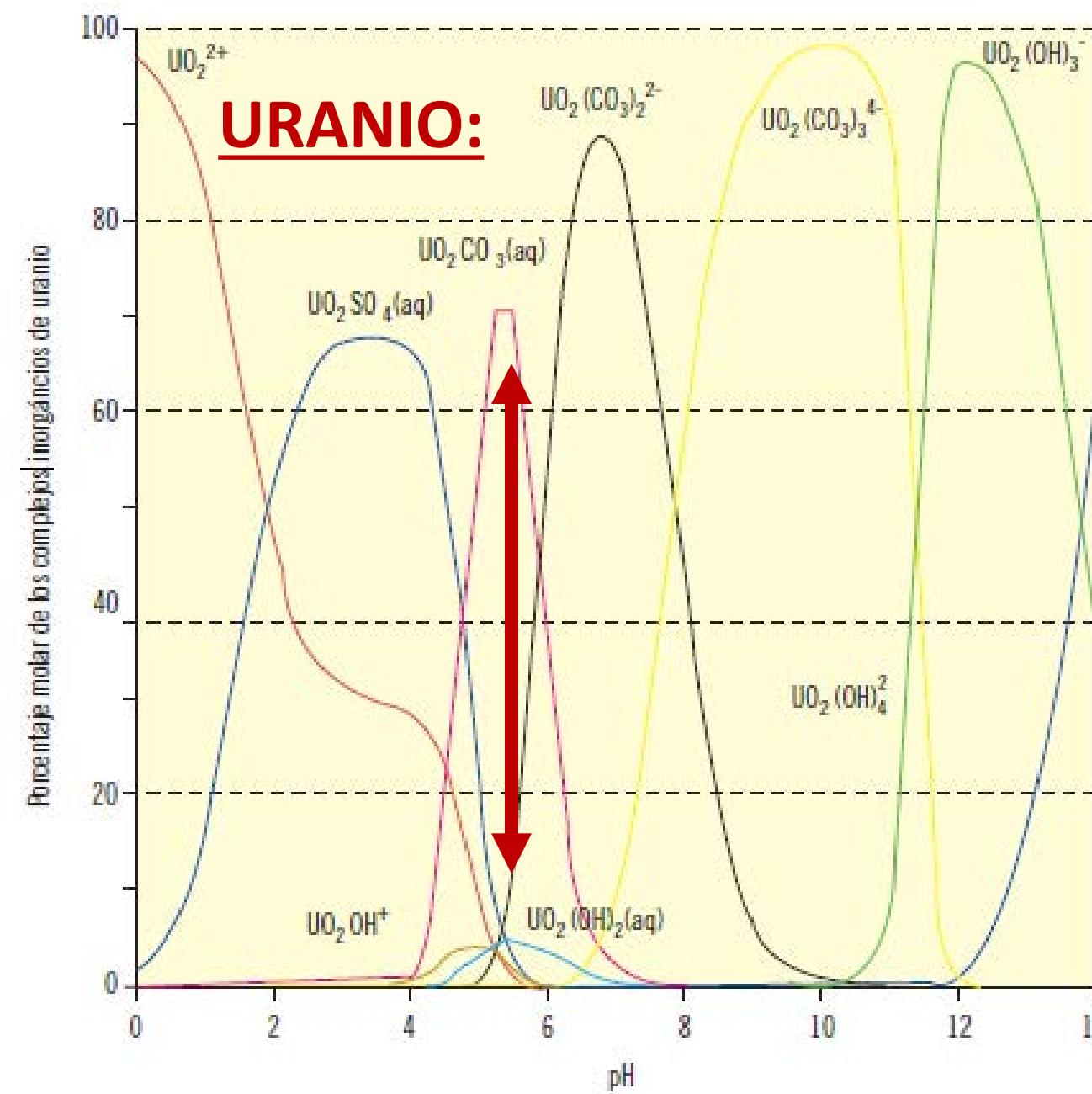
Poblaciones sin ETAP

- Actuación en las Reacciones químicas durante la potabilización.
- Actuación en la parte física de la potabilización: Adsorción
- Métodos de potabilización específicos: ósmosis inversa.

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

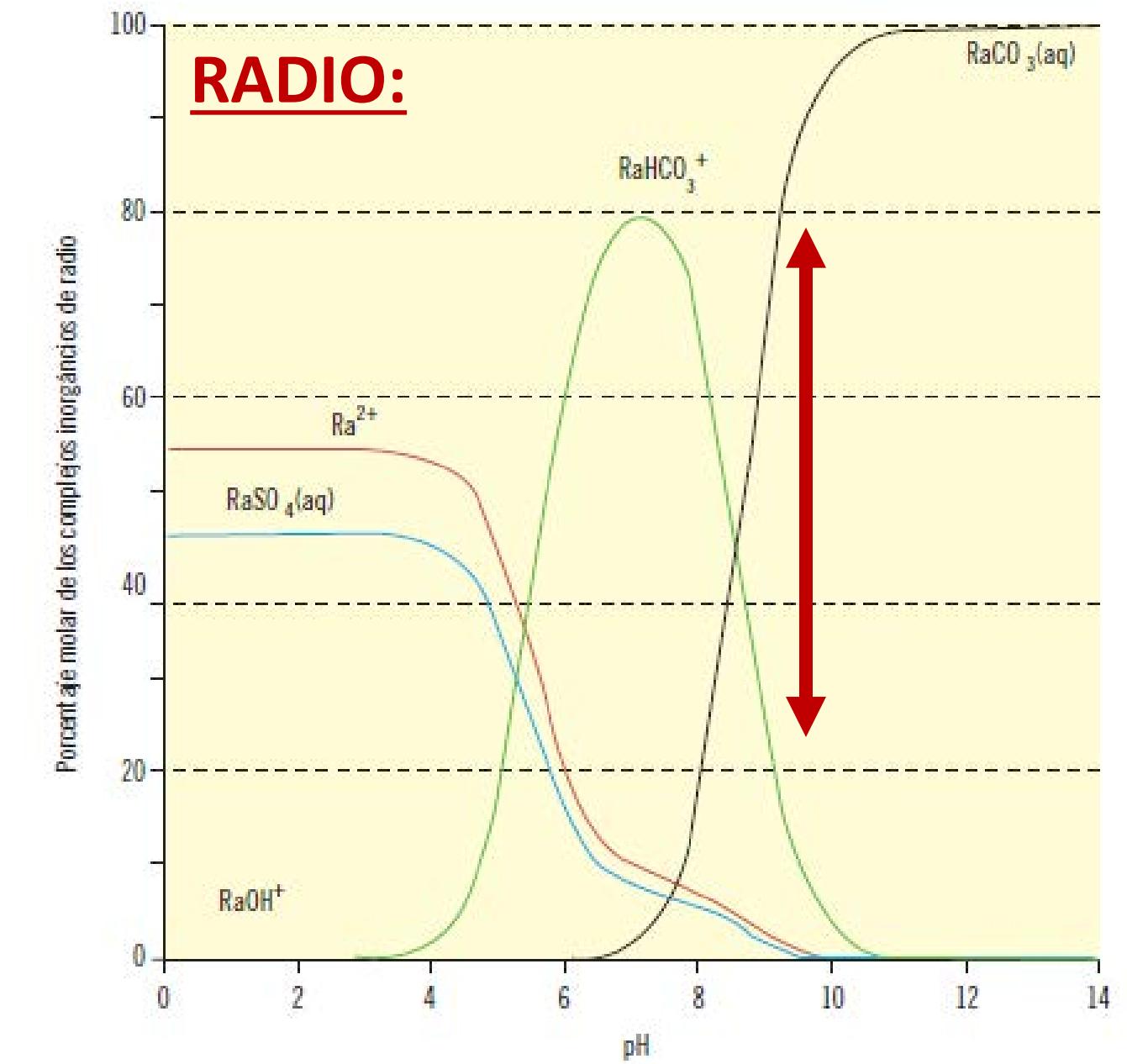
Actuación en las Reacciones químicas durante la potabilización:

- ✓ 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%





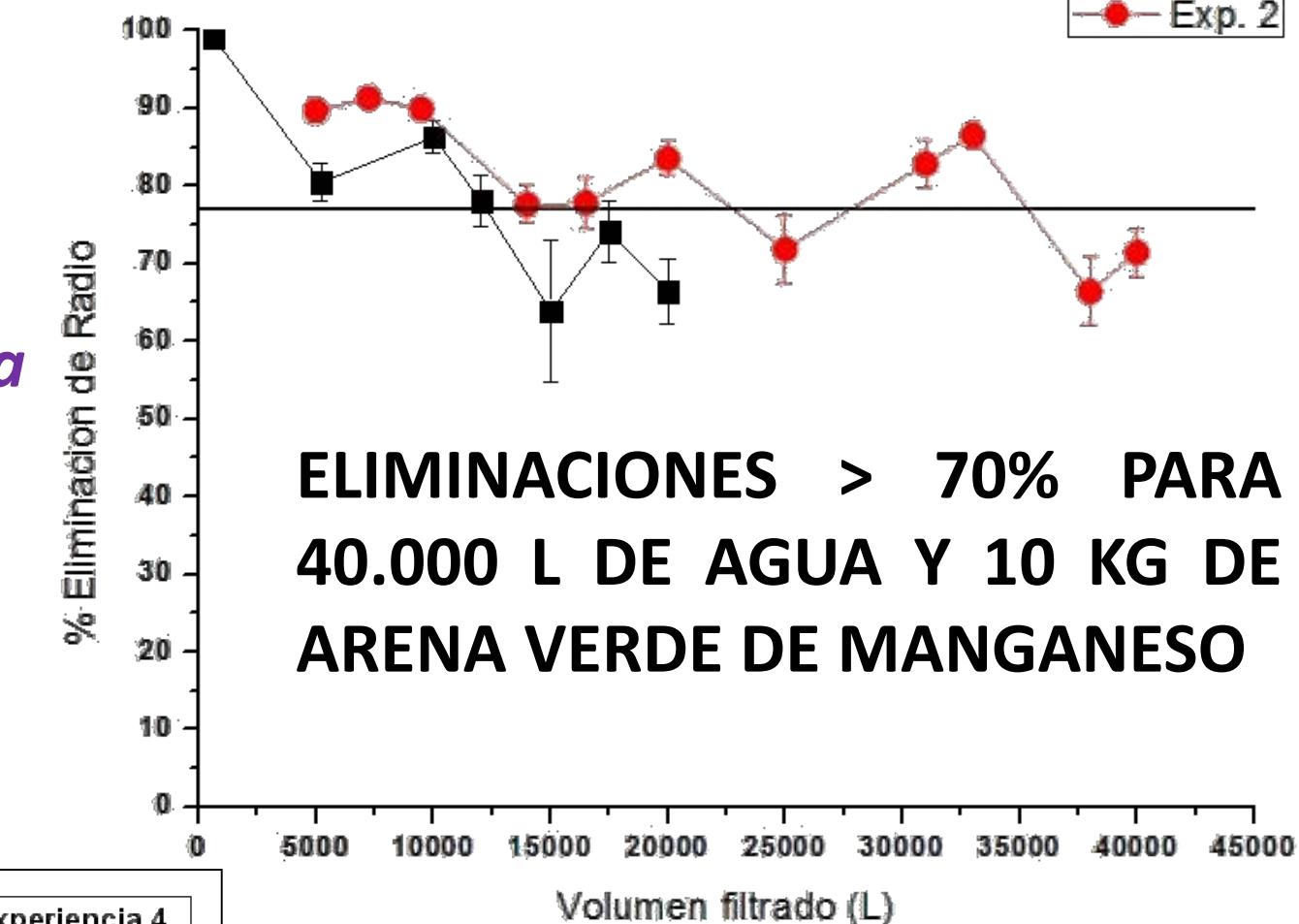
Actuación en la parte Física de la potabilización: Adsorción



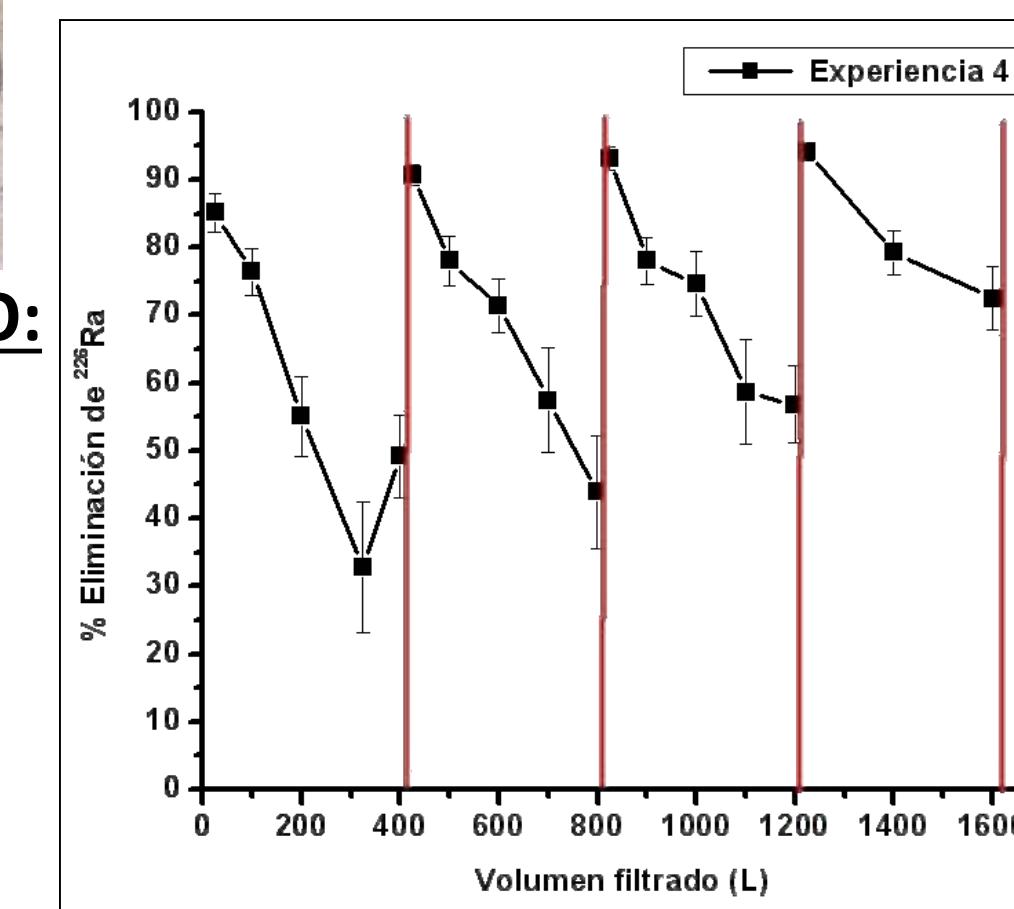
ADSORBENTE: ARENA VERDE DE MANGANESO:

**PROCEDIMIENTO PATENTADO CON EL
CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR**

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



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



- ✓ Posibilidad de regeneración, manteniendo sus capacidades

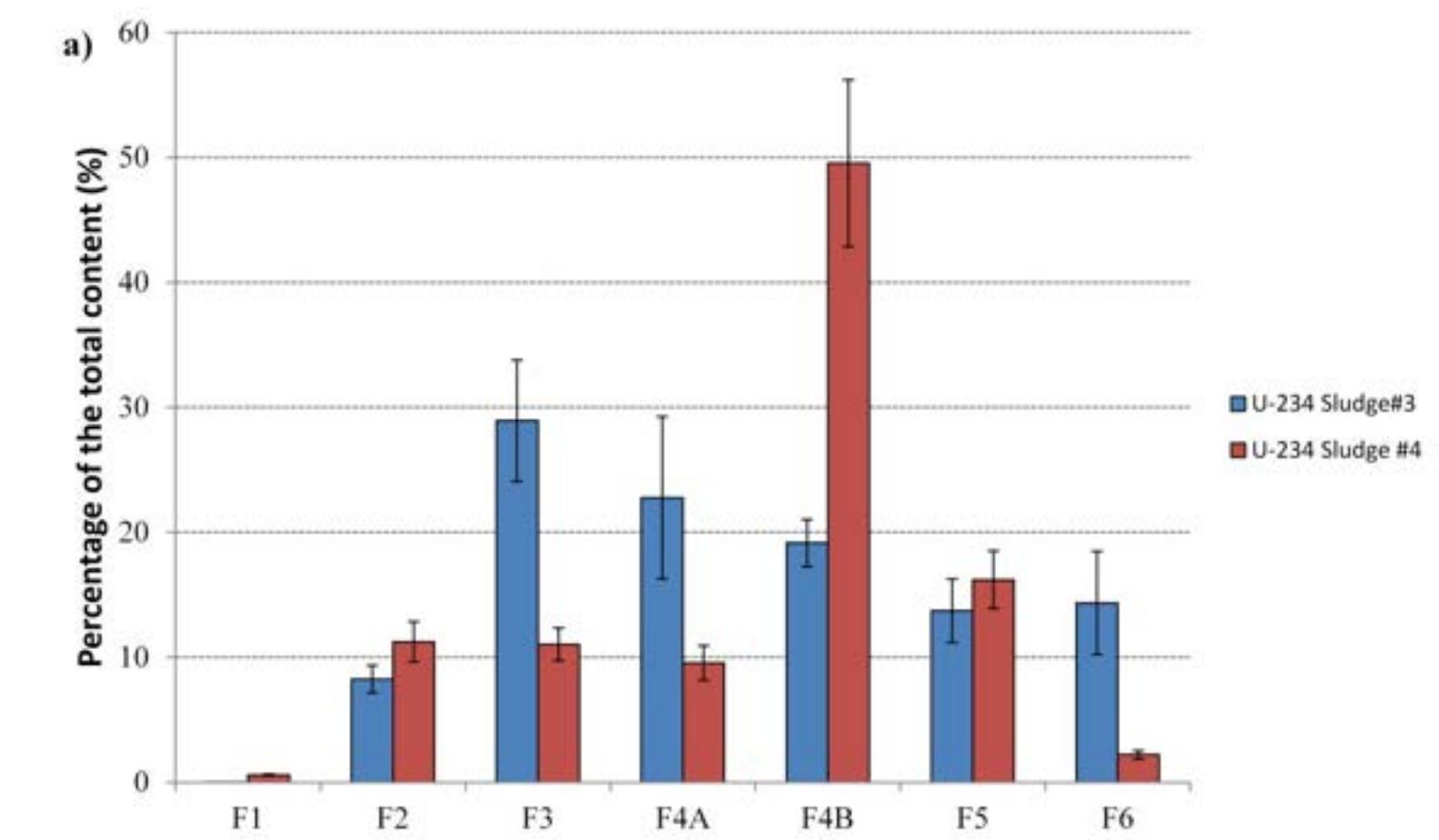


4. Implicaciones de la aplicación de estos tratamientos

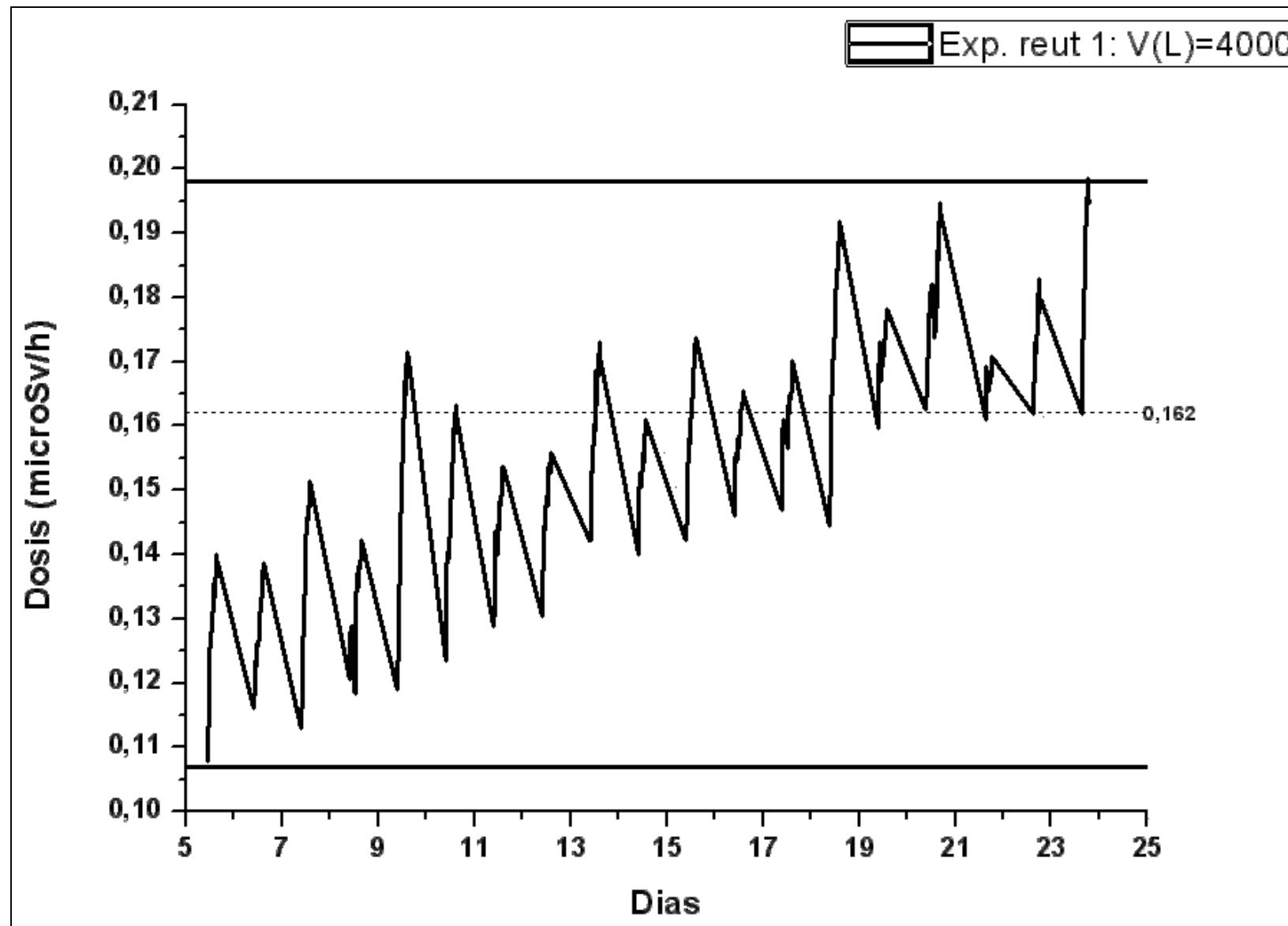
“Los contenidos radiactivos eliminados del agua NO DESAPARECEN, cambian de medio receptor”

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 ($F4 > 35\% \text{ del total}$), dada la poca presencia de bicarbonatos en esta agua. En las que si las hay, la fracción dominante es la carbonatada o F3



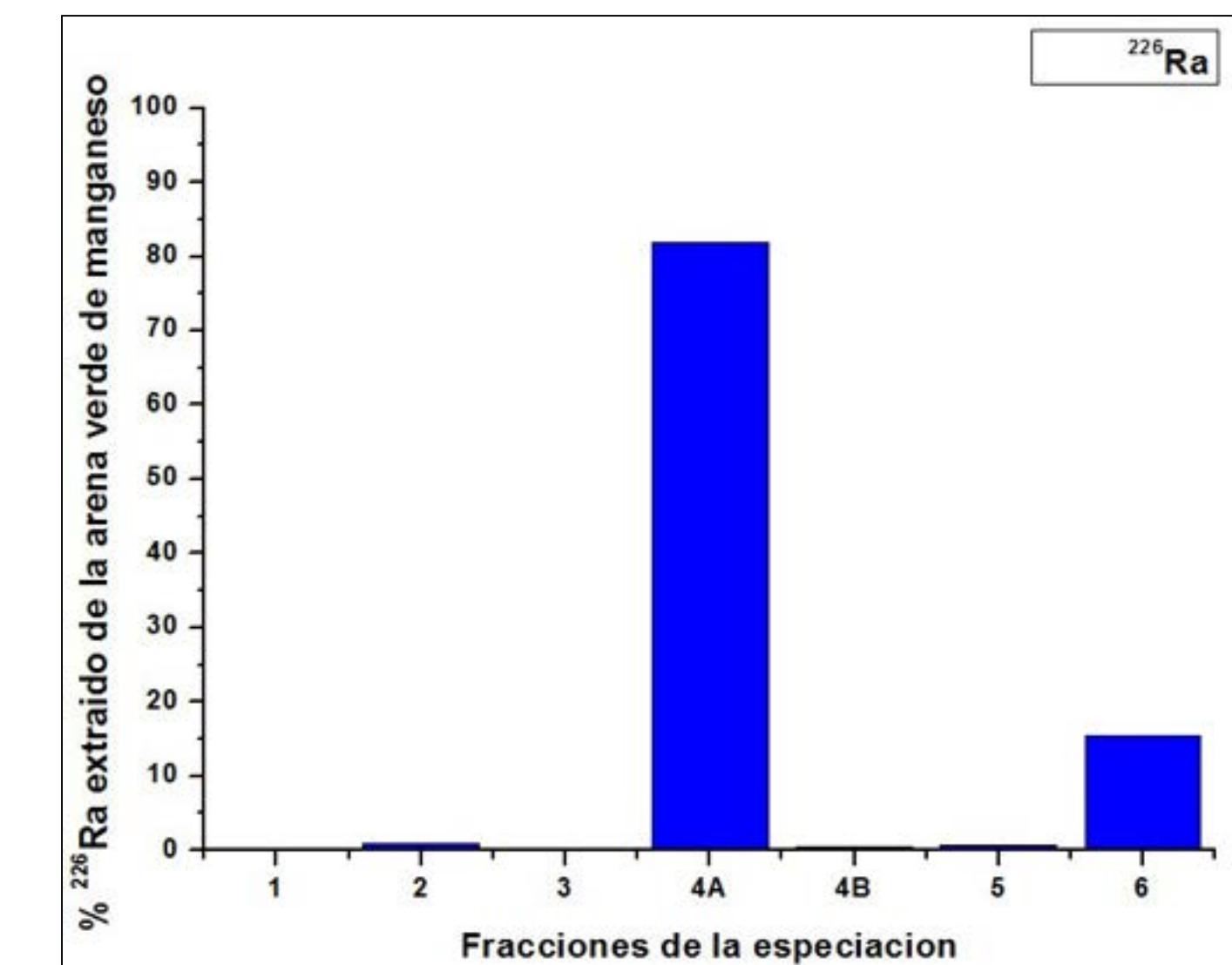
4.b.- Actuación en la parte física de la potabilización: LECHOS FILTRANTES y en su caso, LÍQUIDOS GENERADOS DURANTE LA REGENERACIÓN



- ✓ 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

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)





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

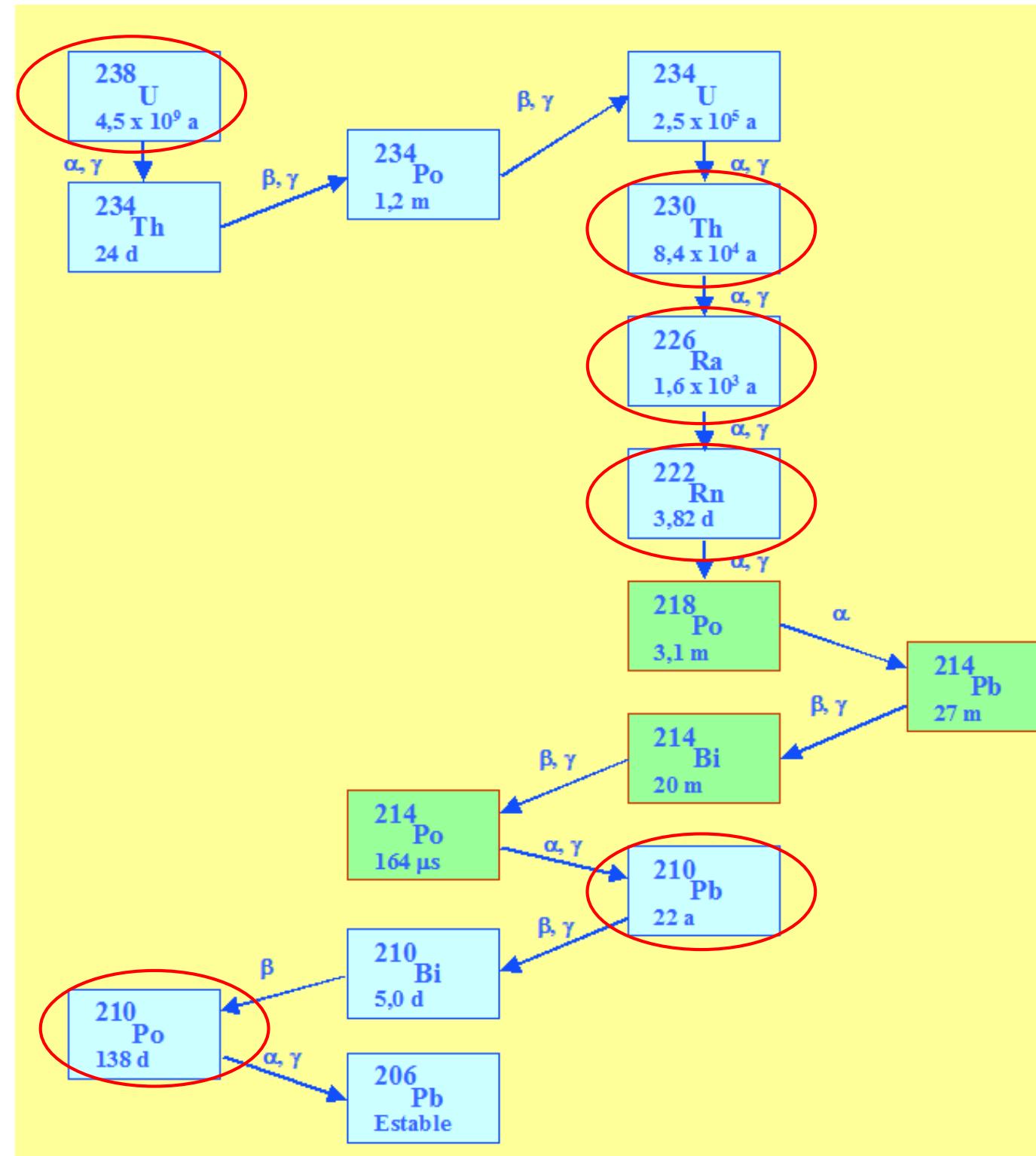
1. Se produce un aumento en las concentraciones de actividad
2. Se modifican las vías de exposición o el número de personas expuestas
3. Se transportan materiales de un lugar a otro
4. Se incrementa la biodisponibilidad de los radioisótopos



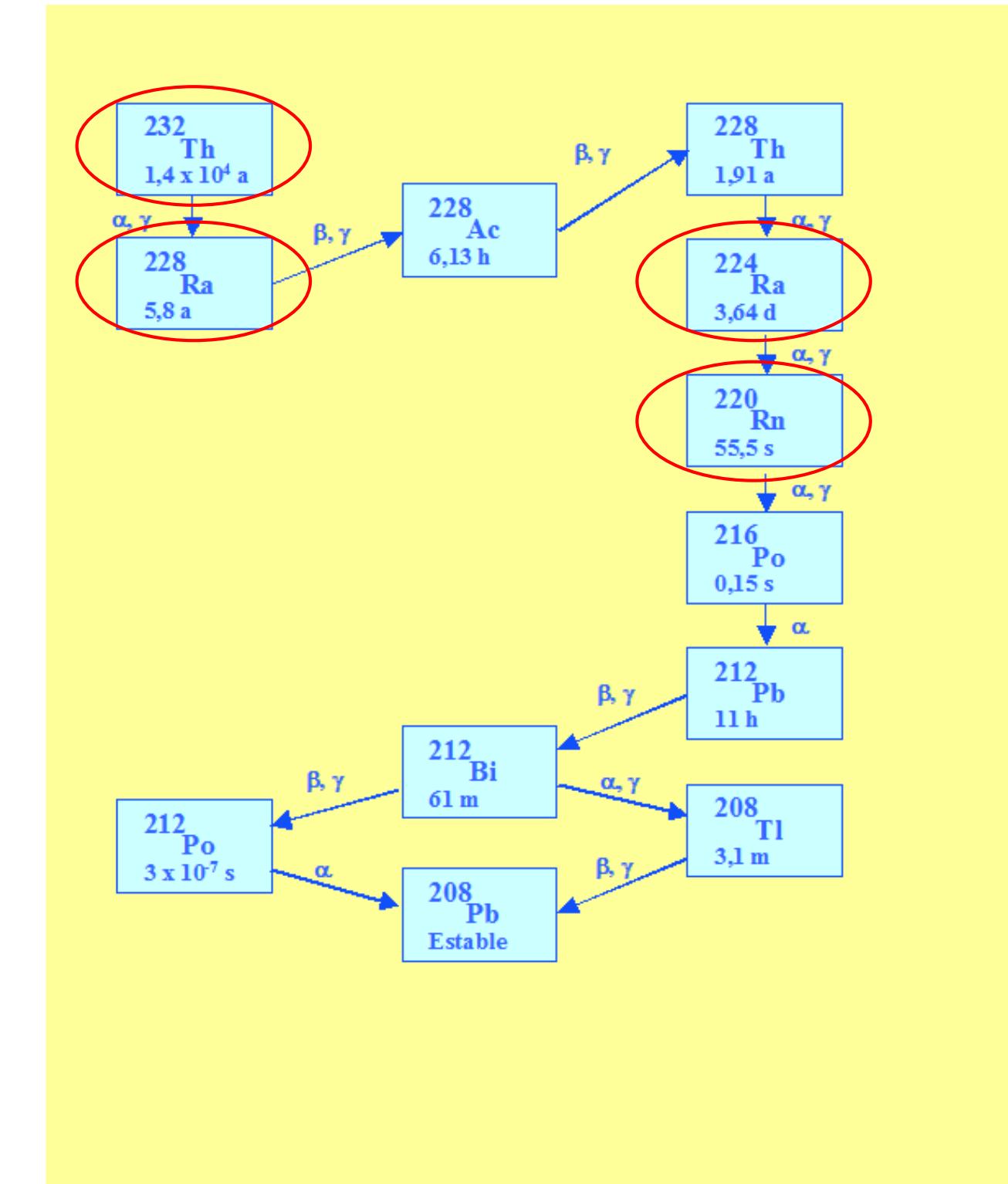
- Cadena U-238 $4.5 * 10^9$ años
- Cadena Th-232 $1.4 * 10^{10}$ años
- Cadena U-235 $7.0 * 10^8$ años
- K-40 $1.3 * 10^9$ años



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.

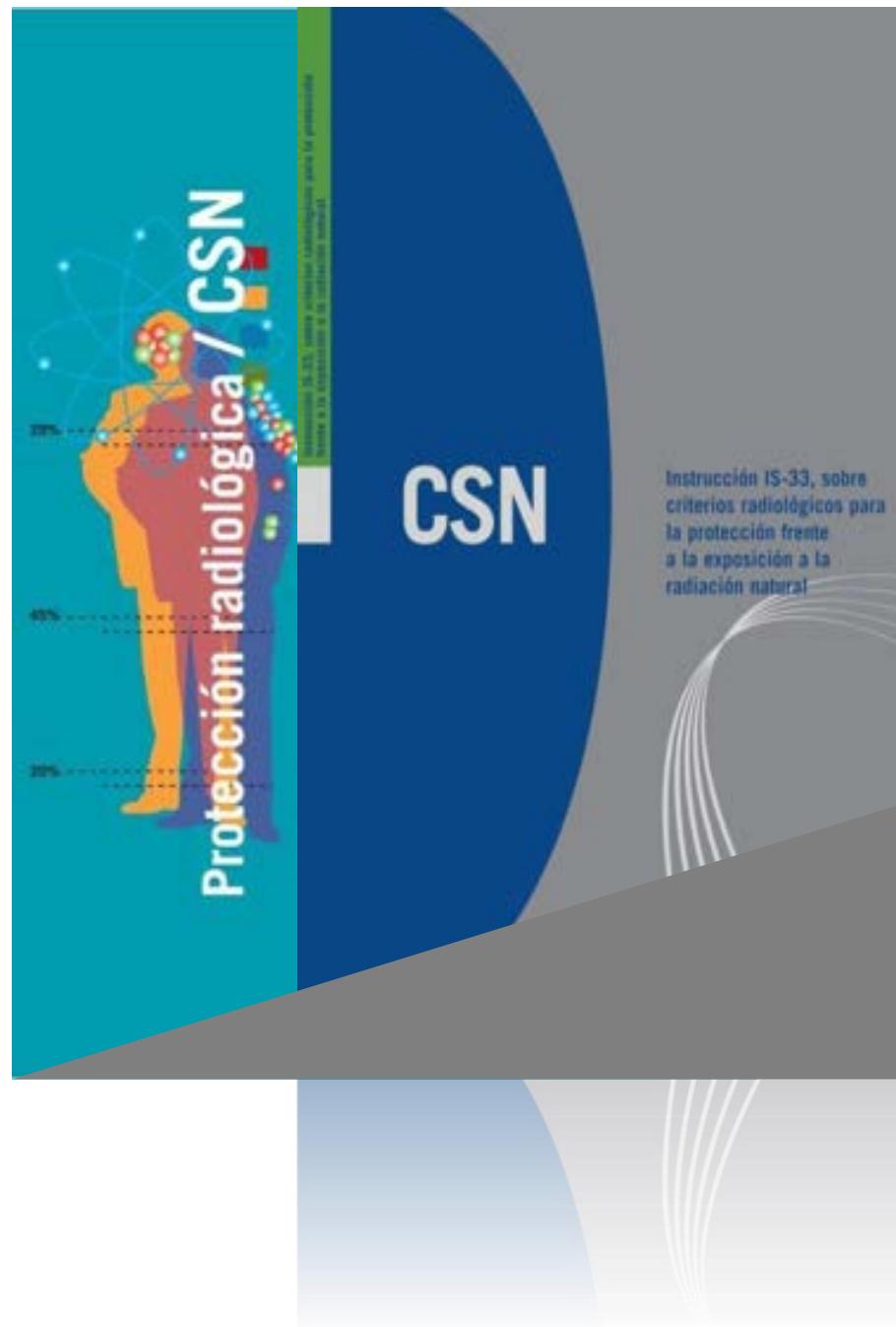


RPSRI Título VII. Fuentes naturales de radiación



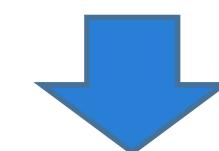
Artículo 62. Aplicación

Establece que los titulares de las actividades laborales no reguladas en las que existan fuentes naturales de radiación, deberán declarar estas actividades ante 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.



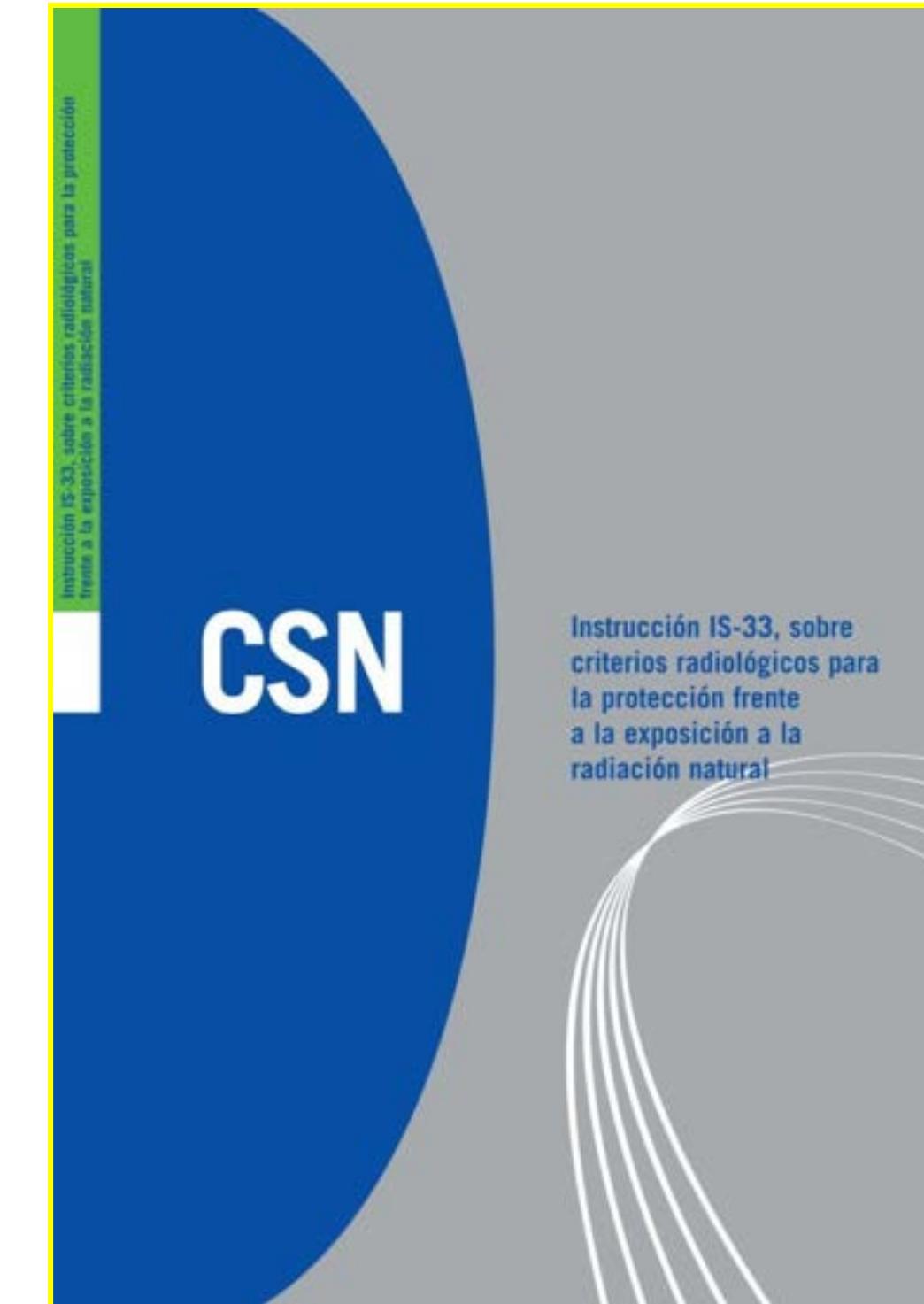
IS-33 (de 26 de enero de 2012) Instrucción del CSN sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural



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

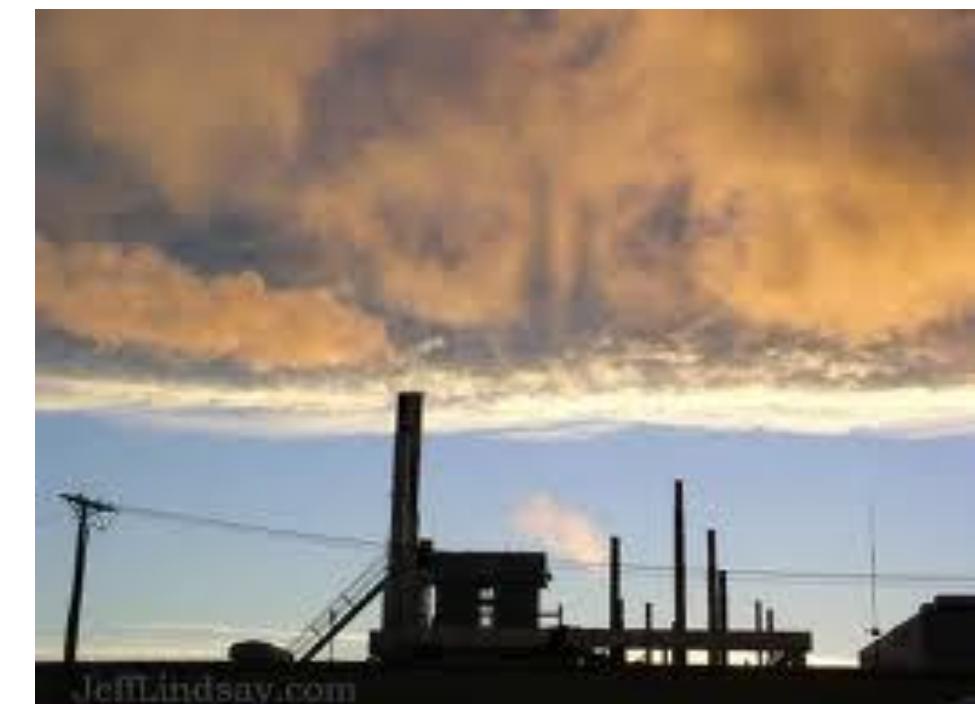


> 6 mSv/año: nivel alto de control regulador

- Señalización de zonas
- Limitación de accesos

Público

0.3 mSv/año





CSN IS-33



Criterios radiológicos. Radón

Lugares de trabajo

Nivel de referencia 600 Bq/m³

< 600

600–1000

> 1000

No necesario control

Nivel bajo de control

Nivel alto de control

Nivel objetivo de diseño nuevos edificios

100 Bq/m³



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

CSN GS 11.02

OM IET/1946/2013

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 Radación 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



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 Reacciones de Potencia y Centrales Nucleares
- 2 Reacciones 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 Radación 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 existe 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

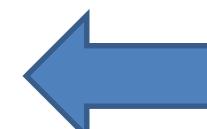
Niveles de Exención / Desclasificación KBq/Kg (Bq/g)

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

TEXTO CONSOLIDADO
Última modificación: 18 de noviembre de 2010



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. 312, de 24 de diciembre de 1999



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

015



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/tantalo
 - ❖ Producción de gas y petróleo
 - ❖ Producción de energía geotérmica (excluido el uso doméstico)
 - ❖ Fabricación de pigmentos de TiO₂
 - ❖ 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 varia considerablemente en función de las aguas tratadas.

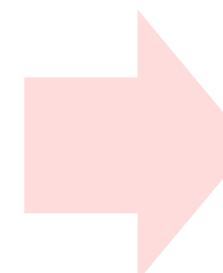


Radionucleido	Actividad específica (Bq g⁻¹)
Pb-210	0.208
Ra-226	1.29
Ra-228	1.102
Th-228	0.316
U-238	0.425

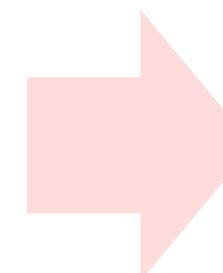


Situación actual

- 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





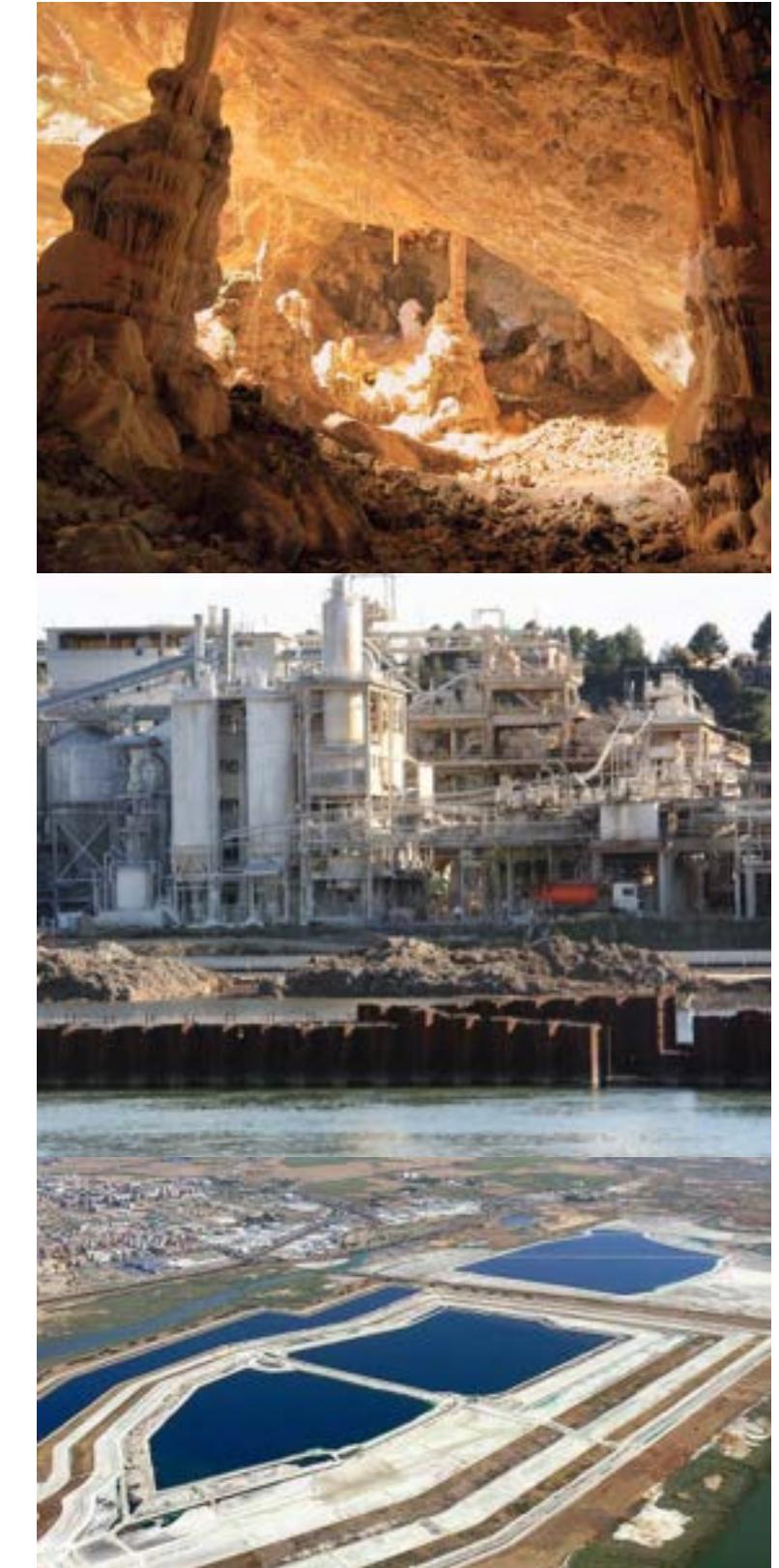
Implementación

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



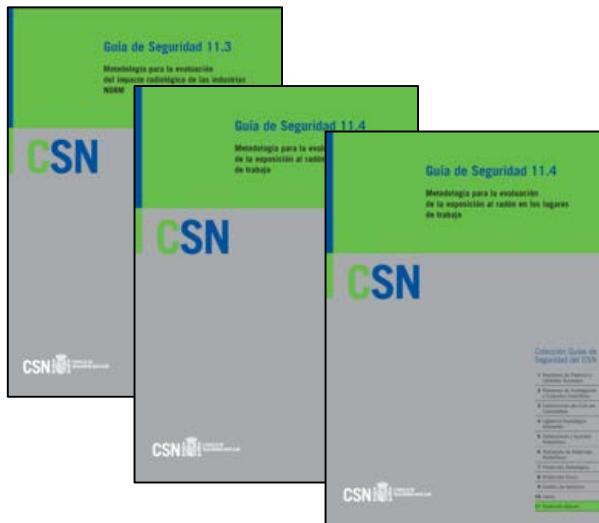


Implementación

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

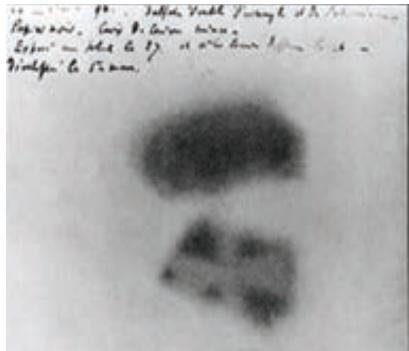




GESTIÓN DE RESIDUOS NORM: INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS

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

RADIACTIVIDAD NATURAL



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

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

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 RADIACTIVIDAD NATURAL

TITULO VII

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

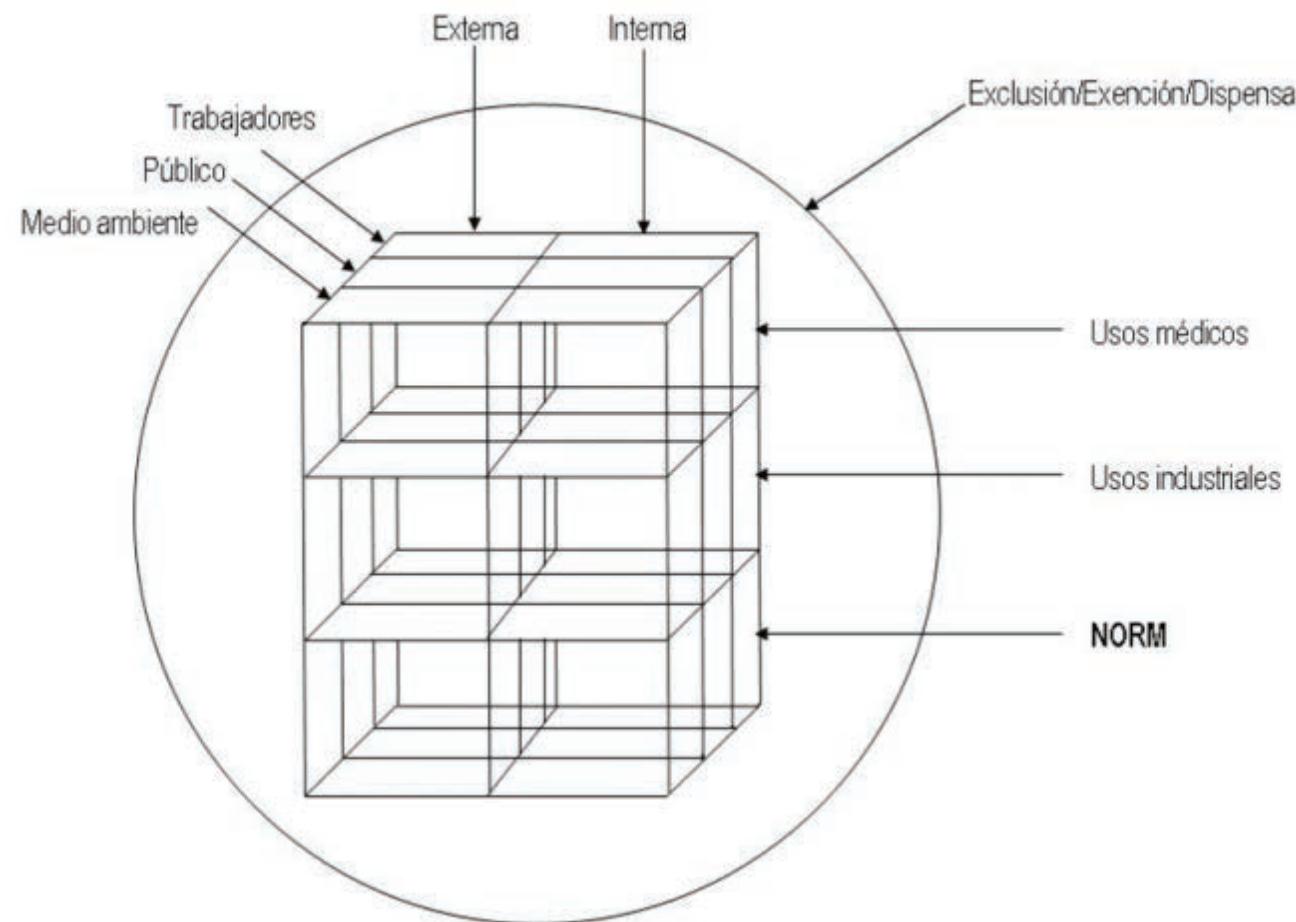
Actividades laborales con exposición a descendientes del torón, radón o a radiación gamma en SPAs, Cuevas, Minas...

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

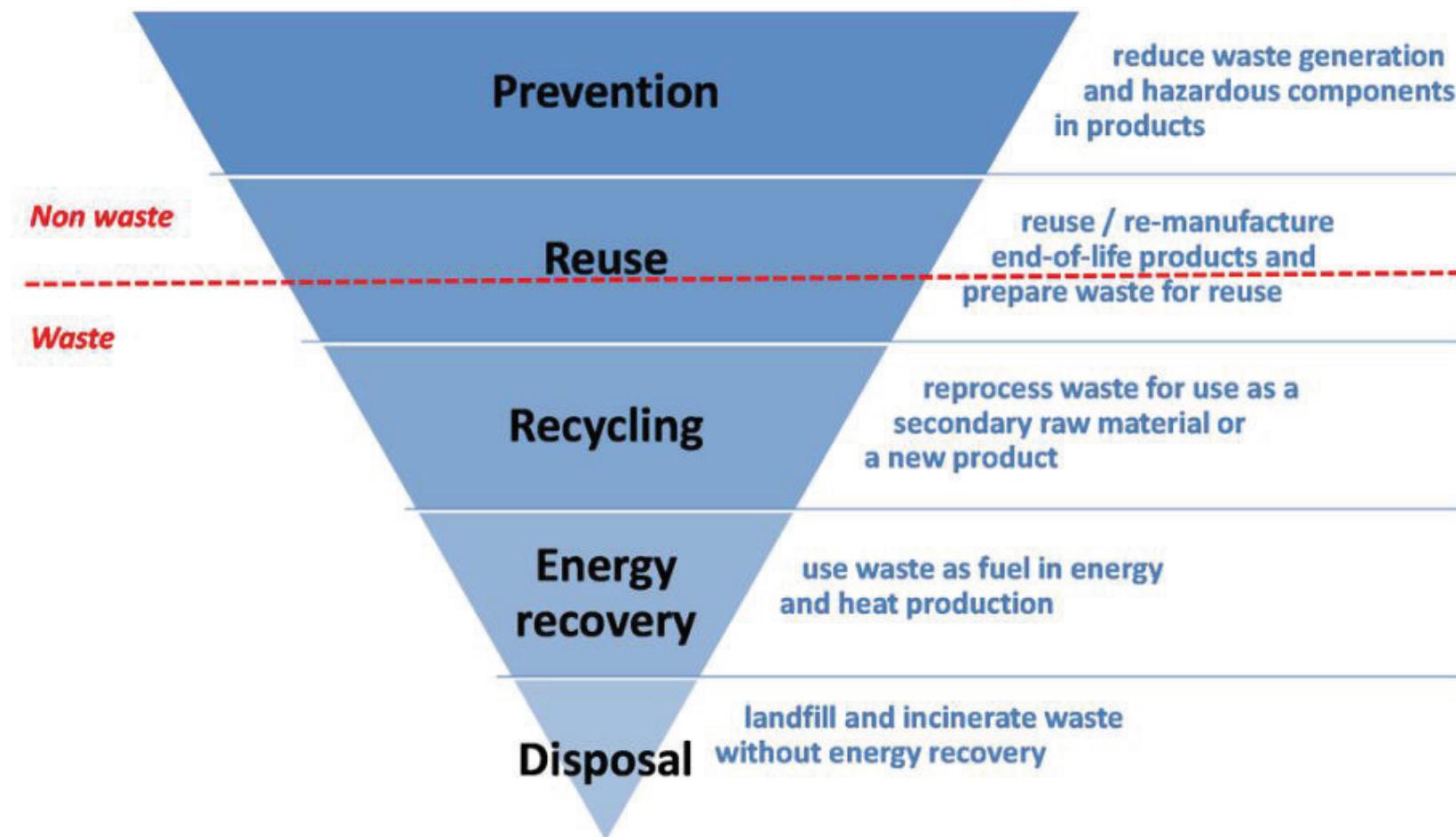
¿Cuáles son las industrias NORM?

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/tantalo	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

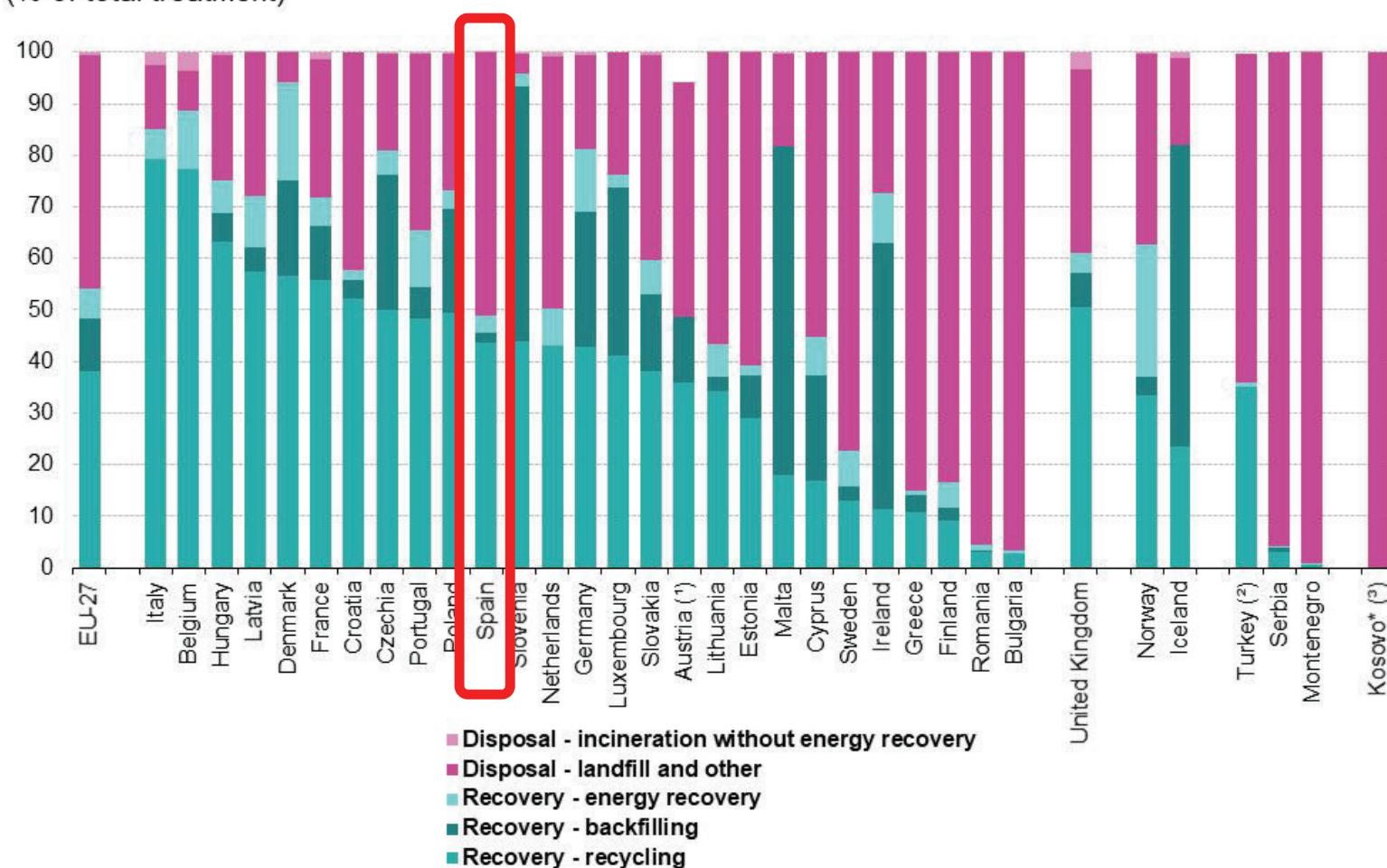


Source: OECD based on various other sources.

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.

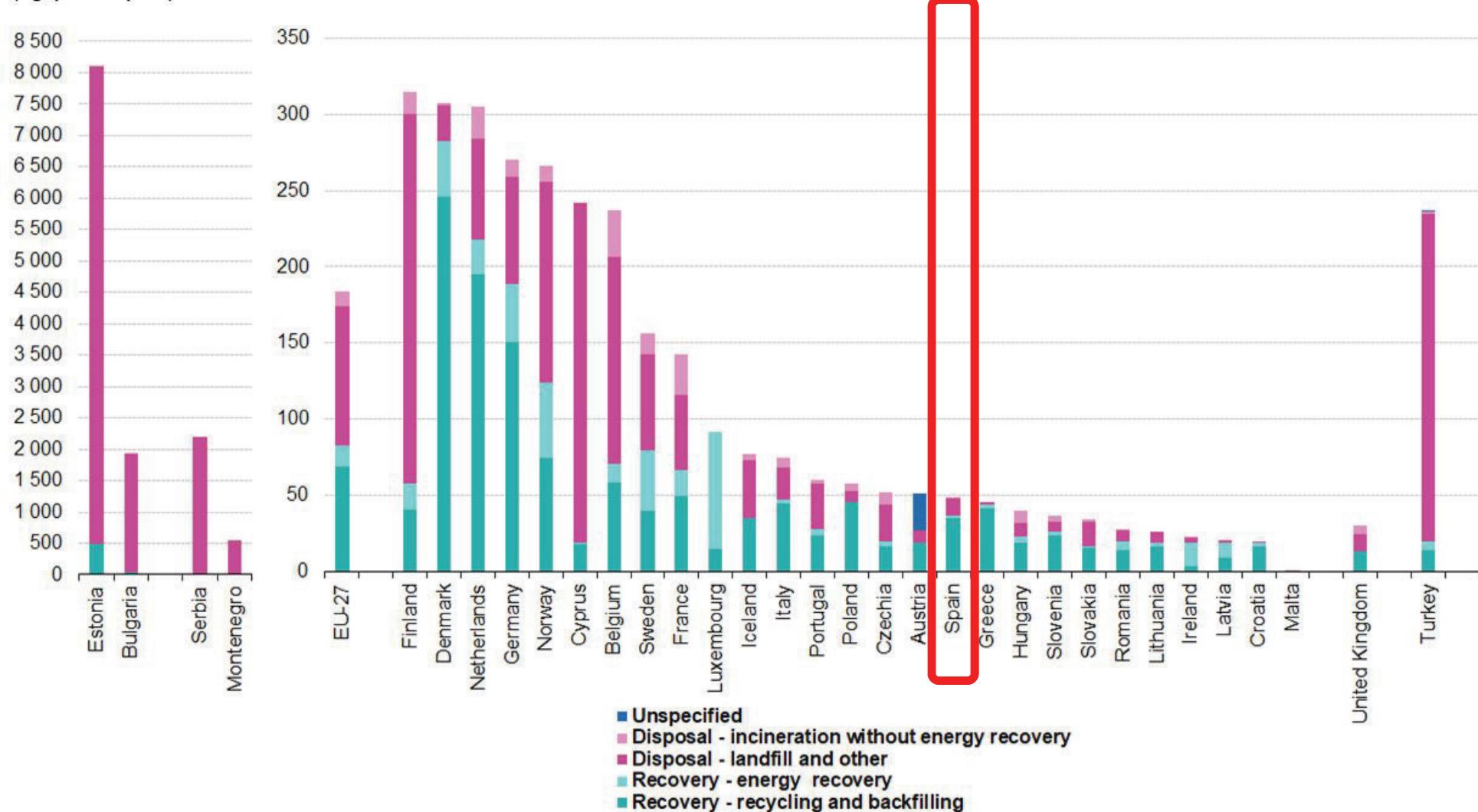
(3) 2016.

* 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_wastrt)

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.

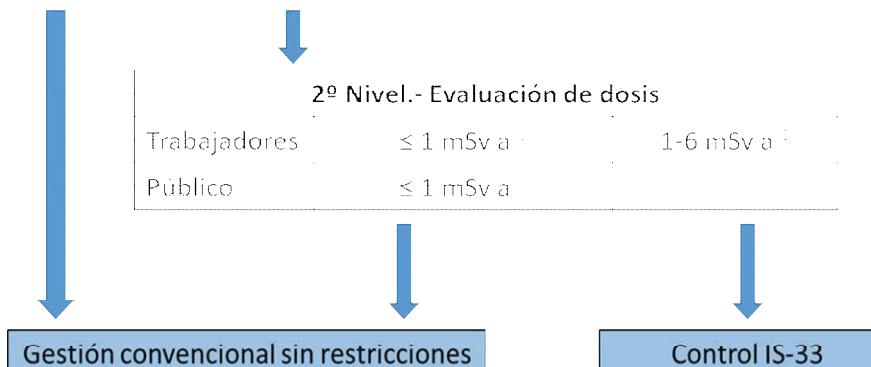
Source: Eurostat (online data code: env_wastrt)

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

1º Nivel.- Concentración de radionucleidos

Cadenas:

^{238}U	$\leq 0.5 \text{ Bq g}^{-1}$	$> 0.5 \text{ Bq g}^{-1}$
^{235}U		
^{232}Th		
$^{40}\text{K}, ^{210}\text{Po}$	$\leq 5 \text{ Bq g}^{-1}$	$> 5 \text{ Bq g}^{-1}$



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 2º 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 1438/2010, 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 regulatorio 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

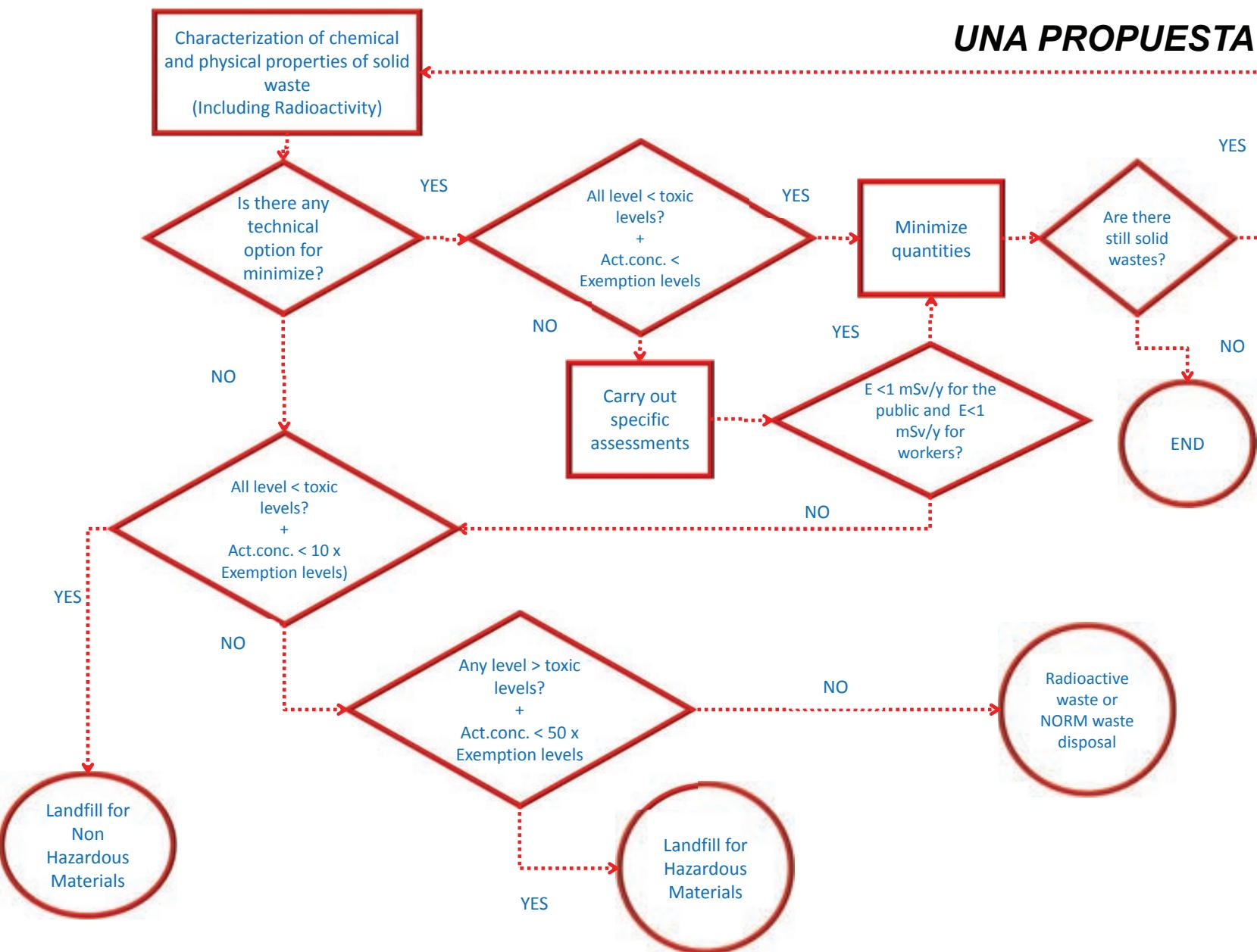
Y...¿QUÉ HACEMOS CON LOS RESIDUOS NORM?

- **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? → $\geq 10 \times \text{EL}$?
- ¿Qué nivel de radioactividad determina si un residuo debe considerarse sólo tóxico o **más que tóxico**? → $\geq 50 \times \text{EL}$? (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,

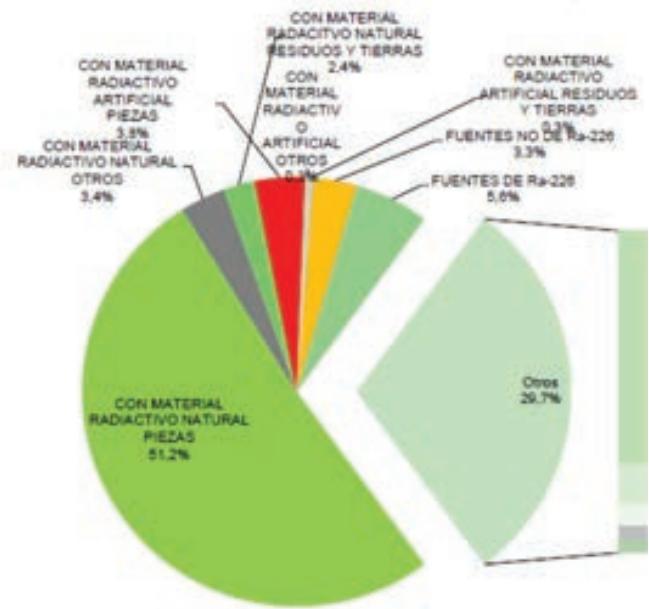
UNA PROPUESTA DESDE CIEMAT



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 December 2009, Pages 460–470



Use of fly ash, phosphogypsum
the disposal of hazardous

Semra Çoruh , Osman Nuri Ergun



Construction and Building Materials

Volume 22, Issue 8, August 2008



Utilization of phosphogypsum as raw
manufacturing of building products

Nurhayat Değirmenci



Building and Environment

Volume 42, Issue 2, February 2007, Pages 1036–1042



Cleaner phosphogypsum, coal combustion
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 Jobbágyn^a, József Kovács^b, Sándor Tarján^c, Tibor Kovács^a,

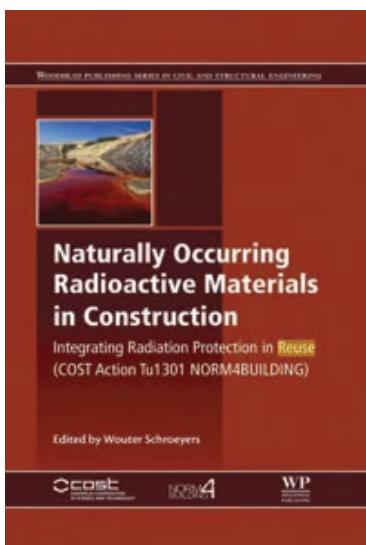
REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE.

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

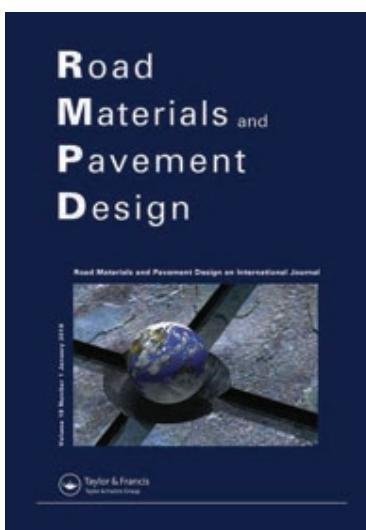
NORM como materiales de construcción.



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

REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE.

NORM en materiales de construcción (viviendas).

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

GESTIÓN DE RESIDUOS NORM EN VERTEDEROS.

Una publicación de ENRESA • N° 116 • INVIERNO 2016



El arte de
la imagen
científica



Dendrocronología: el
los árboles, el mejor

Luis Moreno
catedrático de Inge
Sistemas y Aut
"Los países más rob
son los que más rique
empleo"

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



Vista de un vertedero de residuos industriales.

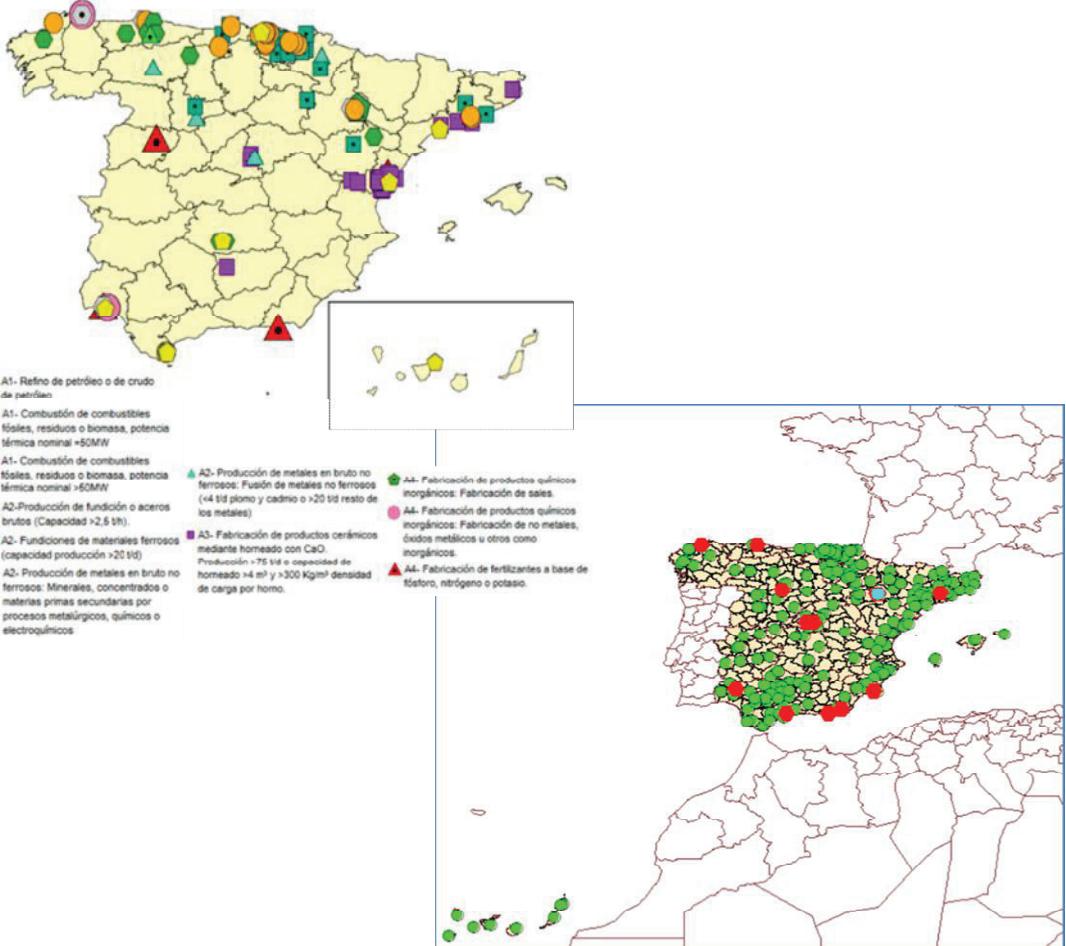
© CEMAT

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 radioactivos, 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.

Autores: JUAN CARLOS MORA Y ALLA DVORZHAK, UNIDAD DE PROTECCIÓN RADIADELA DEL PÚBLICO Y DEL MEDIO AMBIENTE, DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE DEL CEMAT



• 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,b,*}, Antonio Baeza^b, Beatriz Robles^c, Javier Sanz^c

^a CEA-EN Radioprotection and the Environment (CEMAT), Avda. Complutense s/n, 28040 Madrid, Spain
^b UGR, Dept. Applied Physics, Faculty of Veterinary Science, University of Granada, Avda. Universidad s/n, 18071 Alfonso XIII, Spain
^c Energy Engineering Department, Faculty of Engineering, Nuclear Area, ETSI de Minas, 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 18 August 2015
 Received in revised form 3 February 2016
 Accepted 10 February 2016
 Available online 22 February 2016

Keywords:
 NORM wastes management
 Landfill
 Uncertainties

ABSTRACT

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

After 1999 the radiological impact of the management of NORM wastes is considered and all the aspects related with natural radiations and the radiological control regarding the management of residues from NORM industries were developed in the new regulation. One option to be assessed is the disposal of NORM wastes in hazardous and non-hazardous waste disposals, as was done before this new regulation.

This work analyzed the management of NORM wastes in those landfills to define the measures that can be adopted to minimize the impact. Given the uncertainty in the data, an uncertainty analysis using a 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 treated and/or filtered in order to reduce contamination to a reasonable level and then diluted into the atmosphere or aqueous 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 on a European Directive [3], points out the importance of a first stage addressed to measure the quantities of solid wastes by recycling or reprocessing materials or potential, or by reducing the volume, thus implying a concentration of the activity (compression, incineration or other methods) before the disposal of the real 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: CEMAT-Avda. Complutense s/n, 28040 Madrid, Spain.
 E-mail address: jcmora@cemat.es (J.C. Mora).

http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.02.009
 0304-3800/\$ - see front matter © 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.



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

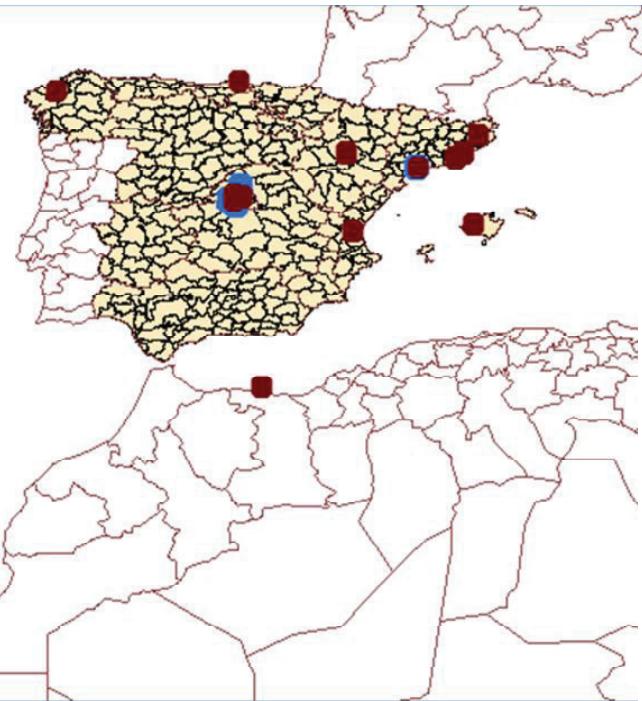
- 1 Covering (soil for vegetation)
- 2 Filtering
- 3 Drainage
- 4 Waterproof layer →
- 5 Waterproof mineral layer
- 6 Drainage and waterproof
- 7 Waste
- 8 Filtering
- 9 Drainage
- 10 Waterproof layer →
- 11 Artificial geologic barrier
- Natural geologic barrier



• 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.

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

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-1068

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

Waste Incineration

August 2006

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

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY IAEA

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



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

MINERÍA DE RECURSOS EN VERTEDEROS CLAUSURADOS.

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

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

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



Linköping Studies in Science and Technology
Dissertation No. 1799

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

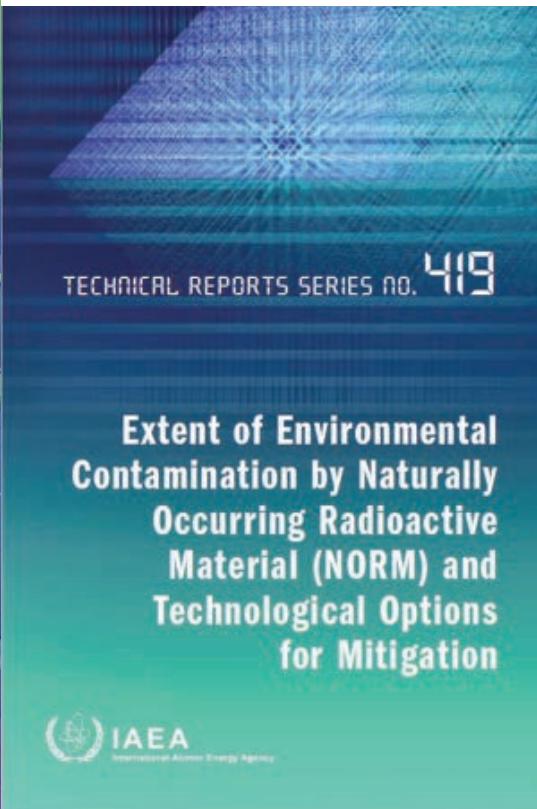
Nils Johansson



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



ETAPS.



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

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

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

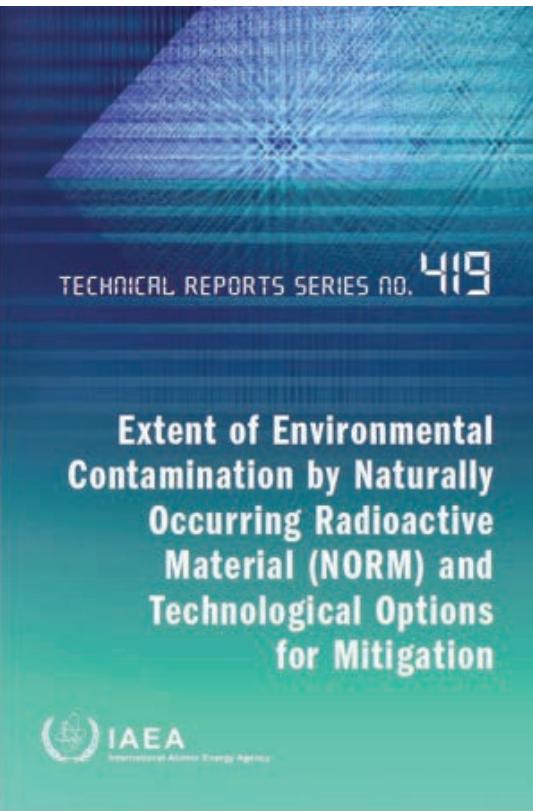
Generalmente la relación $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1$ (hasta 28, pero generalmente entre 1 y 3).

^{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).

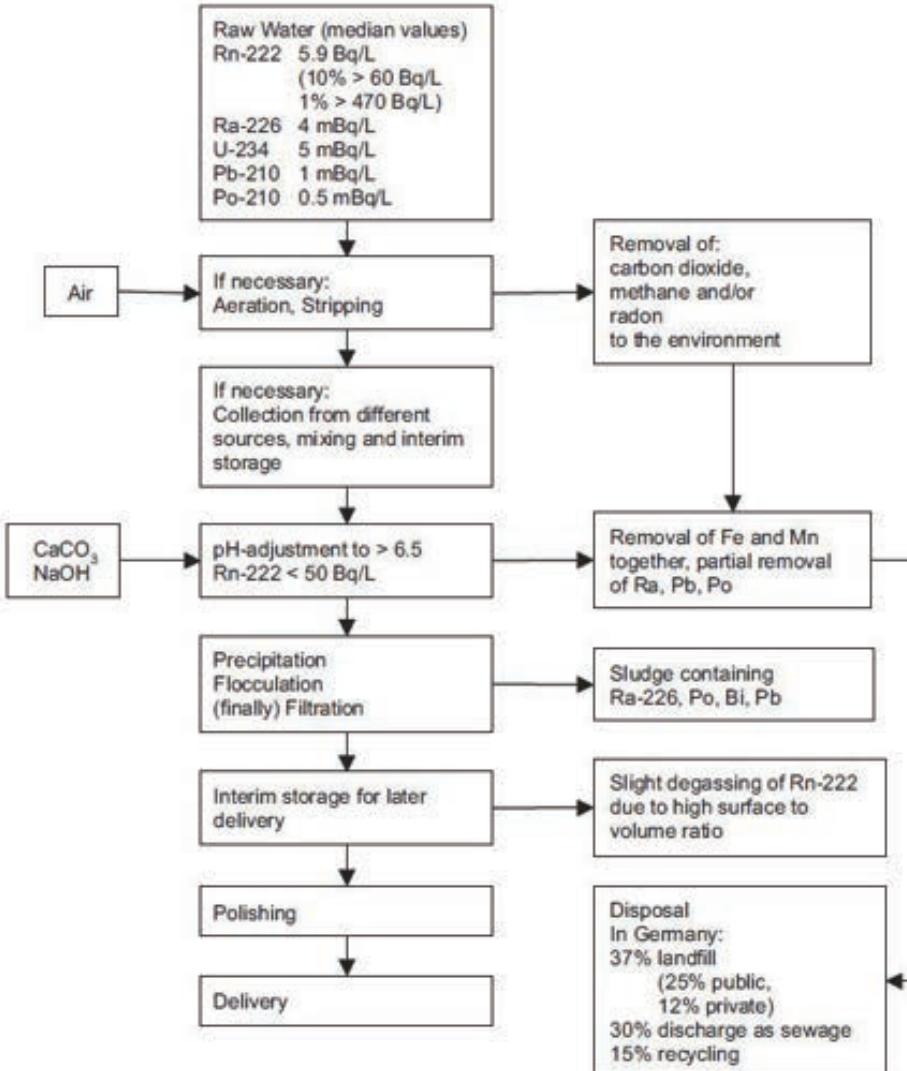
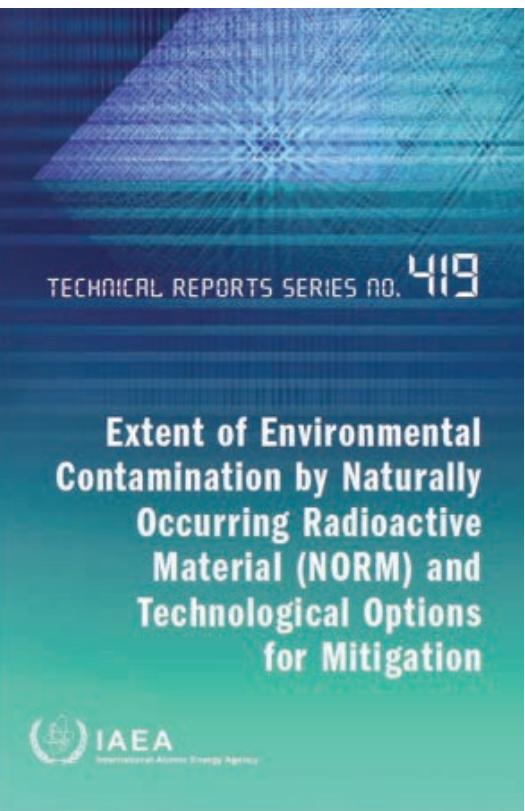


FIG. 18. Typical sequence of drinking water treatment [97].

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

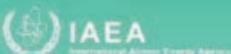


TABLE XVII. CHARACTERISTICS OF SELECTED WATER TREATMENT WASTES (COMPUTED LEVELS) [86]

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

Treatment method	NORM concentration in water (Bq/L)		Waste volume (kg/d)	Approximate radioactivity (Bq/L)
	Raw	Finished		
Coagulation/filtration (U)	1.85	0.37	10 ^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.

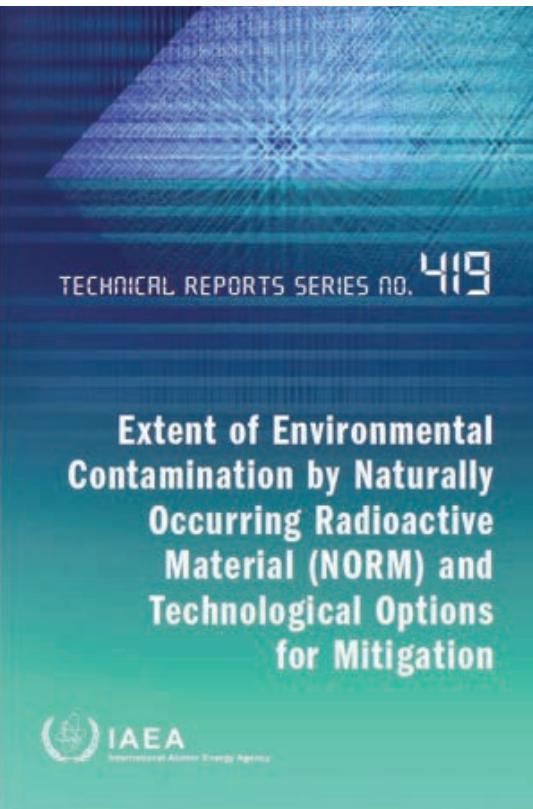
^b Does not include ion exchange resins, which have much higher radioactivity levels.

^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:

Iodos, 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.

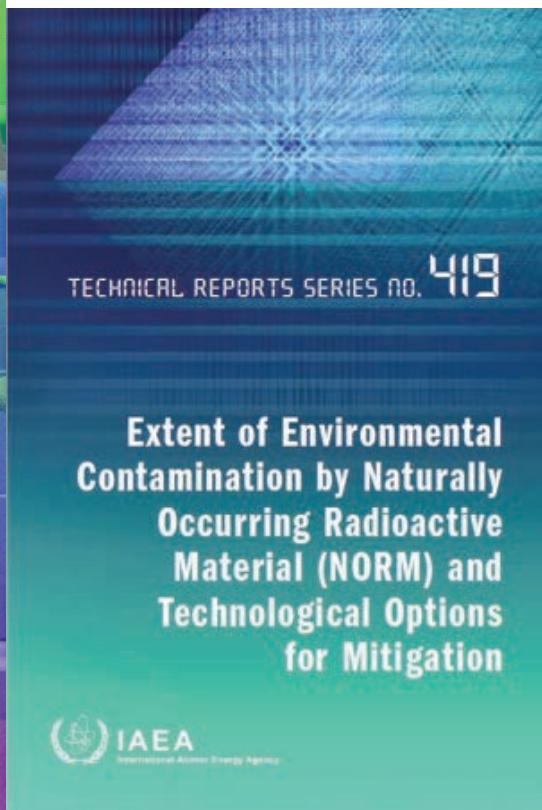


TABLE XIX. DISPOSAL PRACTICES FOR NORM FROM WATER TREATMENT FACILITIES IN THE USA [86]

Liquid waste disposal	Solids/sludge disposal
Direct discharge to surface water	Temporary lagooning (surface impoundment)
Deep well injection	Disposal in landfill
Drying or chemical precipitation	<ul style="list-style-type: none"> — without prior treatment (resins, filter media, granular activated carbon) — after temporary lagooning — after mechanical dewatering
Irrigation	Application to land (soil spreading/conditioning)
Sanitary sewer discharge	Disposal at licensed low level waste facility

Management of NORM ResiduesTABLE 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

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 (URAIS), Consorci d'Agües de Tarragona (CAT), Ctra. Nac. 340 Km 1094, 43895 L'Ampolla, 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	¹⁰³ Ru: 0–340 ¹⁰⁹ Ru: 1100–4200 ^{110m} Ag: 0–230 ¹²⁵ Sb: 0–220 ²³² U: 4.5 ²³⁴ U: 43–45 ²³⁴ Pb: 61–62 ²¹⁰ Pb: 230–368 ⁷ —: 200–300	(Puhakainen and Rahola, 1989)
Sweden	n.e.	n.e.	Plutonium, thorium, uranium, lead, berillium	Co-precipitation; Liquid–liquid	Alpha spectrometry Gamma spectrometry	²³⁹ Pu: 0.72–0.86 ²³² Th: 4.5 ²³⁴ U: 43–45 ²³⁴ Pb: 61–62 ²¹⁰ Pb: 230–368 ⁷ —: 200–300	(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	²³² U: 720–12,000 ²³⁸ U: 660–7800 ²²⁶ Ra: 23–7140 ²¹⁰ Po: 24–600 ²²⁸ Th: 57–870 ²³⁰ Th: 13–54	(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	²³² U: 24–790 ²³⁸ U: 19–590 ²²⁶ Ra: 0.3–27 ²²⁸ Th: 8–90 ²²² Rn: 4–30 ⁴ K: 10–4600 ²¹⁰ Po: 20–400 ²¹⁰ Pb: 10–1050 ²²⁸ Th: 10–875 ²¹⁰ Pb: 10–405 ²²⁶ Ac: 10–380 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	LLO-MSFA	Liquid scintillation counting Gamma spectrometry	⁸⁷ Rb: 1.9–16.5 ²¹⁰ Pb: 12–132 ²¹⁰ Po: 11–121 ⁷ Be: 75–517 ⁴ K: 133–478 ¹³⁷ Cs: 0.9–2.6 ²²⁸ Th: 39–287 ²³⁸ U: 30–250 ²²⁶ Ra: 6–120 ²¹⁰ Pb: 10–110 ²²⁸ Th: 12–77 ⁴ K: 60–330 ⁷ Be: 9–480	(Montaña et al., 2013a)
Australia	100 g	—	Gamma emitters	—	Gamma spectrometry	²²⁶ Ac: 11–73 ²¹⁰ Pb: 7–56 ²¹⁰ Po: 8–66 ²²⁸ Th: 1.9–16.5 ²¹⁰ Pb: 12–132 ²¹⁰ Po: 11–121 ⁷ Be: 75–517 ⁴ K: 133–478 ¹³⁷ Cs: 0.9–2.6 ²²⁸ Th: 39–287 ²³⁸ U: 30–250 ²²⁶ Ra: 6–120 ²¹⁰ Pb: 10–110 ²²⁸ Th: 12–77 ⁴ K: 60–330 ⁷ Be: 9–480	(Klein Schmidt and Alber, 2008)
Spain	500 g	—	Gamma emitters	—	Gamma spectrometry	²²⁶ Ac: 12–212 ²¹⁰ Pb: 4–92 ²¹⁰ Po: 10–40 ²²⁸ Th: 5–73 ²¹⁰ Pb: 49–731 ²¹⁰ Po: 44–693 ⁷ Be: 4–293 ⁴ K: 127–1391 ^{110m} Ag: 1–76 ⁵⁹ 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: 148–12,987 ²²² Th: 22.2–2622 ²²⁸ Th: 7.4–360 ²³⁴ U: 148–333 ²³² U: 37–74 ²³⁰ 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 ²³⁰ U: 15–49	(Chmielewska et al., 2014)

n.e. = not specified.

^a d.w. = dry weigh.**Chemosphere**

Volume 97, February 2014, Pages 108–114

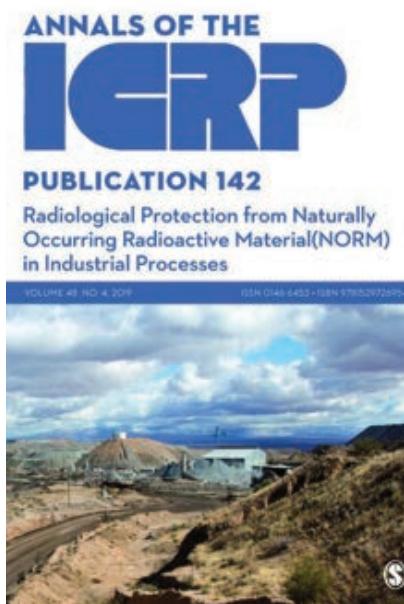
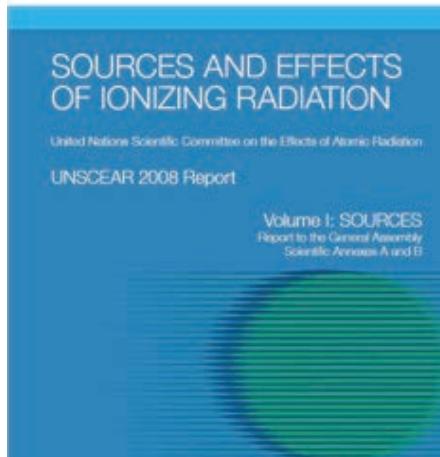
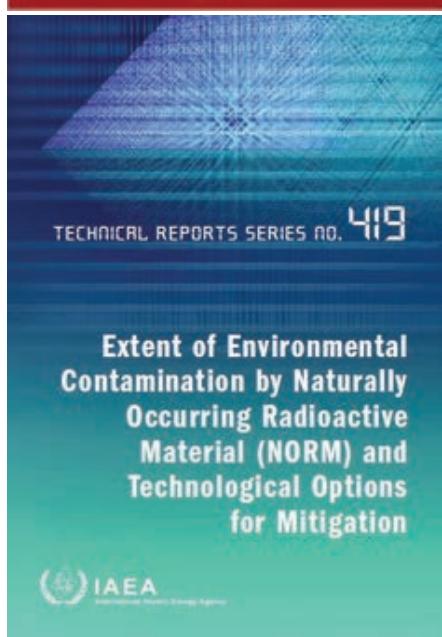


Technical Note

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: 13–54	(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

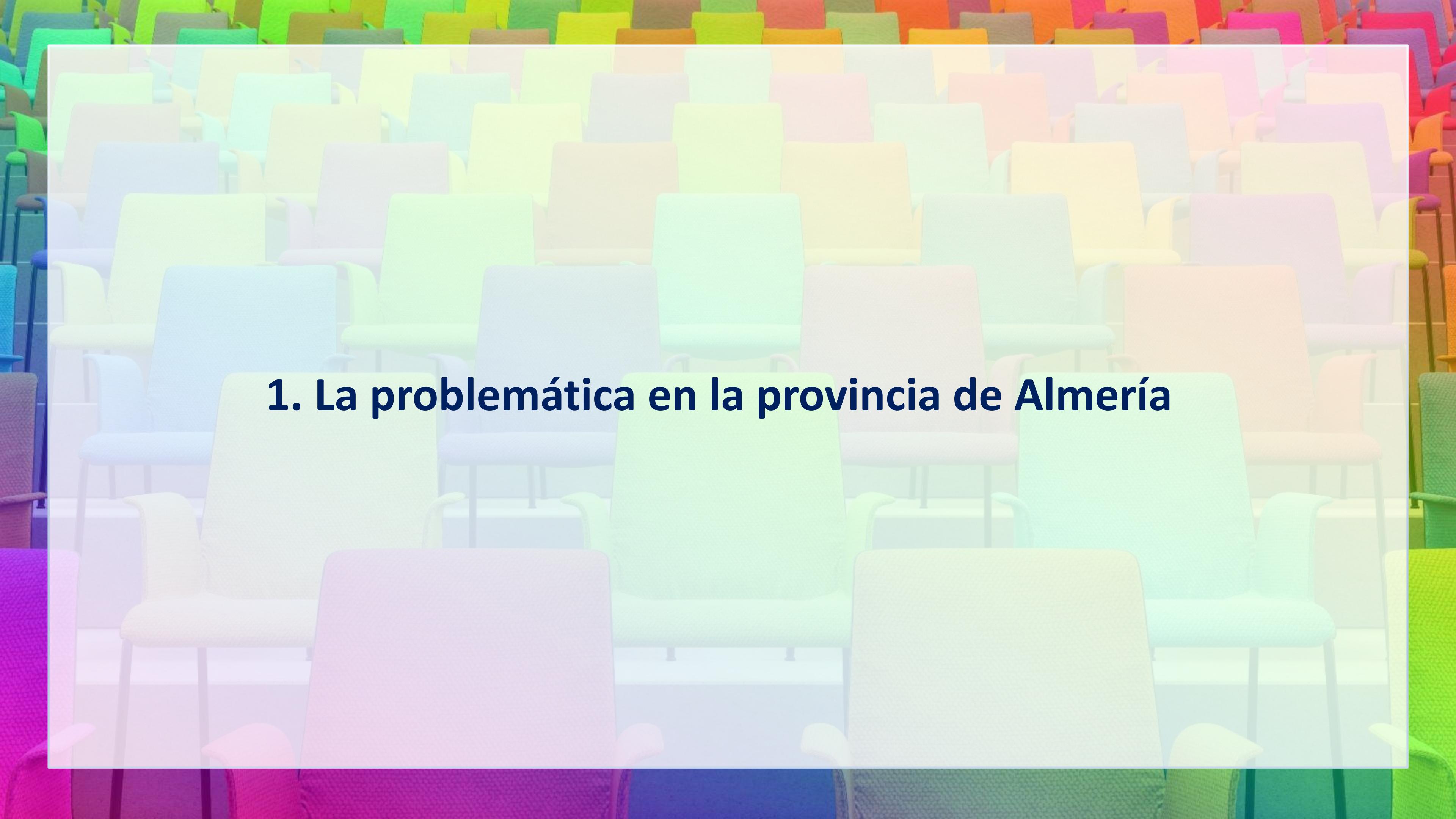
imrodriguez@ual.es



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



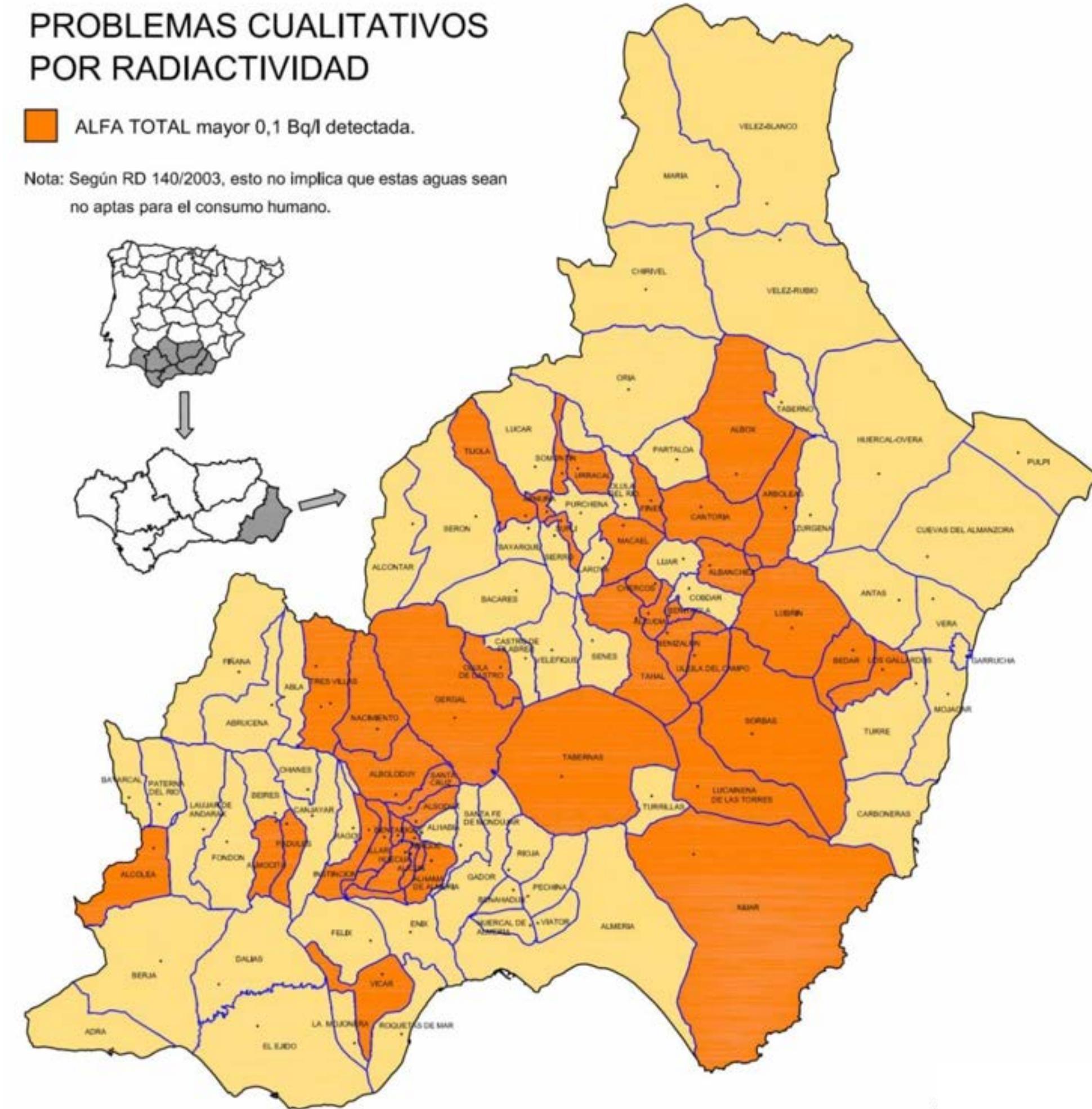


1. La problemática en Almería

PROBLEMAS CUALITATIVOS POR RADIACTIVIDAD

 ALFA TOTAL mayor 0,1 Bq/l detectad

Nota: Según RD 140/2003, esto no implica que estas aguas sean aptas para el consumo humano.



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

Antigua ETAP Benizalón

Filtros multicapa en presión



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

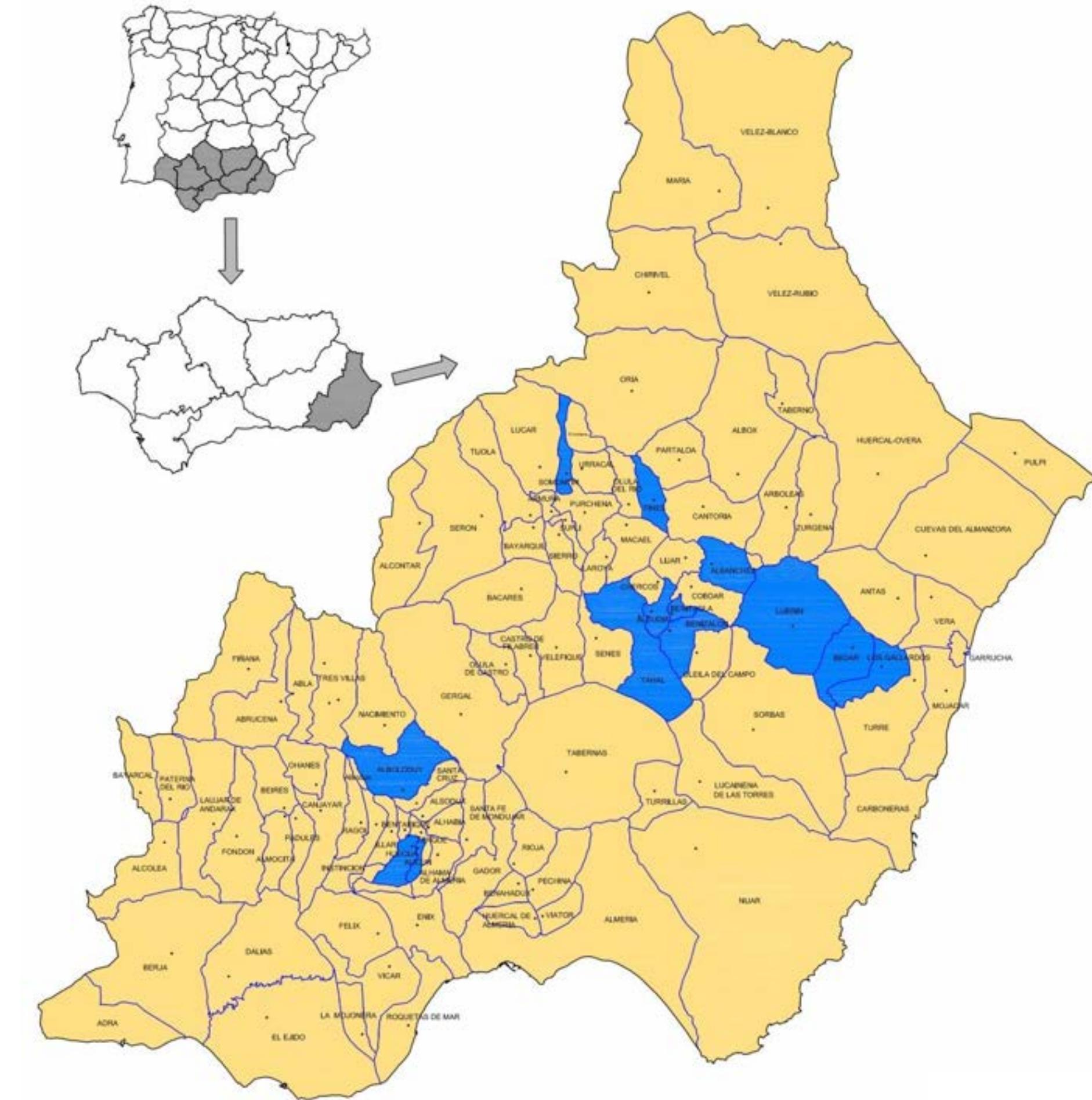
ETAPs EN SERVICIO PARA LA ELIMINACIÓN DE RADIOACTIVIDAD

ETAP	T.M.	PUESTA SERVICIO	TIPO TRATAMIENTO ACTUAL	CAUDAL PRODUCCIÓN (m³/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
Almocázar	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	Saneamiento 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

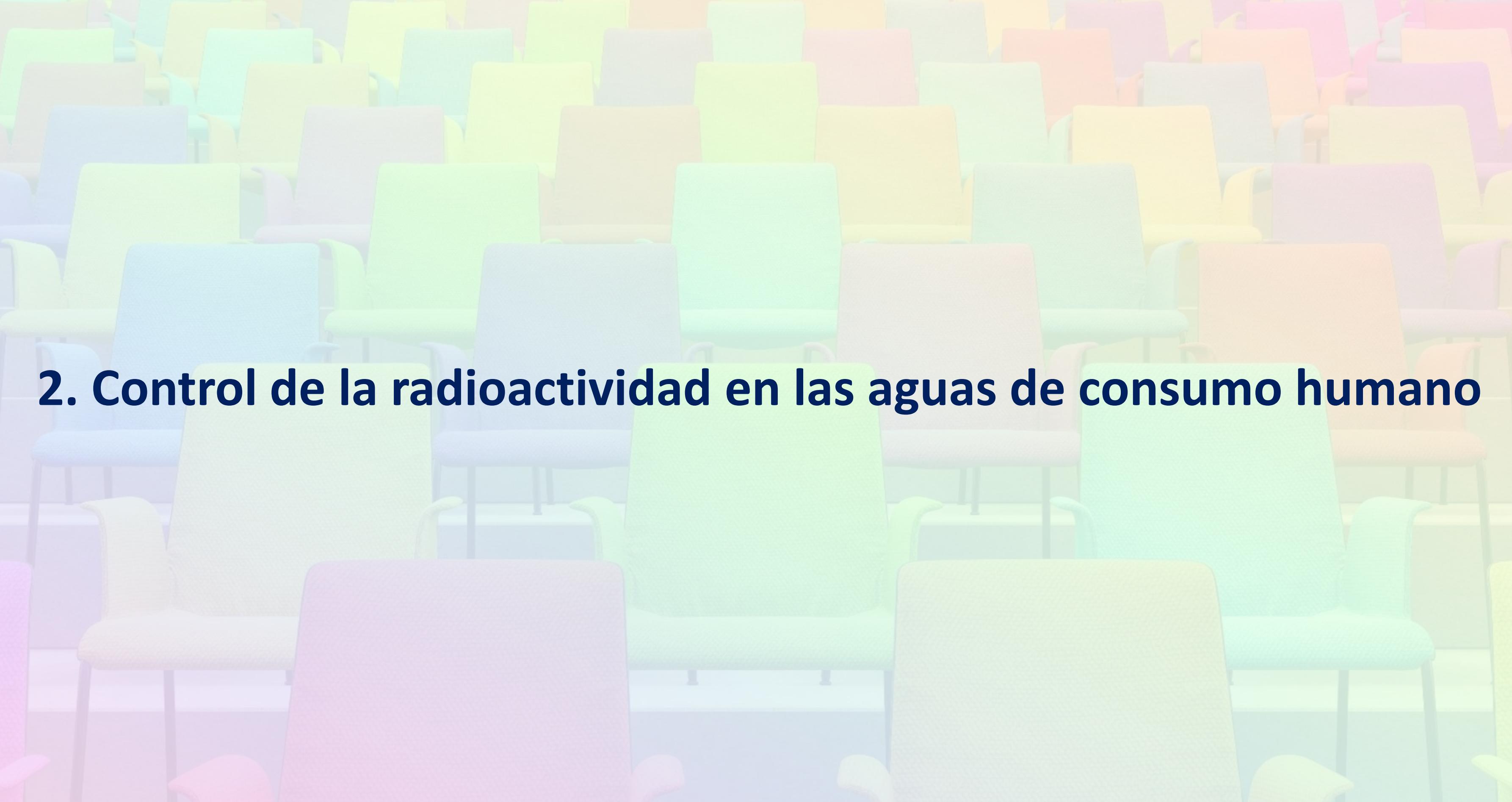


1. La problemática en Almería

SITUACIÓN ETAPs EN SERVICIO PARA LA ELIMINACIÓN DE RADIOACTIVIDAD

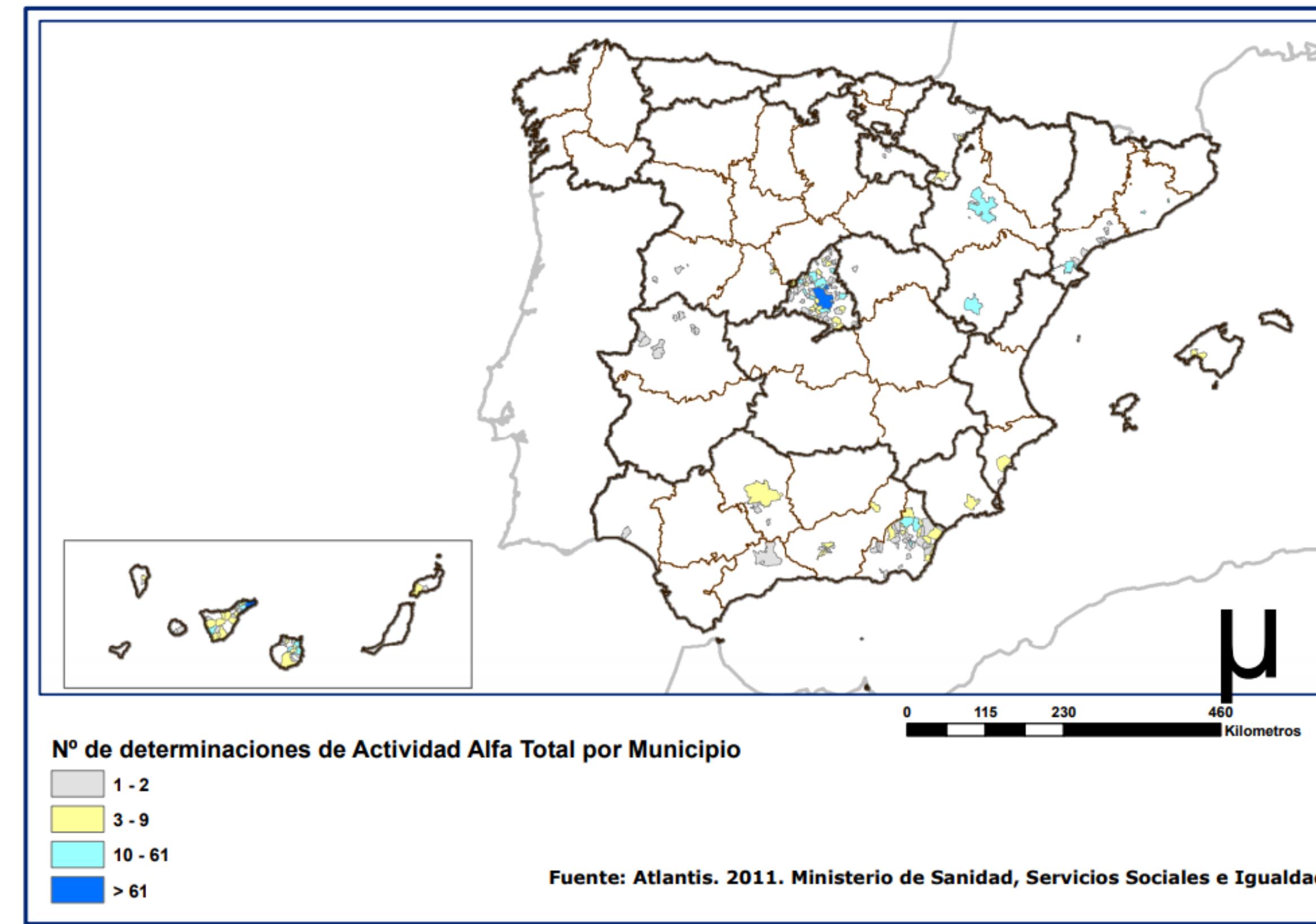


DIPUTACIÓN DE ALMERÍA

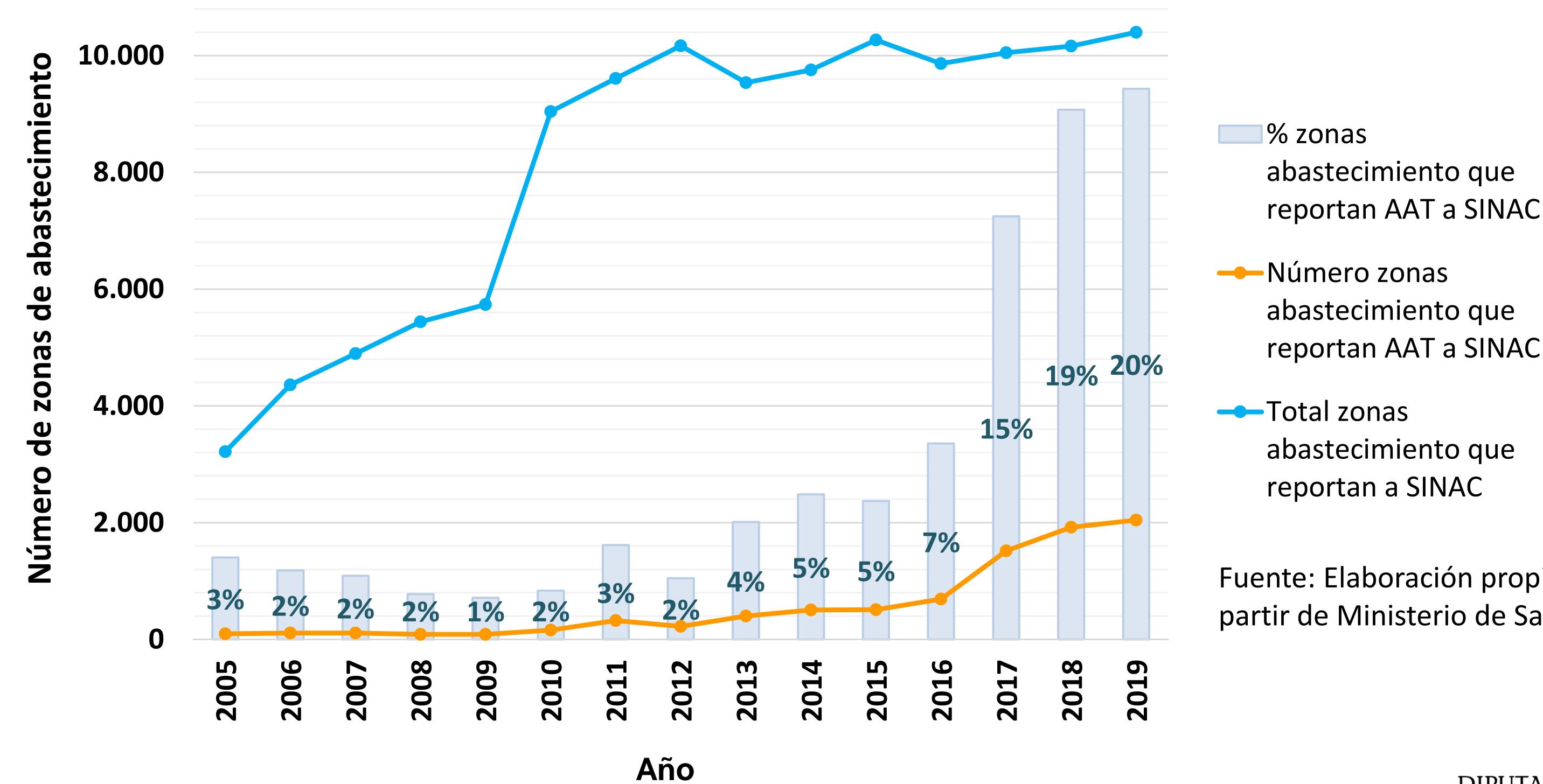


2. Control de la radioactividad en las aguas de consumo humano

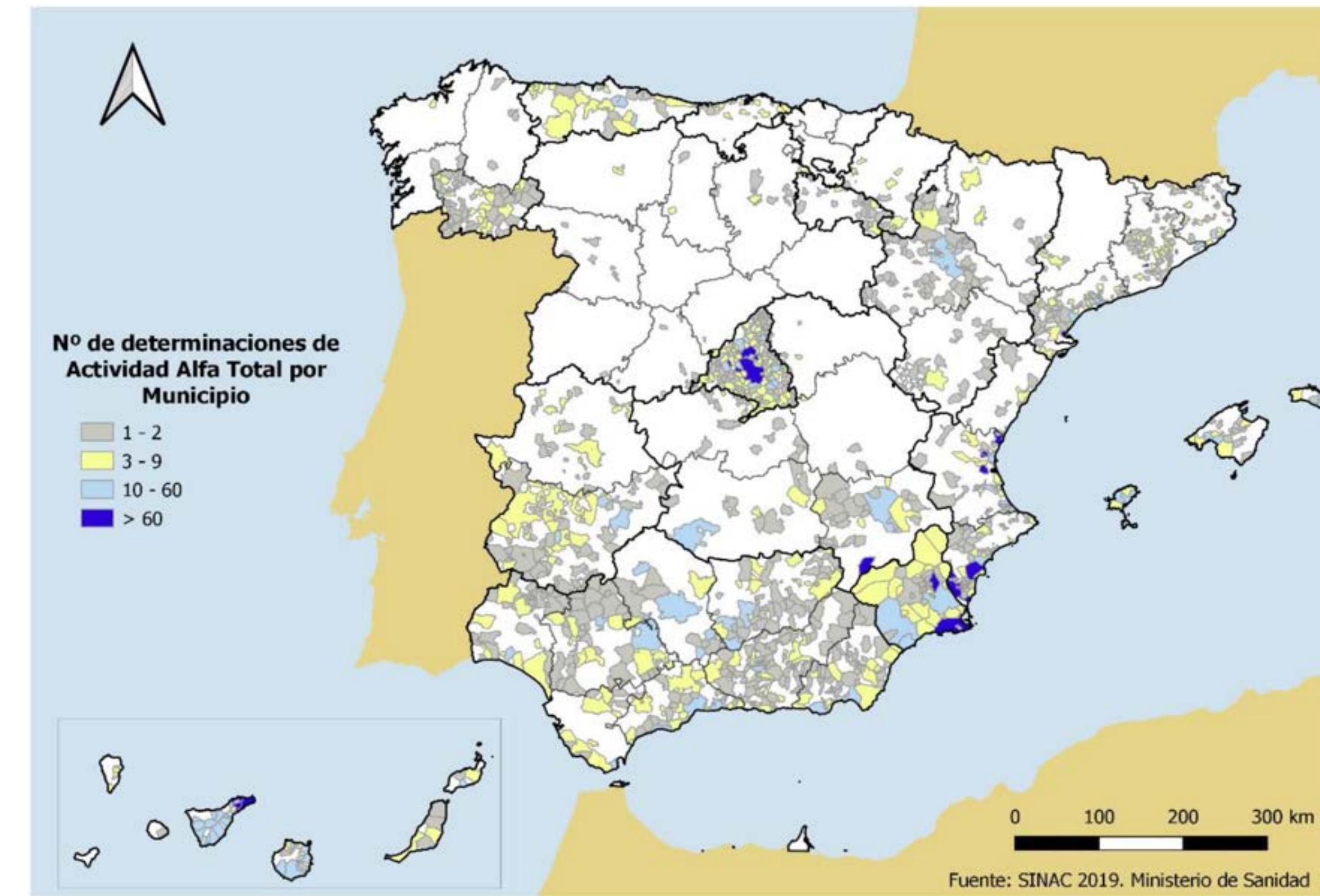
NÚMERO DE ANÁLISIS DE ACTIVIDAD ALFA TOTAL POR MUNICIPIO EN 2011



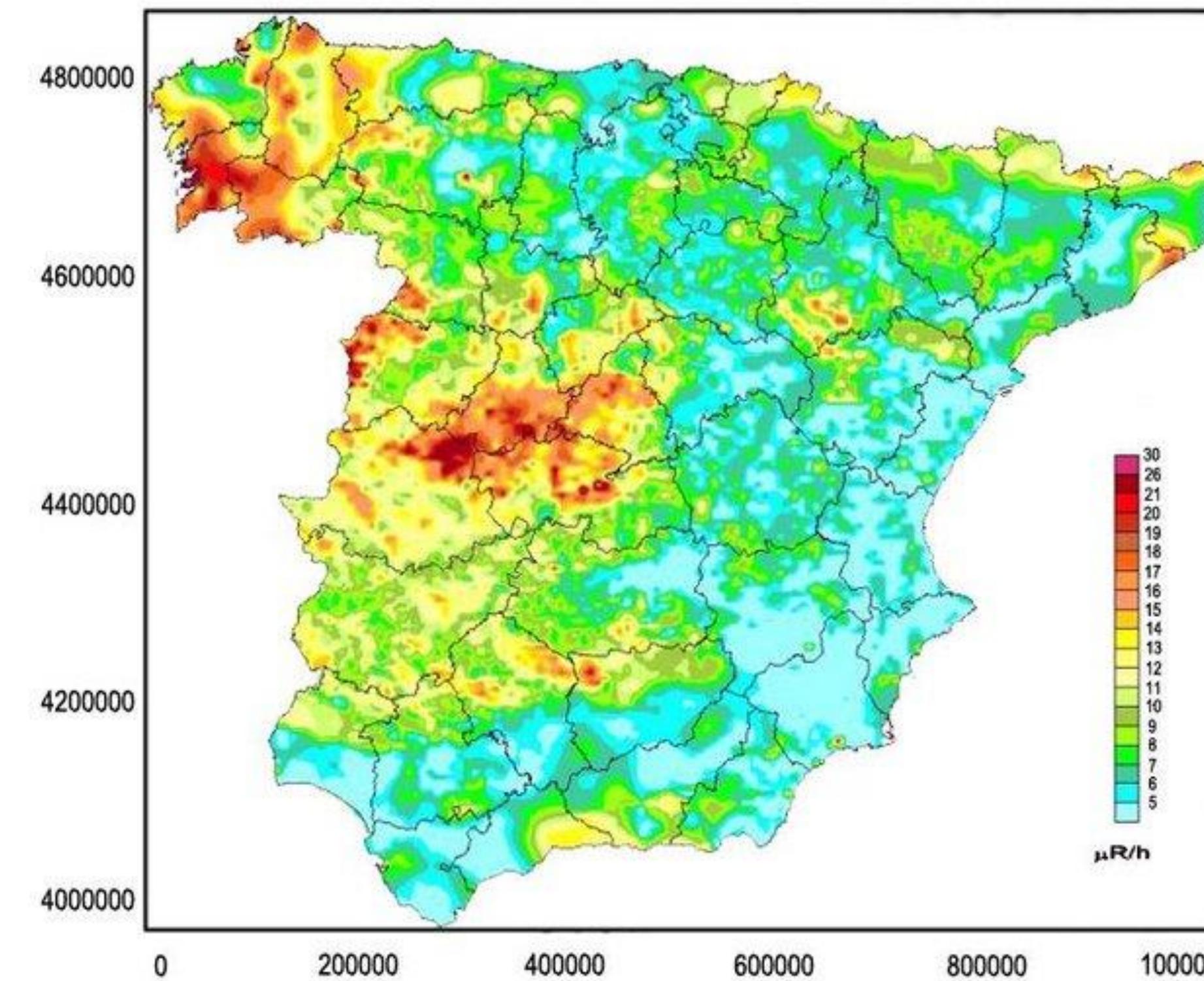
EVOLUCIÓN REPORTE DE ACTIVIDAD ALFA TOTAL (AAT) A SINAC ENTRE 2005 Y 2019



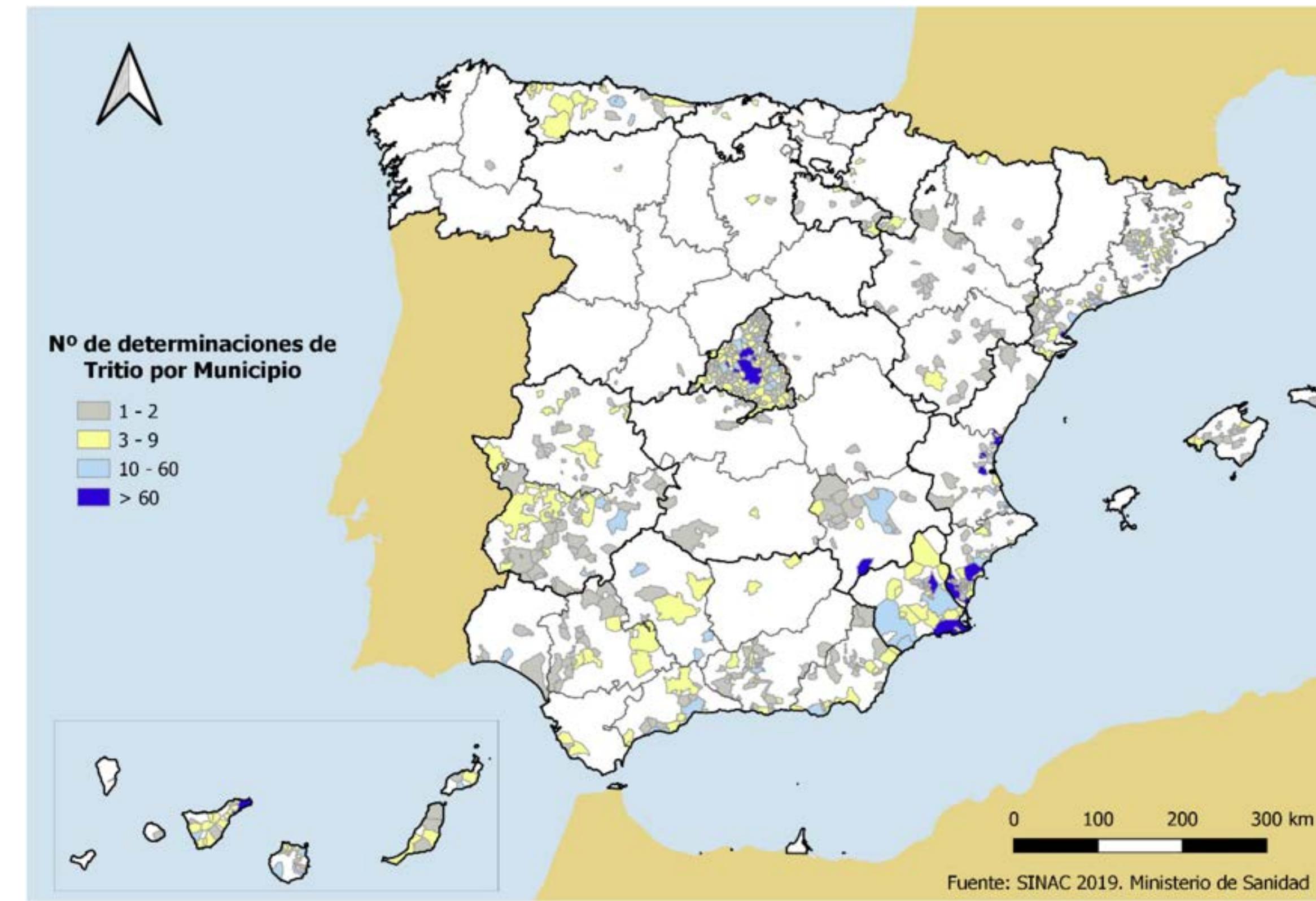
NÚMERO DE ANÁLISIS DE ACTIVIDAD ALFA TOTAL POR MUNICIPIO EN 2019



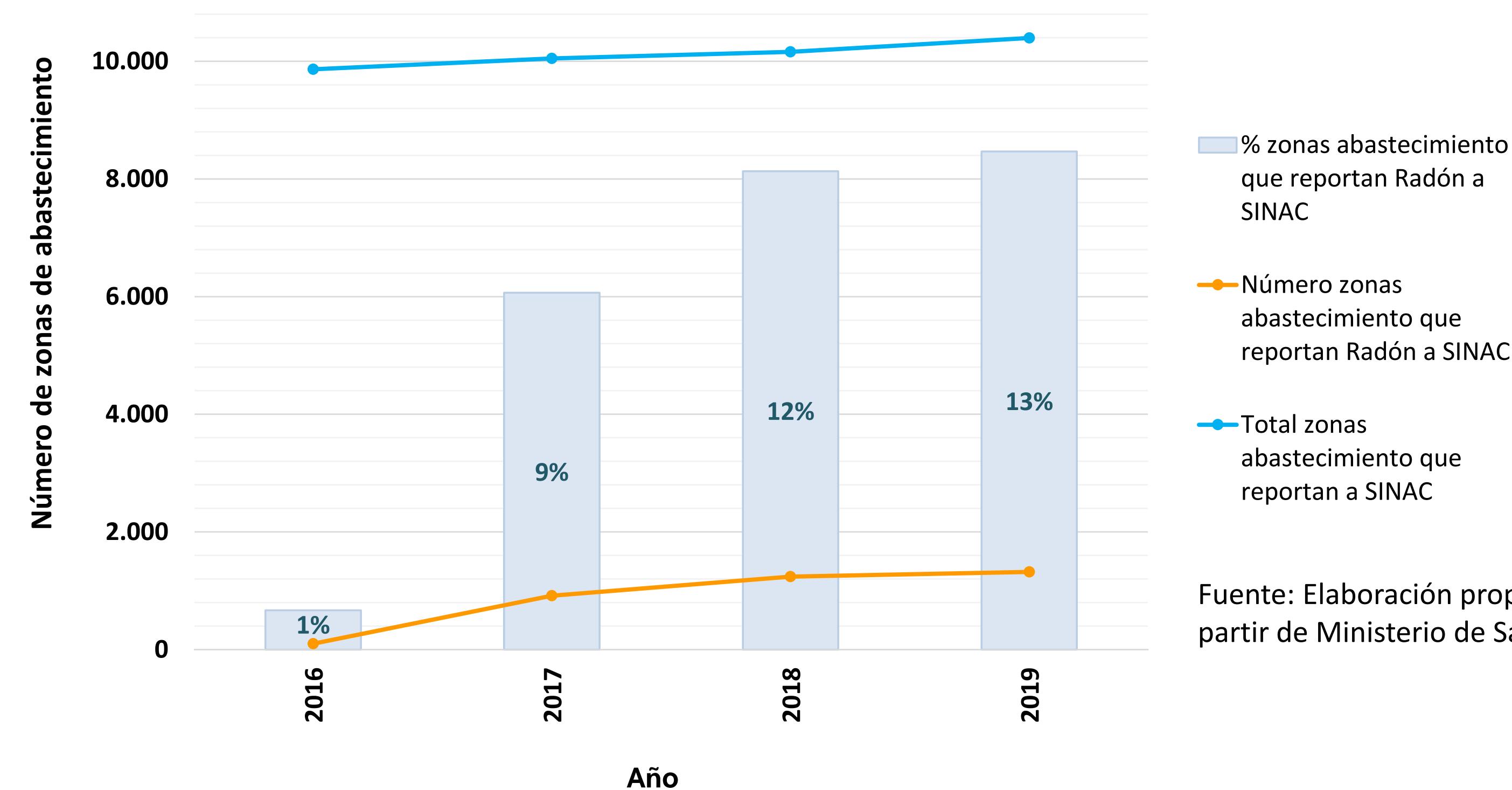
TASA DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN GAMMA NATURAL. PROYECTO MARNA. MAPA DE RADIACIÓN GAMMA NATURAL. CSN COLECCIÓN INFORMES TÉCNICOS 5.2000



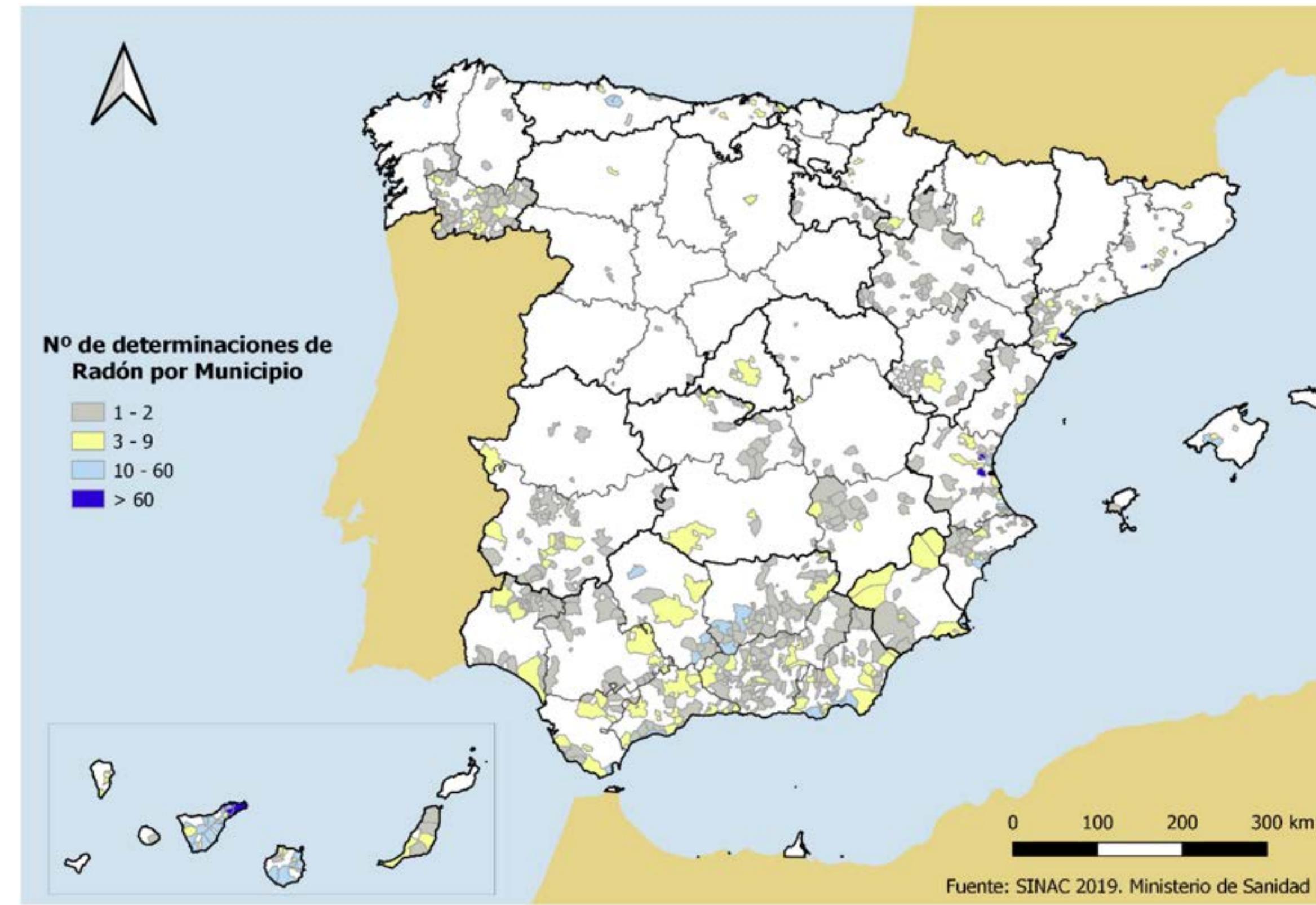
NÚMERO DE ANÁLISIS DE DOSIS INDICATIVA TOTAL POR MUNICIPIO EN 2019



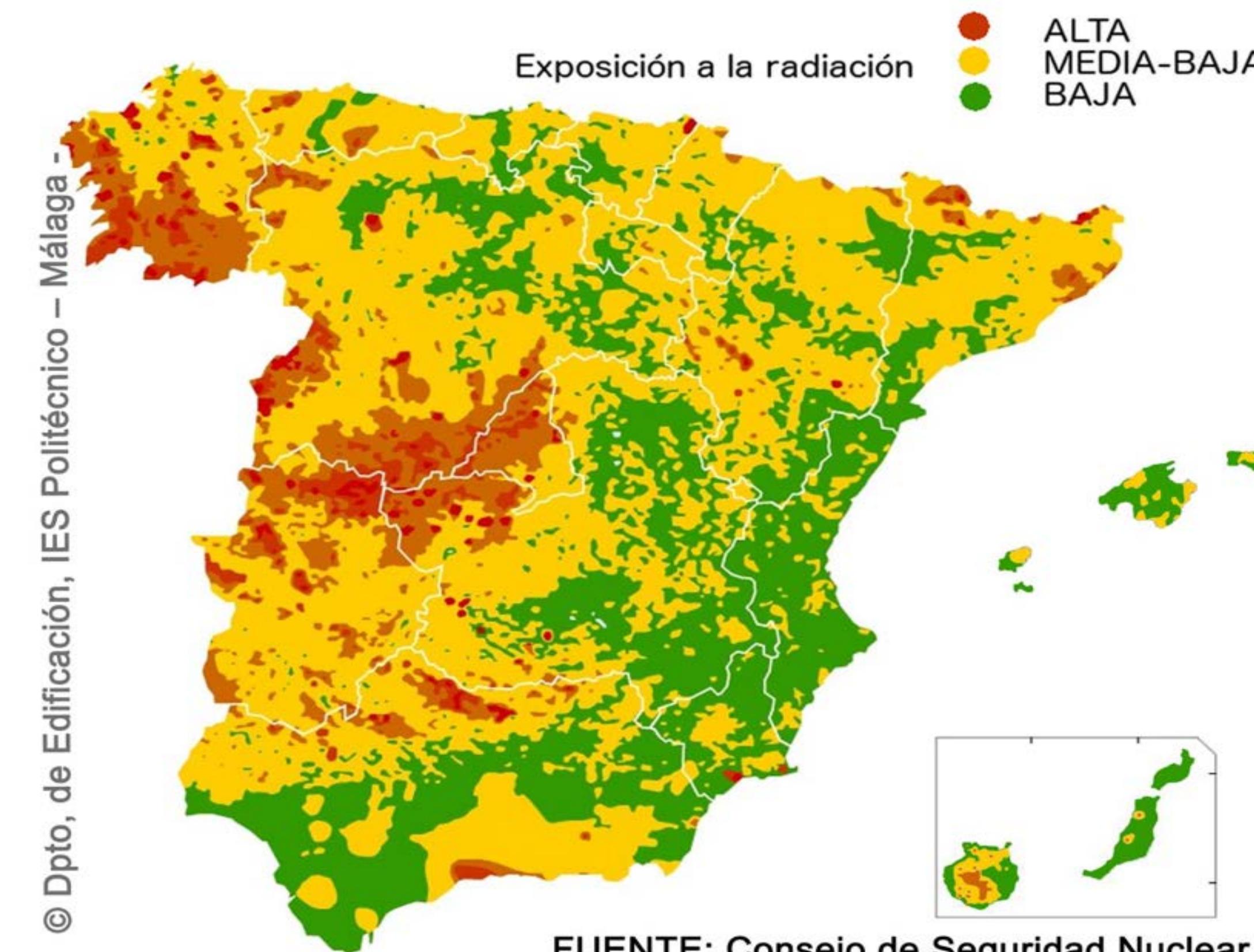
EVOLUCIÓN REPORTE DEL RADÓN A SINAC ENTRE 2016 Y 2019



NÚMERO DE ANÁLISIS DE RADÓN POR MUNICIPIO EN 2019



MAPA DEL RADÓN EN ESPAÑA

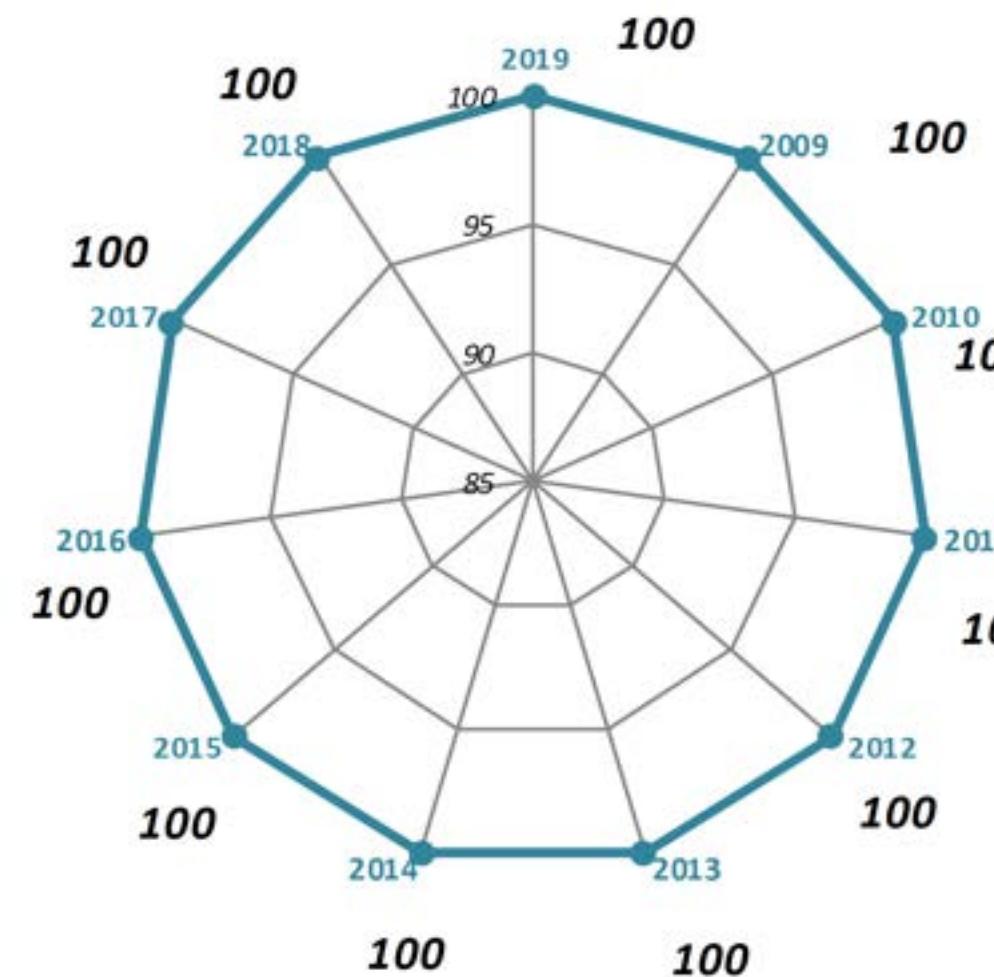


FUENTE: Consejo de Seguridad Nuclear

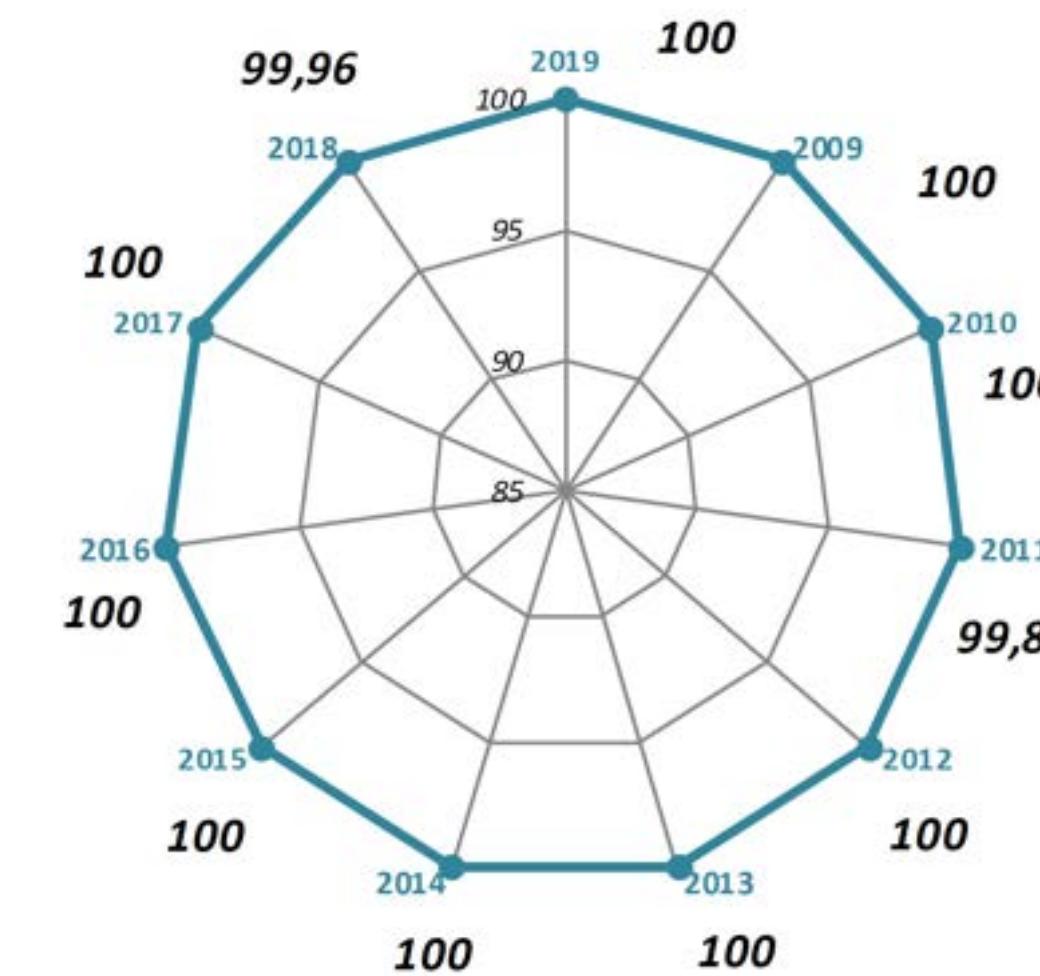


EVOLUCIÓN DE LA CONFORMIDAD EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO

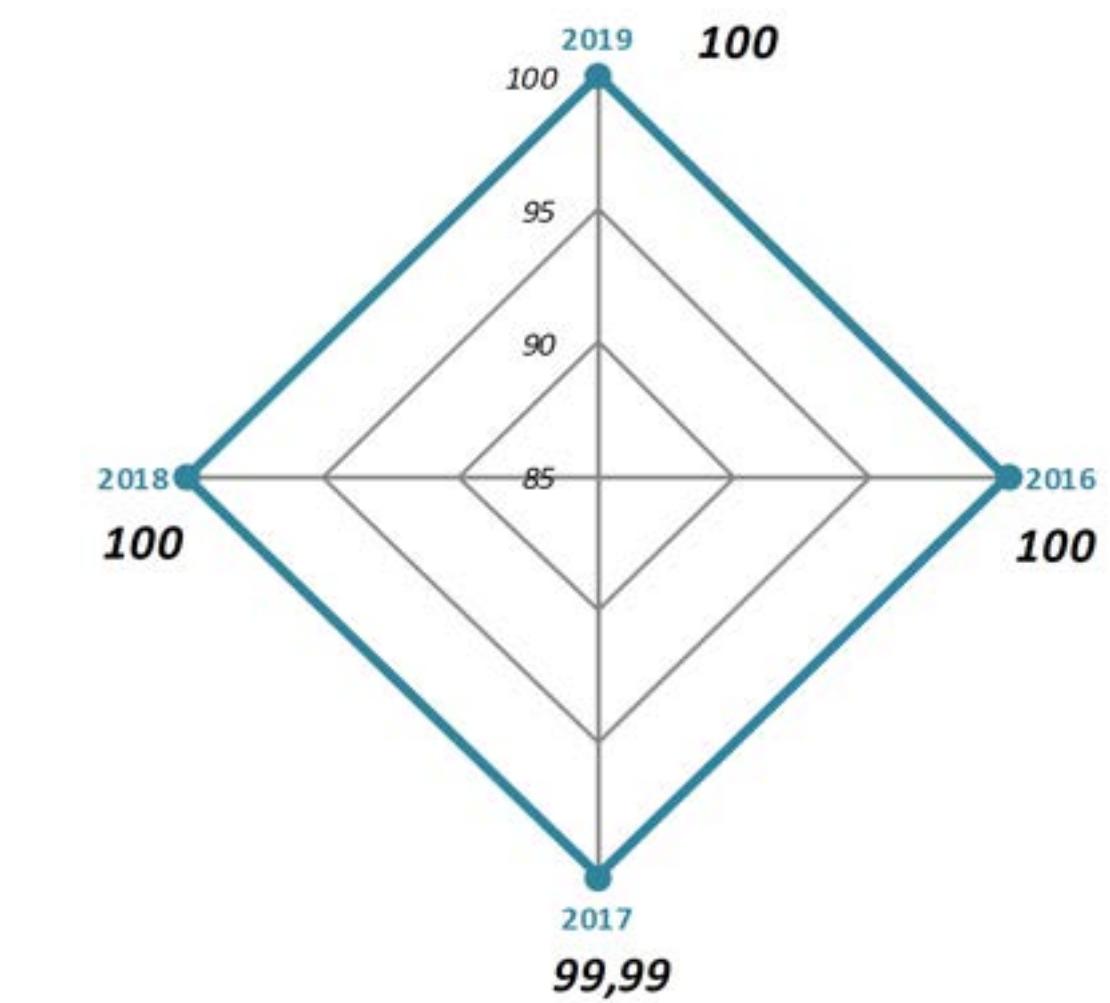
TRITIO



BETA RESTO



RADÓN



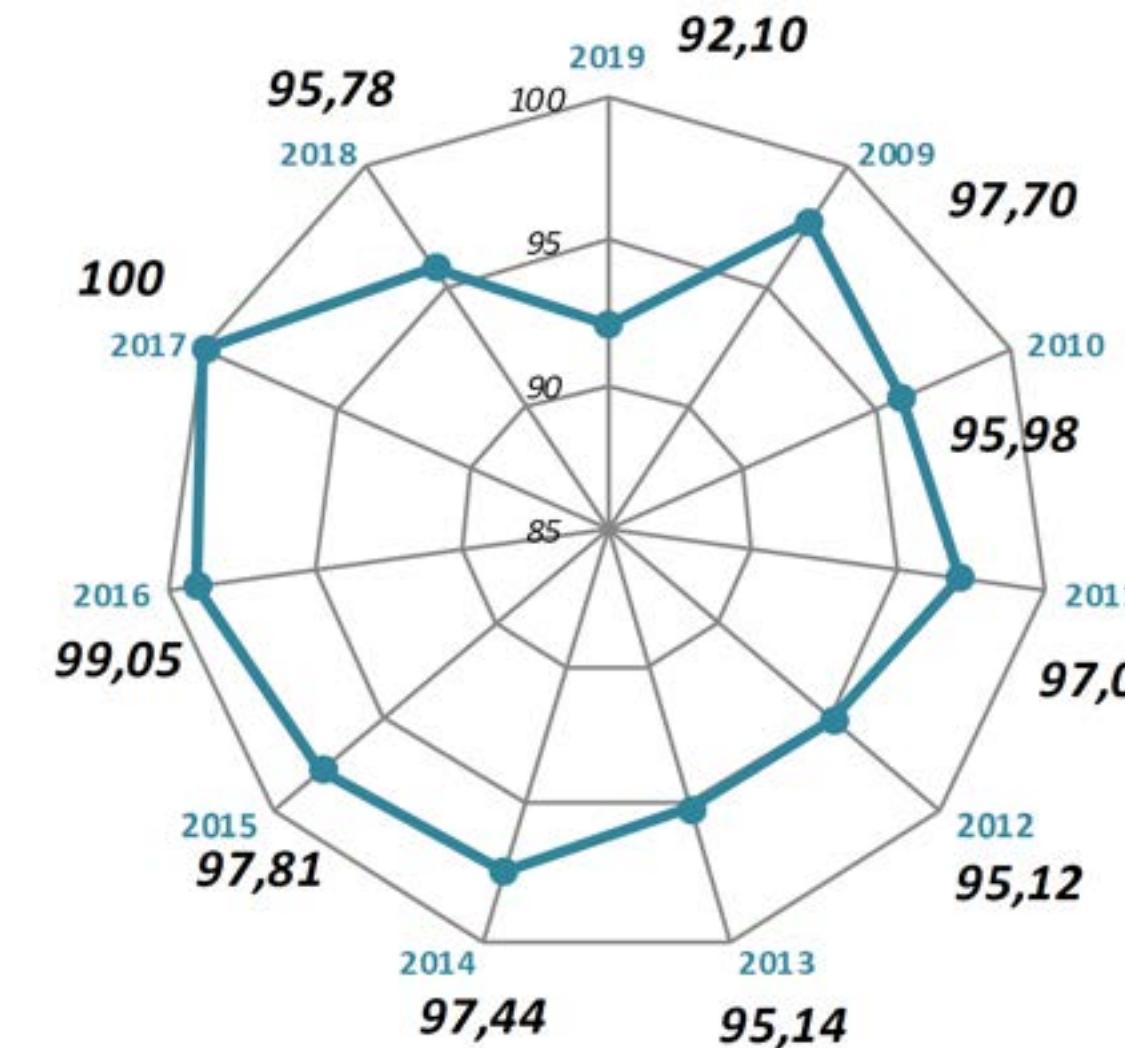
Fuente: Ministerio de Sanidad



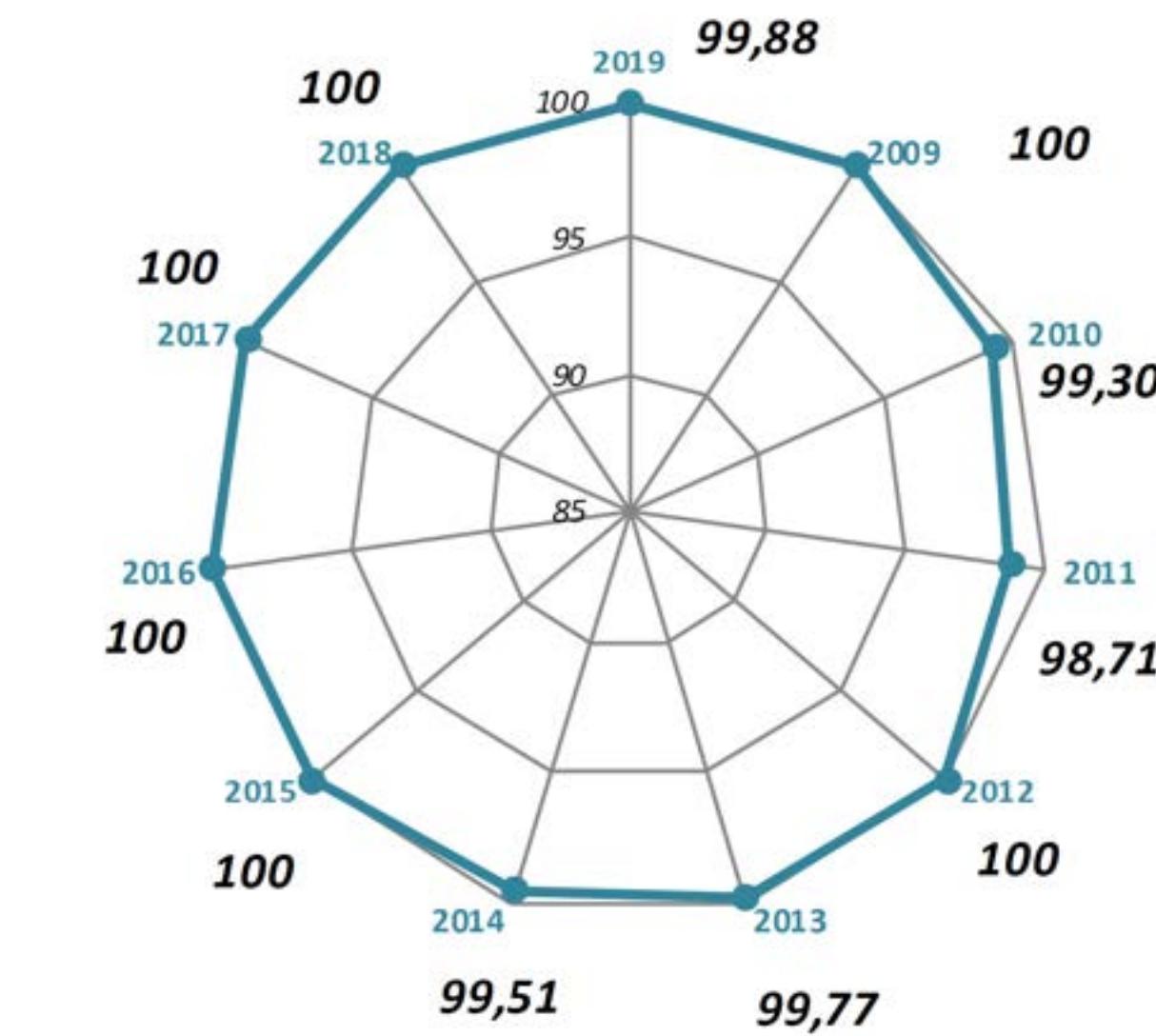
DIPUTACIÓN DE ALMERÍA

EVOLUCIÓN DE LA CONFORMIDAD EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO

ALFA TOTAL



D.I.T.

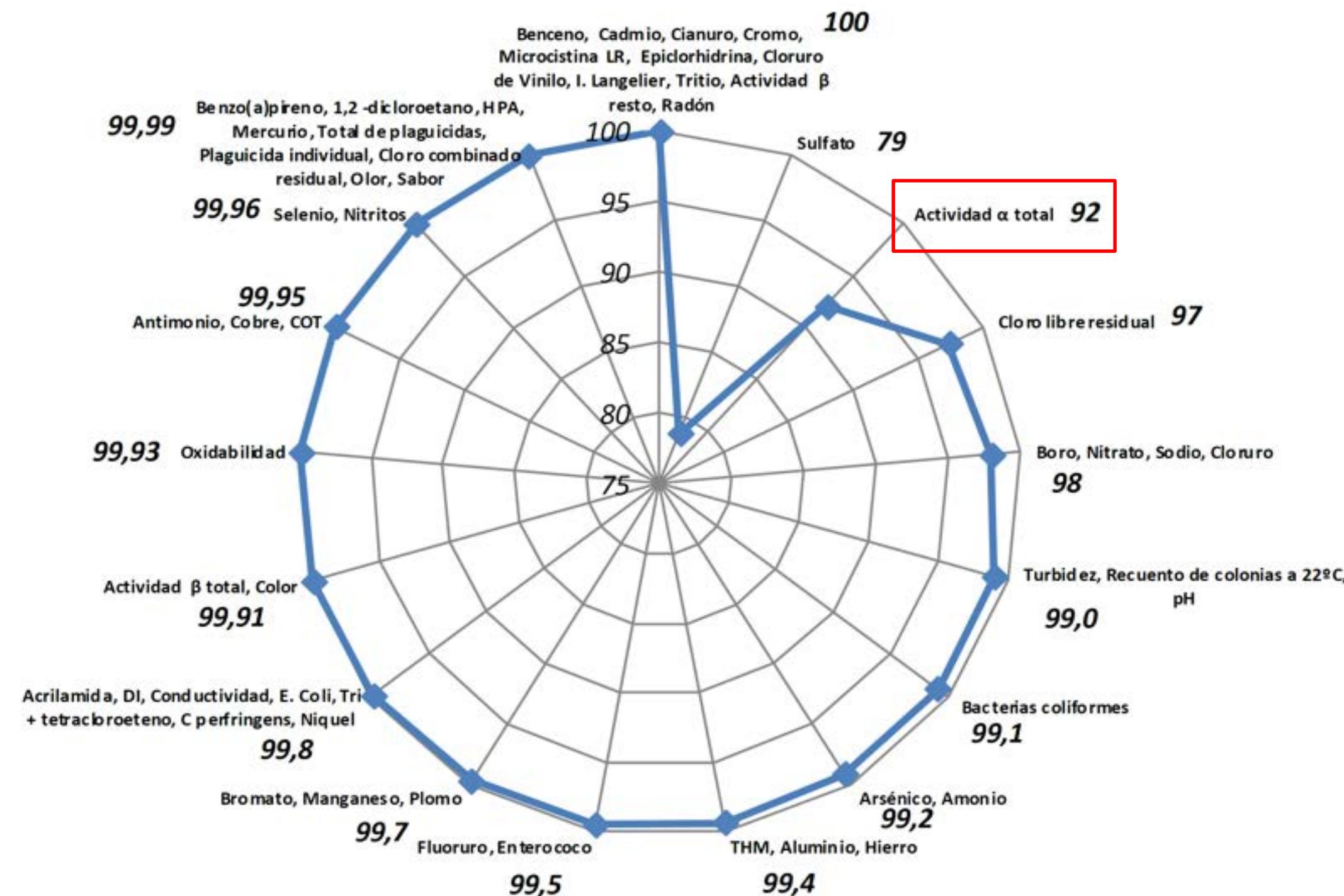


Fuente: Ministerio de Sanidad



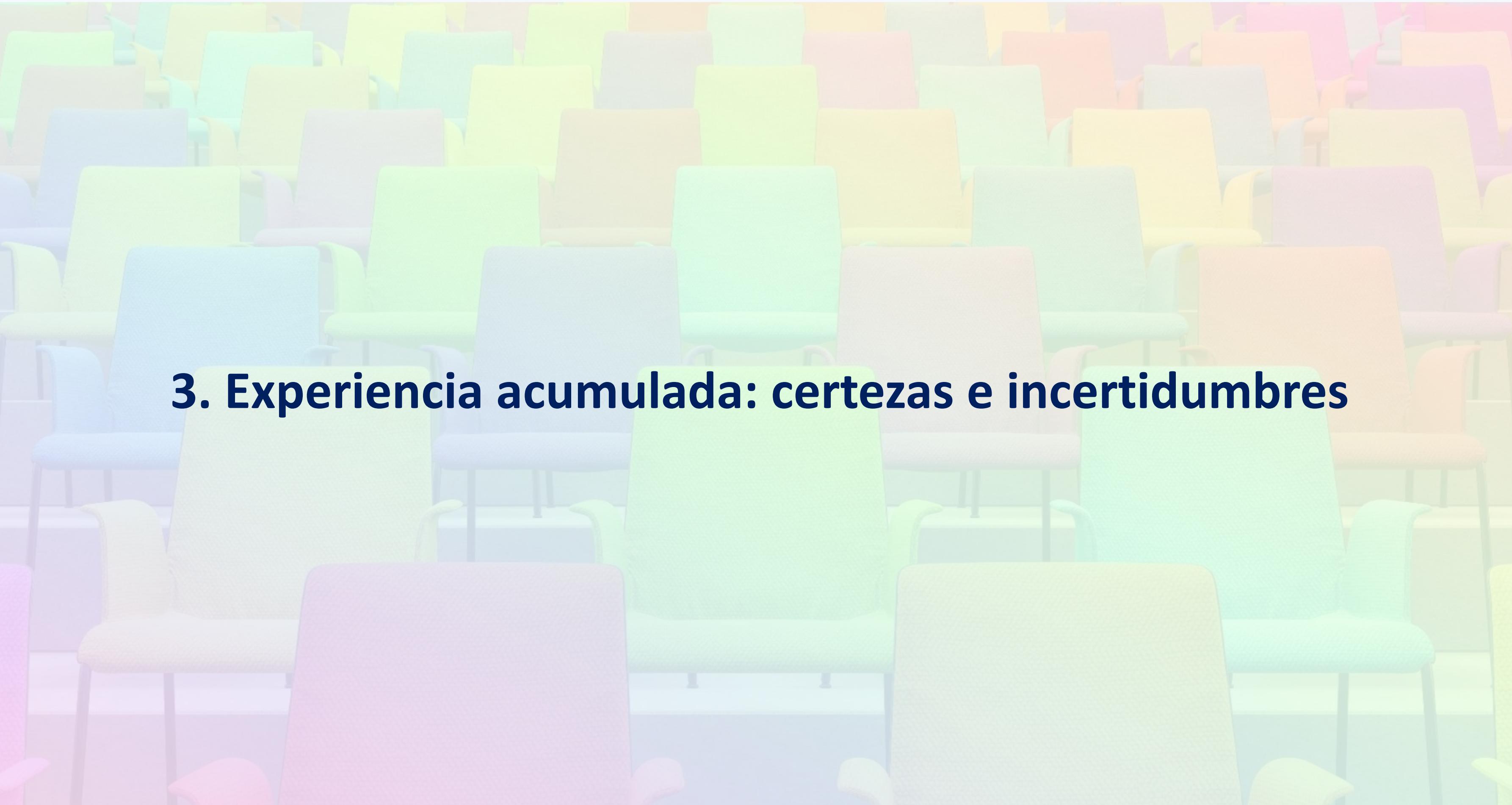
DIPUTACIÓN DE ALMERÍA

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 (m³/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



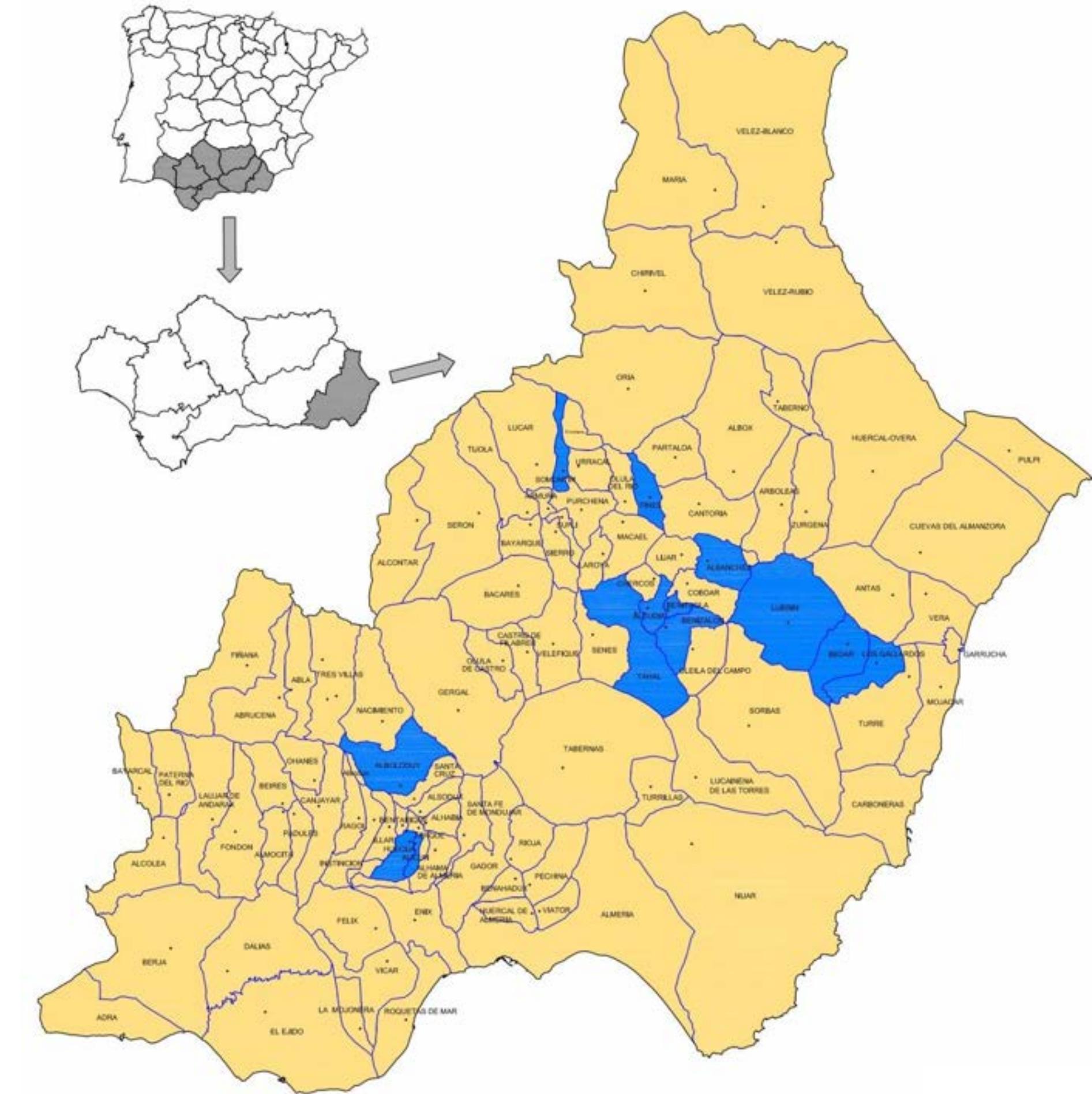
3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres





SITUACIÓN ETAPs EN SERVICIO PARA LA ELIMINACIÓN DE RADIOACTIVIDAD

3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres



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 (m³/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



0,13 €/m³

Coste pasado



0,65 €/m³

Coste en la
actualidad

3. Experiencia acumulada: certezas e incertidumbres

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 construidos 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**

QR code

DIPUTACIÓN DE ALMERÍA

CENTRO TECNOLÓGICO **CARTIF**

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

UNIVERSITY OF TARTU

VIIMSI **VESI**

CIESOL
SOLAR ENERGY RESEARCH CENTER
JOINT CENTER IAH - PBA CIESOL

European Project Life+

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

Life

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



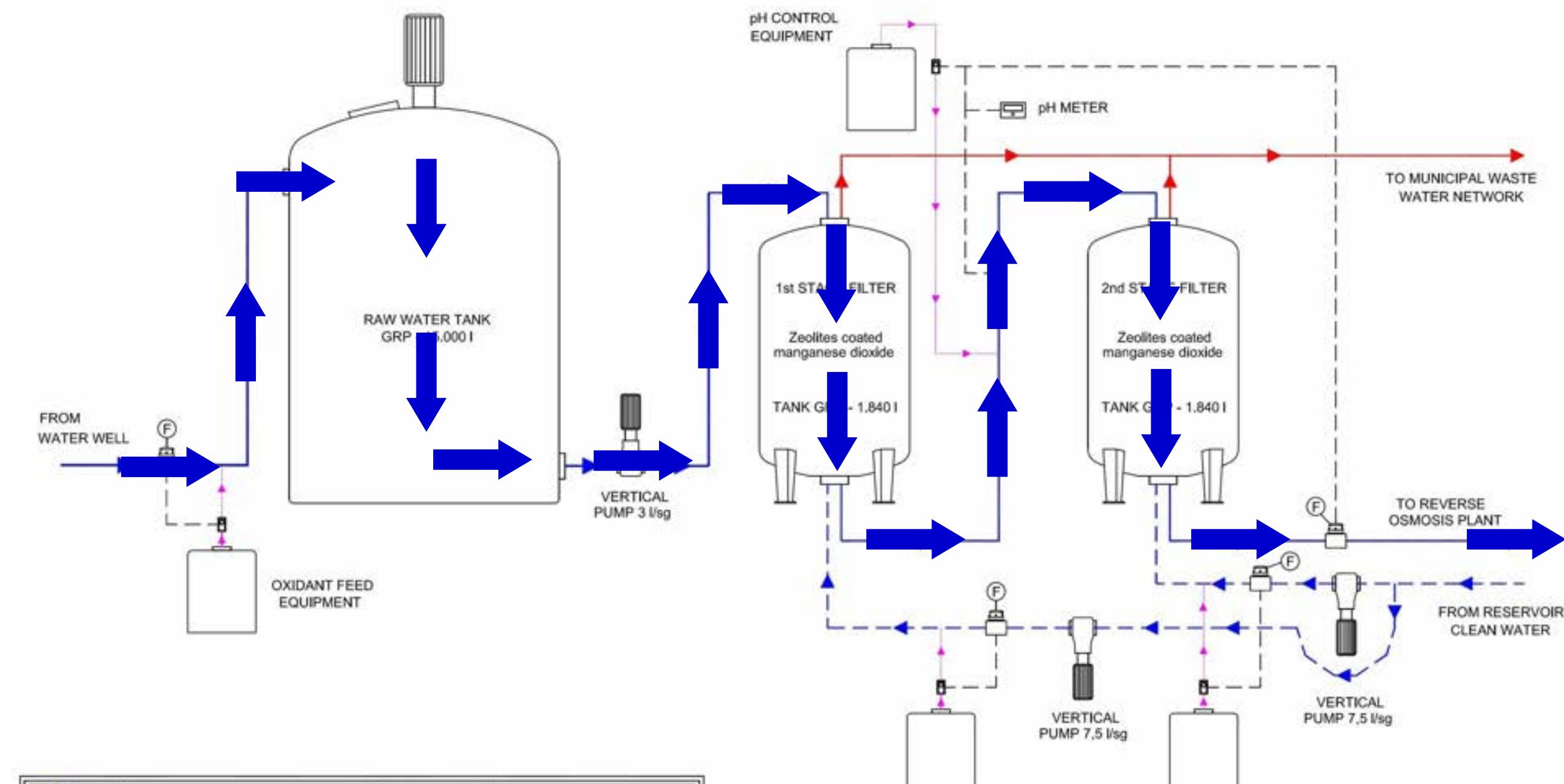
Depósito existente



ETAP piloto LIFEALCHEMIA



ESQUEMA DE FILTRADO DE ETAPS PILOTO LIFEALCHEMIA EN ALMERÍA

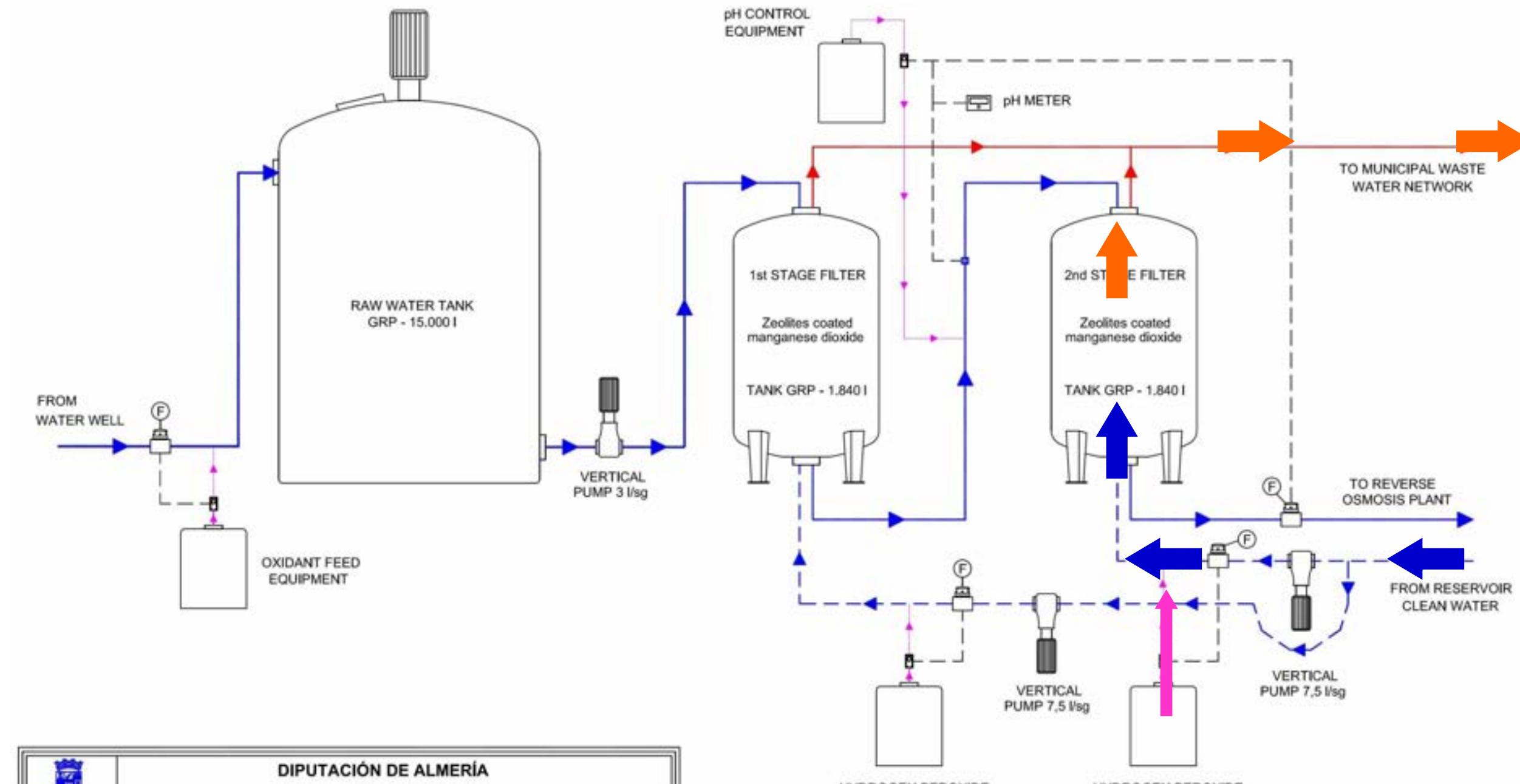


	DIPUTACIÓN DE ALMERÍA Área de Fomento, Agricultura y Medio Ambiente Servicio de Infraestructura Urbana	Agosto de 2.016
PROYECTO ALCHEMIA		
PLANO: RADIUM 1 AND RADIUM 2 PLANTS - Operating diagram		

- CICLO DE FILTRADO -



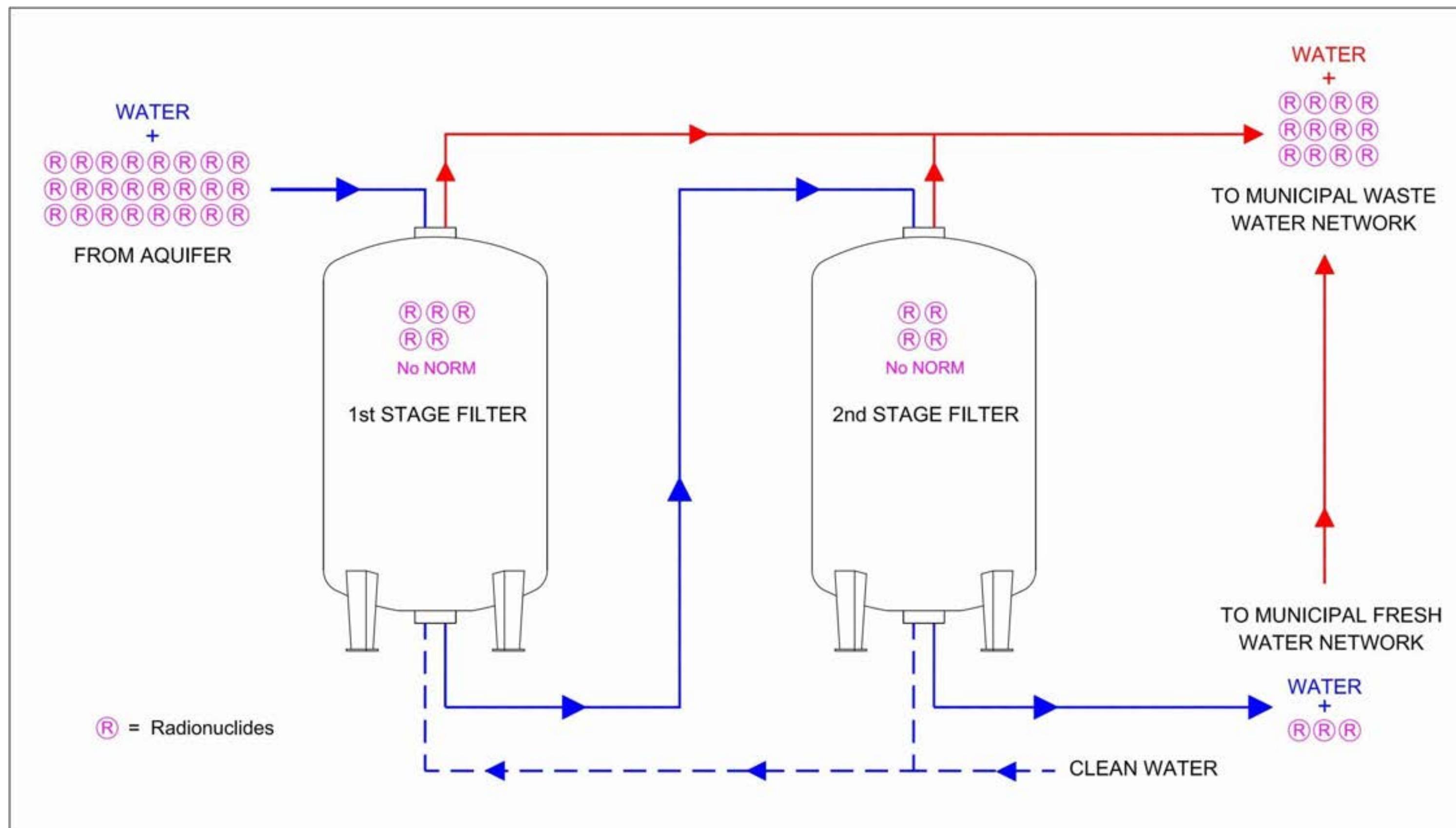
ESQUEMA DE LAVADOS DE ETAPS PILOTO LIFEALCHEMIA EN ALMERÍA



	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 -

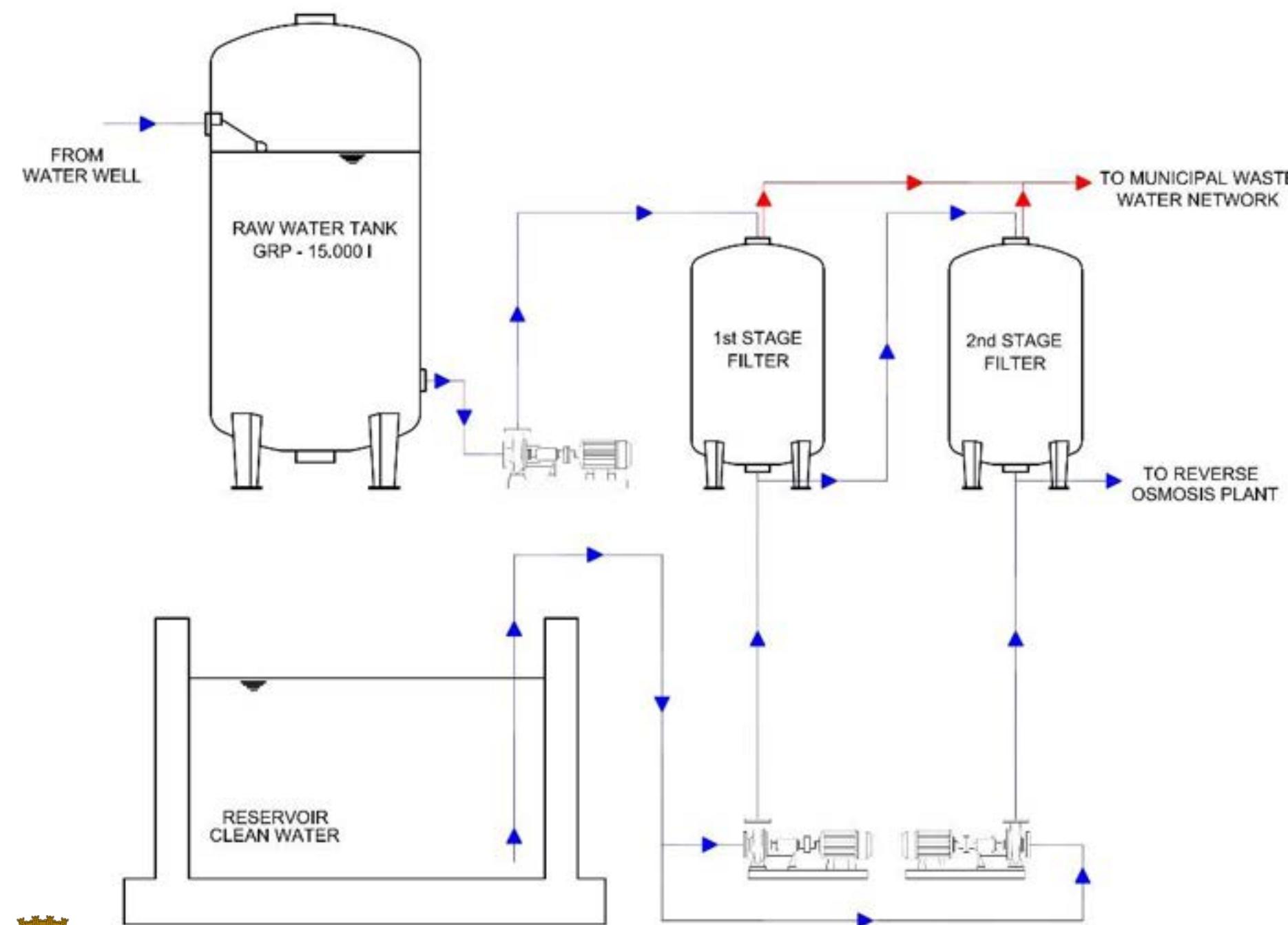






4. El proyecto LIFEALCHEMIA

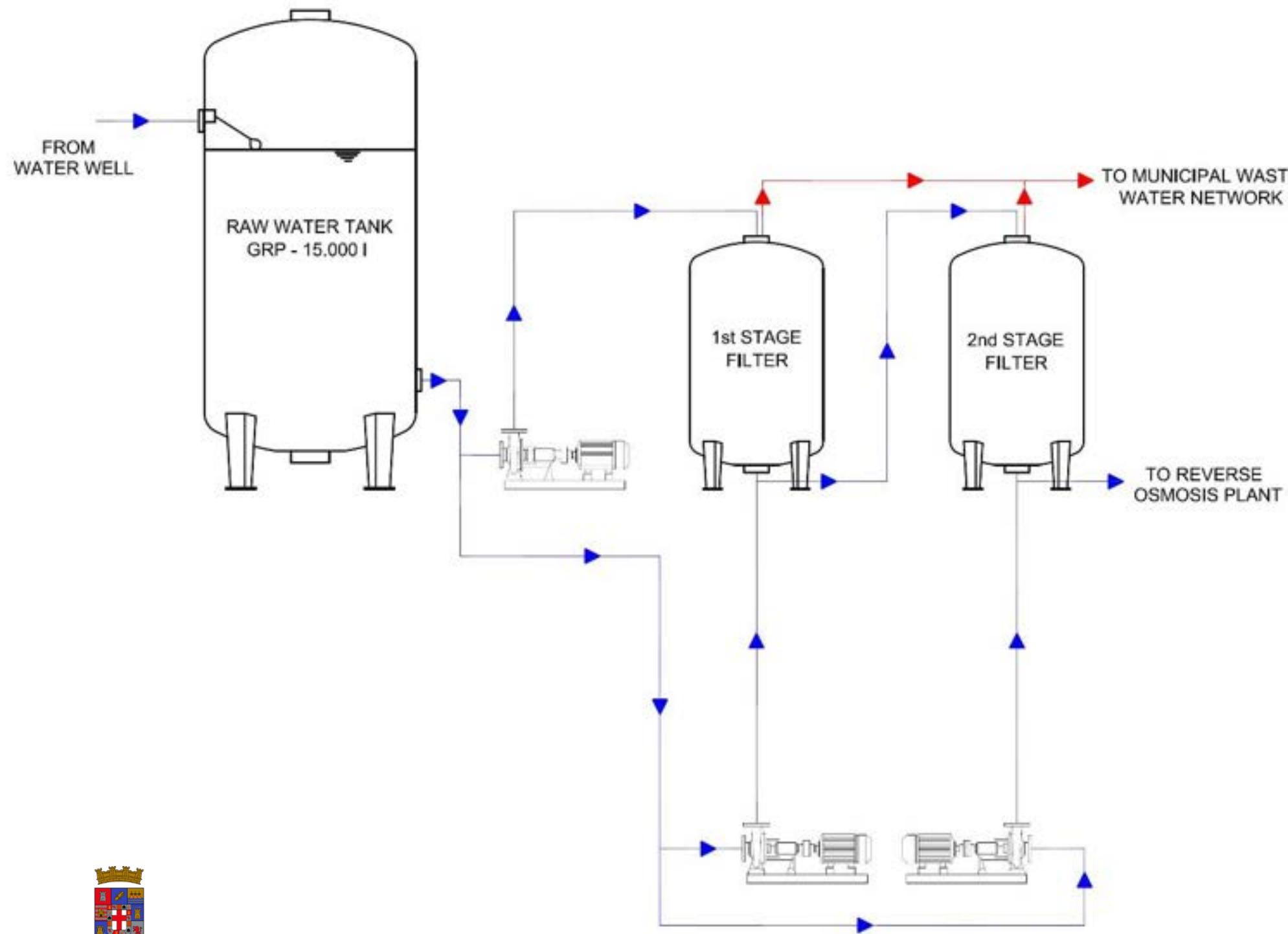
ETAP PILOTO ALBOLODUY





4. El proyecto LIFEALCHEMIA

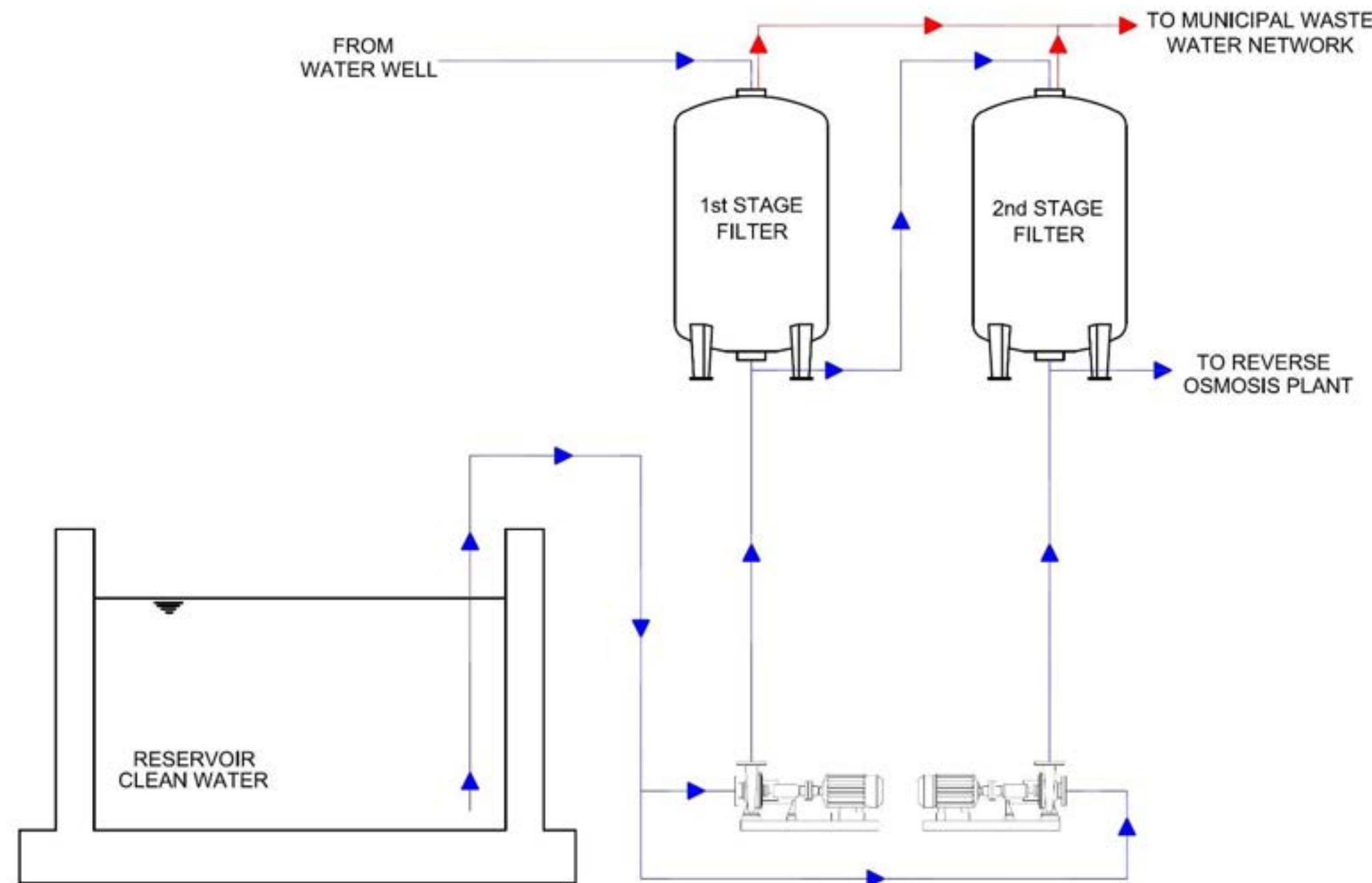
ETAP PILOTO BENIZALÓN





4. El proyecto LIFEALCHEMIA

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

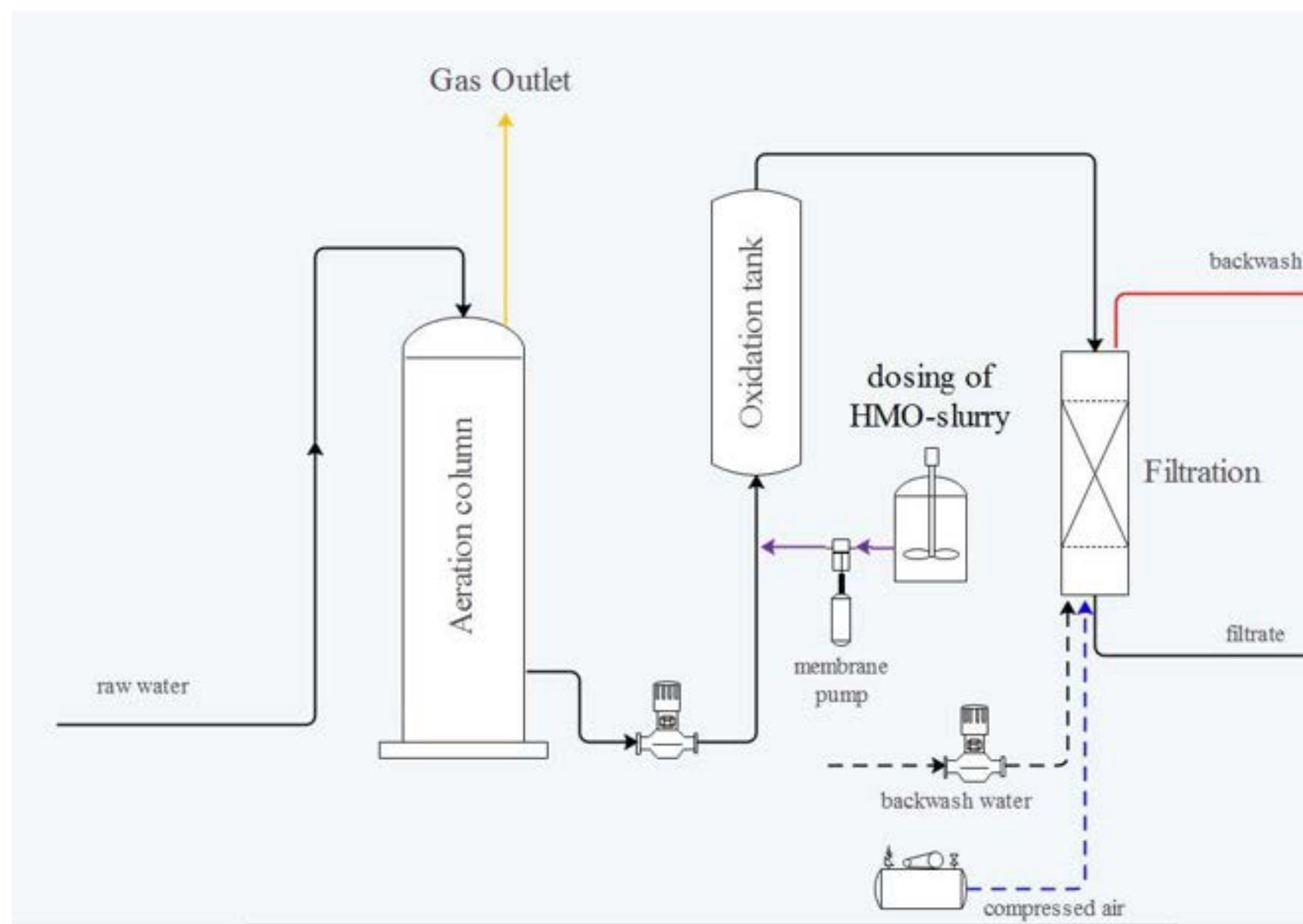


Figure 4. Process flow diagram

General water treatment steps:

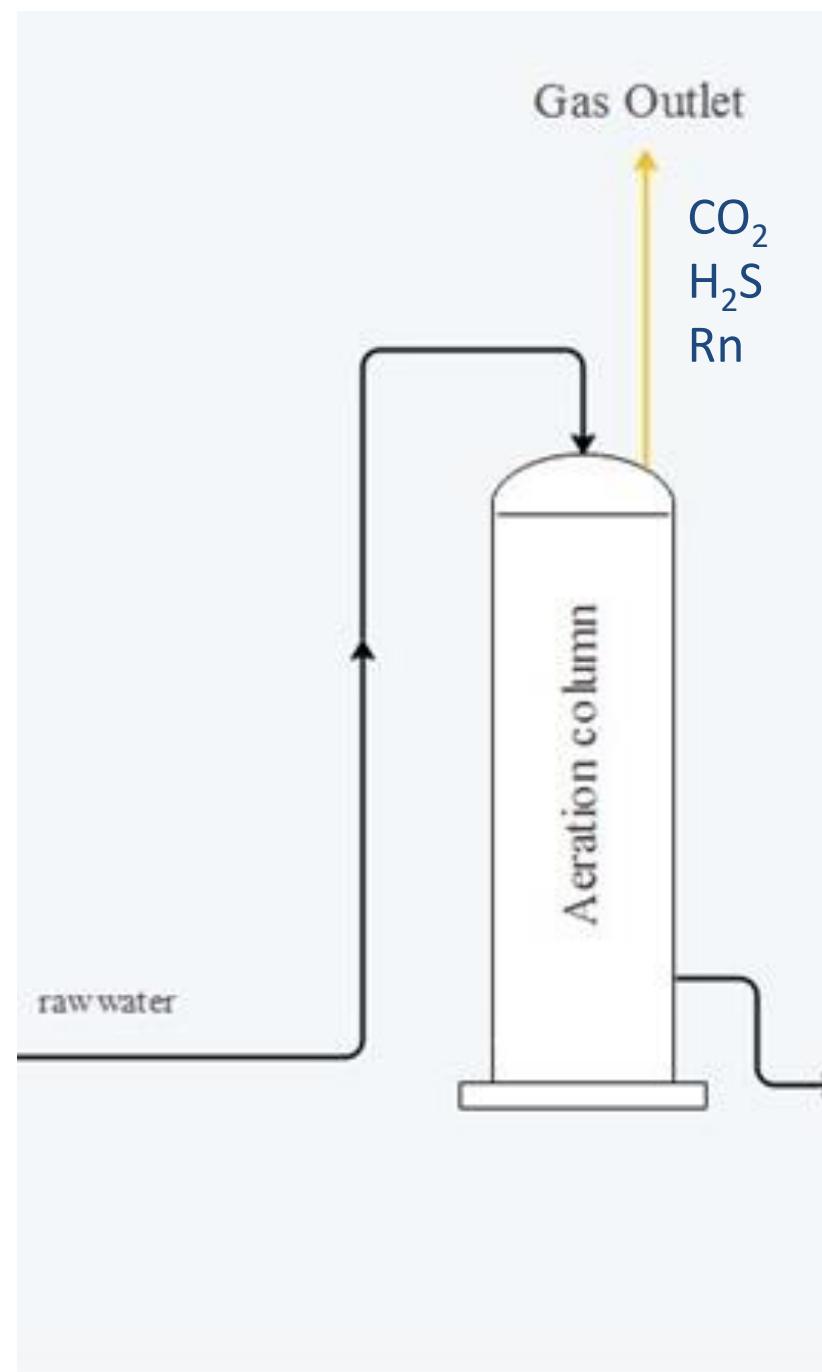
- Aeration
- Injection of HMO slurry
- Filtration (sand filter)

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



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

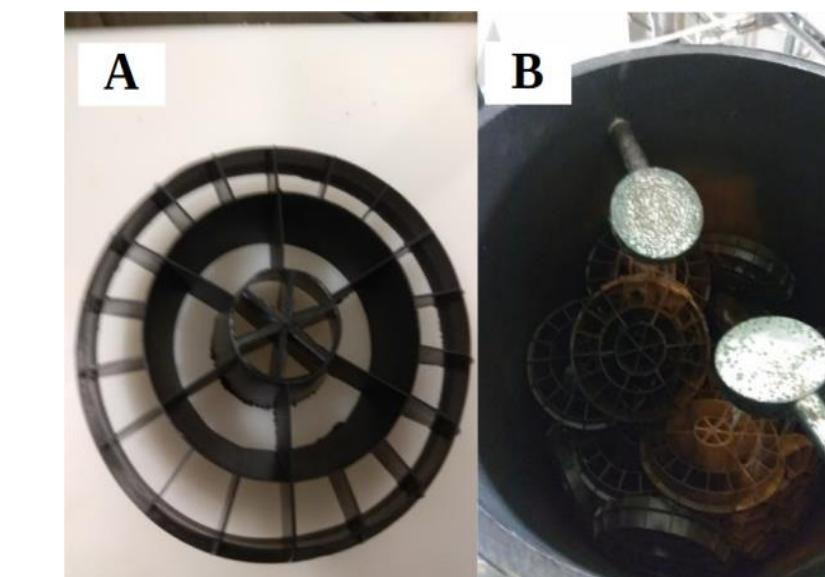


Figure 5. A – Clean filler, B – Fillers during operation in aerator



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!

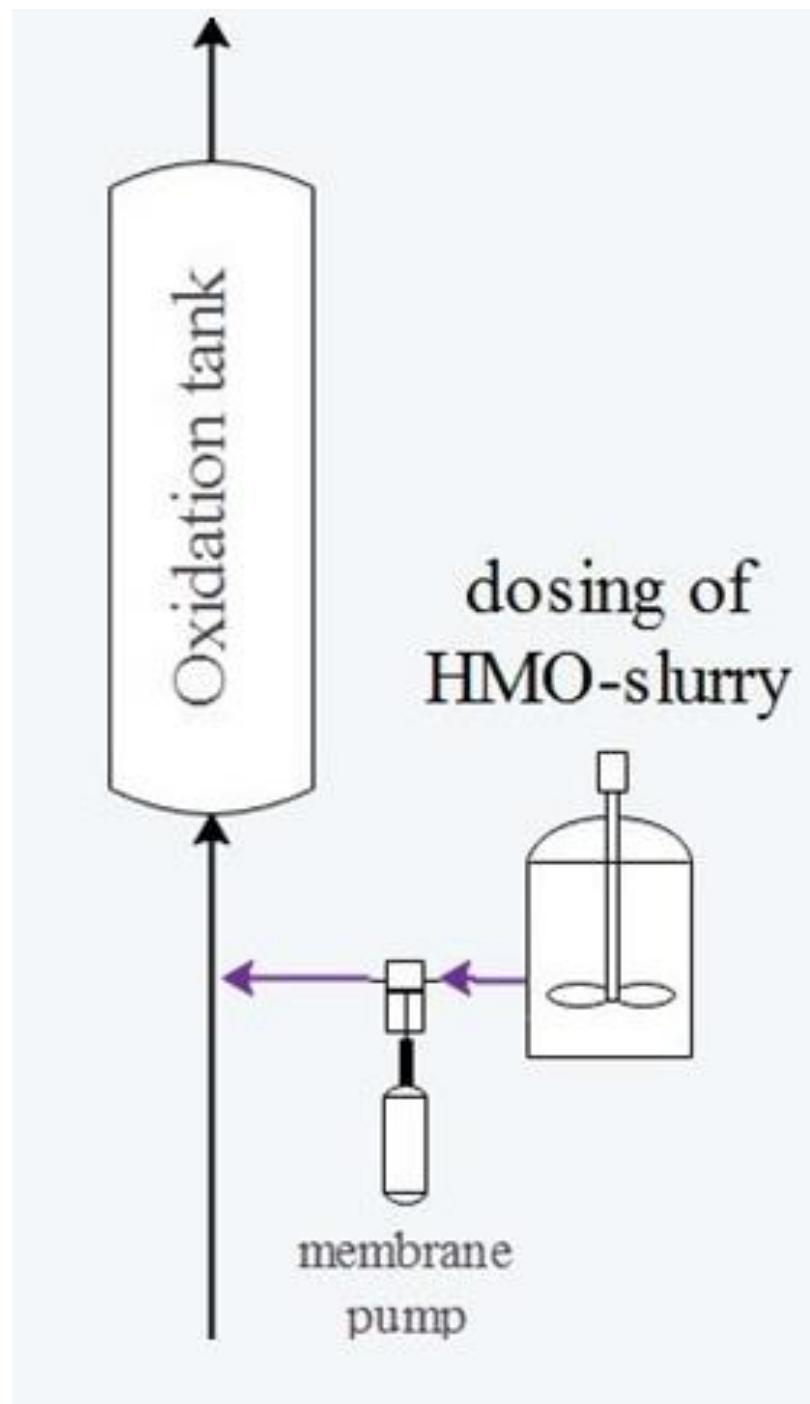
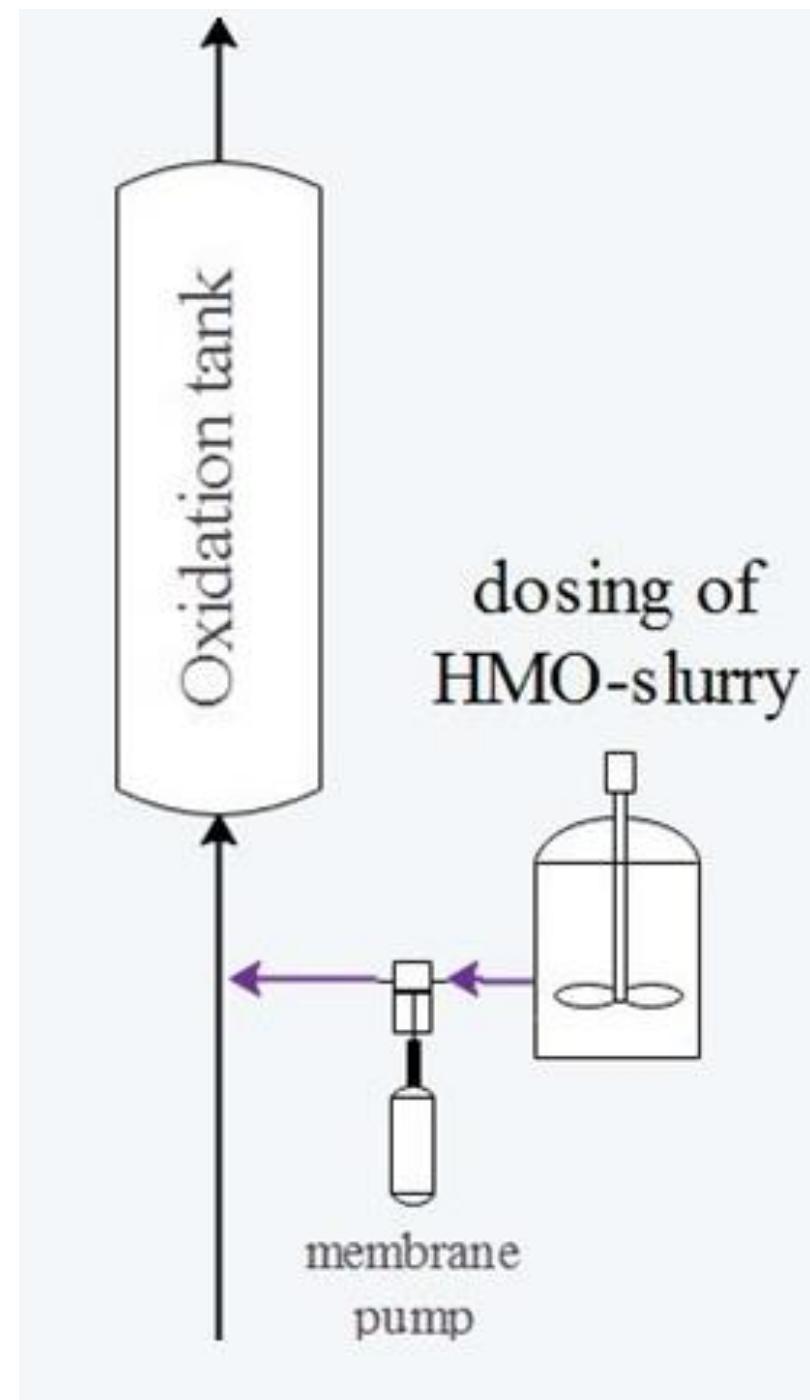


Figure 6. Preparation of HMO-slurry in a laboratory



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
$$\text{MnO}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{MnO}_2\text{H}^+$$
- At alkaline conditions hydroxide ion (OH^-) produces the surface for removing cationic species
$$\text{MnO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{MnO}_2\text{OH}^-$$
- The rise of water pH supports the increase of cationic capacity of HMO particle



FILTRATION

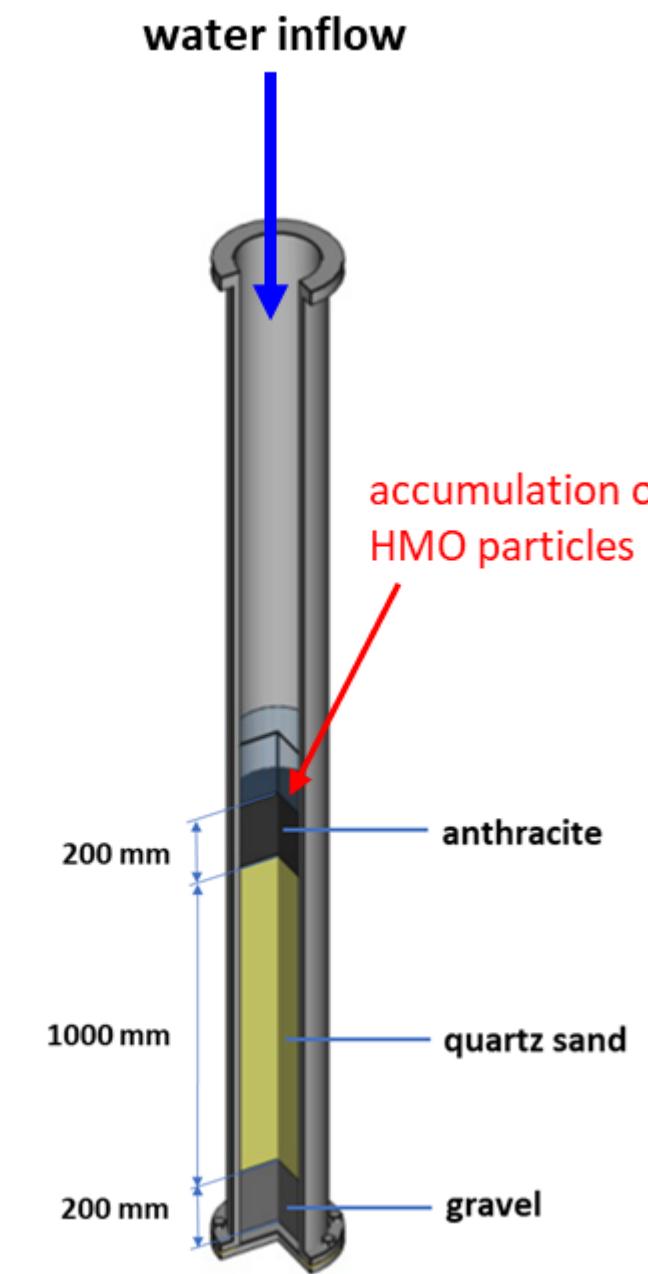
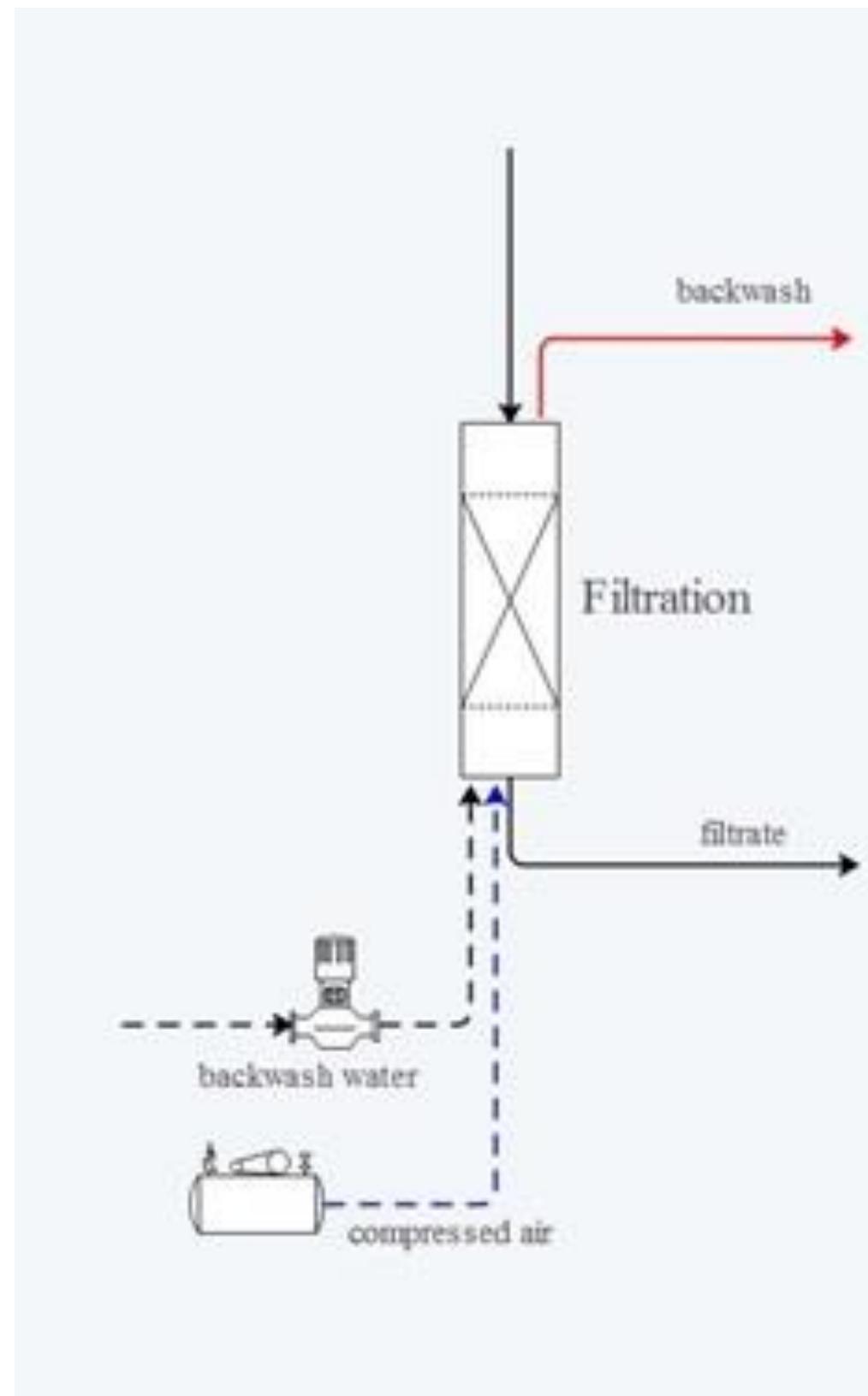


Figure 7. Filter bed composition

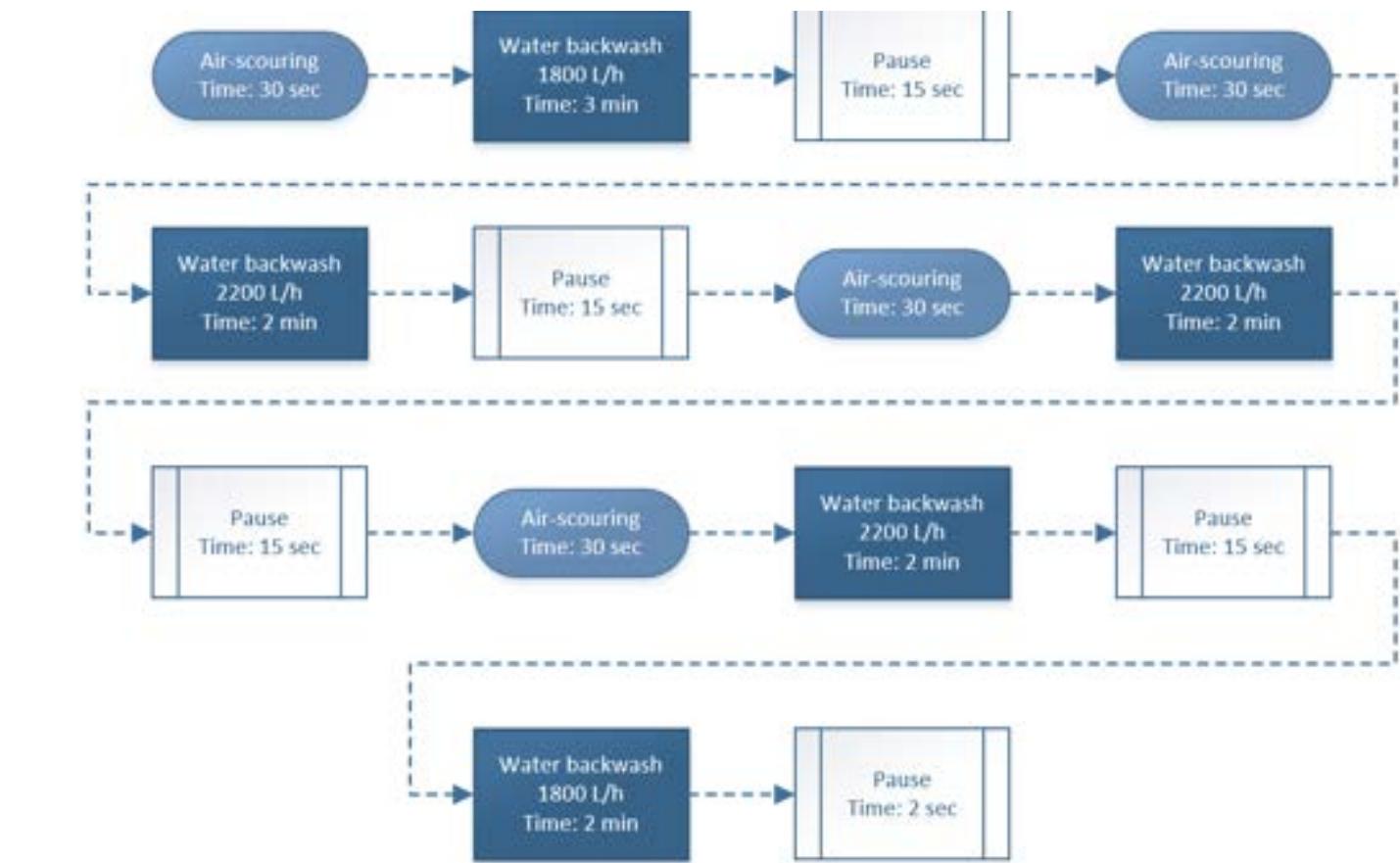


Figure 8. Backwashing algorithm



REMOVAL OF IRON AND MANGANESE

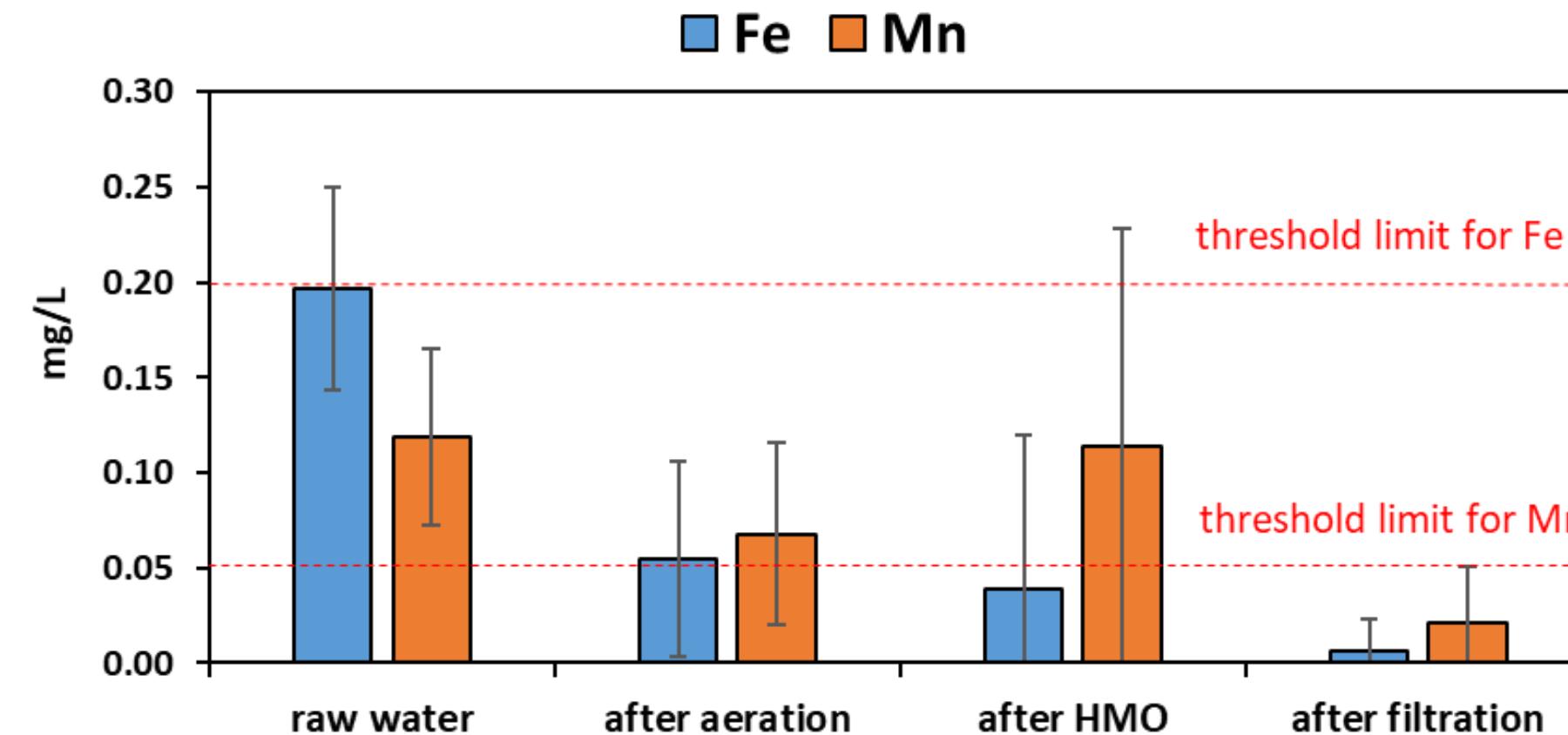
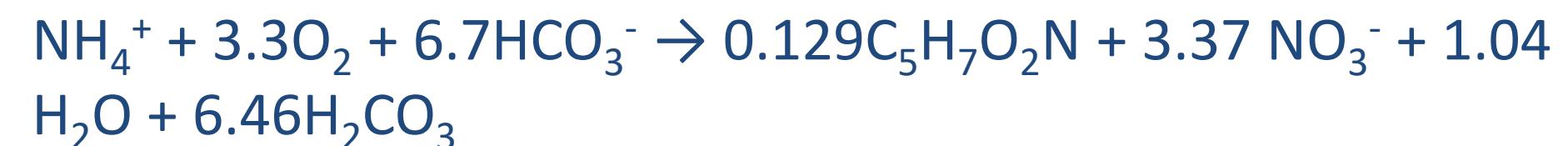


Figure 9. Average concentration of Fe and Mn after each step of treatment



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*, *Nitrosospira*, *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:

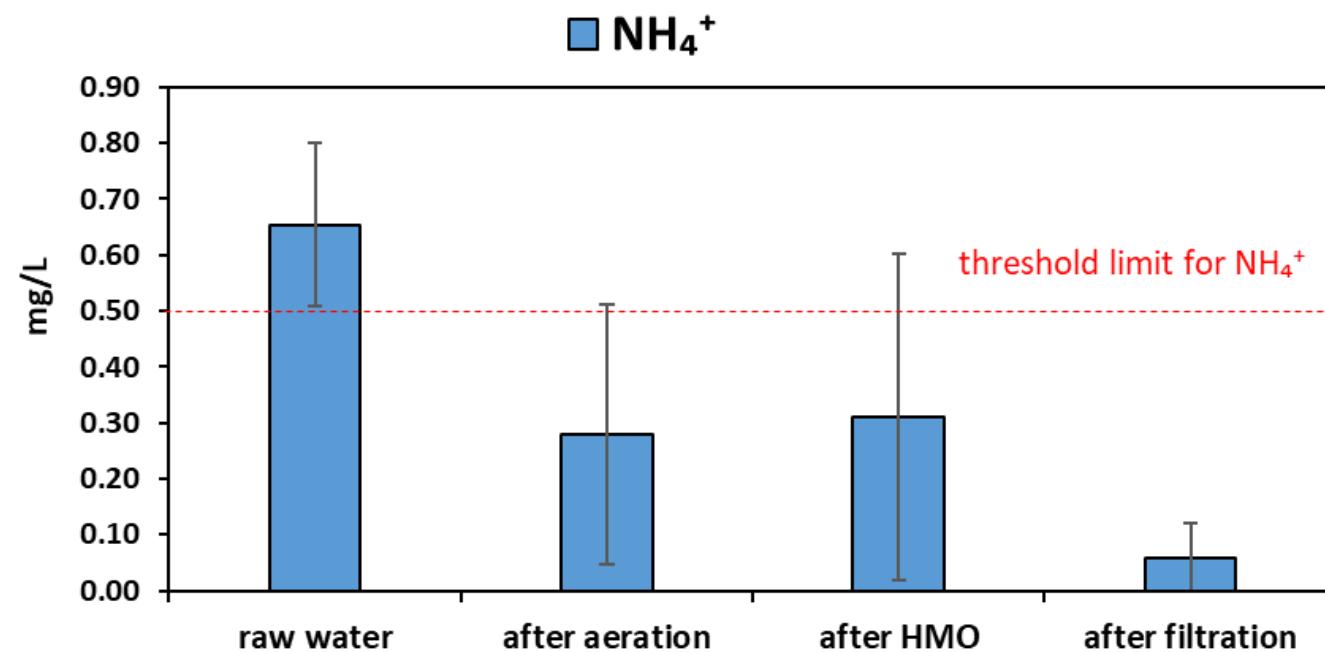


Figure 10. Average concentration of NH_4^+ after each step of treatment



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

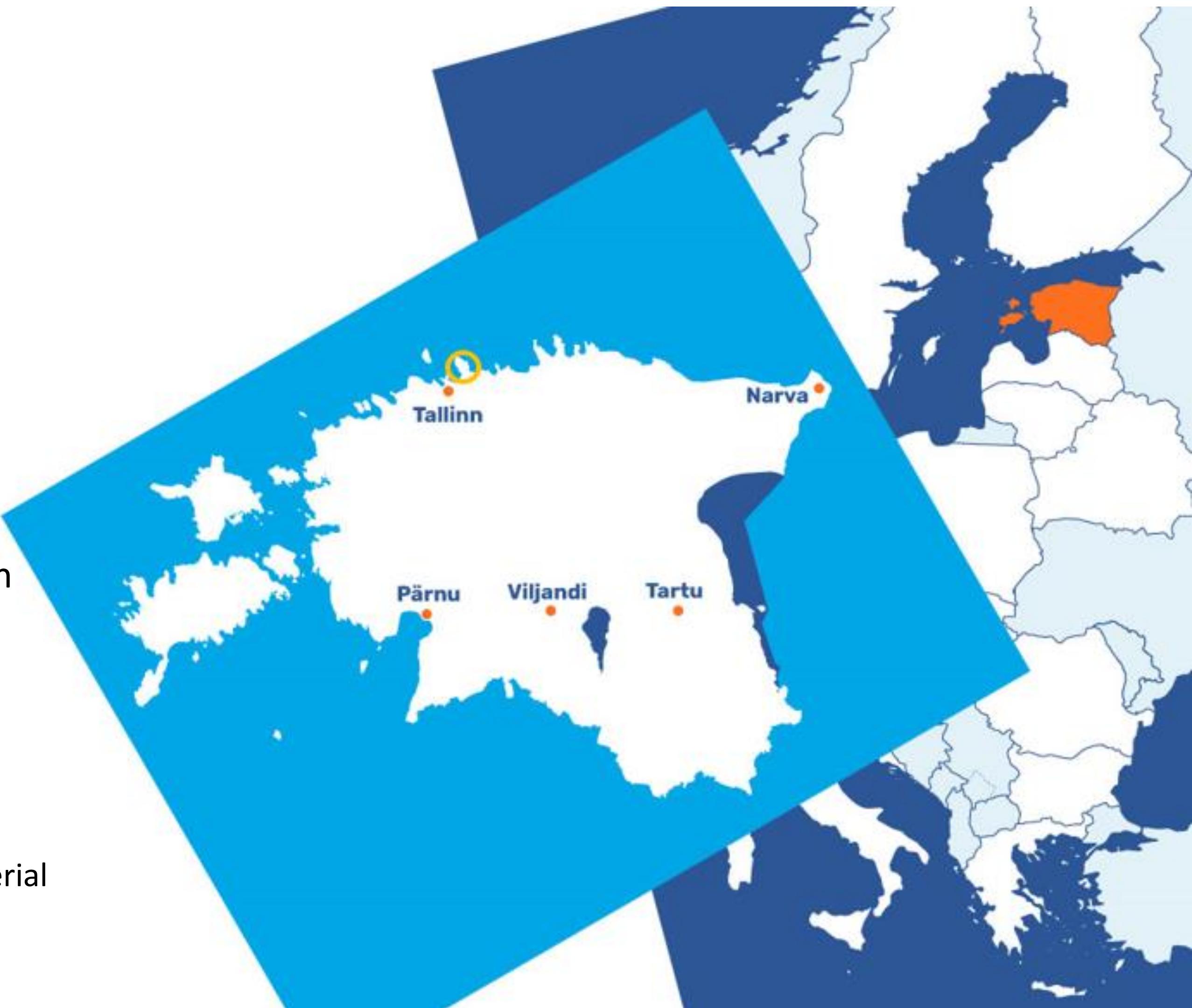
Estonia

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?

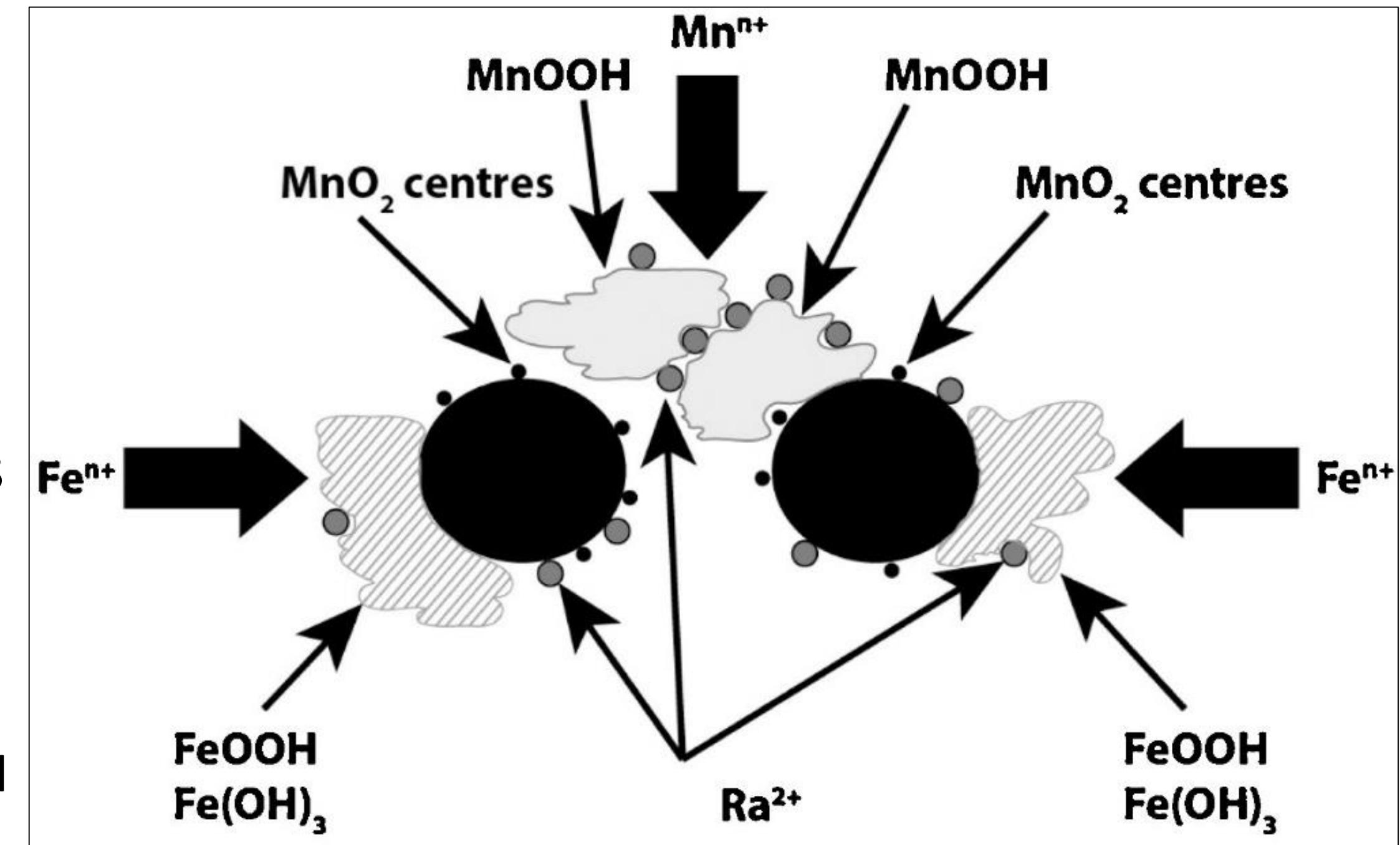
HMO =

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.

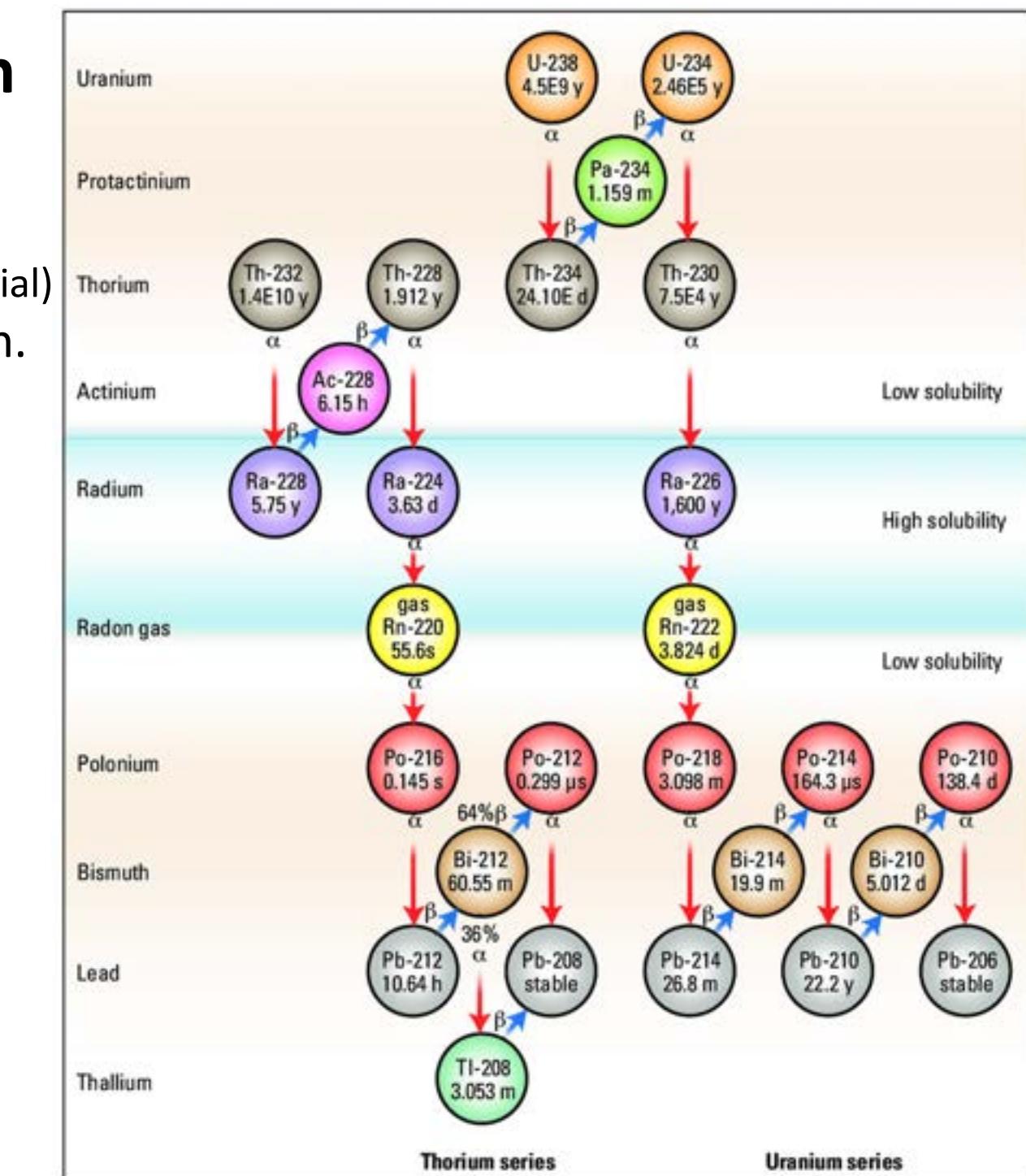
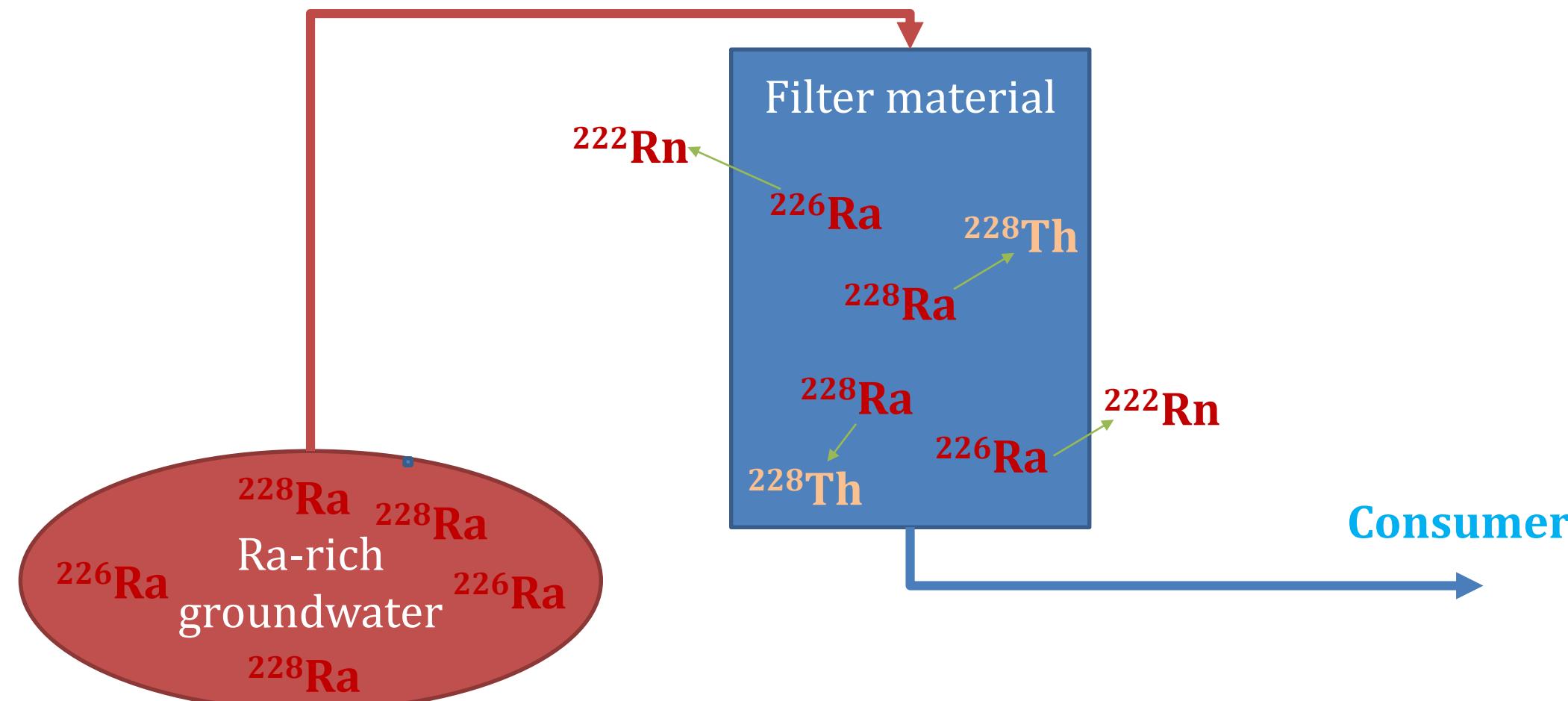


Fig.: Nelson et al, 2015. Environmental Health Perspectives, 123(7).



REGULATORY REQUIREMENTS FOR RADIOLOGICAL PARAMETERS

Drinking water

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

- **Indicative dose (ID)**

- Tritium (${}^3\text{H}$) activity concentration $\leq 0.10 \text{ mSv/year}$
- Radon (${}^{222}\text{Rn}$) activity concentration $\leq 100 \text{ Bq/L}$
- Radon (${}^{222}\text{Rn}$) activity concentration $\leq 100 \text{ Bq/L}$

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

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**

- ${}^{226}\text{Ra}$: ${}^{238}\text{U}$ decay series 1000 Bq/kg
- ${}^{228}\text{Ra}$, ${}^{228}\text{Th}$: ${}^{232}\text{Th}$ decay series 1000 Bq/kg

- Dose criteria for NORM

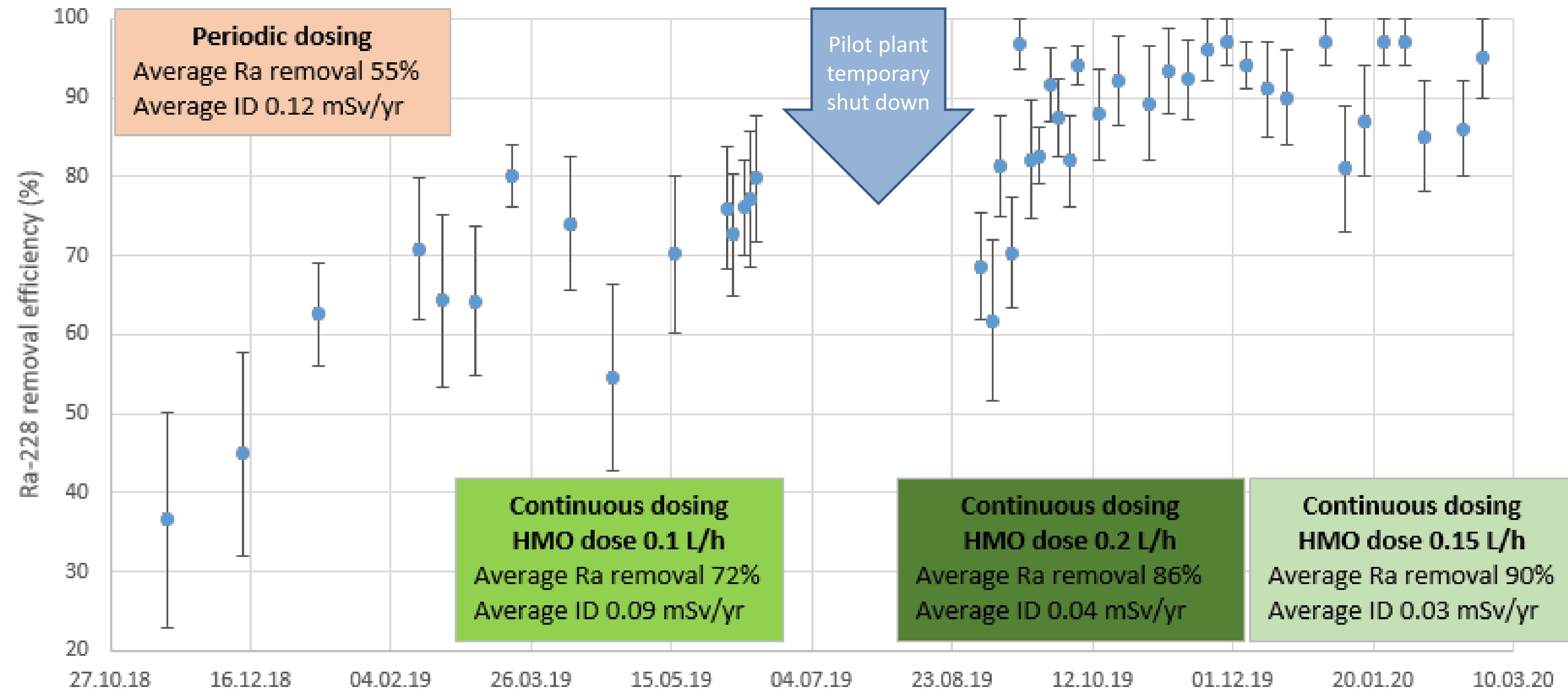
1 mSv/year

Our aim with the HMO pilot plant:
OPTIMIZED TREATMENT

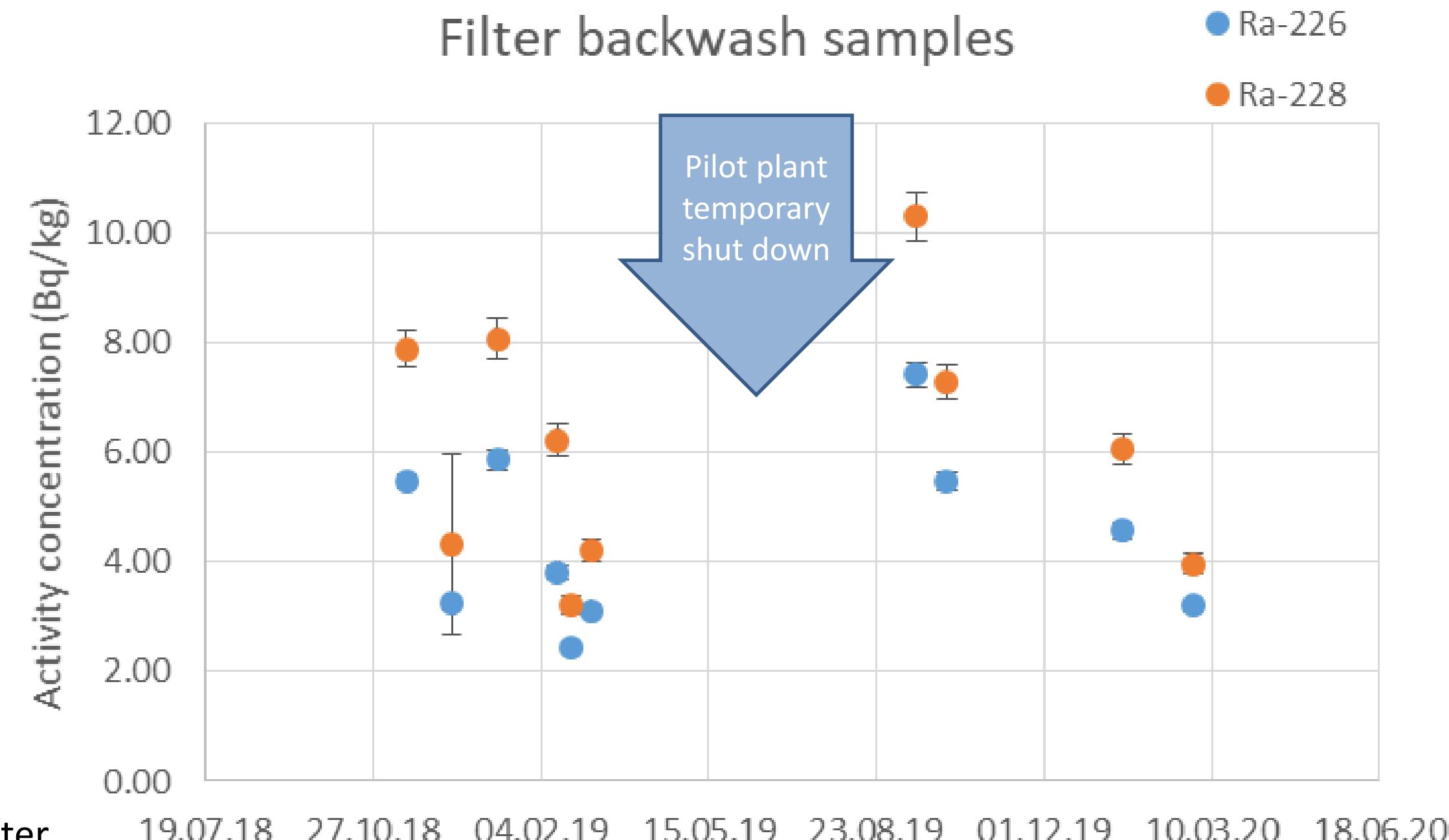
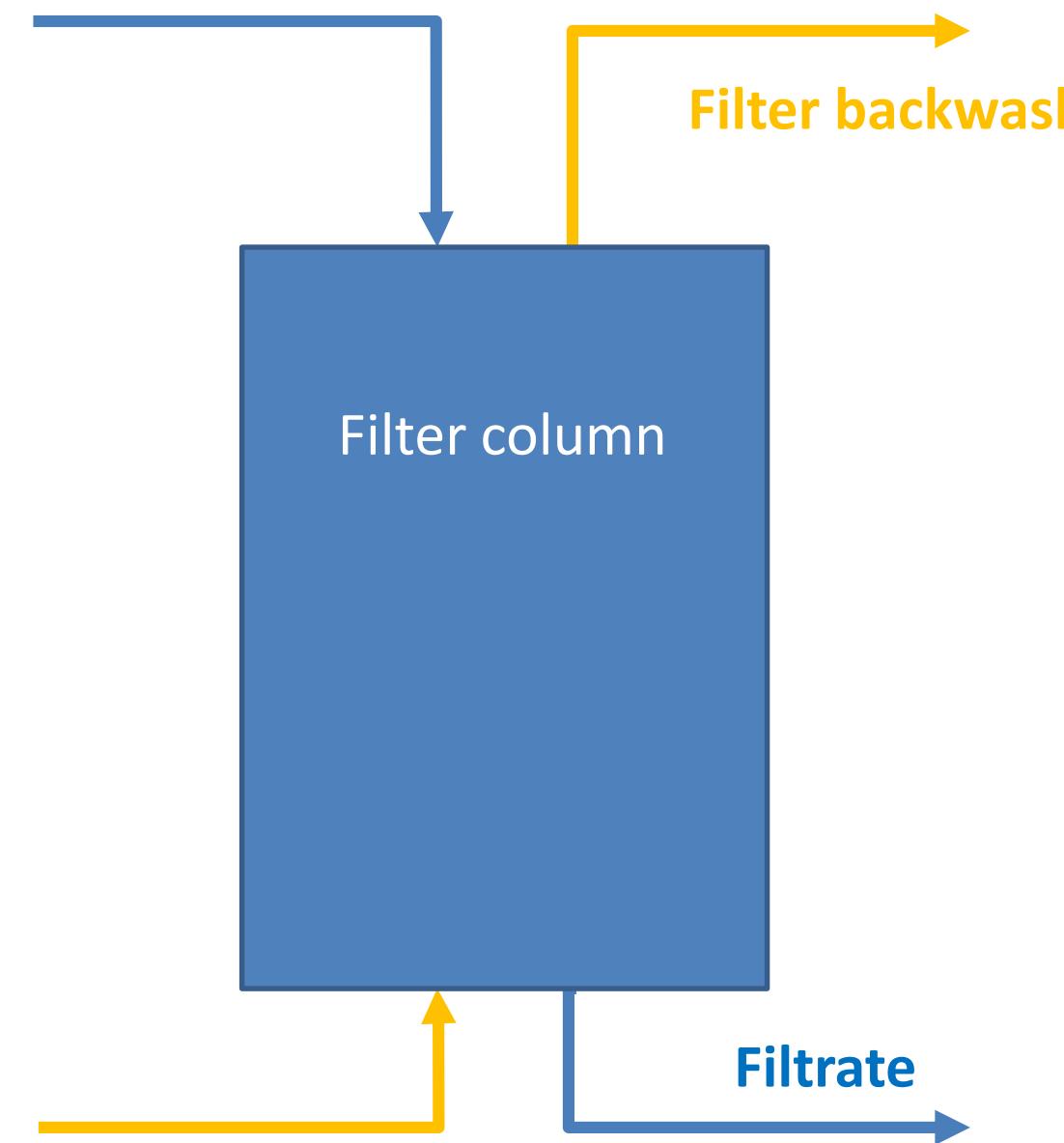
- Remove as much radium as needed to guarantee ID $< 0.10 \text{ mSv/year}$.
Not as much radium as possible!
- Reduce NORM accumulation.



RESULTS: RADIUM REMOVAL EFFICIENCY FROM WATER



RESULTS: RADIONUCLIDES IN FILTER BACKWASH WATER

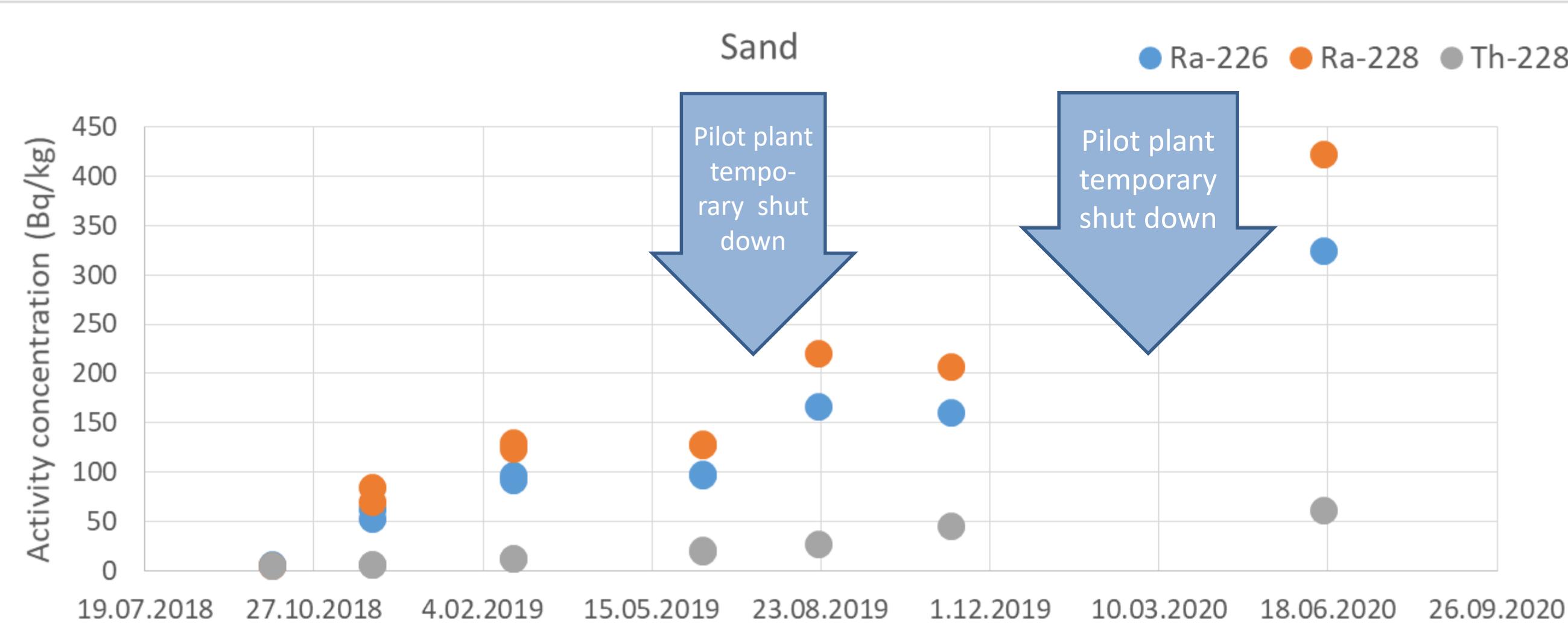
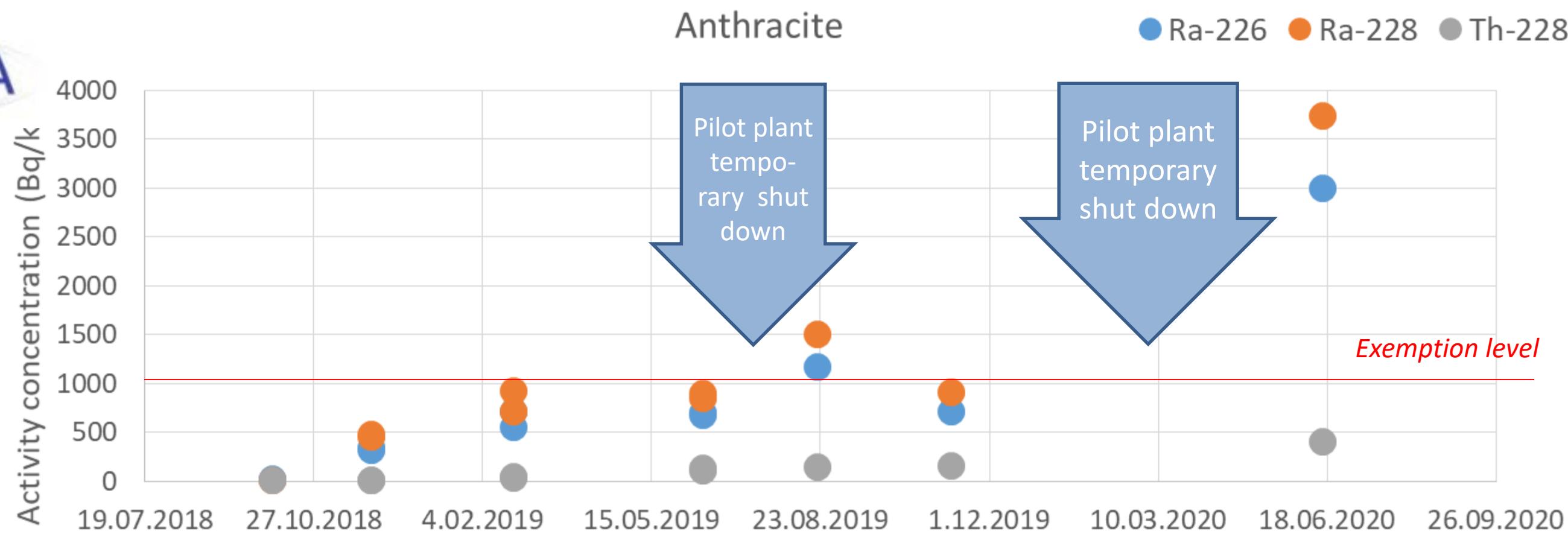


- Most of the radium is not removed from the filter material.
- Backwash water is discharged directly to the sewerage.



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.lifealchemy.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 Rodriguez³*

(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)

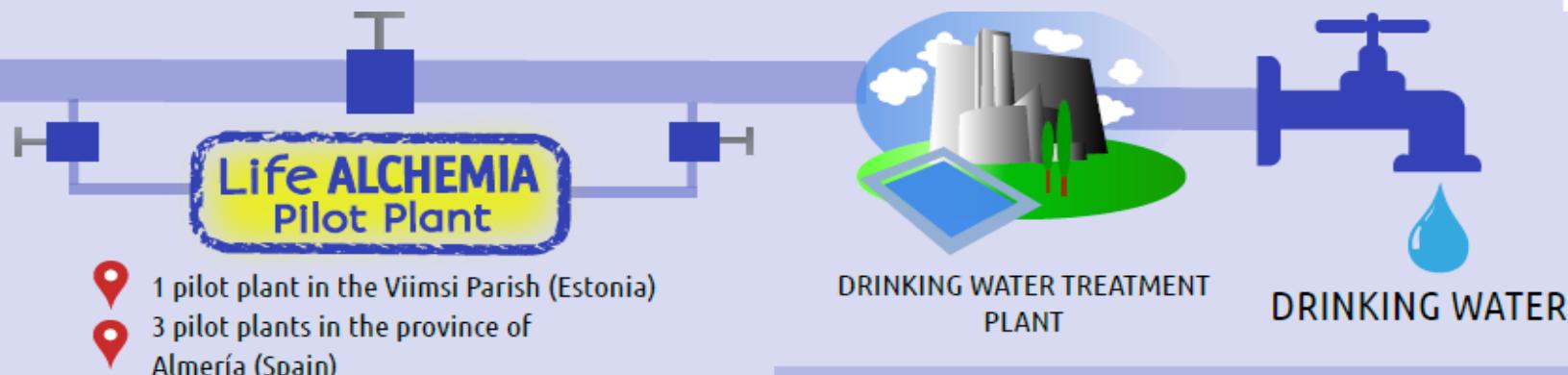
www.lifealchemy.eu

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.



TECHNOLOGY CENTRE
CARTIF



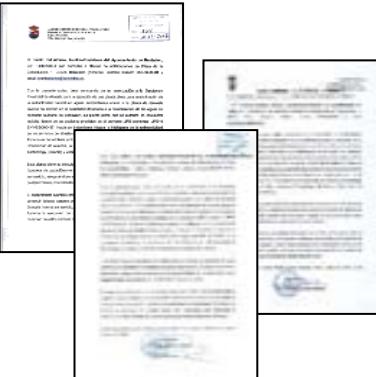
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

UNIVERSITY OF TARTU VIIMSI VESI



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

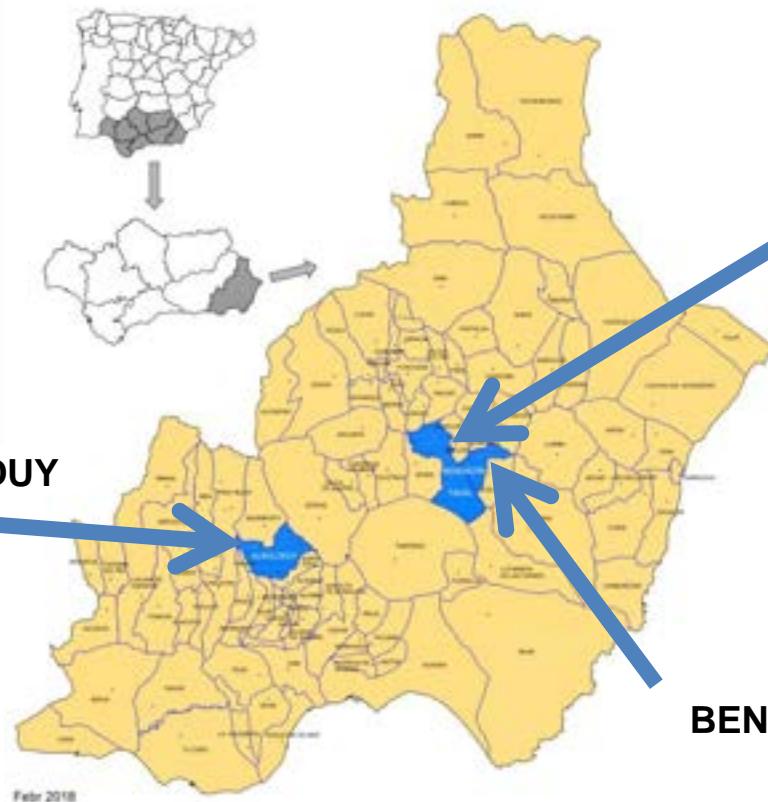
UBICACIÓN PLANTAS ALCHEMIA



[Alboloduy](#)

WATER TREATMENT
PLANTS SITUATION

■ PILOT PLANTS ALCHEMIA



TAHAL



[Tahal](#)

BENIZALÓN



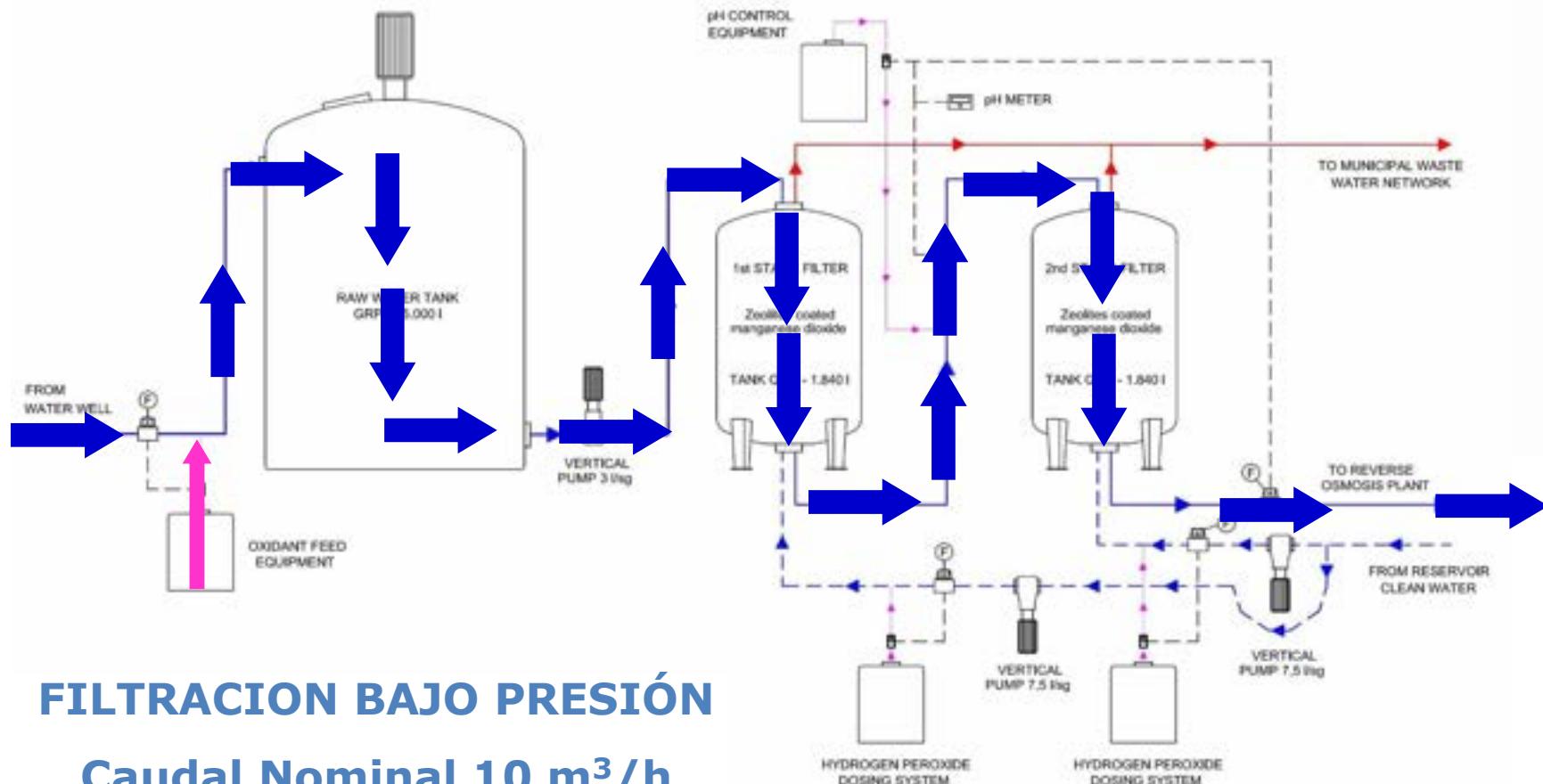
[Benizalon](#)

ALBOLODUY



[Alboloduy](#)

ETAPA DE FILTRACIÓN



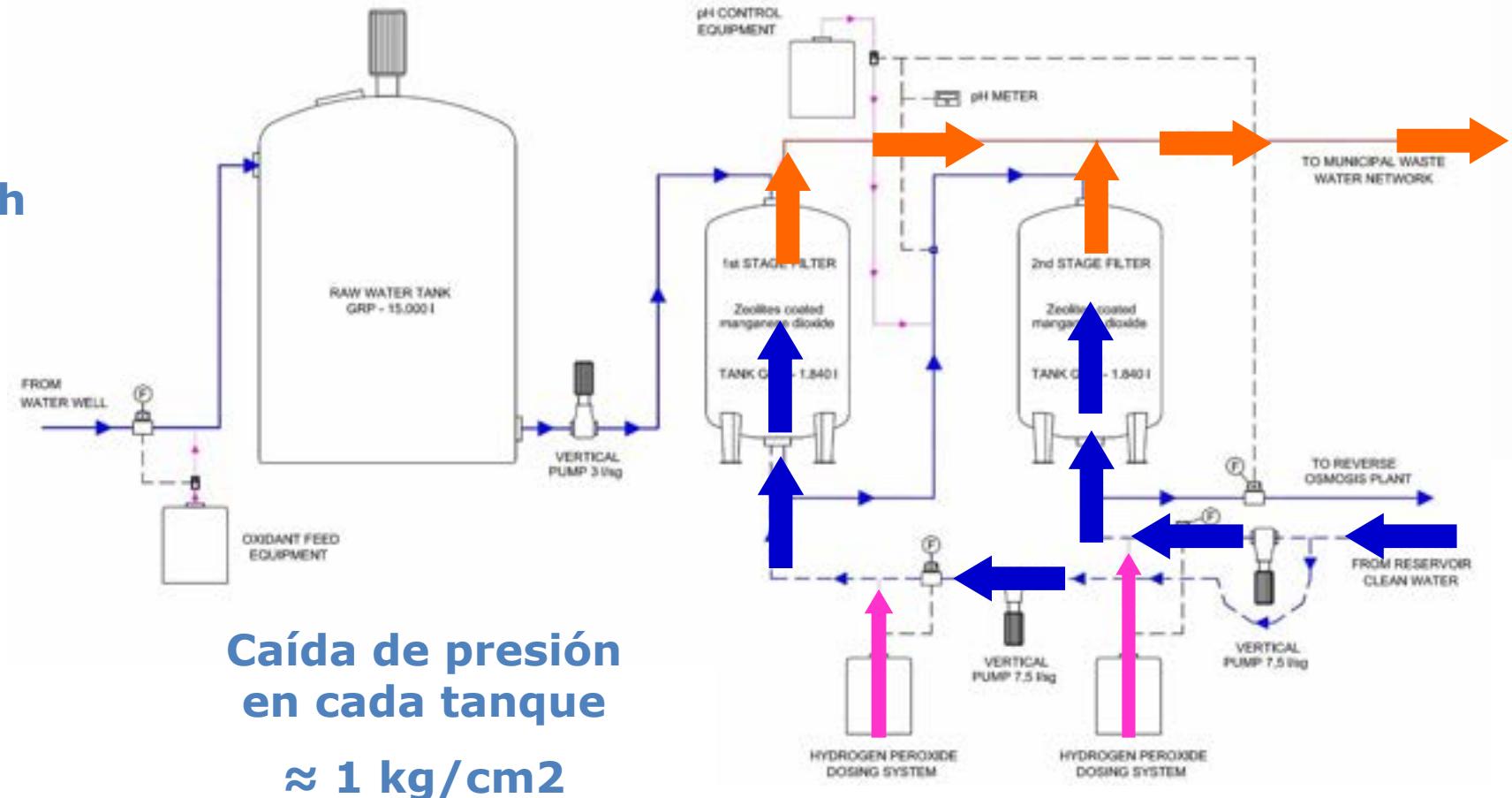
Caída de presión en cada tanque

$\approx 0,5 \text{ kg/cm}^2$

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

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	1º Tanque de filtración (T1)	2º 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	
	for Fe ²⁺ alone	
	3000 mg / l	
	85000 mg / ft ³ [aprx]	
Loading Capacity	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*

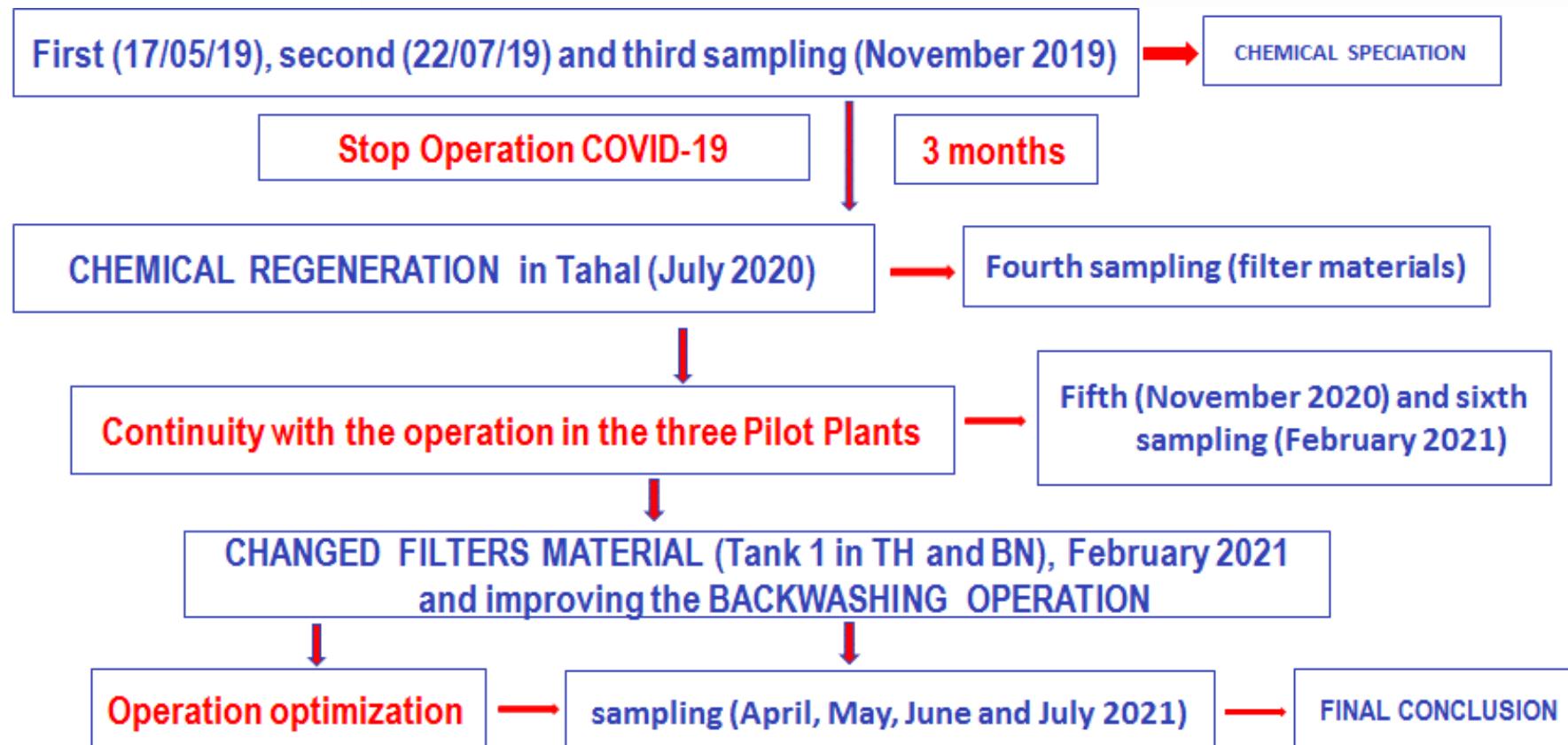
for 1.0 mg/l of

	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. OXYDESP 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	$0,25 \pm 0,019$	$0,31 \pm 0,023$	$0,28 \pm 0,021$	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	$0,28 \pm 0,04$	$0,22 \pm 0,03$	$0,23 \pm 0,04$	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	$0,25 \pm 0,04$	$0,200 \pm 0,025$	$0,19 \pm 0,024$	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	-						

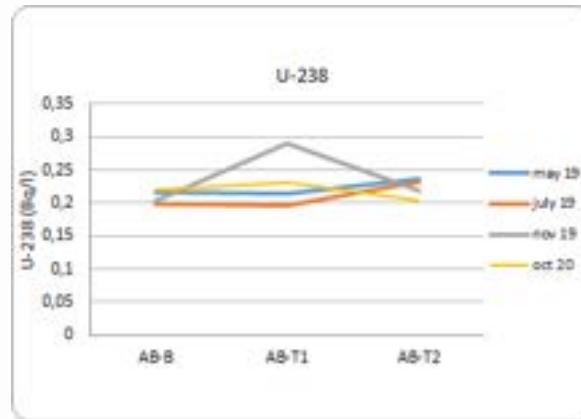
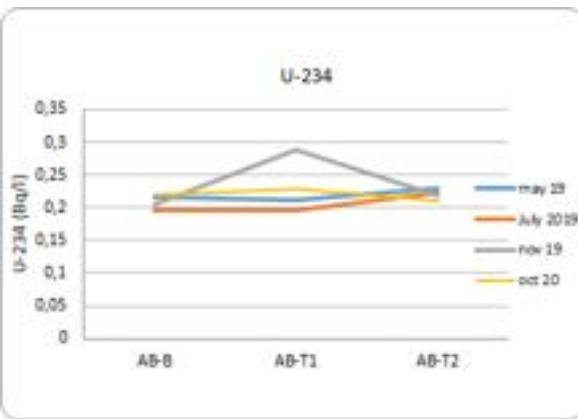
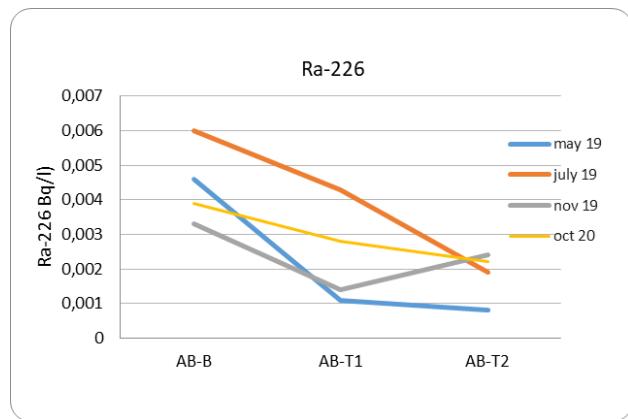
Eliminación de Uranio y Radio estrechamente ligada a la eliminación de hierro.

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

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.

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

Eliminación de Urano 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						

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.

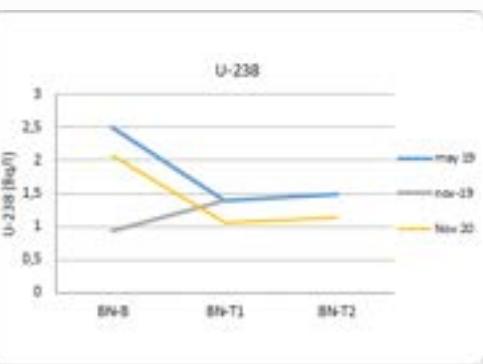
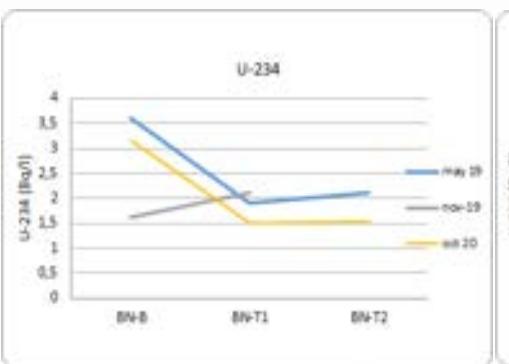
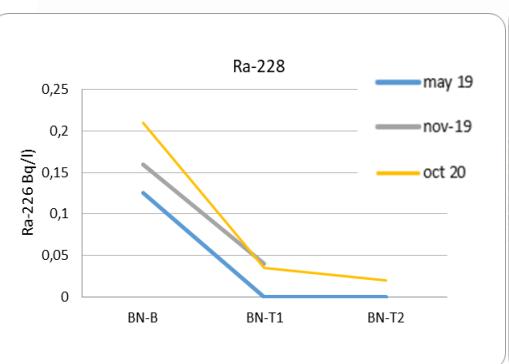
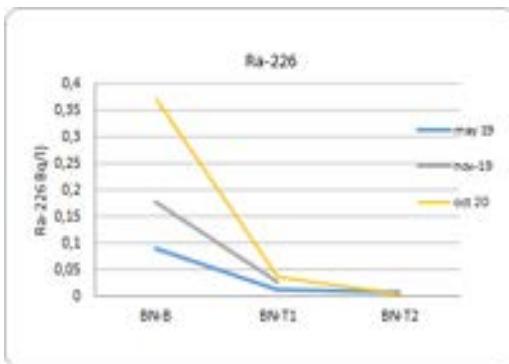
AAT diez veces superior al límite con DIT inferior al límite.

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

Validación y operación de las plantas piloto

BENIZALON



Different conditions in samples to optimization of 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 Urano 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						

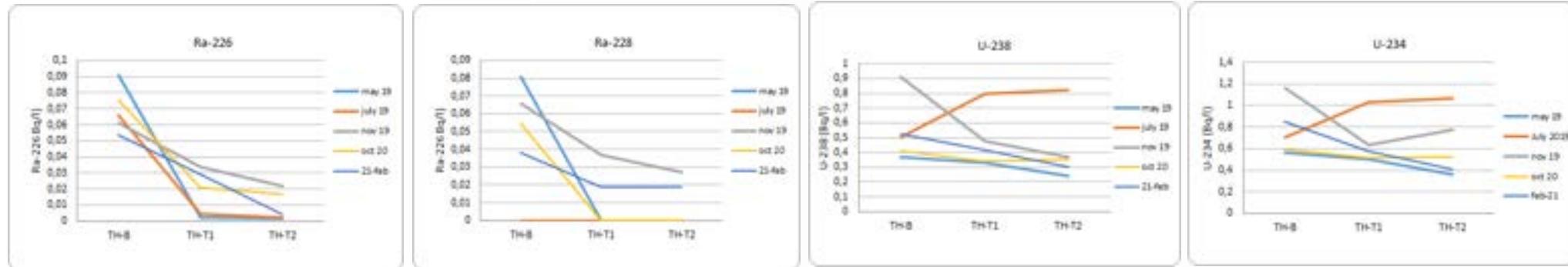
La reducción de la actividad alfa total es acorde con la reducción de la DIT.

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.

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

Validación y operación de las plantas piloto



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

TAHAL

Eliminación de Radio > 90%

Eliminación de Urano > 45%

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

	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

	U-234 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	V (m3)
Fecha					
Material Inerte					
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

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



RELEÑOS 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 l 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

**RELENOS EN TORNO AL LÍMITE NORM
REGENERACIÓN PREVISTA CON KCI**



EVOLUCIÓN CONTENIDO RADIONUCLEIDOS

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
jun-20 (before chemical Reg)	149±21	51±8	2680±211	2310±147	17395
jun-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

(TH-Tank1)

(TH-Tank1)

U-238 + U-234 (Bq/kg/m3)

0 10000 20000 30000 V(m3)

0 10000 20000 30000 V (m3)

0 10000 20000 30000 V(m3)

0 10000 20000 30000 V (m3)

TAHAL

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
jun-20 (before chemical Reg)	124±12	104±10	406±34	377±25	17395
jun-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

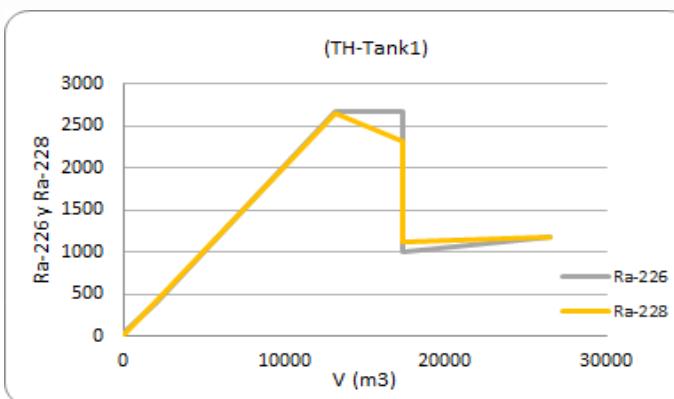
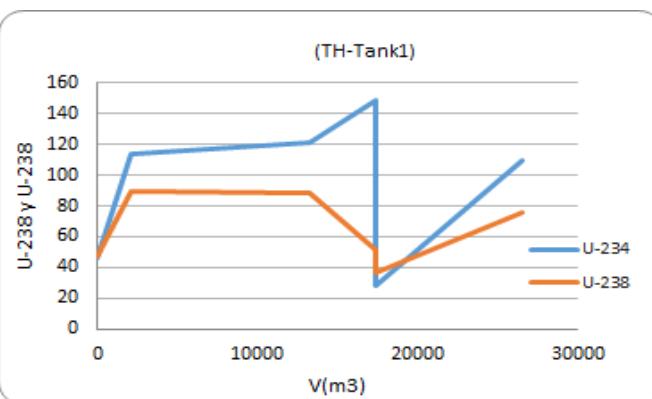
(TH-Tank-2)

(TH-Tank 2)

**RELEÑOS 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 minutes

Removal percentajes

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)

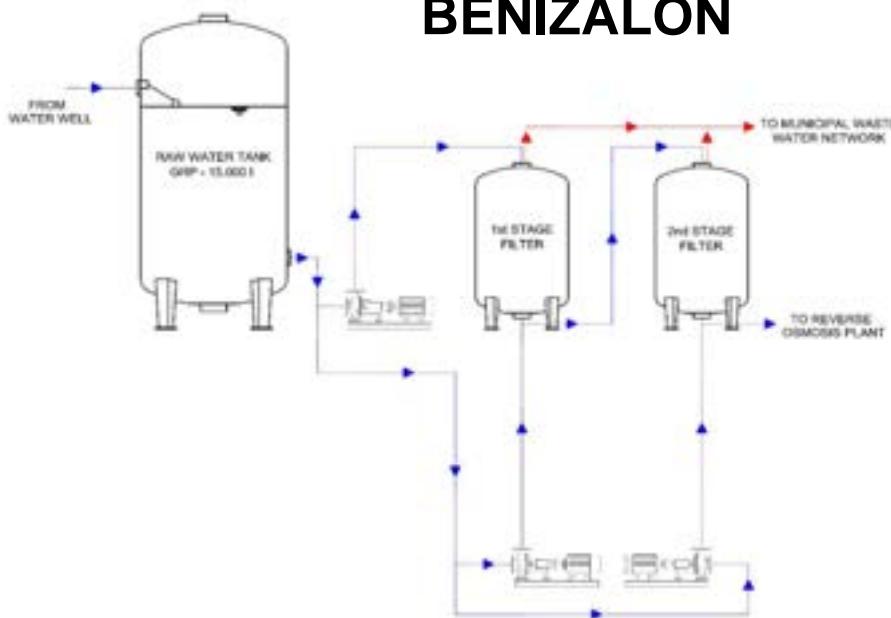
Se incorpora la regeneración
cada 2000 m³ tratados y el
contralavado a pH 6 a la
estrategia de operación de la
planta

Resultados Consumos de Agua y Energía

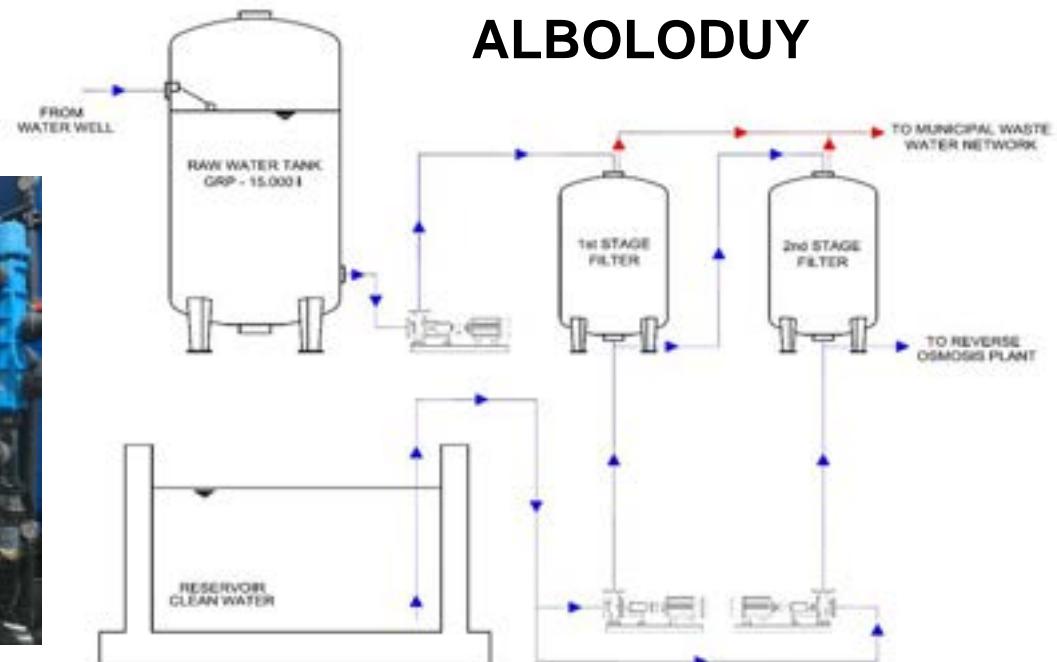
Plantas ALCHEMIA vs Plantas de Ósmosis inversa

DESCRIPCIÓN PLANTAS Alchemia

BENIZALÓN



ALBOLODUY



- 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

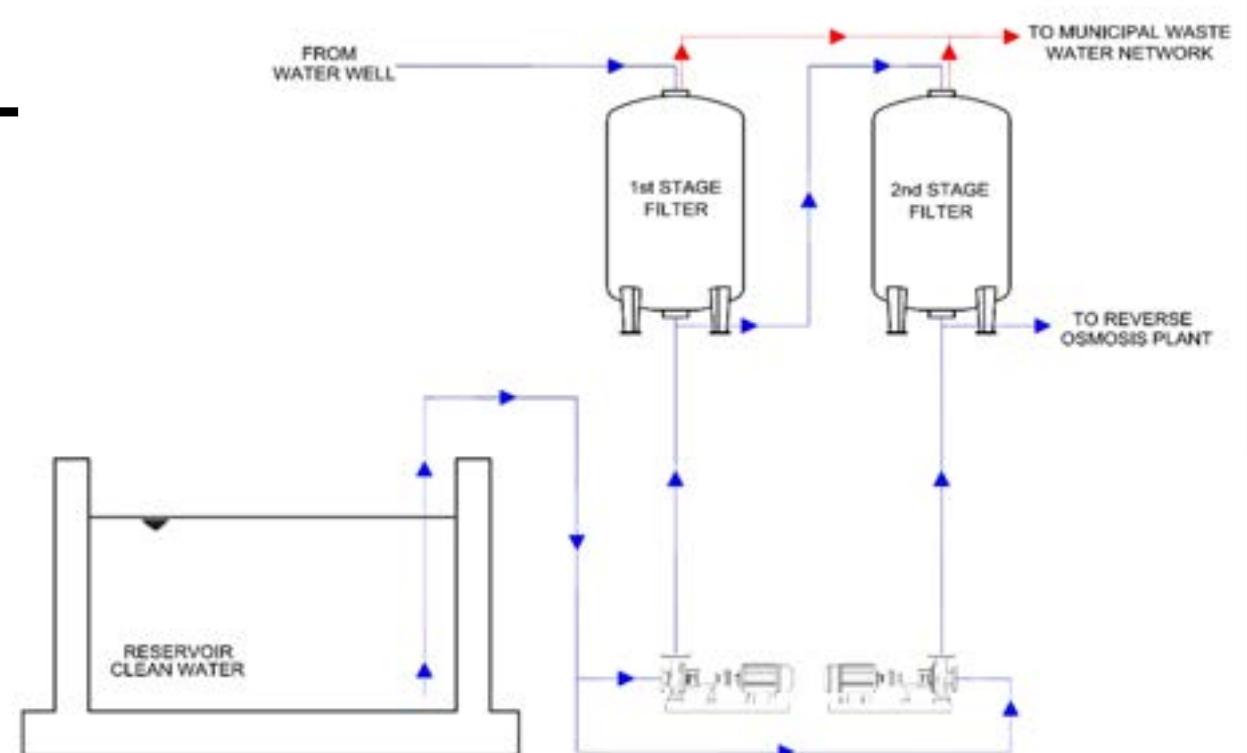
- Tanque de agua bruta garantiza la estabilidad del flujo
- Filtración y retrolavado con bombas
- Depósito de agua limpia para retrolavado
- Tanque de agua bruta provisto de aireación

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 µSv/h
(sin restar radiación de
fondo $\approx 0,12 \mu\text{Sv}/\text{h}$)

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 €

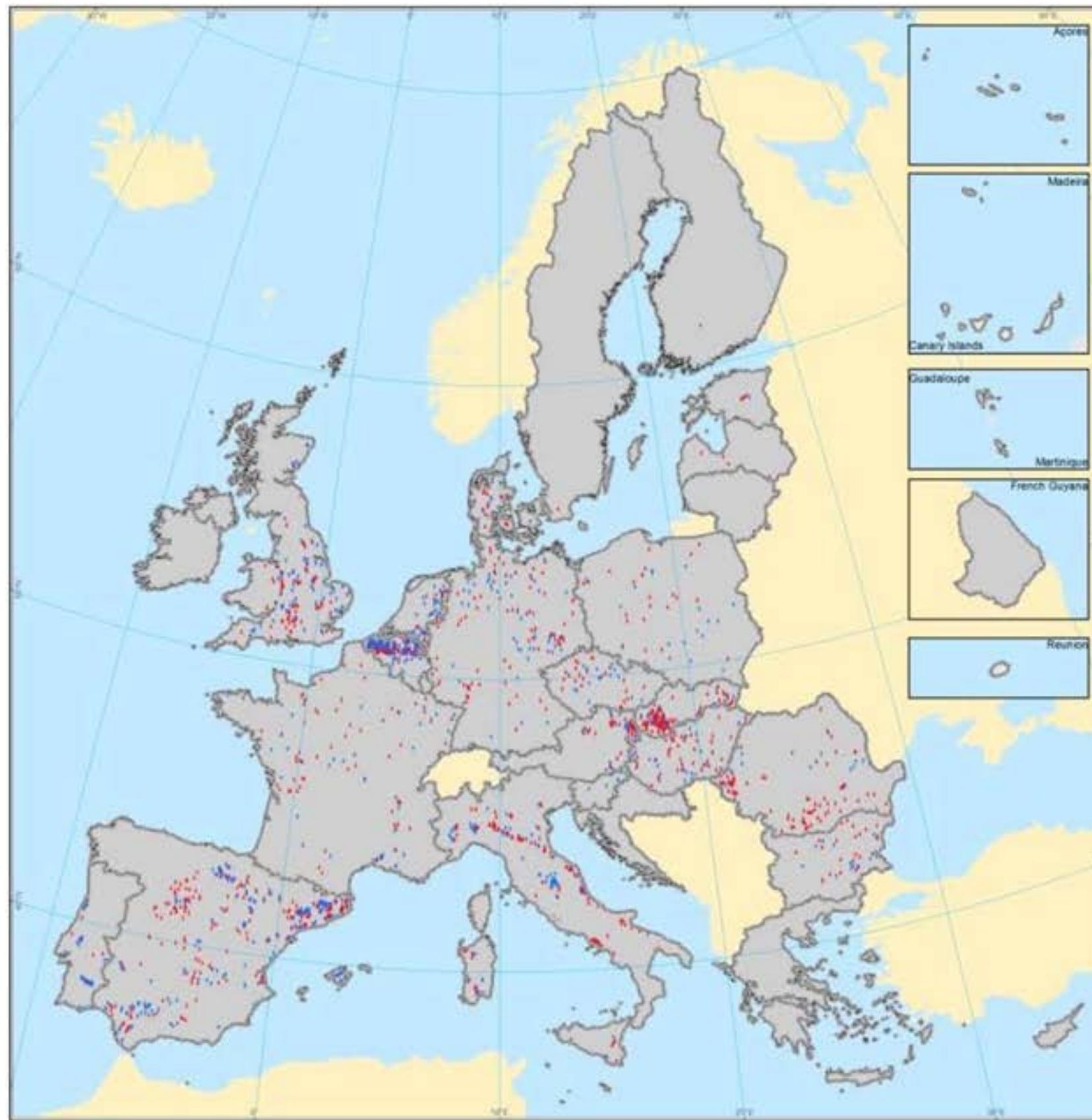
Subvención aprobada: 546.113 € (54,94 % del total)



**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:

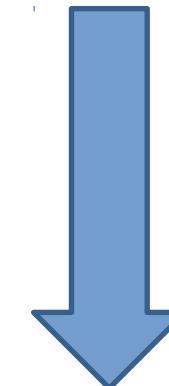
REPORT FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT on the implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources based on Member State reports for the period 2012–2015
Brussels, 4.5.2018, COM(2018)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

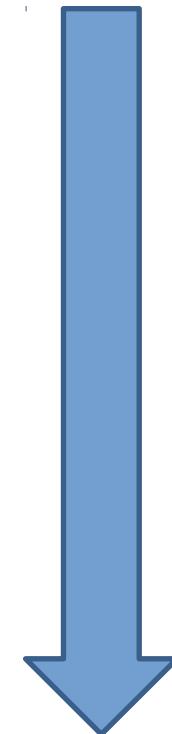
EUTROMED: Técnica demostrativa de prevención de la eutrofización provocada por nitrógeno agrícola en las aguas superficiales en clima mediterráneo



2. CONTEXTO Y PROBLEMA AMBIENTAL.

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

Tecnología actual: ósmosis inversa.



MEDIDA CORRECTIVA



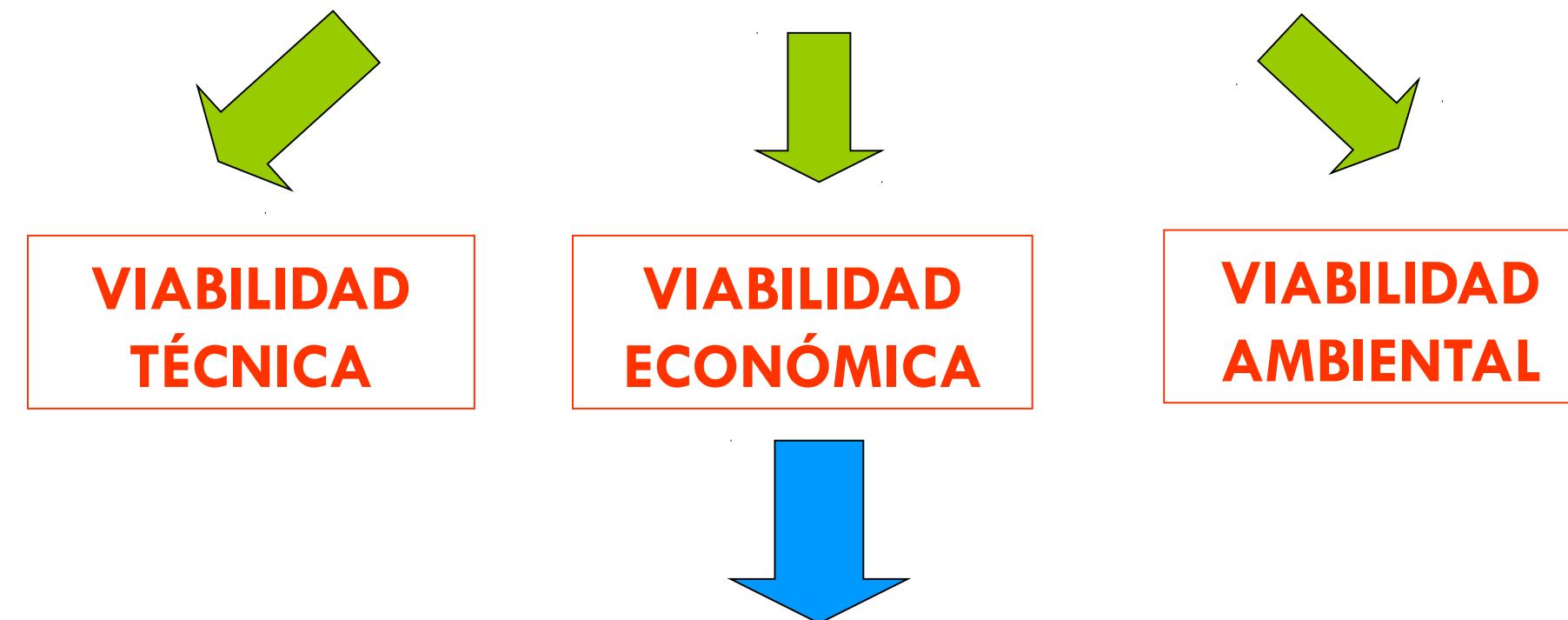
BÚSQUEDA DE UNA
ALTERNATIVA MÁS SOSTENIBLE



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:



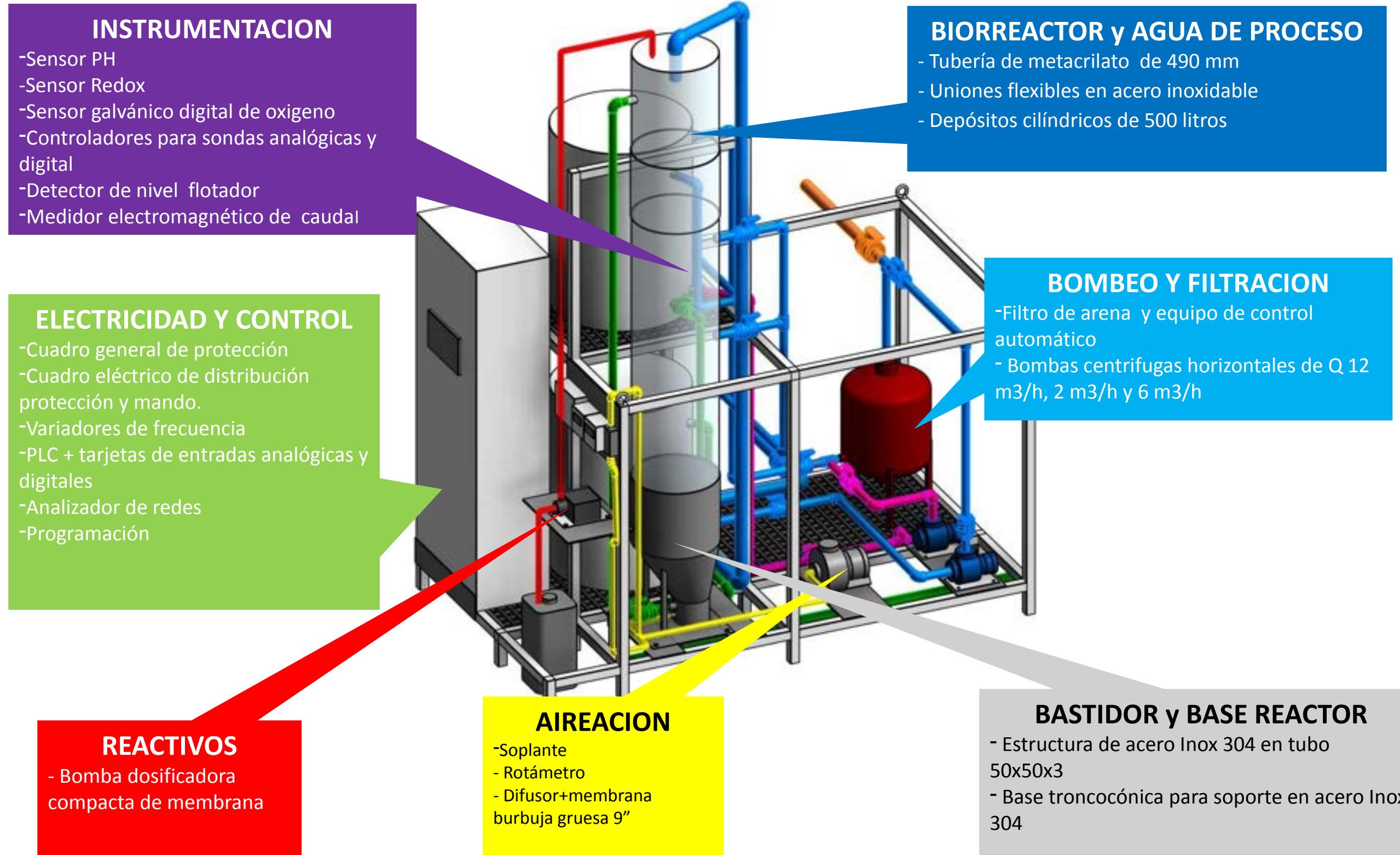
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
Deposit with osmosis	7,088	43,353	27,817	1,128	n.a.	0,04	32,323	65,653
Pedrín Survey	15,662	93,224	58,407	4,89	n.a.	0,393	33,475	131,774
Doña Marina Survey	22,858	2,108	40,216	9,516	n.a.	0,958	32,99	68,532
Fuente la Bella Survey	12,962	90,15	46,965	5,41	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.

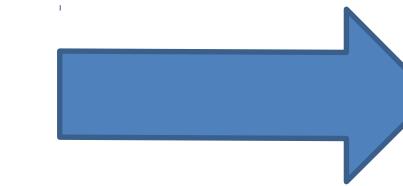
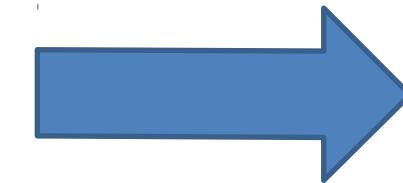
5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.

CONSTRUCCIÓN





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





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



BIORREACTORES:

- 1^a Fase: Biorreactor de metacrilato.



VIDEO

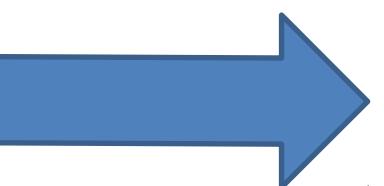




5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.

BIORREACTORES:

- 1^a Fase: Biorreactor de metacrilato.



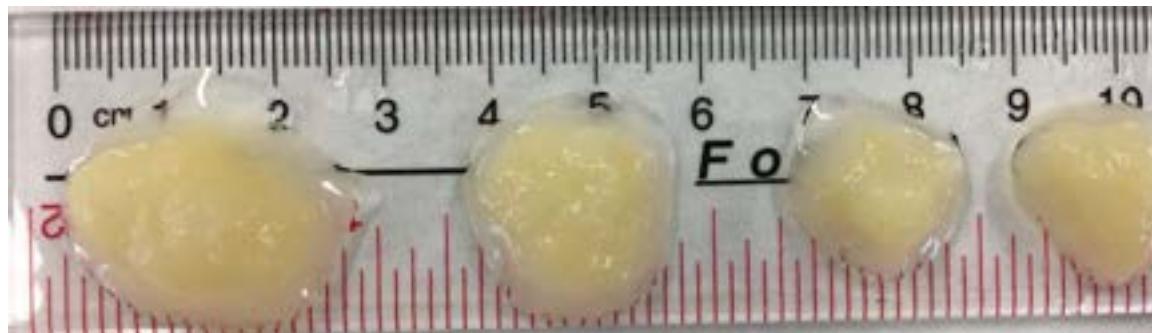


5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA A ESCALA REAL.



BIORREACTORES:

- 1^a 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.

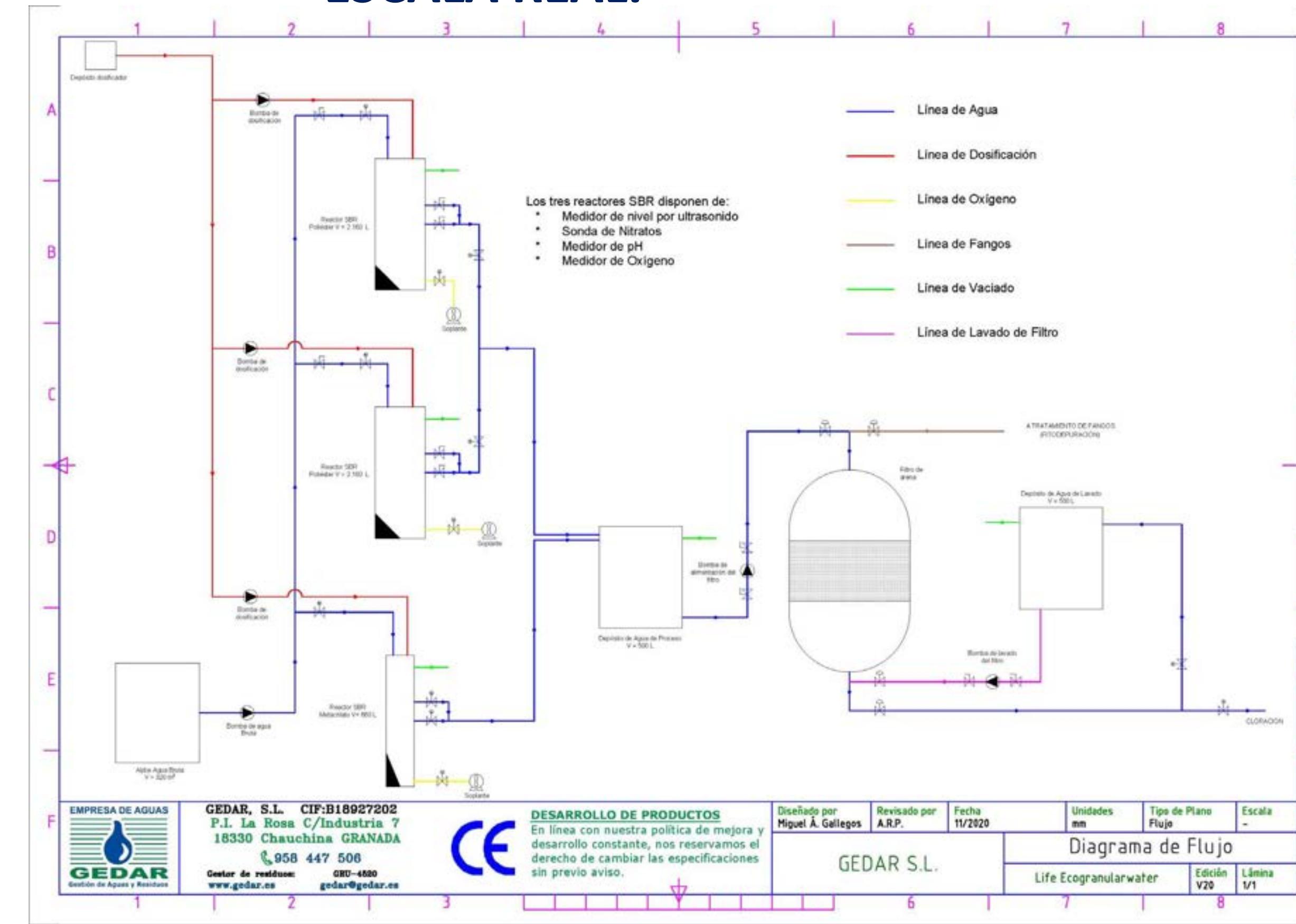
BIORREACTORES:

- 2^a 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

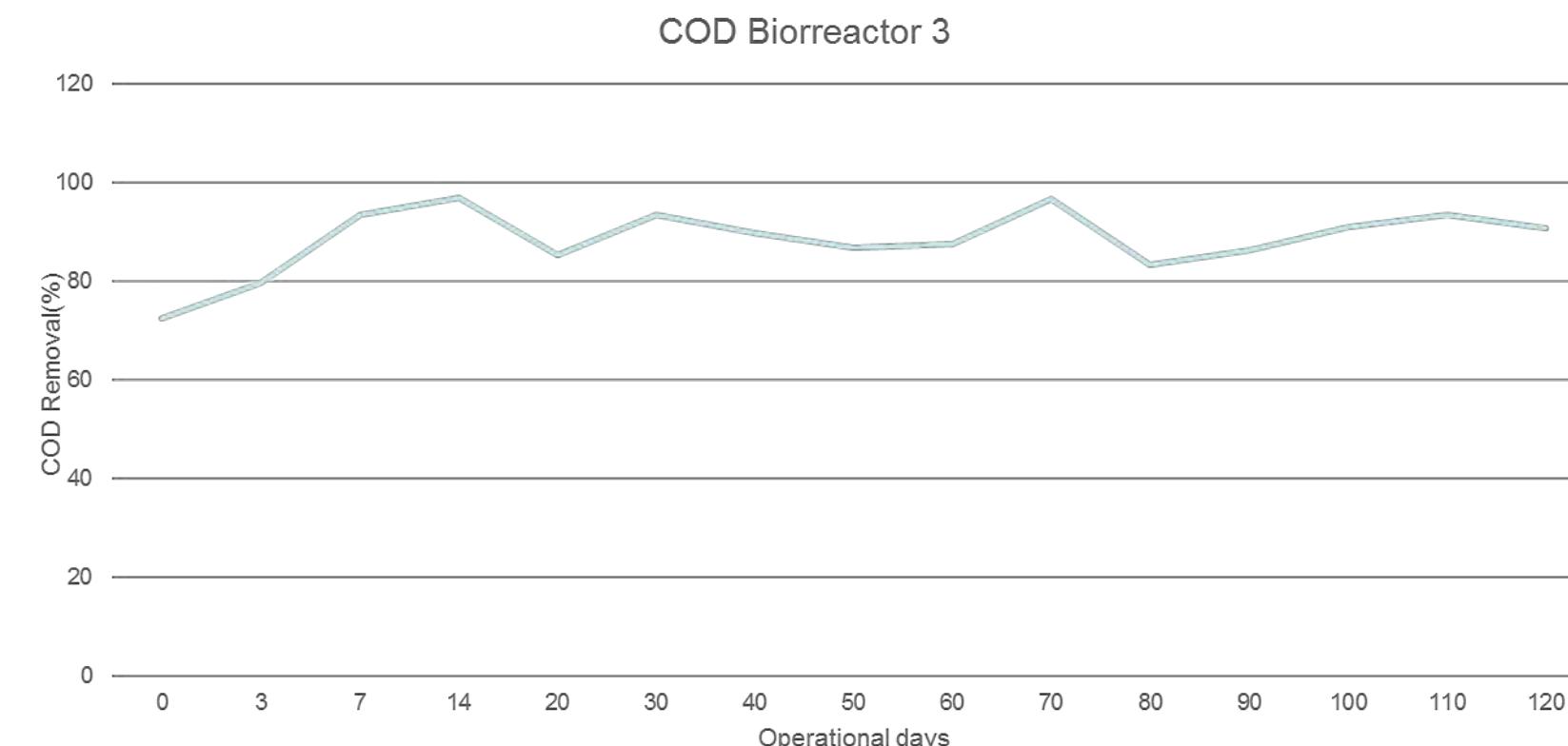
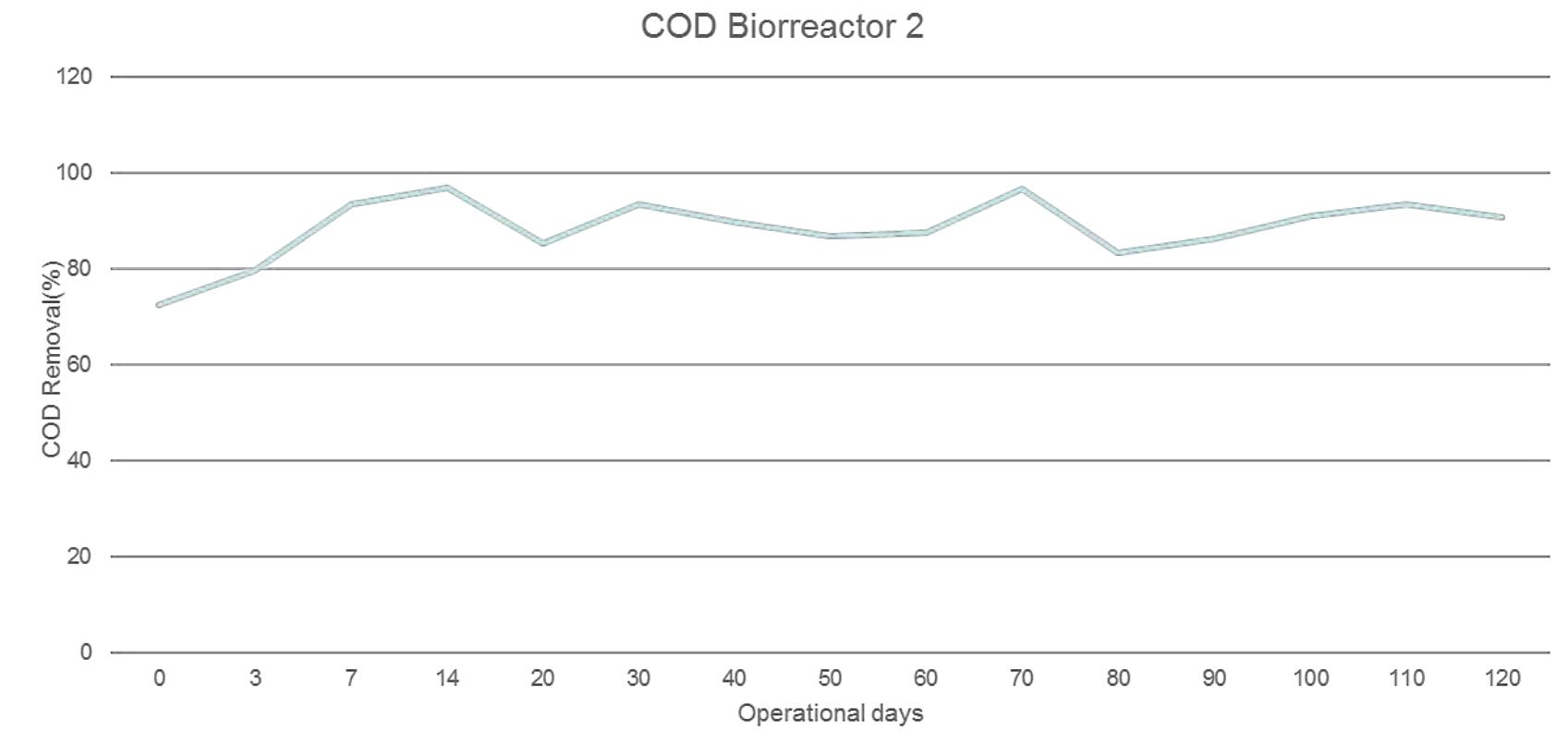
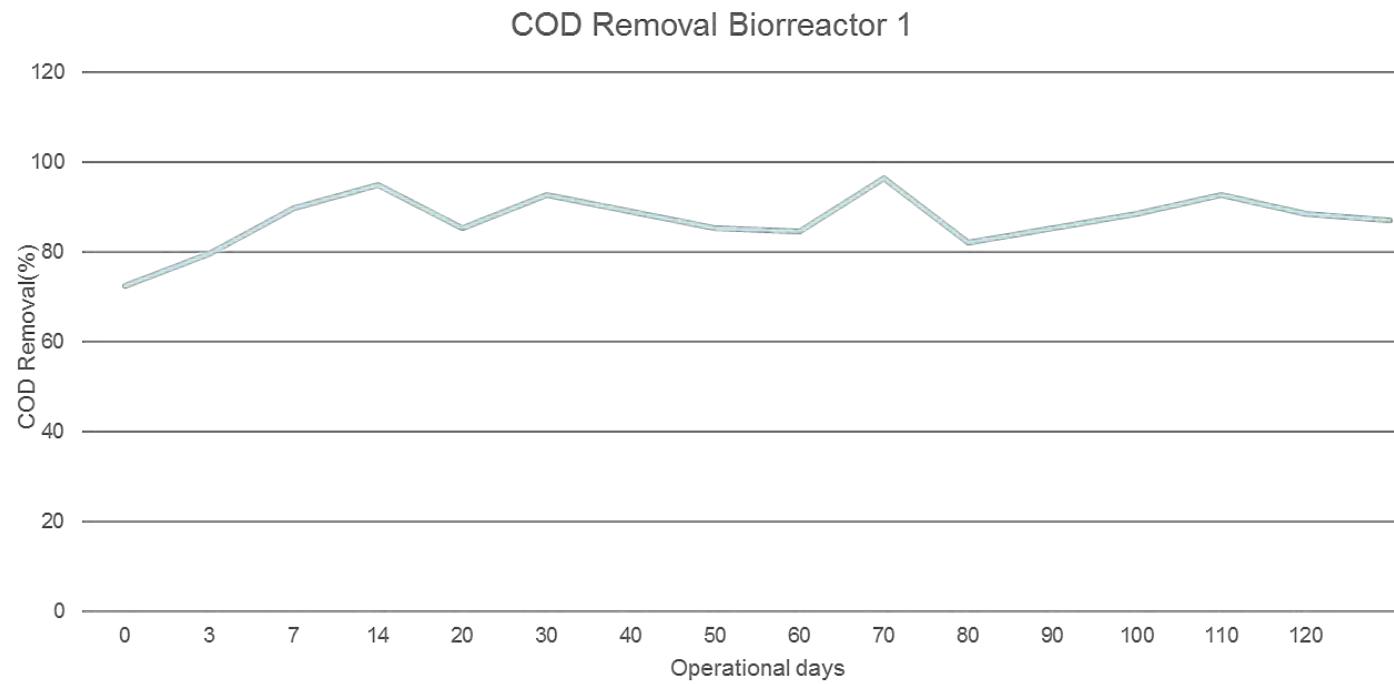


BOMBAS DOSIFICADORAS DE NUTRIENTES



6. RESULTADOS: RENDIMIENTOS DEL SISTEMA.

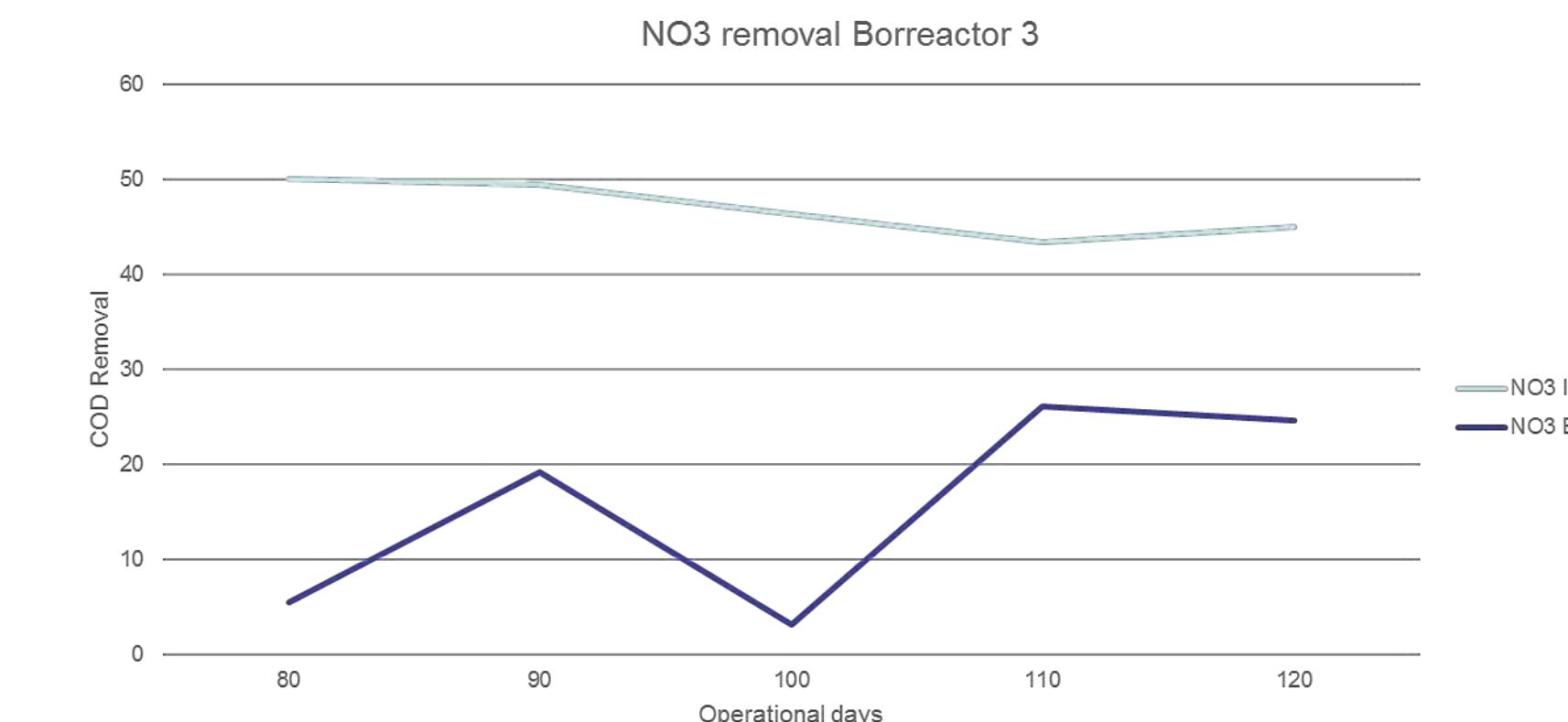
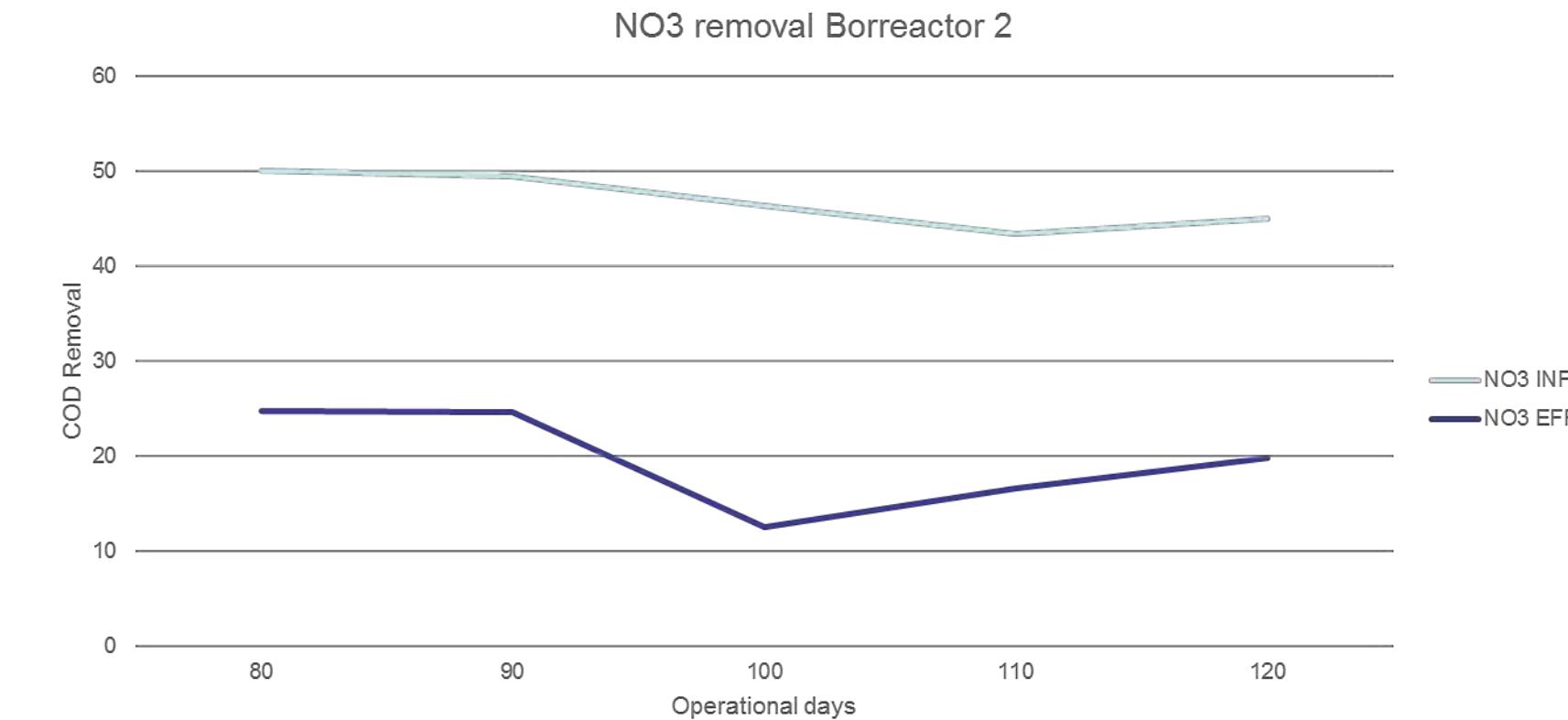
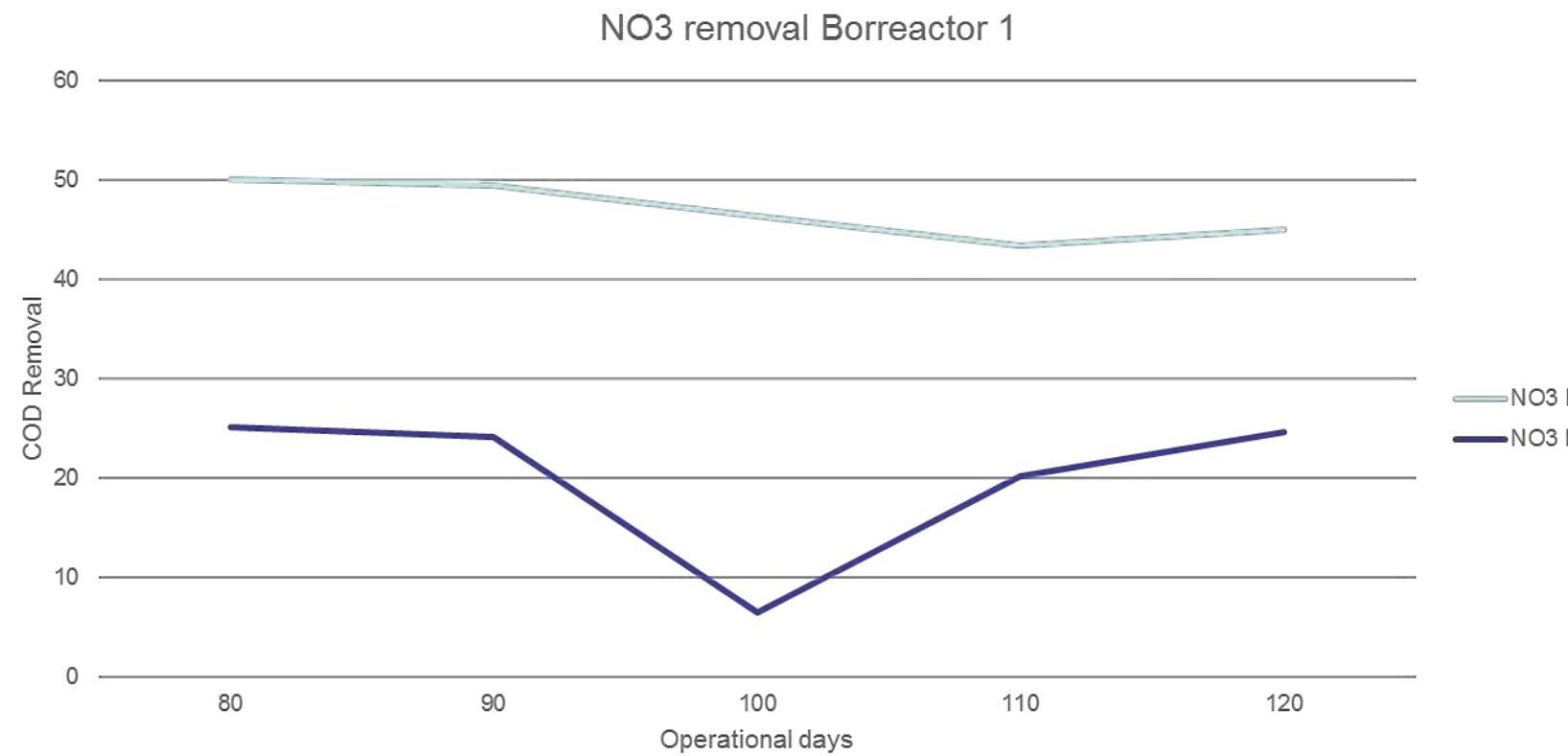
ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA



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

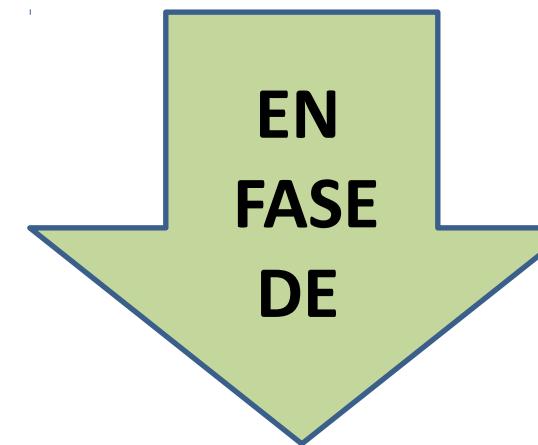
El agua a la salida del filtro de arena cuenta con menor presencia de bacterias que el agua subterránea.

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 €/m³ de agua entre ambas plantas	
	€/m³		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 €/m³ de agua entre ambas plantas	
	€/m³		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	

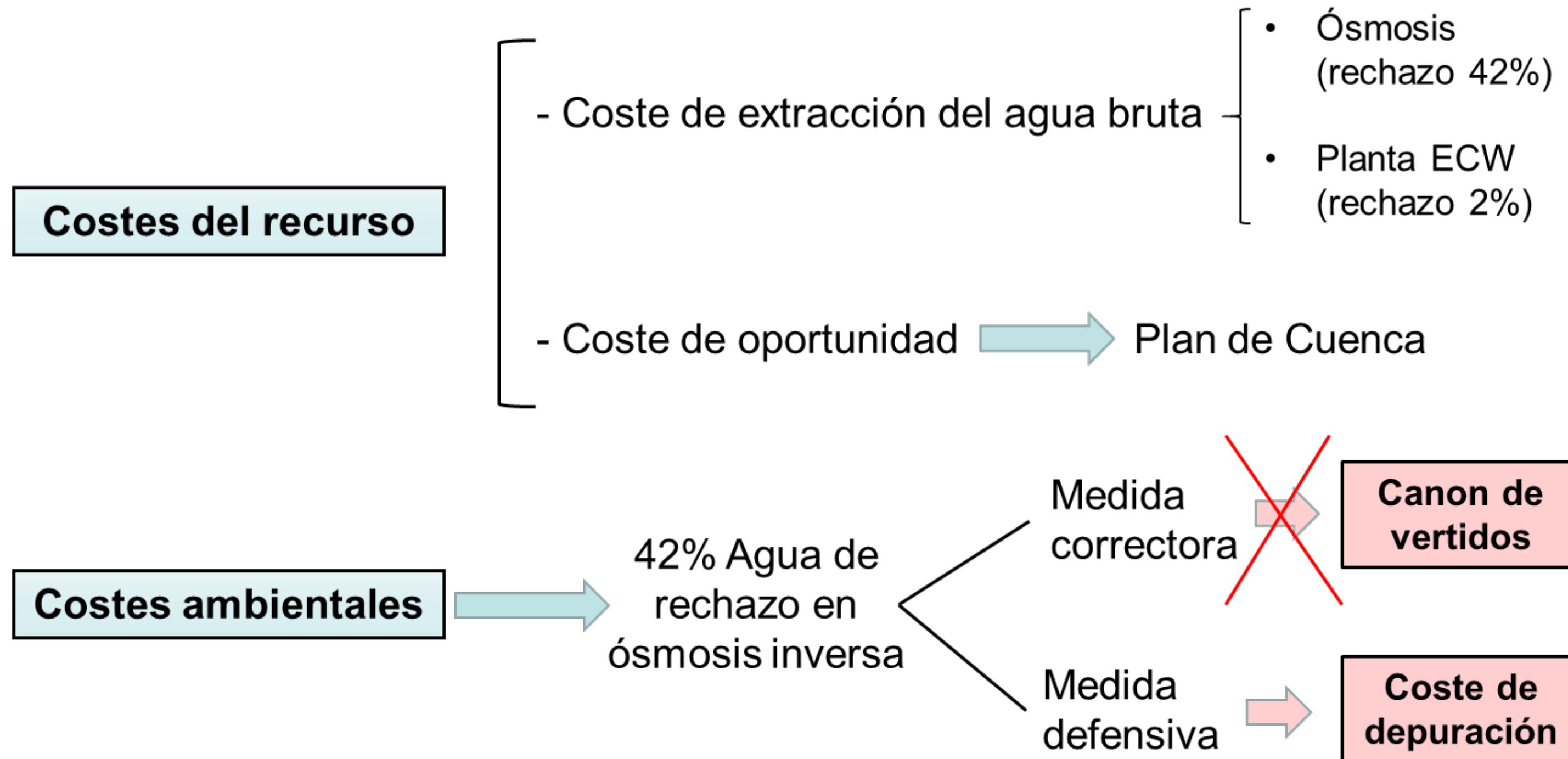
Inversión



*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

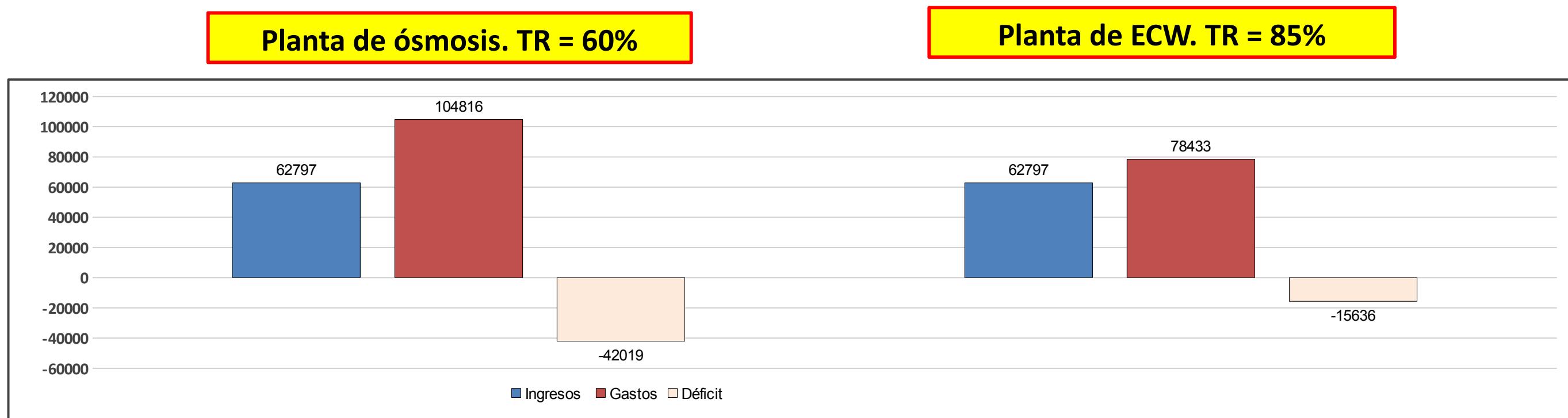
Conceptos	Tecnología				Variación porcentual del coste en €/m ³ de agua entre ambas plantas	
	€/m ³		Estructura porcentual (%)			
	Ósmosis Inversa	Planta ECW	Ósmosis Inversa	Planta ECW		
Personal	0,0893	0,2228	5,95	28,06	149,496	
Energía	0,3856	0,0701	25,71	8,83	-81,821	
Reactivos	0,4231	0,3675	28,21	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)



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

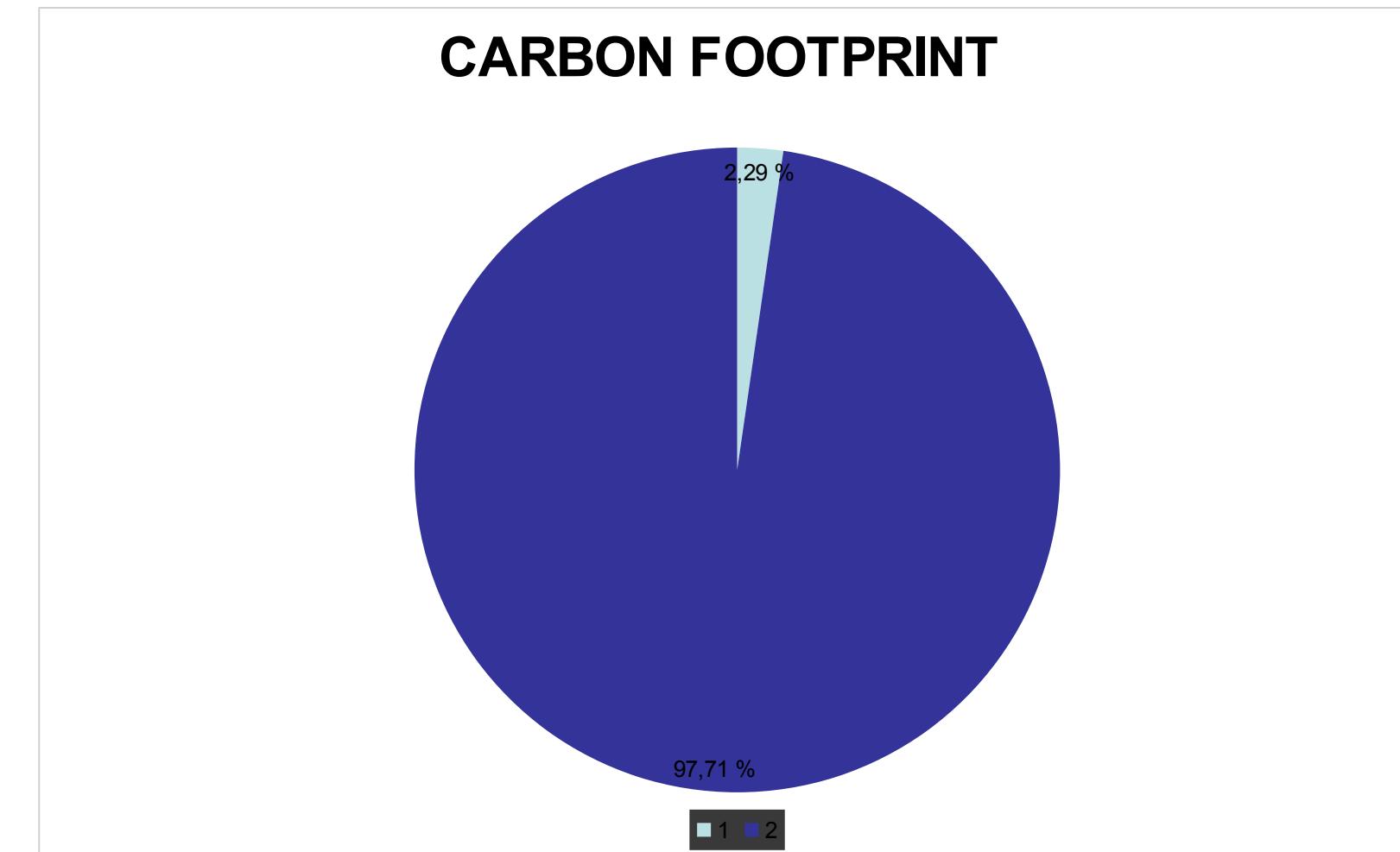
	Costes presupuestados con la planta de ósmosis inversa	Costes estimados con la planta Ecogranularwater	Ahorro de costes
Ahorro en costes de energía en la planta de ósmosis	8.181,51	1.859,43	6.322,08
Ahorro en costes de energía en pozos	20.383,83	1.258,92	19.121,91
Ahorro en costes de reactivos	7.143,04	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



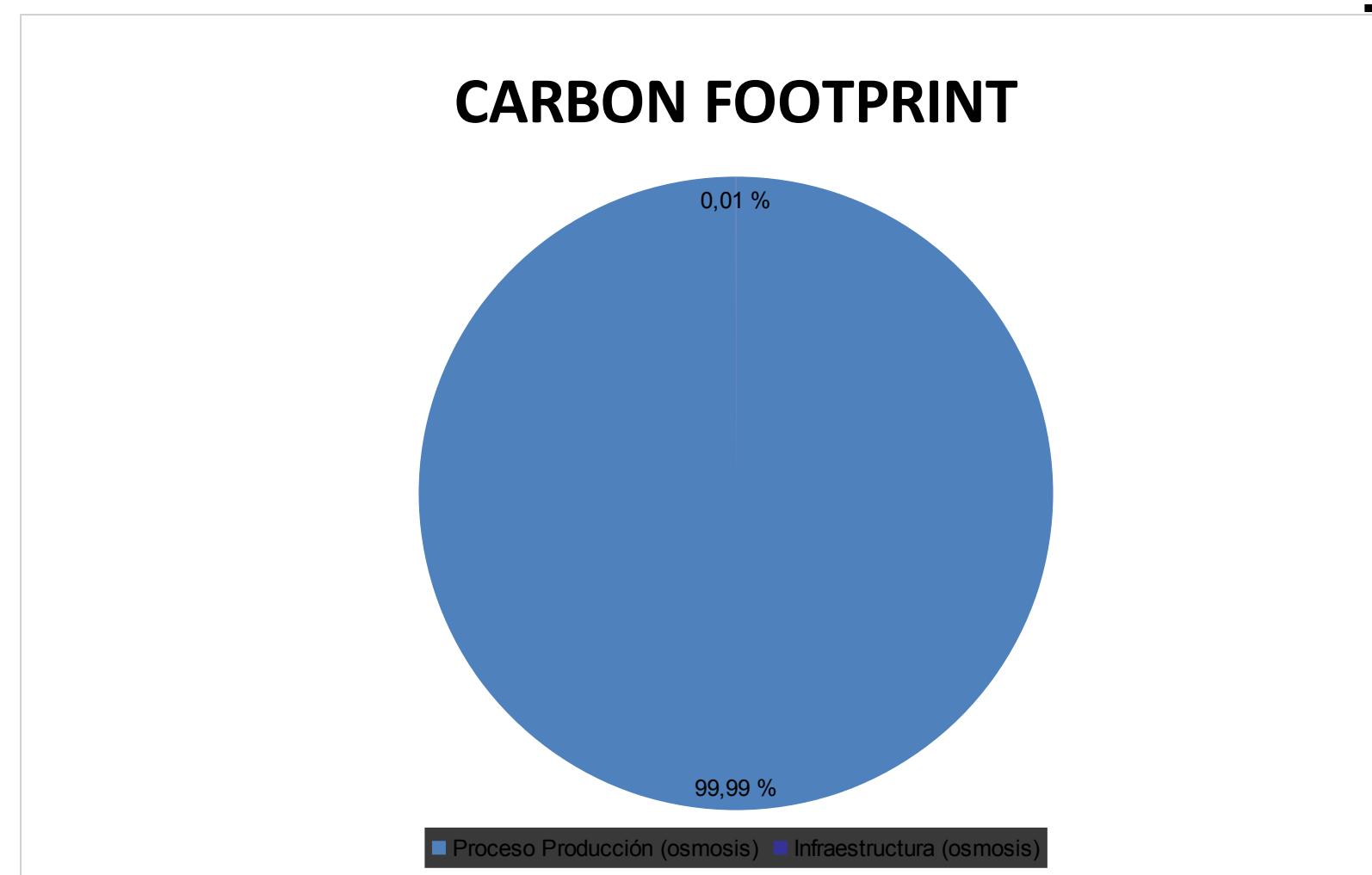


8. RESULTADOS: ANÁLISIS CICLO DE VIDA.

COMPARACIÓN INFRAESTRUCTURA-PRODUCCIÓN 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

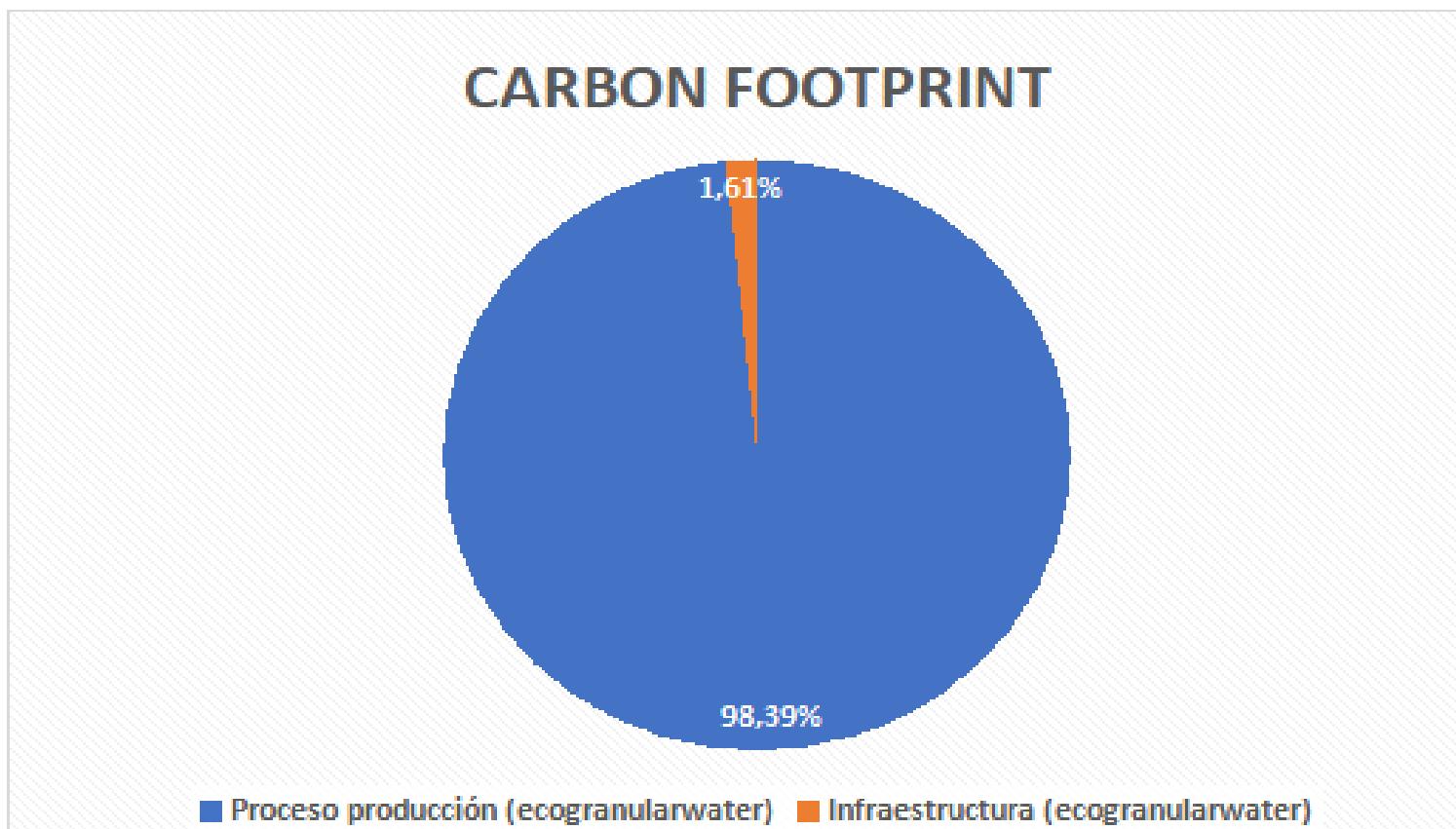




8. RESULTADOS: ANÁLISIS CICLO DE VIDA.

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	



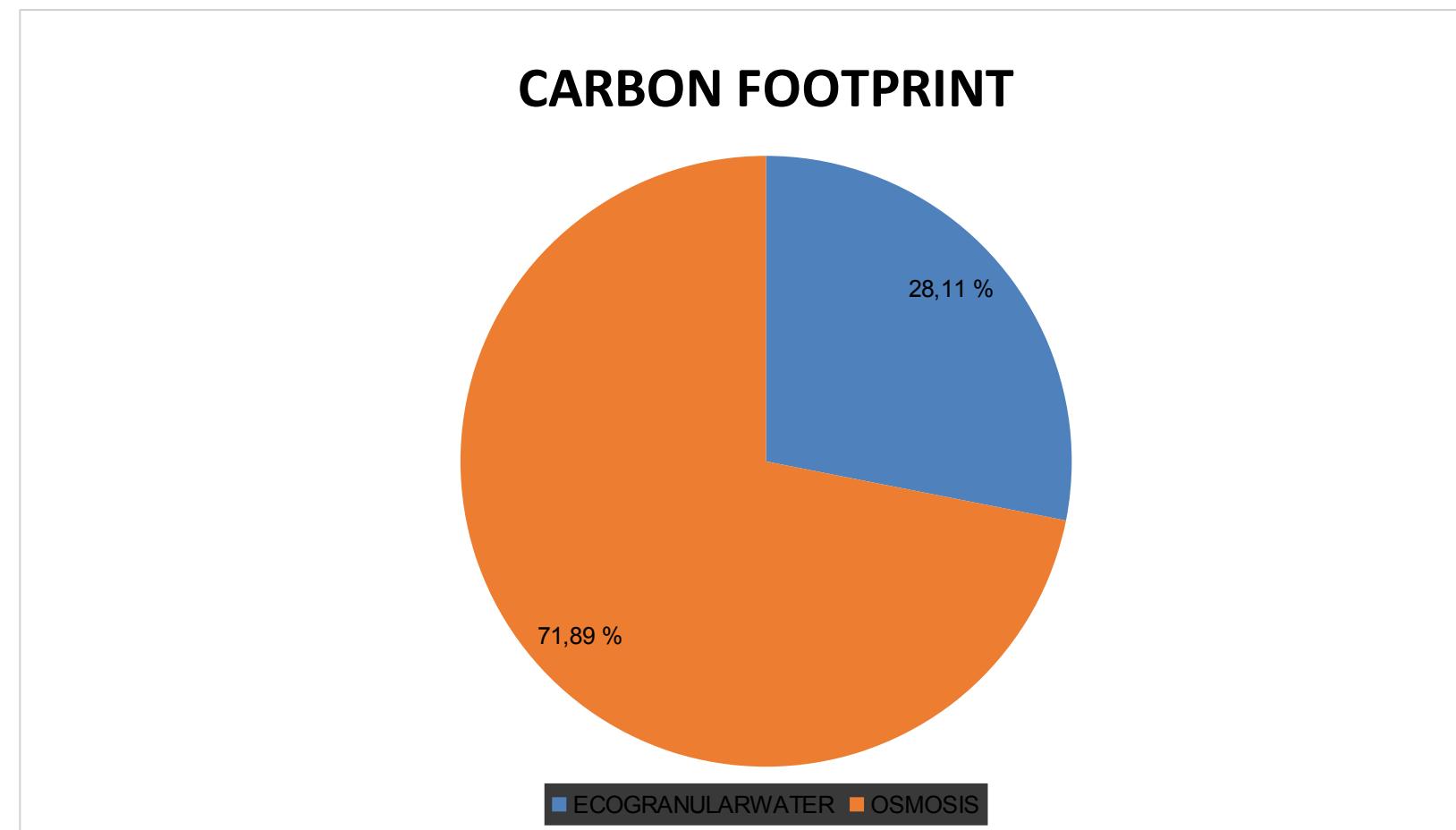


8. RESULTADOS: ANÁLISIS CICLO DE VIDA.



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



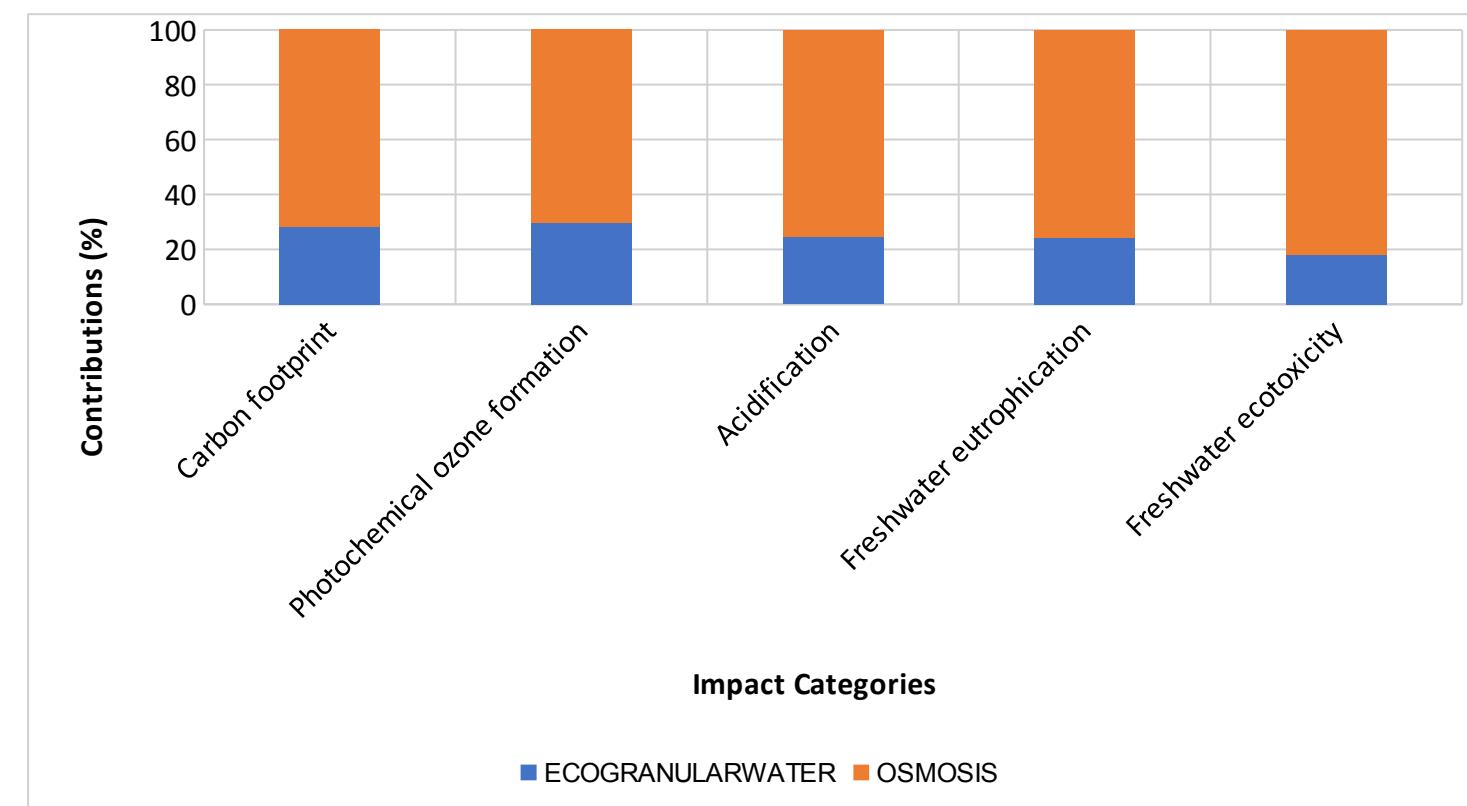
8. RESULTADOS: ANÁLISIS CICLO DE VIDA.



COMPARACIÓN ENTRE PLANTAS (HUELLA AMBIENTAL)

Infraestructura + proceso de producción

Impacts per m ³ Water		PROCESO FÍSICO (ósmosis)	PROCESO BIOLÓGICO (ecogranularwater)
Carbon footprint	kg CO ₂ 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

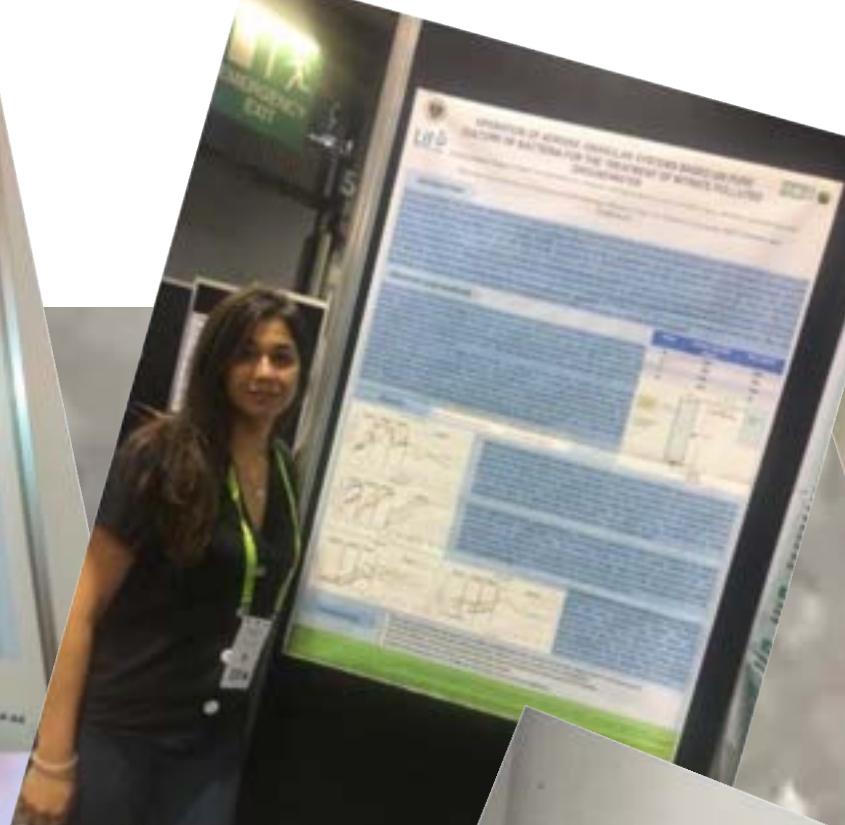




11. CONCLUSIONES.



- 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.

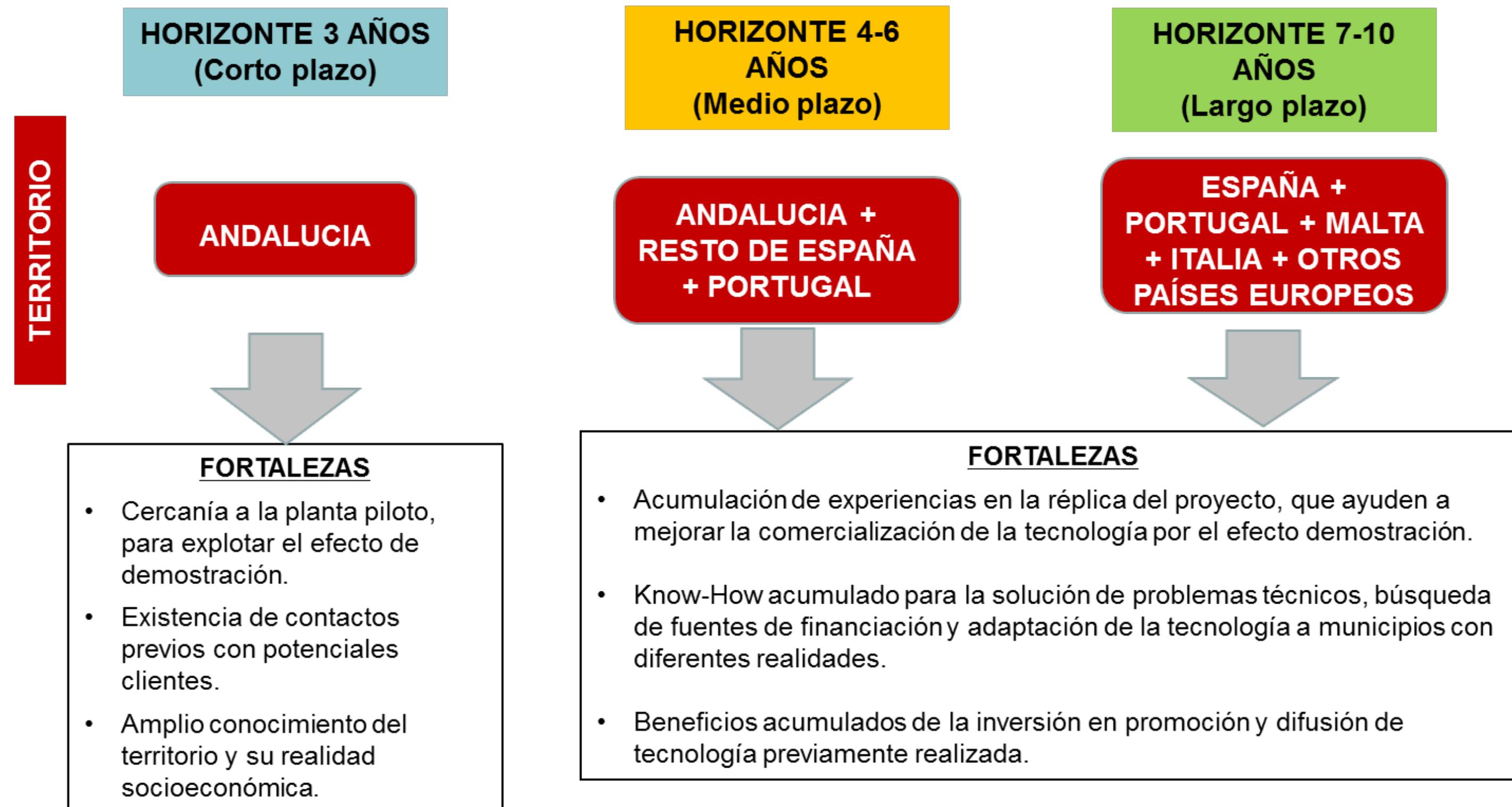


MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN





9. PLAN DE NEGOCIO.





9. PLAN DE NEGOCIO.



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





10. ACCIONES DIVULGATIVAS.

PÁGINA WEB: www.lifeecogranularwater.com

The screenshot shows the homepage of the website www.lifeecogranularwater.com. The header features the project logos: Life, Life ALCHEMIA, and Life ecoGRANULARWATER. The main menu includes links for INICIO, PROYECTO, PARTICIPANTES, NETWORKING, NOTICIAS, PUBLICACIONES / DESCARGAS, CONTACTO, and SOBRE LIFE. A sidebar on the left provides links to subscribe to the newsletter and social media icons for Facebook and LinkedIn. The central content area is divided into two main sections: NOTICIAS Y EVENTOS and PUBLICACIONES / DESCARGAS.

NOTICIAS Y EVENTOS

- 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](#)
- 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 ECOGRANULARW que formarán parte del video final del proyecto.

PUBLICACIONES / DESCARGAS

- 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
- Los resultados de la puesta en marcha de la planta de tratamiento biológico se encuentran publicados en la revista científica Journal of Water



10. ACCIONES DIVULGATIVAS.

ENVÍO DE BOLETINES PERIÓDICOS

BOLETÍN / Septiembre 2020

NEWSLETTER / September 2020

Octavo Boletín Informativo con los Avances del Proyecto LIFE ECOGRANULARWATER

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

NEWSLETTER / April 2021

Noveno Boletín Informativo con los Avances del Proyecto LIFE ECOGRANULARWATER

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.
[See more](#)

[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

This screenshot shows the Facebook page administration interface for 'LIFE Ecogranularwater'. The left sidebar lists various administrative options like 'Inicio', 'Eventos', and 'Promocionar'. The main area displays the page's cover photo (a group of people standing in front of solar panels) and basic information: 'LIFE Ecogranularwater' (page), 'Servicio de tratamiento de aguas' (category), and a general description: 'Servicio de tratamiento de aguas - Producto/servicio - Organización para la conservación del medioambiente'. It also shows 89 likes and 76 followers.

This screenshot shows the LinkedIn profile for the 'Proyecto LIFE ECOGRANULARWATER'. The profile picture is the same as the Facebook page. The title is 'Proyecto LIFE ECOGRANULARWATER' and the subtitle is '"Eficiencia en el uso de Recursos" - Aguas Subterráneas'. It shows '356 contactos' (356 contacts) and two call-to-action buttons: 'Tengo interés en...' (I'm interested in...) and 'Añadir sección' (Add section). A tooltip suggests using it for job searching. Another tooltip encourages sharing the profile to attract qualified candidates.



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.



JOSE MARÍA VILLEGRAS
DIPUTADO DE OBRAS PÚBLICAS Y VIVIENDAS
DIPUTACIÓN DE GRANADA



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.



JOSÉ ANTONIO SALINAS FERNÁNDEZ
PROFESOR DEL DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA INTERNACIONAL Y DE ESPAÑA
UNIVERSIDAD DE GRANADA



10. ACCIONES DIVULGATIVAS.



NETWORKING CON OTROS PROYECTOS / DIFUSIÓN TÉCNICA EN SEMINARIOS Y CONGRESOS

The screenshot shows a web browser displaying the [Life ecoGRANULARWATER website](https://www.lifegranularwater.com/en/life-project/). The page features a header with the project's name and a sub-header for 'LIFE ECOGRANULARWATER (LIFE16 ENV/ES/196)'. Below this, there's a brief description of the project's goal: 'Technology based on biological methods for the removal of nitrates, phosphates, pesticides and other pollutants from groundwater supplies for human consumption.' On the left, a sidebar lists various project links: MAIN PAGE, THE PROJECT, PARTICIPANTS, NETWORKING (with sub-links for LIFE Projects and Other projects of interest), NEWS, PUBLICATIONS / DOWNLOADS, CONTACT, and ANNOUNCE. A 'Subscribe to NEWSLETTER' button and a Facebook icon are also present. The main content area highlights three other projects: 'LIFE ALCHEMIA' (described as addressing radioactive water challenges through a smart & integral treatment of natural radioactivity in water provision services), 'LIFE LIBERNITRATE' (described as aiming to reduce nitrate concentration in the water cycle through an integrated, innovative, cost-efficient, and highly transferable technology), and 'LIFE LIBERNITRATE' again (described as a responsible reduction of nitrates in the comprehensive water cycle).



CENTRO
TECNOLÓGICO

CARTIF



UNIVERSIDAD
DE ALMERÍA



DIPUTACIÓN DE ALMERÍA



TALLINN UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY



UNIVERSITY OF TARTU



With the contribution of the
LIFE Programme of the European Union