

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA SOSTENIBLE

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

### *ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA*

<b>Estudiante</b>	<i>Salinas Barragán, Natalia</i>
<b>Directora</b>	<i>Idoeta Hernandorena, Raquel</i>
<b>Codirector</b>	---
<b>Departamento</b>	<i>Dpto. Ingeniería Energética</i>
<b>Curso académico</b>	<i>2021/22</i>

*Bilbao, 18 de septiembre del 2022*

## **I. RESUMEN**

Desde los años 40, el estudio de la radiactividad ha cobrado una mayor importancia en el mundo, debido a las distintas sucesiones que han ocurrido desde las bombas atómicas y los accidentes ocurridos en Chernóbil y en Fukushima.

Estos acontecimientos han revelado la gran importancia del estudio y del control de la radiactividad ambiental, por ello se han creado programas de vigilancia ambiental donde se han determinado las técnicas y la cuantificación de los valores radiológicos.

Ante esta situación y debido a la inminente preocupación por la sociedad ante el peligro de los valores radiológicos, surge el presente proyecto que consiste en el análisis temporal de los valores radiológicos ambientales del agua y de la dieta, datos procedentes de los Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA), de la Red de estaciones de muestreo (REM), que forma parte de la vigilancia nacional, desarrollada por el Consejo de Seguridad Nuclear.

En estos programas se recogen muestras ambientales en campo, que son transportadas a laboratorios de universidades u otros organismos públicos o privados, especializados en medidas ambientales de baja actividad radiológica, donde se lleva a cabo su preparación y medida obteniéndose, después de un periodo de tiempo variable, los resultados de su actividad radiológica.

El análisis muestra los resultados obtenidos por las distintas zonas de muestreo en España del número y la concentración de actividad de radioisótopos de origen natural y artificial en dichas zonas, así como su relación con las distintas cadenas de desintegración. El análisis permite observar la consecución de las exigencias en la normativa correspondiente y los valores de la dosis indicativa. Se analizan su evolución temporal y dependencias con el medio ambiente.

Asimismo, se realiza una comparación con los valores obtenidos de la *Radioactivity Environmental Monitoring data base* (REMdb) en Europa.

## **II. LABURPENA**

40ko hamarkadaz geroztik, erradioaktibitatearen azterketak garrantzi handiagoa hartu du munduan, bonba atomikoetatik eta Txernobyngo eta Fukushimako istripuetatik gertatu diren segidengatik.

Gertakari horiek agerian utzi dute ingurumen-erradioaktibitatea aztertzeak eta kontrolatzeak garrantzi handia duela; horregatik, ingurumena zaintzeko programak sortu dira, balio erradiologikoen teknikak eta kuantifikazioa zehazteko.

Egoera honen aurrean eta gizarteak balio erradiologikoen arriskuarekiko duen berehalako kezka dela eta, proiektu hau sortu da, uraren eta dietaren ingurumen-balio erradiologikoak aztertzean datzana. Datu horiek Ingurumen Zaintza Erradiologikoko Programetatik eta laginketa-estazioen Saretik datoz, zeina Segurtasun Nuklearreko Kontseiluak garatutako zaintza nazionalaren parte baita.

Programa hautan landa-ingurune ingurumen-laginak jasotzen dira, unibertsitateetako laborategietara edo bestelako erakunde publiko edo pribatuetara eramaten dira, jarduera erradiologiko baxuko ingurumen-neurrietan espezializatuta daudenak. Bertan prestatzen eta

neurtzen dira, eta denbora-tarte aldakor baten ondoren, jarduera erradiologikoaren emaitzak lortzen dira.

Analisiak Españaiako laginketa-eremuek eremu horietako jatorri natural eta artifizialeko erradioisotopoen kopuruari eta jarduera-kontzentrazioari buruz lortutako emaitzak erakusten ditu, bai eta horiek desintegrazio-kateekin duten lotura ere. Analisari esker, dagokion araudian eskakizunak eta dosi indikatiboaren balioak betetzen direla ikus daiteke. Haien denbora-bilakaera eta dependentziak aztertzen dira.

Era berean, Radioactivity Environmental Monitoring database (REMdb) sistemak European lortutako balioekin alderatzen da.

### **III.ABSTRACT**

Since the 1940s, the study of radioactivity has become more important in the world, due to the different successions that have occurred since the atomic bombs and the accidents at Chornobyl and Fukushima.

These events have revealed the importance of the study and control of environmental radioactivity; therefore, environmental monitoring programs have been created where techniques and quantification of radiological values have been determined.

Given this situation and due to the imminent concern of the society about the danger of radiological values, the present project arises, which consists of the analysis of the environmental radiological values of water and diet, data from the Radiological Environmental Monitoring Programs (PVRA), from the Network of Sampling Stations (REM), which is part of the national monitoring, developed by the Nuclear Safety Council.

In these programs, environmental samples are collected in the field and transported to laboratories of universities or other public or private organizations, specialized in environmental measurements of low radiological activity, where they are prepared and measured, obtaining, after a variable period, the results of their radiological activity.

The analysis shows the results obtained from different sampling zones in Spain of the number and concentration of activity of radioisotopes of natural and artificial origin in these zones, as well as their relationship with the different disintegration chains. The analysis allows observing the achievement of the requirements of the corresponding regulations and the values of the indicative dose. Moreover, its temporal evolution and dependencies are analyzed.

A comparison is also made with the values obtained from the Radioactivity Environmental Monitoring database (REMdb) in Europe.

**ÍNDICE**

<b>I.RESUMEN.....</b>	<b>II</b>
<b>II.LABURPENA .....</b>	<b>II</b>
<b>III.ABSTRACT.....</b>	<b>III</b>
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
GLOSARIO.....	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1.1 OBJETIVOS .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 ALCANCE DEL PROYECTO.....</b>	<b>1</b>
2. ESTADO DEL ARTE.....	2
<b>2.1. RADIATIVIDAD.....</b>	<b>2</b>
2.1.1. Descubrimiento.....	2
2.1.2. Radiactividad natural y artificial.....	3
2.1.3 Tipos de radiaciones ionizantes .....	3
2.1.3.1 Partículas alfa.....	4
2.1.3.2 Partículas beta.....	4
2.1.3.3 Partículas gamma.....	5
2.1.3.4 Neutrones.....	6
<b>2.2. ÍNDICES DE ACTIVIDAD.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3. ESTUDIOS Y ARTÍCULOS SOBRE LA RADIOACTIVIDAD Y SU IMPACTO RADIOLÓGICO     AMBIENTAL.....</b>	<b>7</b>
2.3.1. Programa de vigilancia radiológica ambiental.....	8
2.3.2. Radioactividad en agua embotella de Francia .....	9
2.3.3. Impacto radiológico de radionucleidos naturales en agua embotellada.....	9
2.3.4. La radioactividad ambiental en la Comunidad Europea.....	10
2.3.5. Protección radiológica del público y del medio ambiente .....	10
2.3.6. Impacto ambiental y centrales nucleares .....	10
<b>2.4. REAL DECRETO .....</b>	<b>10</b>
2.4.1. Real Decreto 140/2003 .....	11
2.4.1.1. Parámetros y valores paramétricos.....	11
2.4.1.2 Criterios para el control de las sustancias radiactivas.....	11
2.4.1.2 Métodos de análisis.....	13
2.4.2. Real Decreto 314/2016 .....	14
3. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO.....	16
3.1. Descripción de tareas .....	16
3.2. Obtención de los datos .....	16
3.3. Metodología empleada.....	17
3.3.1 Incumplimientos en los criterios sanitarios en el agua.....	18
3.3.2 Incumplimientos en los criterios sanitarios en la dieta .....	18
3.3.3 Evolución temporal del contenido radiactivo en España.....	19
3.3.4 Impacto dosimétrico del contenido radiactivo en España.....	20
3.3.5 Evolución temporal del contenido radiactivo en Europa .....	20
3.3.6 Impacto meteorológico: la precipitación.....	21
4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
<b>4.1. ANÁLISIS DEL CONTENIDO RADIATIVO EN EL AGUA.....</b>	<b>23</b>
4.1.1. Incumplimientos en los criterios sanitarios en el agua .....	23
4.1.1.1. Análisis del cumplimiento de los valores paramétricos de la concentración de actividad .....	23
4.1.1.2 Análisis del cumplimiento de los límites de detección .....	29
4.1.2. Evolución temporal en España.....	41
4.1.2.1. Análisis temporal estadístico.....	41

# **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

---

4.1.2.2. Evolución temporal .....	43
4.1.2.3. Análisis de la ley de desintegración radiactiva .....	46
4.1.3 Impacto dosimétrico del contenido radiactivo en España.....	55
4.1.4. Evolución temporal en Europa.....	60
4.1.4.1. Análisis temporal estadístico.....	61
4.1.4.2. Evolución temporal .....	63
4.1.5 Impacto meteorológico: la precipitación .....	68
<b>4.2. ANÁLISIS DEL CONTENIDO RADIATIVO EN LA DIETA.....</b>	<b>69</b>
4.2.1. Incumplimientos en los criterios sanitarios en la dieta .....	69
4.2.1.1. Análisis del estroncio-90.....	69
4.2.1.2. Análisis del cesio-137 .....	76
4.2.2 Evolución temporal en España.....	83
4.2.2.1. Análisis temporal estadístico.....	83
4.2.2.2. Evolución temporal .....	85
4.2.2.3. Análisis de la ley de desintegración radiactiva .....	87
4.2.3 Impacto dosimétrico del contenido radiactivo en España.....	96
4.2.4 Evolución temporal en Europa.....	99
4.2.4.1. Análisis temporal estadístico.....	100
4.2.4.2. Evolución temporal .....	102
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>105</b>
<b>6. REFERENCIAS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>
ANEXO I: LABORATORIOS COLABORADORES EN LA REM .....	110
ANEXO II: PRIMER ANÁLISIS DE DATOS .....	111
ANEXO III: VALORES DE DOSIS .....	122
ANEXO VI: EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA DIETA .....	125
ANEXO V: MAPA RADÓN.....	127

**ÍNDICE DE GRÁFICAS**

**Gráfica 1.** Evolución temporal del índice promedio de actividad alfa total del agua potable. **Fuente:** Elaboración propia. .... 23

**Gráfica 2.** Evolución temporal del índice de actividad alfa total del agua potable en La Laguna. **Fuente:** Elaboración propia. .... 24

**Gráfica 3.** Evolución temporal del índice de actividad alfa total del agua potable en Sevilla. **Fuente:** Elaboración propia. .... 24

**Gráfica 4.** Evolución temporal del índice de actividad beta total del agua potable. **Fuente:** Elaboración propia. .... 25

**Gráfica 5.** Evolución temporal del índice de actividad beta total del agua potable en La Laguna. **Fuente:** Elaboración propia. .... 26

**Gráfica 6.** Evolución temporal del índice de actividad beta total del agua potable en Barcelona. **Fuente:** Elaboración propia. .... 26

**Gráfica 7.** Evolución temporal del índice de actividad beta resto del agua potable. **Fuente:** Elaboración propia. .... 27

**Gráfica 8.** Evolución temporal de la concentración del tritio del agua potable. **Fuente:** Elaboración propia. .... 27

**Gráfica 9.** Evolución temporal del estroncio-90 del agua potable. **Fuente:** Elaboración propia. .... 28

**Gráfica 10.** Evolución temporal de actividad del tritio del agua potable en La Laguna. **Fuente:** Elaboración propia. .... 29

**Gráfica 11.** Evolución temporal de la concentración del límite de detección del índice alfa total del agua potable en Barcelona. **Fuente:** Elaboración propia. .... 30

**Gráfica 12.** Evolución temporal de la concentración del límite de detección del índice alfa total del agua potable en Sevilla. **Fuente:** Elaboración propia. .... 30

**Gráfica 13.** Evolución temporal del límite de detección del plomo-210 del agua potable en La Laguna. **Fuente:** Elaboración propia. .... 31

**Gráfica 14.** Evolución temporal del límite de detección del plomo-210 del agua potable en CIEMAT. **Fuente:** Elaboración propia. .... 32

**Gráfica 15.** Evolución temporal del límite de detección del plomo-210 del agua potable en Madrid. **Fuente:** Elaboración propia. .... 32

**Gráfica 16.** Evolución temporal del límite de detección del plomo-210 del agua potable en Cáceres. **Fuente:** Elaboración propia. .... 33

**Gráfica 17.** Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en Islas Baleares. **Fuente:** Elaboración propia. .... 33

**Gráfica 18.** Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en Sevilla. **Fuente:** Elaboración propia. .... 34

**Gráfica 19.** Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en León. **Fuente:** Elaboración propia. .... 34

**Gráfica 20.** Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en Valencia. P. **Fuente:** Elaboración propia. .... 35

**Gráfica 21.** Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en CIEMAT. **Fuente:** Elaboración propia. .... 35

**Gráfica 22.** Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en Salamanca. **Fuente:** Elaboración propia. .... 36

**Gráfica 23.** Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en Granada. **Fuente:** Elaboración propia. .... 36

**Gráfica 24.** Evolución temporal del límite de detección del radio-226 del agua potable en La Laguna. **Fuente:** Elaboración propia. .... 37

# **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

<b>Gráfica 25.</b> Evolución temporal del límite de detección del radio-226 del agua potable en Madrid. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	37
<b>Gráfica 26.</b> Evolución temporal del límite de detección del radio-226 del agua potable en la estación de muestreo de Oviedo. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	38
<b>Gráfica 27.</b> Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en CIEMAT. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	38
<b>Gráfica 28.</b> Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en Cáceres. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	39
<b>Gráfica 29.</b> Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en Bilbao. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	39
<b>Gráfica 30.</b> Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en Barcelona. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	40
<b>Gráfica 31.</b> Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en La Laguna. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	40
<b>Gráfica 32.</b> Actividad detectada del índice alfa total desde 2006 hasta 2020. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	43
<b>Gráfica 33.</b> Actividad detectada del índice beta total desde 2006 hasta 2020. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	44
<b>Gráfica 34.</b> Actividad detectada del índice beta resto desde 2006 hasta 2020. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	45
<b>Gráfica 35.</b> Actividad detectada de Sr-90 desde 2006 hasta 2020. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	45
<b>Gráfica 36.</b> Actividad detectada de Cs-137 desde 2006 hasta 2020. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	46
<b>Gráfica 37.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en el CIEMAT. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	47
<b>Gráfica 38.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Sevilla. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	48
<b>Gráfica 39.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Bilbao. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	48
<b>Gráfica 40.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Cáceres. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	49
<b>Gráfica 41.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en La Laguna. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	50
<b>Gráfica 42.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Barcelona. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	51
<b>Gráfica 43.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en el CIEMAT. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	52
<b>Gráfica 44.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Sevilla. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	52
<b>Gráfica 45.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Bilbao. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	53
<b>Gráfica 46.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Cáceres. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	54
<b>Gráfica 47.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en el CIEMAT. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	55
<b>Gráfica 48.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en Sevilla. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	56
<b>Gráfica 49.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en Bilbao. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	56
<b>Gráfica 50.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en Cáceres. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	57

# **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

<b>Gráfica 51.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en La Laguna. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	57
<b>Gráfica 52.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en Barcelona. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	58
<b>Gráfica 53.</b> Promedio de la dosis efectiva comprometida en España entre los años 2006-2020. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	59
<b>Gráfica 54.</b> Evolución temporal del índice de actividad alfa total en Europa. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	64
<b>Gráfica 55.</b> Evolución temporal del índice de actividad beta total en Europa. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	65
<b>Gráfica 56.</b> Evolución temporal del índice de actividad total en Europa. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	65
<b>Gráfica 57.</b> Evolución temporal del índice de actividad total en Europa. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	66
<b>Gráfica 58.</b> Evolución temporal del índice de actividad total en Europa. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	66
<b>Gráfica 59.</b> Evolución temporal del índice de actividad total en Europa. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	67
<b>Gráfica 60.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en CIEMAT. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	69
<b>Gráfica 61.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en las Islas Baleares. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	70
<b>Gráfica 62.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Badajoz. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	70
<b>Gráfica 63.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Ferrol. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	71
<b>Gráfica 64.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Cáceres. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	71
<b>Gráfica 65.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Ciudad Real. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	72
<b>Gráfica 66.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Cantabria. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	72
<b>Gráfica 67.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Granada. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	73
<b>Gráfica 68.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Madrid. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	73
<b>Gráfica 69.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en León. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	74
<b>Gráfica 70.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en La laguna. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	74
<b>Gráfica 71.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Barcelona. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	75
<b>Gráfica 72.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Salamanca. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	75
<b>Gráfica 73.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Sevilla. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	76
<b>Gráfica 74.</b> Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Zaragoza. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	76
<b>Gráfica 75.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en el CIEMAT. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	77
<b>Gráfica 76.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Badajoz. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	77

# **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

<b>Gráfica 77.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Baleares. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	78
<b>Gráfica 78.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Cáceres. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	78
<b>Gráfica 79.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Granada. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	79
<b>Gráfica 80.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en León. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	79
<b>Gráfica 81.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en La laguna. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	80
<b>Gráfica 82.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Madrid. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	80
<b>Gráfica 83.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Bilbao. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	81
<b>Gráfica 84.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Sevilla. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	81
<b>Gráfica 85.</b> Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Valencia P. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	82
<b>Gráfica 86.</b> Actividad detectada de Sr-90 desde 2006 hasta 2020. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	85
<b>Gráfica 87.</b> Actividad detectada de Cs-137 desde 2006 hasta 2020. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	86
<b>Gráfica 88.</b> Actividad detectada de C-14 desde 2006 hasta 2020. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	86
<b>Gráfica 89.</b> Actividad detectada de K-40 desde 2006 hasta 2020. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	87
<b>Gráfica 90.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en el CIEMAT. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	88
<b>Gráfica 91.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Sevilla. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	88
<b>Gráfica 92.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Bilbao. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	89
<b>Gráfica 93.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Cáceres. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	90
<b>Gráfica 94.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en La Laguna. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	90
<b>Gráfica 95.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Barcelona. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	91
<b>Gráfica 96.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en el CIEMAT. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	92
<b>Gráfica 97.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Sevilla. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	92
<b>Gráfica 98.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Bilbao. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	93
<b>Gráfica 99.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Cáceres. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	93
<b>Gráfica 100.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en La Laguna. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	94
<b>Gráfica 101.</b> Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Barcelona. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	95

## ***ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA***

---

<b>Gráfica 102.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de dieta en el CIEMAT. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	96
<b>Gráfica 103.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de dieta en Sevilla. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	97
<b>Gráfica 104.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de dieta en Bilbao. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	97
<b>Gráfica 105.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de dieta en Cáceres. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	98
<b>Gráfica 106.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de dieta en La Laguna. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	98
<b>Gráfica 107.</b> Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en Barcelona. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	99
<b>Gráfica 108.</b> Evolución temporal de la actividad del Sr-90. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	103
<b>Gráfica 109.</b> Evolución temporal de la actividad del Cs-137. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	103
<b>Gráfica 110 .</b> Evolución temporal de la actividad del C-14. <b>Fuente:</b> Elaboración propia.....	104
<b>Gráfica 111.</b> Evolución temporal de la actividad del K-40. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	104

---

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Parámetros y valores paramétricos. Fuente: [17] .....	11
Tabla 2. Concentraciones derivadas para la radiactividad en el agua. Fuente: [17].....	13
Tabla 3. Límites de detección para la medida de las concentraciones de actividad. Fuente: [17] .....	14
Tabla 4. Límites de detección para la medida de las concentraciones de actividad. Fuente: [17] .....	15
Tabla 5. Isótopos radiactivos obligatorios los cuales se deben estudiar. Fuente: [18] .....	17
Tabla 6. Radioisótopos con valores de actividad en el agua. Fuente: Elaboración propia.....	19
Tabla 7. Radioisótopos con valores de actividad en la dieta. Fuente: Elaboración propia. ....	19
Tabla 8. Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.....	40
Tabla 9. Resultados del análisis de los datos para el índice de actividad alfa total. Fuente: Elaboración propia. .	41
Tabla 10. Resultados del análisis de los datos para el índice de actividad beta total. Fuente: Elaboración propia. .....	41
Tabla 11. Resultados del análisis de los datos para el índice de actividad beta resto. Fuente: Elaboración propia. .....	42
Tabla 12. Resultados del análisis de los datos para la actividad del Sr-90. Fuente: Elaboración propia. ....	42
Tabla 13. Resultados del análisis de los datos para el Cs-137. Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 14. Resultados del análisis de los datos para la actividad del índice de alfa total. Fuente: Elaboración propia.....	61
Tabla 15. Resultados del análisis de los datos para la actividad del índice de beta total. Fuente: Elaboración propia.....	62
Tabla 16. Resultados del análisis de los datos para la actividad del índice de beta resto. Fuente: Elaboración propia.....	62
Tabla 17. Resultados del análisis de los datos para la actividad del Sr-90. Fuente: Elaboración propia. ....	62
Tabla 18. Resultados del análisis de los datos para la actividad del Cs-137. Fuente: Elaboración propia. ....	63
Tabla 19. Resultados del análisis de los datos para la actividad del tritio. Fuente: Elaboración propia. ....	63
Tabla 20. Correlación de la actividad de los radionucleidos. Fuente: Elaboración propia. ....	68
Tabla 21. Resultados del análisis de los datos para el Sr-90. Fuente: Elaboración propia.....	83
Tabla 22. Resultados del análisis de los datos para el Cs-137. Fuente: Elaboración propia.....	83
Tabla 23. Resultados del análisis de los datos para el C-14. Fuente: Elaboración propia. ....	84
Tabla 24. Resultados del análisis de los datos para el K-40. Fuente: Elaboración propia. ....	84
Tabla 25. Resultados del análisis de los datos para la actividad del Sr-90. Fuente: Elaboración propia. ....	101
Tabla 26. Resultados del análisis de los datos para la actividad del Cs-137. Fuente: Elaboración propia. ....	101
Tabla 27. Resultados del análisis de los datos para la actividad del C-14. Fuente: Elaboración propia. ....	102
Tabla 28. Resultados del análisis de los datos para la actividad del K-40. Fuente: Elaboración propia.....	102

**GLOSARIO**

<b>CSN</b>	Centro de Seguridad Nuclear
<b>CSC</b>	Centro de Sucesión y Control
<b>DI</b>	Dosis indicativa
<b>IRSN</b>	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
<b>PVRA</b>	Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental
<b>REA</b>	Red de Estaciones Automáticas
<b>REM</b>	Red de Estaciones de Muestreo
<b>Revira</b>	Red de Vigilancia Ambiental Nacional
<b>Salem</b>	Sala de Emergencias
<b>Euroatom</b>	Comunidad Europea de la Energía Atómica

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 OBJETIVOS**

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster es analizar y evaluar la posible existencia de un riesgo para el público y el medio ambiente por los efectos de los valores radiológicos ambientales que se encuentran en el agua y en la dieta.

Con ello, lo que se pretende es determinar los posibles riesgos y las actuaciones que se toman actualmente en España para controlar los peligros debidos a la presencia de radiactividad en el medio ambiente, tanto de origen natural como de la derivada de la operación de las instalaciones nucleares y radiactivas.

La radiactividad ambiental tiene su origen en la naturaleza, sin embargo, debido a la actividad humana este se ha incrementado por los vertidos controlados de las instalaciones nucleares y radiactivas y algunos accidentes y pruebas nucleares.

A partir de esta premisa, se han analizado los datos radiológicos procedentes de los Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA), de la Red de estaciones de muestreo (REM), que forma parte de la vigilancia nacional desarrollada por el Consejo de Seguridad Nuclear, en los que se recogen muestras ambientales en campo, que son transportadas a laboratorios de universidades u otros organismos públicos o privados, especializados en medidas ambientales de baja actividad radiológica, donde se lleva a cabo su preparación y medida obteniéndose, después de cierto tiempo, los resultados de su actividad radiológica. Además, se han estudiado este mismo tipo de datos provenientes de los Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental de la Comisión Europea, para así estudiar su incidencia partícula o acumulativa y evaluar el impacto radiológico de las radiaciones.

El estudio se ha centrado en los valores proporcionados por el Consejo de Seguridad Nuclear, en adelante referido como CSN, y por la Red de estaciones de muestreo, en adelante referido como REM, donde se han analizado las tendencias, dependencias, los valores máximos y mínimos, así como sus incumplimientos y anomalías.

Además, se ha determinado el impacto dosimétrico del contenido radiactivo, calculando la dosis efectiva anual por ingestión en adultos en un contexto tanto nacional como europeo para observar si se cumple el límite donde se asegura la protección radiológica del público.

### **1.2 ALCANCE DEL PROYECTO**

Para realizar los análisis se han utilizado los datos de los años 2006-2020 para el panorama nacional de los distintos radionucleidos de la red REM y de los años 2006-2011 para el caso de Europa de la red REMdb. El proyecto abarca la evolución temporal, el impacto dosimétrico, anomalías y la influencia meteorológica de las sustancias radiactivas. No obstante, en el caso europeo solo se ha abarcado la evolución temporal de los radionucleidos para observar las diferencias con España.

## **2. ESTADO DEL ARTE**

Este apartado tiene como objetivo explicar los conceptos teóricos que influyen en los valores radiológicos para así tener una perspectiva general y comprender el análisis de este. Por ello, en este apartado se procede a describir la radiactividad, sus diferencias y la desintegración de la misma.

Por otro lado, en este apartado también se han analizado los estudios previos sobre los valores radiológicos para comprender la metodología y las conclusiones llevadas a cabo por el resto de los laboratorios y entidades públicas o privadas. Además, se ha realizado un resumen del Real Decreto que es clave para el trabajo.

### **2.1. RADIATIVIDAD**

Los núcleos de los átomos de algunos elementos químicos no son estables debido a la relación superior neutrón/protón. Esta inestabilidad natural, hace que estos núcleos emitan partículas y radiaciones espontáneas para lograr dicho equilibrio. Al emitir partículas, estos a su vez se transforman en núcleos de átomos de otros elementos. Este fenómeno recibe el nombre de radiactividad, es decir, es la propiedad de ciertos cuerpos, cuyos átomos inestables al desintegrarse, emiten radiaciones, partículas o ambas, pudiendo a su vez transformar átomos a otros elementos <sup>[1][2]</sup>.

La radiactividad es una reacción nuclear de “descomposición espontánea”, es decir, un nucleido inestable se descompone en otro más estable que él, a la vez que emite una “radiación”. El nucleido hijo (el que resulta de la desintegración) puede no ser estable, y entonces se desintegra en un tercero, el cual puede continuar el proceso, hasta que finalmente se llega a un nucleido estable. Se dice que los sucesivos nucleidos de un conjunto de desintegraciones forman una serie radiactiva o familia radiactiva.

#### **2.1.1. Descubrimiento**

En el año 1896, la radiactividad fue descubierta de forma prácticamente ocasional por el científico francés Antoine-Henri Becquerel, durante las investigaciones sobre la fluorescencia del sulfato sobre el uranio y potasio. Trabajando sobre los rayos X, descubiertos en 1895 por W.K. Roentgen, Becquerel sospechó en la relación entre la fluorescencia que presentaban algunas sales irradiadas con luz solar y la debida a los rayos X. Durante uno de sus experimentos, Becquerel introdujo en un cajón una placa fotográfica en un sobre negro y colocó encima láminas de sulfato doble de uranio y potasio, sal cuya fluorescencia había estudiado detalladamente. Al cabo de unos días, descubrió que el uranio emitía una radiación misteriosa de forma espontánea. Con los años, se detectaron otros elementos que poseen la misma propiedad que el uranio, es decir, la emisión de radiaciones sin ser excitados previamente, dando nombre así a la radiactividad natural. Este descubrimiento desencadenó el estudio de numerosas investigaciones sobre el tema. <sup>[2][3]</sup>

Las investigaciones más notables sobre la radiactividad fueron realizadas por el matrimonio Curie, quienes se centraron en la caracterización de otras sustancias radiactivas, descubriendo así el polonio y el radio en 1898. <sup>[2][3]</sup>

Años más tarde, se estudiaron la naturaleza de la radiación emitida y el fenómeno de la radiactividad en Inglaterra por Ernest Rutherford y por Frederick Soddy. Como resultado, se

averiguó que la radiación emitida podía ser de tres clases distintas, las cuales recibieron el nombre de alfa, beta y gamma, según el alfabeto griego. Además, se supo que al final del proceso tenía lugar una transmutación de especie atómica, es decir, el átomo radiactivo original se transformaba en un átomo de naturaleza distinta. Actualmente, este término de transmutación se conoce como desintegración.

Junto con todas estas investigaciones en 1934, el matrimonio formado por Irene Curie, hija del matrimonio Curie y por Frédéric Joliot, se llevó a cabo la primera obtención de un isótopo artificial, es decir, descubrieron la radiactividad artificial. <sup>[2][3][4]</sup>

### **2.1.2. Radiactividad natural y artificial**

La radiactividad natural es aquella que existe en la naturaleza sin que haya existido intervención humana. La radiación natural presente en nuestro planeta procede de diversas fuentes y genera la mayor parte de la radiactividad que nos rodea. Los radionucleidos principales, son los materiales radiactivos presentes desde la formación de la Tierra, los llamados primigenios. Estos materiales, juegan un papel decisivo en las condiciones geológicas del planeta y principalmente son el uranio y el torio, que con el paso de los años han sido los responsables de la existencia de los radioisótopos de plomo, polonio, bismuto, astato, radón, francio, radio y protactinio en la Tierra. <sup>[5][6]</sup>

Por otro lado, los materiales radiactivos además de primigenios pueden ser cosmogénicos, es decir, materiales generados por la interacción de los rayos cósmicos que originalmente no eran radiactivos.

Mientras la radiactividad artificial es la inducida cuando se bombardean ciertos núcleos estables con partículas apropiadas. Si la energía de estas partículas tiene un valor adecuado penetran dentro del núcleo bombardeando y forman un nuevo núcleo que, en caso de ser inestable, se desintegra después radiactivamente. <sup>[5][7]</sup>

La única diferencia entre radiación natural y la radiación artificial es su procedencia. Los efectos de ambas radiaciones son idénticos.

Al igual que la radiactividad, existen radionucleidos de origen natural, artificial y de doble origen. Los isótopos radiactivos de origen natural son el potasio-40, el plomo-212 y -214, el uranio-235 y -238 y el torio-232 y sus descendientes. Por otro lado, se encuentran los isótopos radiactivos artificiales producto de la fisión son el cesio-137 y el estroncio-90, entre otros. Como se ha nombrado anteriormente, hay radionucleidos que son cosmogénicos, como son el carbono-14 y el tritio. Ambos radionucleidos, pueden ser tanto de origen natural como artificial. En el caso del tritio, este se encuentra de forma natural, sin embargo, durante la fisión nuclear este se produce de forma artificial. Al igual que el tritio, el carbono 14 se encuentra en la atmósfera, pero radiocarbono o carbono bomba. <sup>[7]</sup>

### **2.1.3 Tipos de radiaciones ionizantes**

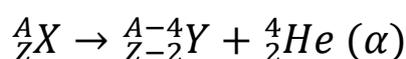
A principios del siglo XX, se reconocieron tres tipos de radiaciones: alfa, beta y gamma. Estas emisiones tienen la capacidad de impresionar placas fotográficas, ionizar gases, producir fluorescencia e incluso, dañar los tejidos de los seres vivos. <sup>[8]</sup>

Los tipos de radiación ionizante se diferencian en función de la penetración y su constitución.

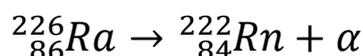
### 2.1.3.1 Partículas alfa

La radiación o las partículas alfa son núcleos de helio-4, que constan de dos protones y dos neutrones ligados (carga positiva), que se emiten en distintas desintegraciones nucleares. Son unas partículas pesadas, es decir, de gran masa en comparación con el resto de las radiaciones ionizantes. A pesar de ser rápidas, solo pueden recorrer un par de centímetros, es decir, una hoja de papel o la misma mano del cuerpo (véase imagen 1). Por ello, no son unas partículas peligrosas ya que la misma piel del cuerpo humano es suficiente para protegernos. <sup>[5][6][8]</sup> No obstante, pueden ser muy peligrosas en el interior del cuerpo humano durante un corto periodo de tiempo, ya que se pueden introducir a través de heridas o por la respiración de cualquier polvo que la contenga. <sup>[9]</sup>

Al emitirse una partícula alfa por el núcleo, su número atómico disminuye dos unidades, mientras que su número másico disminuye cuatro, tal y como se puede observar en la siguiente ecuación:



Por ejemplo:



Los radionucleidos que emiten radiación alfa, por ende, son núcleos pesados. Normalmente, aquellos con número másico mayor a 140 suelen emitir estas partículas debido al efecto de repulsión eléctrica que existe por los protones que forman el núcleo atómico. <sup>[9]</sup> El espectro energético es discreto, es decir, que se emiten con una energía o energías determinadas por cada radionúclido.

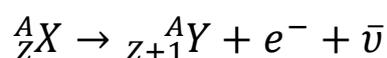
### 2.1.3.2 Partículas beta

Las partículas beta, están formadas por electrones libres (beta/carga negativa) o por positrones (beta positivos) liberados en ciertas desintegraciones nucleares. Tiene una masa significativamente menor que a las alfas, por lo que su poder de penetración es mayor ya que pueden llegar a atravesar hasta láminas de metal (véase imagen 1). Estas partículas son peligrosas, ya que penetran la piel humana. <sup>[5]</sup>

Las partículas beta, al estar formadas tanto por electrones como por positrones, se distinguen tres procesos de desintegración: desintegración beta menos, desintegración beta más y la captura electrónica.

En la desintegración beta menos, se emite un electrón, es decir, un neutrón del núcleo de transforma en un protón dando lugar así a la difusión de un electrón y un antineutrino. Esta radiación sucede cuando los núcleos poseen un exceso de neutrones. <sup>[9]</sup>

Al emitirse un electrón y un antineutrino, su número atómico aumenta una unidad mientras que su número másico se queda igual, siendo su ecuación la siguiente:



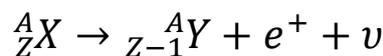
Por ejemplo:



Entonces, el núcleo inicial se transforma en otro núcleo atómico distinto que tiene el mismo número másico. El espectro energético es continuo, es decir, los electrones se rigen por una distribución continua de energías, abarcando un rango desde cero hasta una energía máxima característica de cada elemento. [9]

La desintegración beta más, se basa en la emisión de un positrón. El positrón, es la antipartícula del electrón, es decir, la masa es la misma pero su carga es positiva. Esta desintegración transforma un protón del núcleo en neutrón, produciendo así la emisión de un positrón y un neutrino. [5][9]

Con la emisión de un positrón y un neutrino, su número atómico disminuye en una unidad y al igual que en la desintegración beta menos, su número másico no varía, tal y como se puede observar:

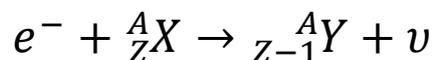


Por ejemplo:

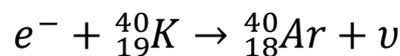


Por ello, al igual que en la desintegración beta menos, el núcleo transformado tiene el mismo número másico, pero con un número atómico diferente y su espectro energético es continuo. [8]

En la captura electrónica, el núcleo captura un electrón, transformando un protón del núcleo en neutrón y un neutrino. Al emitirse un neutrino, sucede lo mismo que en la desintegración beta más, resultando su ecuación:



Por ejemplo:



En este caso, su espectro energético es discreto, ya que la reordenación de los electrones atómicos hace que se emitan rayos X. [10]

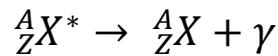
Como se puede observar, el decaimiento beta más y la captura electrónica tienen cierta similitud, por lo que compiten entre sí. Esto se debe a que la suma de energías de la desintegración beta más no pueden superar  $M_X - M_Y < 2m_e$ , ya que no se cumple el principio de conservación de la energía. [9]

### 2.1.3.3 Partículas gamma

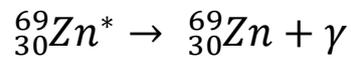
Las partículas gamma o los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas (sin carga ni masa). Estos rayos se diferencian de los rayos X sólo en su procedencia, estos vienen de las capas externas del núcleo, donde se encuentran los electrones, mientras que los rayos gamma proceden del núcleo. [5]

Esta radiación es de alta energía y se propaga a la velocidad de la luz, son unos rayos muy penetrantes que pueden atravesar capas metálicas finas, cuerpos enteros, los cuales hay que detener mediante gruesos muros de hormigón o plomo (véase imagen 1). [5]

La ecuación de los rayos gamma viene por un núcleo en estado excitado, el cual se des-excitará mediante la emisión de un fotón gamma. Este proceso se representa mediante la siguiente expresión: <sup>[9]</sup>



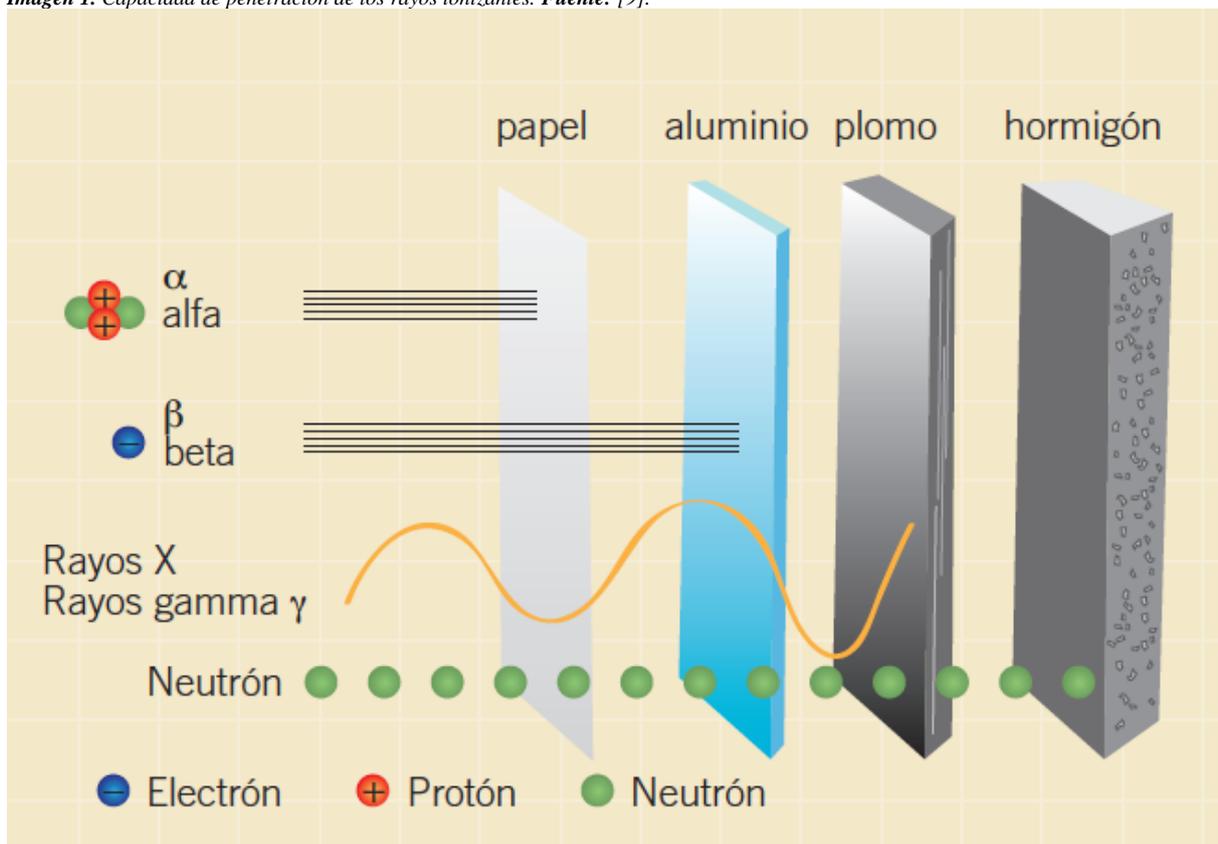
Por ejemplo:



#### 2.1.3.4 Neutrones

Los neutrones son un tipo de radiación, que por sí mismos no se pueden categorizar como ionizantes como el resto. Sin embargo, cuando los neutrones golpean a otro núcleo pueden activarlo o provocar la emisión de una partícula cargada o un rayo gamma, por lo que indirectamente sí son ionizantes. <sup>[5]</sup> Al igual que los rayos gamma, los neutrones no tienen carga eléctrica, aunque estos son más penetrantes que los rayos gamma (véase imagen x) y estos sólo pueden detenerlos una gruesa barrera de hormigón, agua, parafina o haciendo uso de venenos neutrónicos que los absorban como (cadmio, boro y gadolinio). <sup>[11]</sup>

**Imagen 1.** Capacidad de penetración de los rayos ionizantes. **Fuente:** [9].



## **2.2. ÍNDICES DE ACTIVIDAD**

Como se ha expuesto en el apartado anterior, existen tres tipos de partículas y desintegraciones conocidas como alfa, beta y gamma. Partiendo de dichas concentraciones existen tres índices de actividad el de alfa total, beta total y beta resto. El primer índice, es el de actividad de alfa total este indicador aporta la información del contenido de radionucleidos emisores alfa, no volátiles. El índice de actividad beta total, a diferencia del anterior proporciona información sobre el contenido de isótopos radiactivos de emisores beta, exceptuando el tritio. <sup>[12]</sup> Y en el caso del índice de actividad beta resto, este aporta información sobre los radionucleidos emisores beta, exceptuando el tritio y el potasio 40.

Existen varios métodos para determinar los índices de actividad. En el caso del agua existen distintos métodos como el centelleo líquido o de desecación. El uso del centelleo líquido para la medida del contenido alfa total y beta total en agua empezó sobre los años 80 con el uso de los primeros equipos con sistemas capaces de distinguir entre impulsos las radiación alfa y beta. <sup>[13]</sup> Por otro lado, el método de la desecación consiste en el uso de un equipo de medida con un contador proporcional de flujo de gas preparado para la medida simultánea de recuentos alfa y beta. La ventaja de este método es la facilidad y el bajo coste. <sup>[12]</sup> Este último tipo método, se puede utilizar para el cálculo de los índices en la dieta tipo.

Además, en el procedimiento de determinación de los índices de actividad se ha de tener en cuenta el tiempo necesario para obtener una estadística adecuada, de forma que se pueda reducir razonablemente la incertidumbre asociada al recuento de las muestras. Por otro lado, se han de tener todos los equipos y las muestras de calibración y blancos adecuados. <sup>[12]</sup> Asimismo, para detectar la presencia de recuentos anómalos se recomienda realizar más de un ciclo de medida.

A continuación, se expone un ejemplo de la lista de los cálculos que se tienen que realizar para detectar los índices de actividad por el método de desecación.

- a) Cálculo de la eficiencia de recuento
- b) Cálculo del índice de actividad alfa total
- c) Cálculo de la incertidumbre de recuento en la determinación del índice de actividad alfa total
- d) Cálculo de la actividad mínima detectable
- e) Expresión de los resultados del índice de actividad alfa total

## **2.3. ESTUDIOS Y ARTÍCULOS SOBRE LA RADIOACTIVIDAD Y SU IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL**

En este apartado, se han expuesto los distintos estudios y artículos que existen sobre la radioactividad en el agua y en la dieta. Con este apartado se preñe conocer en que se basan los informes o artículos, su importancia a nivel europeo y a nivel nacional y el uso de datos para la elaboración de los mismo.

Este análisis, es clave para el trabajo debido a que se han comprendido como se elabora y como se han de tratar los datos para poder realizar un informe y, por ende, se ha podido concluir las bases de este trabajo.

### **2.3.1. Programa de vigilancia radiológica ambiental**

El Programa de vigilancia radiológica ambiental es un informe anual elaborado por el Centro de Seguridad Nacional (CSN), donde se presentan los resultados anuales sobre los niveles de radiactividad ambiental de España con un cierto nivel de detalle, así como los niveles históricos de ciertos valores que contribuyen a un marco de referencia.

En este documento se realiza una evaluación y una vigilancia del impacto ambiental radiológico de las instalaciones nucleares y radiactivas, y vigila la calidad radiológica del medio ambiente del todo el territorio nacional.<sup>[14]</sup> Para ello, el CSN regula las instalaciones mediante inspecciones, evaluación de datos y realización de programas independientes. Por otra parte, la parte no asociada a las instalaciones se gestiona por el Consejo y se distribuye por todo el territorio a través de la Red de Estaciones de muestreo (REM) y por la Red de Estaciones Automáticas (REA). Ambas, proporcionan información sobre la radiactividad de la atmósfera, del suelo, de las aguas (potables, continentales y marinas) y de los alimentos.

Los datos obtenidos en este programa de vigilancia son remitidos al CSN y evaluados, para luego trasladar los resultados al Congreso de los Diputados y al Senado, así como a la Comisión de la Unión Europea.

Para el desarrollo de este documento se lleva a cabo la recogida y análisis de muestras en los lugares principales donde se hallan elementos que pueden contribuir a la exposición de las personas a las radiaciones. El objetivo es vigilar y detectar la evolución de los elementos radiactivos y sus niveles para estimar el riesgo radiológico potencial para la población, y determinar en su caso la necesidad de tomar precauciones o de establecer alguna medida correctora, así como para determinar las causas de los posibles incrementos de radiación.

Por ello, para la elaboración de este informe técnico dividen el documento en tres partes:

- *El Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA) de las centrales nucleares y de otras instalaciones nucleares y radiactivas*

En este apartado se siguen las estaciones de muestreo para cada vía de exposición existentes de cada una de las centrales en operación (aire, agua, suelo, etc.) y se añaden los criterios establecidos como la frecuencia de muestreo y los análisis realizados. Para exponer los resultados obtenidos de cada instalación.

- *El programa de vigilancia radiológica ambiental de ámbito nacional*

Al igual que en el apartado anterior, se realiza un seguimiento de muestreo para conocer el panorama radiológico ambiental. A diferencia del PVRA la Red de Vigilancia Ambiental Nacional (Revira) permite conocer la calidad radiológica del medio ambiente de todo el territorio y no solo de las instalaciones radiactivas. El Revira dispone de un banco de datos que permite conocer la concentración, distribución y evolución de los radionucleidos y los niveles de radiación, así como el fondo radiactivo en cada región.

Para ello cuenta con el REM, constituida por una red densa (con numerosos puntos de muestreo) y por una red espaciada (constituida por muy pocas zonas de muestreo, donde se requieren técnicas de medida de gran sensibilidad donde se detectan los valores para

corroborar los datos de la red densa, la cual permite seguir la evolución temporal de las concentraciones de actividad).

- *Red de Estaciones Automáticas (REA)*

La REA es una estación que permite la vigilancia en tiempo real de la radiactividad en la atmósfera. A diferencia del PVRA y del REM, desde el 2019 estas estaciones se están sustituyendo por estaciones nuevas con el fin de responder a situaciones de emergencia. No obstante, la recepción, gestión y análisis de los datos se realiza desde el Centro de Supervisión y Control (CSC) situado en la Sala de Emergencias (Salem) del CSN.

Debido a la recepción de datos en tiempo real, en este informe solo se proporcionan datos resumen de la tasa de dosis (mSv/h) de cada estación.

En definitiva, este documento expone la situación anual del impacto radiológico ambiental tanto en las centrales nucleares como en las redes de muestreo.

### **2.3.2. Radioactividad en agua embotella de Francia**

Este documento, se trata de un artículo elaborado por el *Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire* (IRSN), donde se expone los resultados del estudio de la calidad radiológica del agua embotellada de Francia. <sup>[15]</sup>

En el estudio el IRSN llevó a cabo:

- la medición sistemática de la radiactividad según las exigencias del ministerio sobre la vigilancia y la gestión del riesgo sanitario.
- la determinación sistemática de la concentración de masa de uranio
- algunas mediciones de gas radón-222 en aguas

Tras la realización del estudio, el IRSN llegó a la conclusión que en varias botellas de agua el índice de actividad alfa total era mayor al establecido de 0,1 Bq/l, por lo que tuvieron que realizar unas mediciones complementarias de los radionucleidos. Además, se hallaron concentraciones de actividad de los radionucleidos del radio-226 y -228, del uranio-234, -235 y-238, del polonio-210 y del plomo-210. Donde se midieron actividades significativas en los isótopos del uranio, del radio-226 y en casos concretos del radio-228.

En resumen, con este artículo se muestra como en ocasiones, se pueden hallar incumplimientos sobre los valores máximos de radiación permitidos en productos para el consumo humano.

### **2.3.3. Impacto radiológico de radionucleidos naturales en agua embotellada**

Este informe, trata sobre el análisis de los riesgos derivados de la exposición de la población a las sustancias radiactivas en el agua de consumo humano realizado por el Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social.

En este documento, se ha desarrollado para el cumplimiento del Real Decreto 314/2016 donde se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas embotelladas para el consumo humano. En el informe se analizan los riesgos para la salud y se exponen la evaluación, gestión y comunicación de los riesgos para la protección de la salud.

En conclusión, uno de los puntos clave en este informe es dar a conocer las actuaciones a seguir antes las superaciones del valor paramétrico en sustancias radiactivas en aguas de consumo humano para así mitigar el riesgo en la población.

#### **2.3.4. La radioactividad ambiental en la Comunidad Europea**

Este informe presenta un resumen sobre los datos disponibles de niveles de radiactividad en el medio ambiente de los estados miembros de la Unión Europea (UE). Donde los países miembros proporcionan los datos sobre la radiactividad ambiental en la UE, según los artículos 35 y 36 del Tratado Euratom (Comunidad Europea de la Energía Atómica). Este tratado entró en vigor en 1958 para facilitar la investigación y difundir los conocimientos técnicos, para establecer normas de seguridad uniformes para la protección de la población y de los trabajadores y para garantizar que los materiales nucleares civiles no se destinan a otros fines como puede ser el militar. Debido a este tratado, se realizan informes sobre la radiactividad en un periodo determinado.

Los estados miembros llevan a cabo un control continuo o semicontinuo del agua y de los productos alimenticios entre otros, donde los laboratorios de control utilizan las técnicas de medición que tienen una sensibilidad suficiente para la protección radiológica. No obstante, las técnicas de medición pueden variar entre laboratorio y países, por ello, en este informe se utiliza el valor de dosis efectiva y el indicador de nivel de notificación (RL), de los valores medios de actividad. Cabe destacar que el RL es únicamente una herramienta para la representación de datos y comprobar el comportamiento de los niveles en el tiempo. Este método permite representar los resultados de una forma rápida y sencilla. No obstante, se seleccionan un número de lugares representativos, normalmente de la red de alta sensibilidad, y se presentan los resultados individuales gráficamente. <sup>[16]</sup>

Con este informe, se puede observar la evolución de la radiación a nivel europeo.

#### **2.3.5. Protección radiológica del público y del medio ambiente**

Este documento se trata de un artículo elaborado por el CSN, donde se ha evaluado la exposición de la población española a las fuentes naturales de radiación. En este informe se han analizado las dosis naturales de radiación a la población española en función de las mediciones o datos disponibles. Para ello, se han combinado los valores medios ponderados por la población debido a la falta de datos.

#### **2.3.6. Impacto ambiental y centrales nucleares**

Como se ha visto en este apartado, el objetivo de este trabajo es asegurar la protección ambiental y del ser humano. Para ello, hay que tener en cuenta el impacto radiológico de las centrales nucleares y de los isótopos radiactivos que estos generan.

### **2.4. REAL DECRETO**

A continuación, se han analizado los Reales Decretos sobre los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano y se exponen los puntos clave de ambos, debido a su importancia en el proyecto.

### **2.4.1. Real Decreto 140/2003**

Este Real Decreto establece los criterios sanitarios que deben cumplir las aguas de consumo humano y las instalaciones que permiten el suministro desde la captación hasta el consumidor y el control de estas, para garantizar la calidad, limpieza y salubridad, con el fin de proteger la salud de los efectos negativos de cualquier tipo de contaminación en el agua. <sup>[17]</sup>

El R.D. recoge todos los puntos importantes en relación al agua, desde su captación y tratamiento hasta su distribución y sus inspecciones. Por ello, en este apartado solo se ha tratado el control de sustancias radiactivas en aguas de consumo, que corresponde con el *Anexo X* del R.D.

En este *anexo*, se establecen los parámetros fijados para el control y la frecuencia de muestreo, así como los criterios para el control de las sustancias radiactivas, los métodos de análisis y las medidas correctoras y preventivas, en caso de la superación de los valores paramétricos y su notificación.

Según el R.D. el valor paramétrico es el nivel máximo o mínimo fijado para cada uno de los parámetros a controlar. Con relación a los isótopos radiactivos, se entiende por valor paramétrico al valor que se halla por encima del cual se evaluará sí la presencia de dicha sustancia supone un riesgo para la salud o no. El supuesto riesgo exige tomar medidas y si es necesario, adoptar unas medidas correctoras para mejorar la calidad del agua y situar el nivel para que se cumpla los requisitos de protección de la salud.

#### *2.4.1.1. Parámetros y valores paramétricos*

En este apartado, se halla la Tabla 1 de los parámetro y valores paramétricos, así como unas notas sobre los mismo.

*Tabla 1. Parámetros y valores paramétricos. Fuente: [17]*

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

\*se optimizará la protección de la población cuando los valores de encuentren entre 100 Bq/l y 500 Bq/l. Además, cuando el valor supere los 1000 Bq/l las medidas correctoras estarán justificadas.

\*\*un nivel elevado de tritio puede ser indicio de la presencia de radionucleidos artificiales, en caso de que el valor sea mayor al valor paramétrico, se requerirá un análisis de la presencia de otros radionucleidos artificiales.

#### *2.4.1.2 Criterios para el control de las sustancias radiactivas*

En este apartado se establecen los criterios que determinan cuando hay que realizar los controles de los parámetros determinados. Estos controles dependen en su gran mayoría del origen del agua, sí es superficial o es subterránea y la situación de la zona de abastecimiento.

En el caso del radón, los controles se llevan a cabo siempre que el origen del agua sea subterráneo de manera total o parcial y si la caracterización de la zona de abastecimiento indica

que tiene un valor que pueda superar a los 500 Bq/l o si el agua subterránea no está caracterizada.

En lo referente al tritio, se realizan los controles siempre que el origen del agua sea superficial y la captación pueda estar afectada por otros radionucleidos artificiales o por una fuente antropogénica de tritio.

El control de la dosis indicativa (DI) en el agua destinada al consumo humano se lleva a cabo cuando hay presente una fuente de radiactividad artificial o natural elevada y no se puede demostrar que el nivel de la DI está por debajo del valor paramétrico.

Para el control de la DI en el agua de consumo se utiliza la medida del índice de actividad alfa total y del índice de concentración de la actividad beta total y beta resto. Estos son los parámetros que miden la cantidad de actividad total que hay en una muestra por radionucleidos emisores de radiación alfa, beta total o beta resto. Cuando estos valores son superiores a 0,1 Bq/l, 1 Bq/l y 1 Bq/l, respectivamente, se tiene que realizar un análisis de radionucleidos específicos. <sup>[17]</sup> A través de las concentraciones de estos radionucleidos se calcula si la DI es inferior al valor máximo establecido, se aplica la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1}^n \frac{Ci(\text{med})}{Ci(\text{der})} \leq 1 \quad (1)$$

donde:

Ci(med) es la concentración medida del radionucleido i

Ci(der) es la concentración derivada del radionucleido i

n es el número de radionucleidos detectados

Si se cumple la fórmula que se indica, se puede considerar que la DI es inferior al valor paramétrico de 0,1 mSv, y no se deberá realizar ninguna investigación adicional. <sup>[17]</sup> Para saber si hay que realizar o no una investigación radiológica adicional, se utiliza la siguiente metodología indicada:

- a) Sí la concentración del índice alfa total es inferior o igual a 0,1 Bq/l y la concentración de actividad beta total o resto es inferior o igual a 1 Bq/l, se considera que la DI es inferior o igual a 0,1mSv/año. Asimismo, si la concentración de actividad de tritio es inferior a 100 Bq/l no hay que realizar investigaciones adicionales.
- b) Sí la concentración del índice alfa total o beta resto es superior o igual a 0,1 Bq/l, 1Bq/l respectivamente y si la concentración de actividad de tritio es inferior o igual a 100 Bq/l, se debe de realizar un análisis de radionucleidos específicos sobre las concentraciones derivadas para la radiactividad en el agua destinada al consumo humano, considerando primero los isótopos naturales (<sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>210</sup>Pb y <sup>210</sup>Po) y después los artificiales (<sup>14</sup>C, <sup>90</sup>Sr, <sup>239/240</sup>Pu, <sup>241</sup>Am, <sup>60</sup>Co, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs y <sup>131</sup>I) en caso que los anteriores no justifiquen los valores de alfa total y de beta resto.
- c) Sí la concentración del índice alfa total es inferior o igual a 0,1 Bq/l y la concentración de actividad beta total o resto es inferior o igual a 1 Bq/l, se considera que la DI es inferior o igual a 0,1mSv/año. Asimismo, si la concentración de actividad de tritio es superior a 100 Bq/l, se realiza un análisis de radionucleidos específicos artificiales de las concentraciones derivadas.

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

- d) Sí la concentración del índice alfa total o beta resto es superior o igual a 0,1 Bq/l, 1 Bq/l respectivamente y sí la concentración de actividad de tritio es superior o igual a 100 Bq/l, se debe de realizar un análisis de radionucleidos específicos naturales y artificiales.
- e) Sí se han realizado los análisis indicados en los apartados anteriores, se calcula la dosis indicativa (DI) a partir de las concentraciones derivadas, tanto de origen natural como artificial. En el caso de que el valor calculado sea inferior o igual a los establecido, no se requieren investigaciones radiológicas adicionales. Mientras que sí se supera y se cumpla las condiciones de:
- Que la superación del valor paramétrico sea detectada por primera vez
  - Que haya sospecha de que el origen es artificial
  - Que la autoridad sanitaria lo considere necesario

Se debe tomar una nueva muestra antes de 24 horas desde la obtención del resultado para confirmar dicha superación. Además, se tiene que notificar a la autoridad sanitaria en el plazo de 24 horas desde la obtención del resultado, en el caso de que exista la sospecha de que el origen sea artificial, se podrá solicitar al CSN la investigación inmediata del origen y del motivo.

A partir de que se confirme la presencia de sustancias radiactivas por encima de los valores paramétricos, se debe de evaluar la incidencia en cada una de las redes de procedencia de dicha agua hasta la normalización del valor.

### *2.4.1.2 Métodos de análisis*

En este subapartado, se establecen los cálculos que hay que realizar en el caso de que no se cumplan los parámetros establecidos. Como se indica en subapartado anterior, en el caso de superar las concentraciones de actividad alfa total o beta total, hay que realizar un análisis de las concentraciones derivadas para la radiactividad en el agua. Estos radionucleidos se dividen en los naturales y artificiales y en función del incumplimiento se realizará el análisis de uno o ambos. A continuación, se muestra la tabla 2 de concentraciones derivadas:

*Tabla 2. Concentraciones derivadas para la radiactividad en el agua. Fuente: [17]*

<b>Origen</b>	<b>Radionucleido</b>	<b>Concentración derivada (Bq/l)</b>
Natural	U-238	3,0
	U-234	2,8
	Ra-226	0,5
	Ra-228	0,2
	Pb-210	0,2
	Po-210	0,2
	Artificial	C-14
Sr-90		4,9
Pu-239/Pu-240		0,6
Am-241		0,7
Co-60		40
Cs-134		7,2
Cs-137		11
I-131		6,2

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

Por otro lado, en este RD se tienen en cuenta los límites de detección, puesto que en la recogida de muestras hay que ser capaz de como mínimo medir las concentraciones de actividad. Por ello, se establece una tabla 3 donde se indican los límites máximos de detección.

*Tabla 3. Límites de detección para la medida de las concentraciones de actividad. Fuente: [17]*

<b>Parámetros y radionucleidos</b>	<b>Límite de detección (Bq/l)</b>
Actividad alfa total	0,04
Actividad beta total	0,4
Radón	10
Tritio	10
Am-241	0,06
C-14	20
Cs-134	0,5
Cs-137	0,5
I-131	0,5
Pb-210	0,5
Po-210	0,02
Pu-239/Pu-240	0,01
Ra-226	0,04
Ra-228	0,02
Sr-90	0,4
U-234	0,02
U-235	0,02

Cabe destacar que el límite de detección se tiene que calcular según la norma ISO 11929: *Determinación de los límites característicos para las medidas de la radiación ionizante*.

Por último, en la metodología del análisis también se tiene en cuenta el cálculo de la dosis indicativa. Para ello, se utiliza la ecuación x descrita en el subapartado anterior.

### **2.4.2. Real Decreto 314/2016**

El R.D 314/2016 modifica el R.D 140/2003 donde se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Este es el R.D que se ha tenido en cuenta a la hora de realizar el análisis, puesto que es el que se halla vigente. Como bien se indica este R.D corrige y modifica el R.D 140/2003. Por ello, en este apartado se van a exponer los cambios que afectan a las definiciones y al *anexo X*, que es el que procede en este trabajo.

Una de las definiciones que se ve afectada es la de la dosis indicativa, siendo esta:

*Dosis indicativa (DI): la dosis efectiva comprometida por un año de ingesta debida a todos los radionucleidos cuya presencia se haya detectado en un abastecimiento de agua destinada al consumo humano, ya sean de origen natural o artificial, excluidos el tritio, el potasio-40, el radón y los productos de desintegración del radón de vida corta.* <sup>[17]</sup>

Además, en este real decreto se añaden más radionucleidos a las tablas de la concentración de los límites de detección resultando en las siguientes:

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

*Tabla 4. Límites de detección para la medida de las concentraciones de actividad. Fuente: [17]*

<b>Parámetros y radionucleidos</b>	<b>Límite de detección (Bq/l)</b>
Actividad alfa total	0,04
Actividad beta total	0,4
Radón	10
Tritio	10
Am-241	0,06
C-14	20
Co-60	0,5
Cs-134	0,5
Cs-137	0,5
I-131	0,5
Pb-210	0,5
Po-210	0,02
Pu-239/Pu-240	0,01
Ra-226	0,04
Ra-228	0,02
Sr-90	0,4
U-234	0,02
U-235	0,02

### **3. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO**

En el siguiente apartado se especifican los pasos metodológicos del trabajo realizado, así como su desarrollo. Para la realización de este estudio se ha seguido una metodología que consiste en primeramente una recogida de los datos de las bases de datos del CSN y de la red europea REMdb, para su posterior análisis detallado.

#### **3.1. Descripción de tareas**

En este punto se expone un esquema de las tareas que se han llevado a cabo a lo largo del análisis.

- *Identificar el objetivo general y específico del trabajo.* En esta primera tarea, se ha realizado una búsqueda exhaustiva en las distintas webs (CSN, IAEA, REMdb, etc.) y se han obtenido los distintos datos e información necesaria para establecer el objetivo principal del trabajo.
- *Analizar la información existente en torno al impacto radiológico.* Una vez identificado el objetivo, se ha analizado más en profundidad la calidad de los datos y se han establecido que tipo de información es importante y necesaria para el trabajo.
- *Determinar las zonas de estudio y recopilar todos los datos disponibles.* Tras seleccionar la información concluyente del trabajo, se han escogido las zonas de estudio. Para ello, se ha hecho un análisis previo de los distintos estudios realizados por los distintos organismos y centros de estudio tanto a nivel español como a nivel europeo. Con este conocimiento, se ha identificado el mejor panorama y se han recopilado los datos necesarios para el trabajo. Esta tarea ha sido una de las más complejas, debido a la dificultad en la obtención de datos de actividad en Europa en el mismo periodo que los obtenidos en España. Asimismo, no ha sido sencilla la descarga de dichos datos.
- *Realizar un primer análisis de datos.* Esta tarea es clave para el trabajo, ya que, una vez obtenidos los datos, se ha observado como no todas las estaciones tienen los valores suficientes. Para seleccionar los datos adecuados, se ha realizado un pequeño cálculo donde se indica el número de muestras de actividad, así como el valor máximo y mínimo de cada uno de los isótopos en cada una de las zonas de muestreo determinada (véase Anexo II)
- *Selección de los isótopos clave para determinar el estudio a llevar a cabo.* Una vez analizados, los resultados obtenidos en el Anexo II se han determinado cuales son los isótopos que tienen datos suficientes como para realizar un estudio sobre ellos.

#### **3.2. Obtención de los datos**

Los datos utilizados para este primer estudio han sido obtenidos de los ficheros de la Red de Estaciones de Muestreo (REM) y de los Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA). Estos datos contienen información sobre la actividad, la incertidumbre y el límite de detección de la concentración de actividad de los isótopos radiactivos naturales y artificiales que se encuentran en la red densa y espaciada. <sup>[18]</sup> Esta aplicación permite consultar los valores de radiactividad disponibles, los cuales se van cumplimentando anualmente una vez que se reciben y se revisan por el propio CSN.

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

Los datos informados por los laboratorios de las estaciones de muestreo, donde se encuentran los datos de la radiactividad partiendo del periodo 2006-2020 permiten estudiar, en este caso, los valores que se hallan en el agua potable y en la dieta en el territorio español.

Por otro lado, para la obtención de los datos a nivel europeo, se ha acudido al *Radiactivity Environmental Monitoring data base* (REMdb). <sup>[19]</sup> Esta base de datos contiene información sobre la actividad, la incertidumbre y el límite de detección de la concentración de actividad de los isótopos radiactivos naturales y artificiales de los distintos países. Los datos de la radiactividad parten del periodo 1984-2011 que se hallan en el agua potable y en la dieta mixta. No obstante, en este trabajo se ha realizado el estudio para el periodo 2006-2011 para poder realizar una mejor comparativa con el periodo en el territorio español.

En primer lugar, se han identificado todos los radionúclidos que existen en las bases de datos de las distintas muestras y se han ordenado según la zona de vigilancia para España y según país para Europa. Cabe destacar, que en algunos de los ficheros no aparecen todos los datos, puesto que algunas estaciones no se tienen en cuenta los mismos radionúclidos ni todas informan en los mismos periodos de tiempo ni con la misma frecuencia.

Los laboratorios que llevan a cabo el muestreo de los isótopos radiactivos siguen los procedimientos escritos que siguen las directrices de las normas UNE respecto de análisis radiológicos y los publicados por el CSN. <sup>[18]</sup> Como mínimo, se debe suministrar la información de los isótopos de espectrometría gamma que se recogen en la Tabla 5, los valores de alfa total, beta total y Sr-90. No obstante, estas directrices no se han aplicado a los datos obtenidos en Europa, por lo que no se han tenido los mismos isótopos en todos los países.

*Tabla 5. Isótopos radiactivos obligatorios los cuales se deben estudiar. Fuente: [18]*

<b>Naturales</b>	<b>Artificiales</b>	
Be-7	Co-58	Zn-65
K-40	Co-59	Nb-95
Tl-208	Cr-51	Zr-95
Bi-214	Cs-134	Ru-106
Pb-212	Cs-137	I-131
Pb-214	Fe-59	Ba-140
	La-140	Ce-144

Además, los laboratorios proporcionan datos de concentración de radiactividad de otros tipos de isótopos diferentes a los indicados por las directrices establecidas, en el caso de detectar valores superiores al LID (véase tabla 5).

### **3.3. Metodología empleada**

Una vez obtenido los datos de las distintas zonas de la red de alta sensibilidad (o espaciada) y de la red densa, se han estudiado los datos obtenidos. Para realizar el primer análisis se han tenido en cuenta los isótopos que tienen un mayor número de medidas de actividad, ya que hay ciertos isótopos que no tienen valores de medida o tienen pocos valores como para poder realizar un análisis estadístico detallado y adecuado.

Para poder evaluar correctamente la evolución de los radioisótopos, se han analizado los siguientes parámetros por separado:

- Incumplimientos de los criterios exigidos para el control radiológico en agua y dieta
- Evolución temporal del contenido radiactivo en España
- Evolución del contenido radiactivo en las distintas zonas en España
- Impacto dosimétrico del contenido radiactivo en España
- Evolución temporal del contenido radiactivo en Europa
- Anomalías detectadas en las distintas zonas de muestreo en España
- Impacto meteorológico

### *3.3.1 Incumplimientos en los criterios sanitarios en el agua*

Este análisis consiste en verificar si los valores informados en las bases de datos cumplen con diferentes criterios exigidos en la legislación o por la autoridad competente en este caso, el CSN.

El estudio de este apartado tiene como finalidad evaluar si los valores informados por los laboratorios son acordes a los criterios exigidos respecto de los valores radiológicos que puede recibir la población como consecuencia de la ingesta de agua. Por ello, se han comprobado los valores de referencia indicados en el Real Decreto 314/2016, sobre los criterios sanitarios de calidad de aguas de consumo humano. <sup>[17]</sup>

Como se ha explicado en el segundo apartado de este trabajo, en este Real Decreto, se indica si un agua es apta para el consumo humano, si cumple entre otros, los valores paramétricos de su *Anexo X* referidos al control radiológico de las aguas de consumo: “*Control de sustancias radiactivas en aguas de consumo humano*”. Los valores paramétricos son 500.000 Bq/m<sup>3</sup> para el radón, 100.000 Bq/m<sup>3</sup> el tritio y 0,1 mSv para la dosis indicativa (DI). Estos valores paramétricos indican el nivel máximo o mínimo fijado para cada uno de los parámetros a controlar.

En este trabajo se ha realizado, el análisis de los valores paramétricos del tritio y de la dosis indicativa. No se ha realizado el estudio del radón debido a la falta de datos. Como se ha comentado, para el cálculo de la dosis indicativa se han de analizar en un primer lugar los índices de actividad. Por ello, en el análisis se ha analizado en primer lugar los índices de actividad de alfa total, beta total, beta resto. Después, se ha realizado el estudio del tritio y de los radionucleidos que han superado los valores paramétricos, que han sido el Cs-137 y el Sr-90.

Por otro lado, se han tenido en cuenta el cumplimiento de los límites de detección establecidos por el R.D. En esta legislación se establecen los límites de detección que indican el valor máximo al que se puede detectar concentración. Estos límites son clave, ya que si se superan imposibilitan en muchos casos la medida de concentración de actividad.

### *3.3.2 Incumplimientos en los criterios sanitarios en la dieta*

En lo referente a los criterios sanitarios en la dieta, hoy en día no existe ninguna legislación que establezca unos límites de los mismos, ya que la dieta tipo varía a raíz en función del producto y de la cultura de consumo del mismo. Para este estudio se ha tenido en cuenta una dieta tipo que se basa en la dieta mediterránea, donde las características principales de la alimentación son los productos vegetales (frutas, verduras, legumbres y frutos secos), pan, cereales, huevo y

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

el consumo moderado del pescado, los mariscos, los lácteos y la carne. Siendo característico el uso del aceite de oliva como fuente de grasa. [20][21]

Ahora bien, al ser los valores de las bases de datos de la red espaciada y densa, los métodos de análisis utilizados deben ser capaz, como mínimo, de medir las concentraciones de radiactividad en dieta con ciertos límites de detección indicados por el CSN.

Por ello, este análisis ha consistido en verificar que los límites de detección informados por los laboratorios son inferiores a los de la tabla de los límites de detección que se requieren para la red densa exigidos por el CSN. En esta tabla, solo se establecen dos límites de detección para el caso de la dieta, concretamente, para el cesio-137 y para el estroncio-90, siendo los valores de los límites de 0,05 Bq/persona- día y 0,02 Bq/persona-día, respectivamente.

### *3.3.3 Evolución temporal del contenido radiactivo en España*

Este análisis pretende establecer cómo han evolucionado los valores de concentración de radiactividad a lo largo del tiempo.

Para realizar el análisis temporal tanto del agua como de la dieta, se han recopilado y analizado los datos respecto de los radioisótopos diferentes. A pesar de obtener datos de 22 radioisótopos distintos, se ha decidido hacer el análisis de la concentración de actividad de los radionúclidos que se encuentran resaltados en la Tabla 6 del agua y Tabla 7 de la dieta. Solo se han estudiado los tres índices de actividad y 3 isótopos por cada muestra agua, y 4 radionucleidos para la dieta debido a que no hay datos suficientes como para poder observar y menos analizar una evolución temporal. (véase Anexo II)

**Tabla 6. Radioisótopos con valores de actividad en el agua. Fuente: Elaboración propia.**

Ac228	Am241	<b>Alfa total</b>	Be7
Bi214	<b>Beta resto</b>	<b>Beta total</b>	<b>Cs137</b>
<b>Tritio</b>	K40	Pb210	Pb212
Ra224	Ra226	Ru103	<b>Sr90</b>
Th230	Th232	Tl208	U234
U235	U238		

**Tabla 7. Radioisótopos con valores de actividad en la dieta. Fuente: Elaboración propia.**

Ac228	Be7	Bi214	<b>C14</b>
<b>Cs137</b>	<b>K40</b>	Pb210	Pb212
Pb214	Ra226	Ru103	<b>Sr90</b>
Tl208	U235		

La actividad de ambas muestras que se reportan al CSN se han representado en Bq/m<sup>3</sup>. Además, se van a mostrar valores máximos y mínimos de actividad, así como el promedio y su desviación típica.

Además, en este apartado se ha comprobado si la evolución temporal se corresponde con el periodo de los isótopos. Debido al gran periodo de desintegración de la mayoría de los isótopos estudiados, solo se han tenido en cuenta el Sr-90 y el Cs-137 siendo sus periodos 28,8 años y 30,05 años [22], respectivamente.

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

Para ello, se ha realizado una tabla resumen donde se indican los valores puntuales máximos y mínimos de actividad, el número de análisis y el número de límites de detección. Además, se ha calculado el promedio y la desviación típica de actividad. La desviación típica se ha calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Desviación típica} = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (2)$$

Siendo

$x$  la media de la muestra

$\bar{x}$  es el promedio de la muestra

$n$  es el tamaño de la muestra

Tras realizar los cálculos correspondientes en las distintas zonas de muestreo se han analizado las gráficas y las tablas resumen del agua y de la dieta para el índice de actividad alfa total, el índice de actividad beta total, el índice de actividad beta resto, la actividad del estroncio-90 y la actividad del cesio-137.

### *3.3.4 Impacto dosimétrico del contenido radiactivo en España*

Debido a los radionucleidos que se encuentran tanto en los alimentos como en el agua, los seres humanos reciben una cierta dosis de radiación, que depende tanto de la cantidad de ingesta como en la actividad presente de cada isótopo.

La dosis de radiación, se puede clasificar en dosis efectiva y en dosis comprometida. La dosis efectiva comprometida anual por ingesta se define como la dosis efectiva resultado de la incorporación de los radionucleidos en los órganos o tejidos. Por ello, este análisis pretende conocer el impacto radiológico desde el punto de vista dosimétrico del contenido radiactivo de la dieta y el agua en España.

Como resultado de radionucleidos presentes dentro del cuerpo, se establece que dichos efectos duran tanto como la presencia de la fuente, es decir, hasta que desaparece por desintegración radiactiva y/o por eliminación biológica. Para calcular la dosis efectiva comprometida se ha utilizado la siguiente ecuación. <sup>[23]</sup>

$$E = \sum FCD \cdot \text{Actividad} \cdot \text{Consumo} \quad (3)$$

donde

FCD es el factor de conversión a dosis por ingestión (Sv/Bq) para el radionucleido  $i$

Los factores de conversión a dosis por ingestión se han recogido del ICRP para adultos mayores a 17 años (ver Anexo III). <sup>[23]</sup>

Al igual que en el apartado anterior, se ha realizado su cálculo para los radioisótopos artificiales Sr-90, Cs-137 y tritio para el caso del agua, con el fin de poder comparar los resultados a nivel europeo. Asimismo, en el caso de la dieta se ha realizado el cálculo para los radionucleidos de Sr-90, Cs-137, C-14 y K40. En definitiva, el impacto

### *3.3.5 Evolución temporal del contenido radiactivo en Europa*

Este análisis pretende establecer cómo han evolucionado los valores de actividad a lo largo del tiempo en Europa y observar si estos han ido disminuyendo con el tiempo.

Para realizar el análisis temporal tanto del agua como de la dieta, se han recopilado y analizado los datos respecto de los radioisótopos diferentes. Cabe mencionar, que la recopilación de los datos ha sido muy complicada, esto se debe principalmente al cambio de unidades no especificadas y sin referencia en el Sistema Internacional (SI), también se debe a la falta de datos y a la mala disposición de los datos, es decir, al no tener valores de actividad el campo se ha sustituido por el valor de los límites de detección. Por ello, se han tenido que analizar previamente la fiabilidad de los datos.

No obstante, una vez clasificados y verificados la veracidad de los datos haciendo uso del programa de monitorización, se han seleccionado los datos más relevantes para cada muestra y radionucleido. Además, para poder representar los valores más próximos a la realidad de cada país se ha seleccionado en su gran mayoría una localidad al norte, sur, este y oeste de cada país.

Como se ha descrito en los párrafos anteriores, a pesar de obtener datos de más de 20 radioisótopos distintos, no se ha podido realizar el análisis de todos de ellos, por falta de datos. Por ello, al igual que el apartado de la evolución en España, se ha decidido realizar el análisis de la concentración de actividad que se encuentran en las tablas 6 del agua y tabla 7 de la dieta de dicho apartado.

En cuanto a la metodología, se ha seguido la descrita en el apartado 3.3.3 Evolución temporal del contenido radiactivo en España.

### *3.3.6 Impacto meteorológico: la precipitación*

En el este estudio, se ha estudiado la relación de los parámetros de índice de actividad alfa total, beta total, Sr-90, K-40 y tritio con factores meteorológicos que pueden alterar la concentración de radiactividad de distintos radionucleidos. La elección de estos radionucleidos se debe principalmente al periodo de desintegración y al número de muestras obtenido. En el caso de los índices, se ha decidido analizarlos por su importancia durante todo el trabajo.

Teniendo en cuenta la muestra estudiada, solamente se ha analizado el factor de la precipitación y no otros debido a su relación directa con el medio. No obstante, encontrar una correlación es un proceso ciertamente complicado ya que en la disolución del radionucleido en el medio y su magnitud son ciertamente imprevisibles.

Con el fin de identificar la relación entre la precipitación y las concentraciones de actividad, se han representado los valores para analizarlo de una manera gráfica y se ha calculado la correlación de los distintos parámetros. La correlación es un valor que se utiliza para determinar la relación entre dos propiedades. En este caso, se ha utilizado para examinar la relación entre la precipitación promedio y el promedio de concentraciones de actividad de cada localidad.

Para el cálculo de la correlación se ha utilizado la ecuación del coeficiente de correlación, que es la que se muestra a continuación:

$$\text{Correlación } (X, Y) = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (4)$$

donde,

$\bar{x}$   $\bar{y}$  son las medias de muestra promedio de cada matriz

## ***ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA***

---

Una vez calculada el coeficiente de correlación hay que observar el valor obtenido, ya que cuanto más cerca de +1 o -1, se encuentre el valor indica que hay una relación más fuerte o débil en función a que se acerque al 0. La diferencia entre que se acerque al valor positivo o negativo es que se comporte igual o de forma contraria. Por ejemplo, si es una correlación positiva, si una matriz aumenta la otra también.

Los datos empleados para realizar los gráficos y para calcular la correlación citada, se ha utilizado los datos históricos meteorológicos del AEMET Opendata <sup>[24]</sup> para aquellas estaciones más cercanas a las zonas de muestreo.

## **4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. ANÁLISIS DEL CONTENIDO RADIACTIVO EN EL AGUA**

#### **4.1.1. Incumplimientos en los criterios sanitarios en el agua**

En el siguiente apartado de muestras los resultados obtenidos para los distintos índices y radionucleidos seleccionados que no cumplen con el R.D. Como se ha nombrado en el segundo apartado, en el R.D. se han de tener en cuenta los incumplimientos sujetos a la concentración de actividad como a los incumplimientos de los límites de detección.

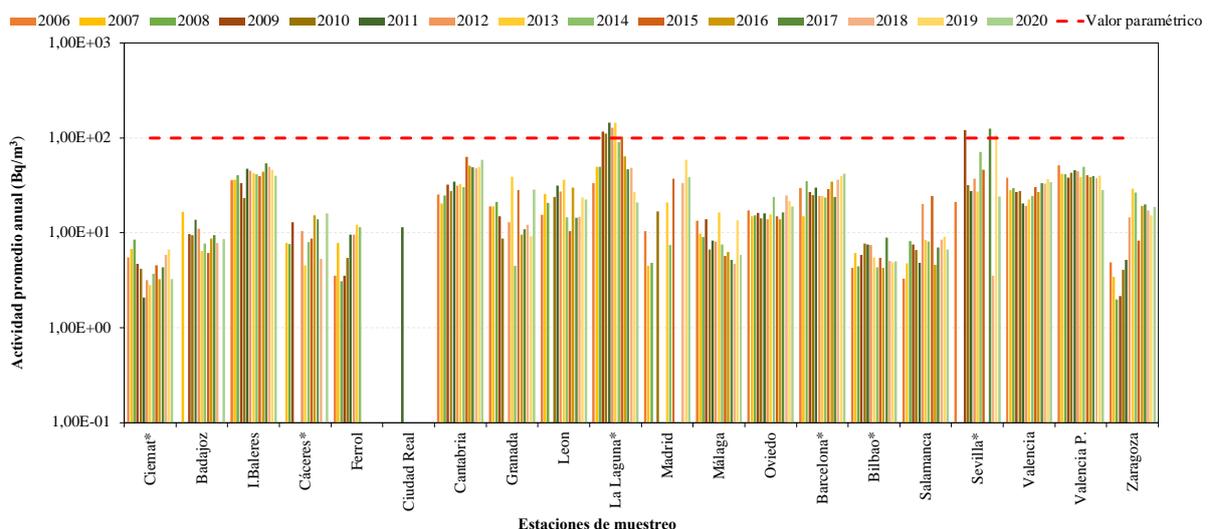
##### *4.1.1.1. Análisis del cumplimiento de los valores paramétricos de la concentración de actividad*

##### *4.1.1.1.1 Índice de actividad alfa total*

Para analizar los valores del índice de actividad alfa total y observar si son inferiores al valor paramétrico establecido en el R.D, se ha realizado el promedio anual de la actividad. A continuación, se muestran las gráficas de los promedios por estaciones de muestreo y el análisis del mismo.

Como se puede observar en la gráfica 1, la concentración de la actividad alfa total ha superado ligeramente el valor paramétrico establecido de  $100 \text{ Bq/m}^3$  en varias muestras de La Laguna y de Sevilla. Cabe mencionar, que en la universidad de las Islas Baleares en marzo del 2019 se obtuvo un índice de actividad total de  $104,2 \text{ Bq/m}^3$ . No obstante, como no se ha obtenido ningún valor similar a este en ningún otro mes ni en ningún otro año y tras observar que no hay muestras de actividad en los radionucleidos de radiación alfa se ha considerado que este valor es puntual.

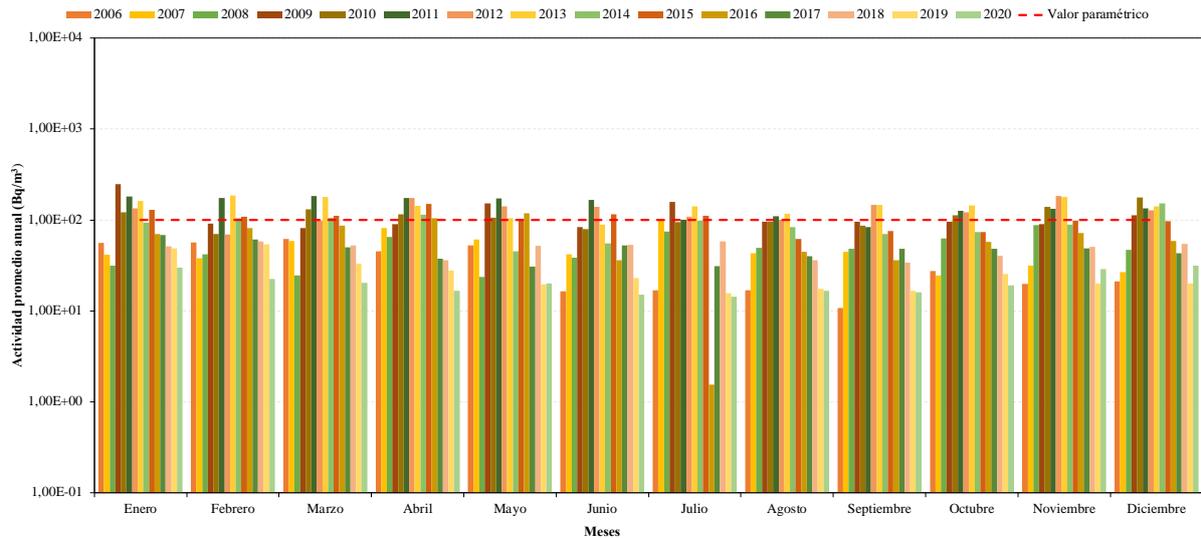
**Gráfica 1.** Evolución temporal del índice promedio de actividad alfa total del agua potable. **Fuente:** Elaboración propia.



Analizando con más a detalle los valores de estas dos zonas de muestreo, se puede observar como el área de La Laguna (véase gráfica 2) supera de manera continua los valores paramétricos establecidos hasta el año 2017 que no se vuelven a superar, mientras que en Sevilla (véase gráfica 3) los casos observados que lo superan son más puntuales. <sup>[14]</sup>

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

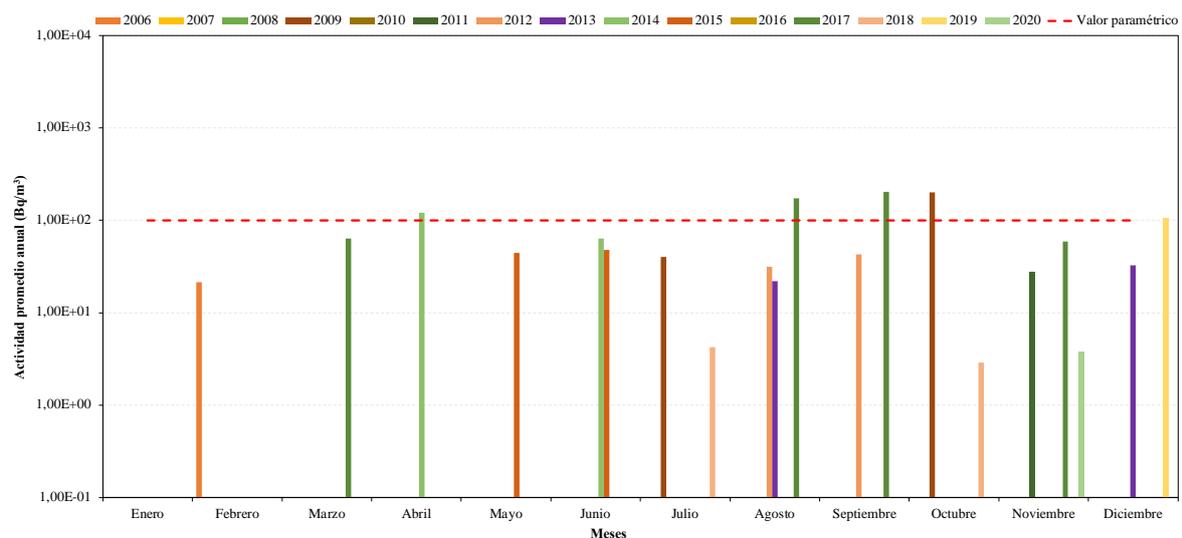
Gráfica 2. Evolución temporal del índice de actividad alfa total del agua potable en La Laguna. Fuente: Elaboración propia.



En el caso de La Laguna, y siguiendo las directrices del R.D. cuando se superan los valores paramétricos del índice de actividad, durante varios años se han realizado análisis adicionales sobre varias muestras de agua de abastecimiento, para su caracterización radiológica y para el cálculo de la Dosis Indicativa Total (DIT) obteniendo resultados inferiores al establecido en el Real Decreto 314/20116, por lo que no fue necesario llevar a cabo investigaciones radiológicas adicionales. [25][26] Esto se puede ver perfectamente en la gráfica 2.

No obstante, cabe destacar que desde el año 2017 el valor del índice de actividad alfa total no ha superado el valor paramétrico máximo establecido, y se observa además que el límite de detección desde dicho año se mantiene prácticamente constante. Asimismo, se puede observar en el Anexo III, como los años donde hay mayor índice de actividad alfa total los valores de los radionucleidos alfa se mantienen muy similares y se hallan cerca del valor medio.

Gráfica 3. Evolución temporal del índice de actividad alfa total del agua potable en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.



Por otro lado, en lo referente a la zona de muestreo de Sevilla, tal y como se muestran en la gráfica 3, los valores de actividad promedio mensuales por año no son abundantes, por lo que los valores que superan el valor paramétrico establecido tampoco lo son. Además, los valores establecidos solo se han superado puntualmente, a excepción del año 2017 que la superación

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

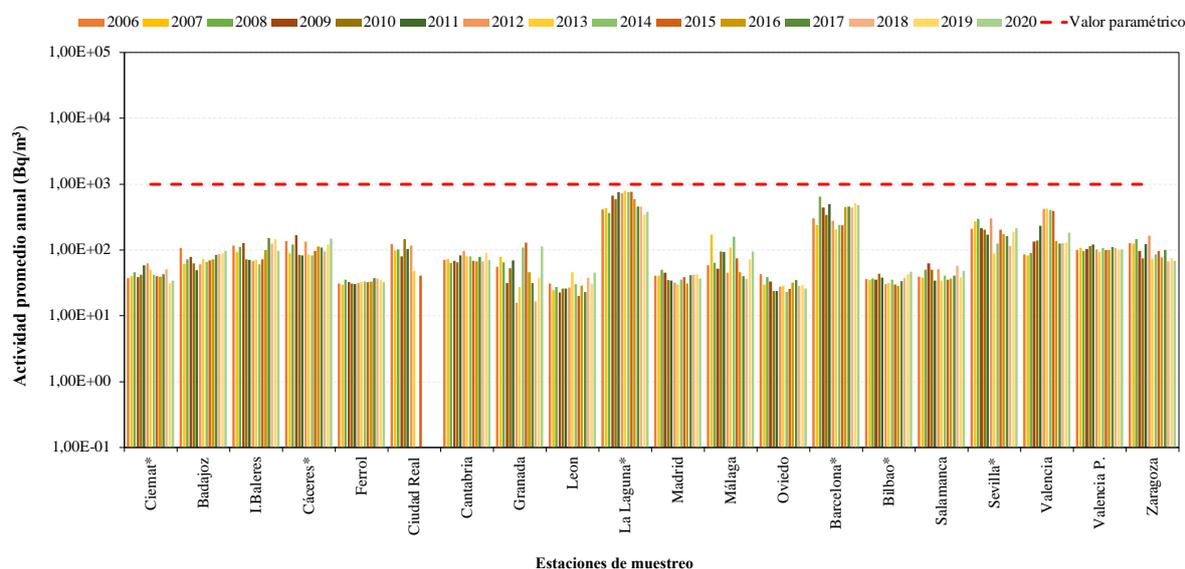
ocurrió dos meses seguidos. Además, analizando los isótopos radiactivos alfa se puede observar en el Anexo III como no existe ninguna relación para justificar el aumento puntual.

### 4.1.1.1.2 Índice de actividad beta total

Al igual que en estudio del índice de actividad beta total, se han realizado el análisis haciendo uso de los valores medio anuales.

Al tratarse de un índice, la detección de actividad beta total se sitúa alrededor de un 100% en la mayoría de los puntos en el agua potable, es decir, se tiene un valor de la actividad en todos los años de estudio. Como se puede ver en la gráfica 4, a priori no existe ningún valor promedio de actividad que supere los valores establecidos, aunque en los rangos más elevados destacan La Laguna, Barcelona, Sevilla y Valencia. No obstante, estudiando cada una de las zonas de muestreo, se ha hallado que tanto en La Laguna como en Barcelona sí que se han superado estos valores. Esto se refleja en las gráficas 4 y 5.

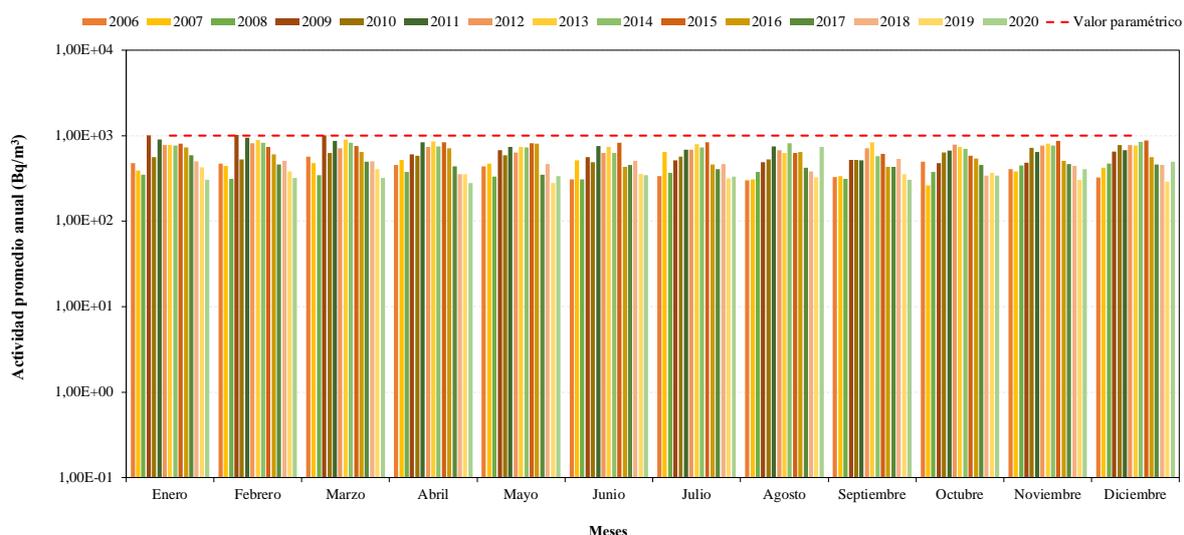
Gráfica 4. Evolución temporal del índice de actividad beta total del agua potable. Fuente: Elaboración propia.



A pesar de superar los valores establecidos, se puede ver como en el caso de La Laguna este incumplimiento solo se registró en el primer trimestre del 2009, no repitiéndose en el mismo año ni en ningún otro. Esta superación es prácticamente imperceptible ya que el valor máximo observado es de 1021 Bq/m<sup>3</sup> que junto con la incertidumbre asociada (68,2 Bq/m<sup>3</sup>) se podría considerar que no existe tal incumplimiento.

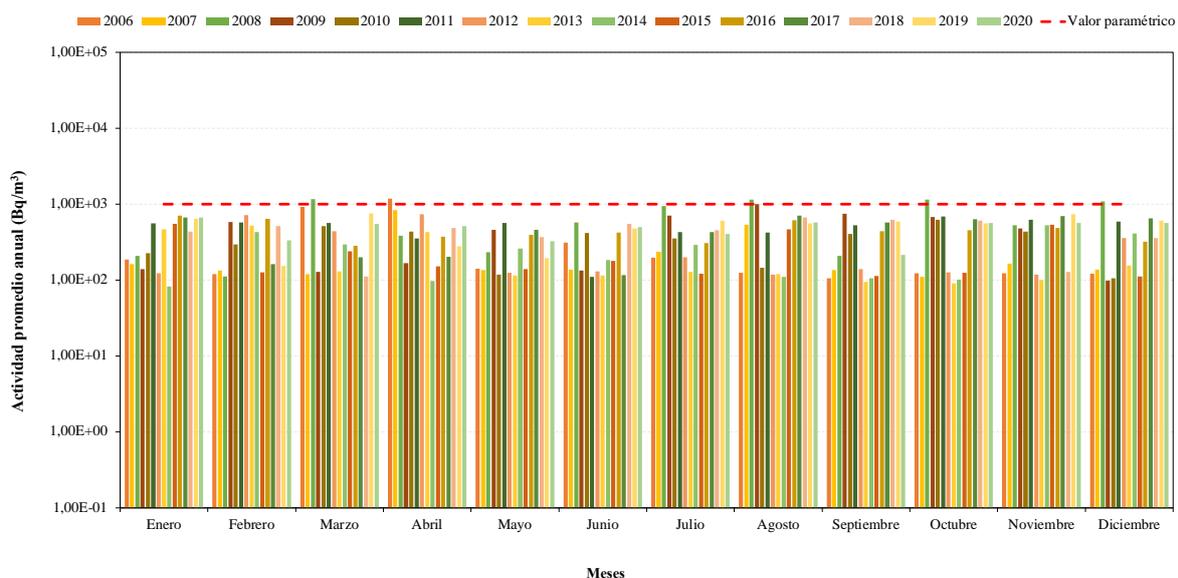
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 5. Evolución temporal del índice de actividad beta total del agua potable en La Laguna. Fuente: Elaboración propia.



En el caso de Barcelona, ocurre prácticamente lo mismo el incumplimiento sucede en 2006 y cuatro veces más en 2008.

Gráfica 6. Evolución temporal del índice de actividad beta total del agua potable en Barcelona. Fuente: Elaboración propia.

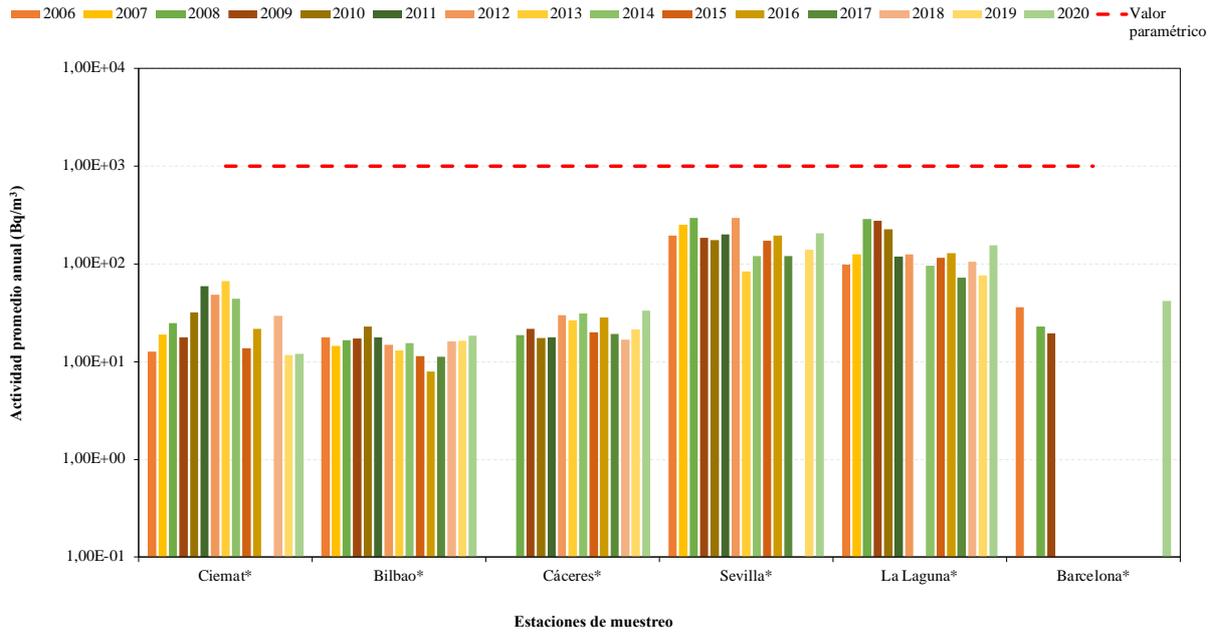


## 4.1.1.1.3 Índice de actividad beta resto

En lo referente al índice de actividad de beta resto, esta solo se determina en el programa de red de alta sensibilidad y proporciona los valores de la actividad beta sustrayendo el aporte correspondiente de potasio-40. Los valores de actividad son siempre variables pero inferiores al valor paramétrico establecido, tal y como se observa en la gráfica 7.

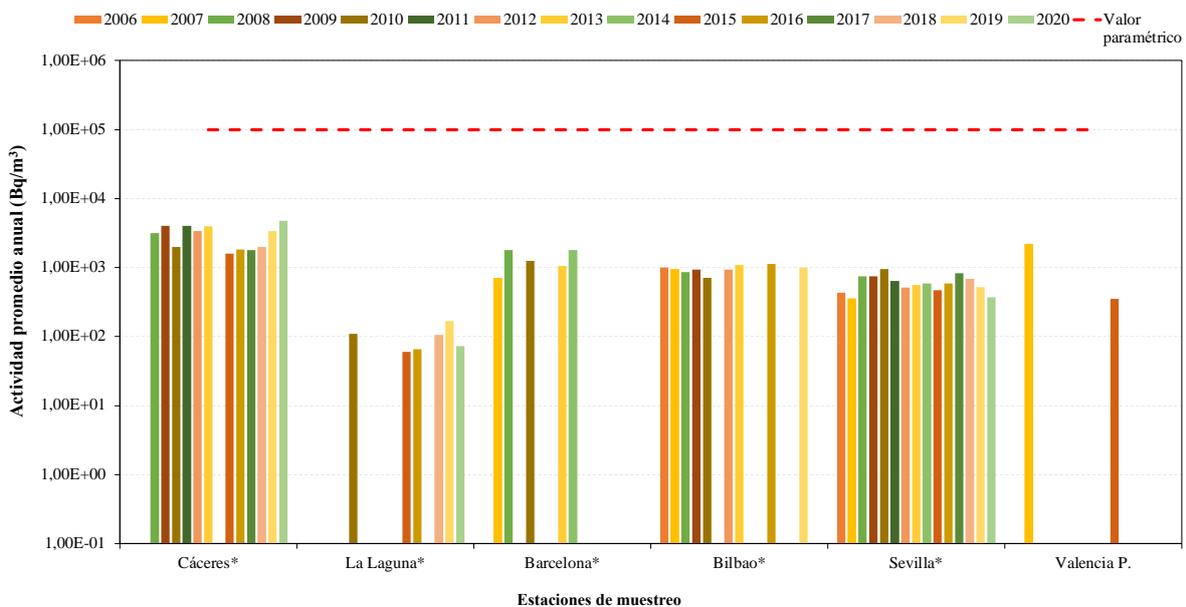
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 7. Evolución temporal del índice de actividad beta resto del agua potable. Fuente: Elaboración propia.



Por otro lado, respecto de la concentración de actividad de tritio, teniendo en cuenta que el tritio se mide solamente en las zonas de muestreo de la red de alta sensibilidad desde el 2006 hasta el 2020 todos los valores de la actividad detectados por encima del límite de detección son inferiores al valor establecido de  $100000 \text{ Bq/m}^3$ . Como se observa en la gráfica 8 realmente hay muchas menos ocasiones en las que se detecte actividad de tritio. Cabe mencionar, que la zona de muestreo Valencia P obtiene valores de actividad, esto es curioso ya que este laboratorio no se encuentra dentro de la red de alta sensibilidad.

Gráfica 8. Evolución temporal de la concentración del tritio del agua potable. Fuente: Elaboración propia.



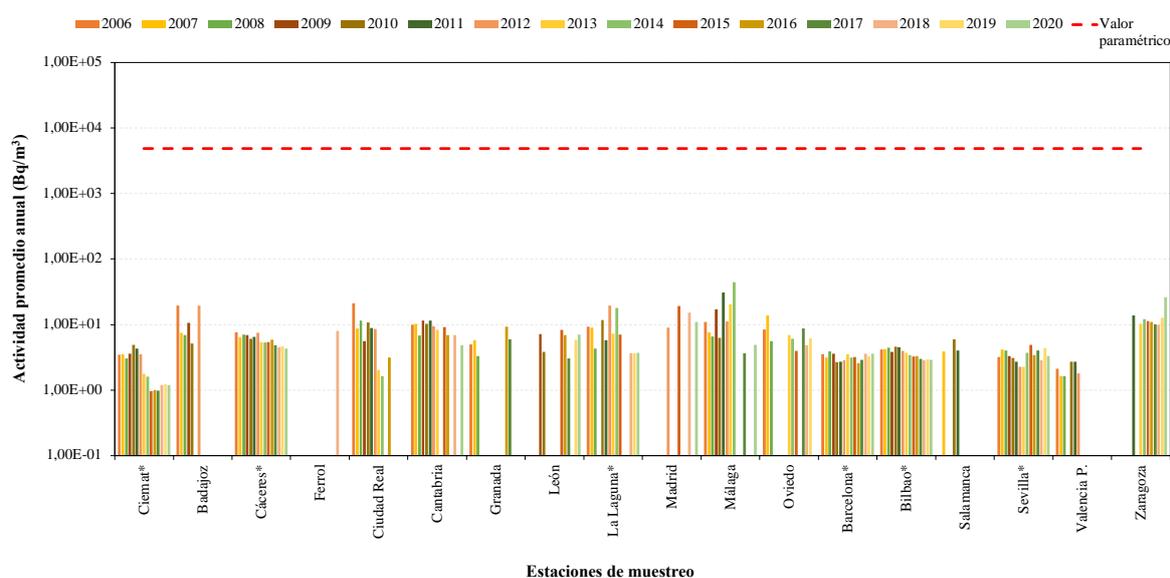
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

## 4.1.1.1.3 Cesio-137 y estroncio-90

Asimismo, se ha analizado la concentración de actividad del estroncio-90 y del cesio-137, teniendo en consideración que son muchos los informes en los que se realiza el estudio del mismo.

En el caso del estroncio-90 hay variaciones en los niveles de actividad y en los límites de detección, pero todos ellos se encuentran dentro de los rangos establecidos en la legislación durante el periodo del análisis no superándose ningún valor de concentración derivada de 4.900 Bq/m<sup>3</sup>.

Gráfica 9. Evolución temporal del estroncio-90 del agua potable. Fuente: Elaboración propia.



En cuanto a la espectrometría gamma en la que se detecta el cesio-137, no se suelen detectar actividades de isótopos artificiales en ninguna de las muestras analizadas. No obstante, en los informes de la red de alta sensibilidad, en los que este radioisótopo se analiza mediante el procedimiento de separación química del cesio, se han permitido disminuir los valores paramétricos de detección. Sin embargo, tampoco se ha detectado valores de actividad mediante la espectrometría gamma de Cs-137.

Como se ha observado, existen valores de actividad que superan el valor paramétrico establecido por el RD, lo que supone una investigación exhaustiva sobre el motivo del incumplimiento, dejando constancia del caso en un libro de incidencias y la notificación a la autoridad sanitaria de la situación siempre que este incumplimiento sea importante. Donde dicha autoridad sanitaria, evaluará si el aumento supone un riesgo para la salud humana y aplicará unas medidas correctoras para disminuir el parámetro. [13]

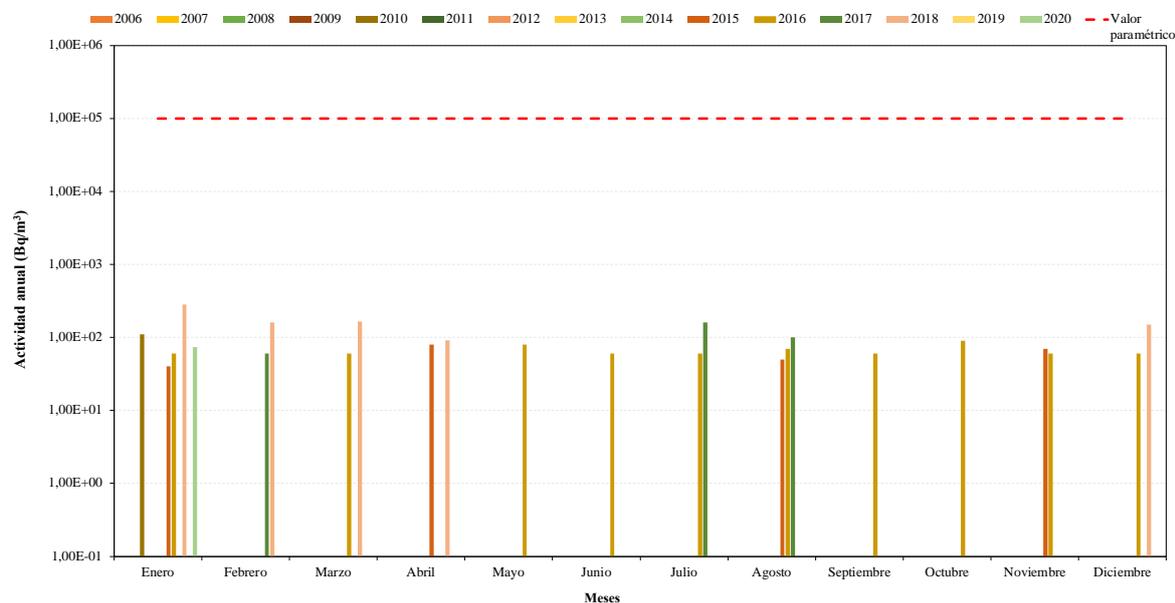
## 4.1.1.1.4 Tritio

Tal y como ha quedado reflejado en el apartado de Metodología, para llevar a cabo un análisis radiológico adicional existen dos casuísticas cuando la concentración del índice de actividad alfa total o beta resto es superior a sus correspondientes valores máximos establecidos en los R.D., hay que estudiar los valores de actividad del tritio, ya que si este supera los 100.000Bq/m<sup>3</sup> es necesario realizar un análisis de radionucleidos naturales y artificiales.

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

No obstante, como se muestra en la gráfica 10 cuyos valores son los promedios mensuales por año, en ningún caso se ha superado ese valor paramétrico en esta la estación de muestreo de La Laguna, por lo que solo se ha tenido que realizar un análisis de los radionucleidos naturales.

Gráfica 10. Evolución temporal de actividad del tritio del agua potable en La Laguna. Fuente: Elaboración propia.



### 4.1.1.2 Análisis del cumplimiento de los límites de detección

Resulta obligado según el R.D. del 2016 que el método del análisis utilizado para medir la actividad debe ser capaz de como mínimo de medir las concentraciones de actividad con el límite de detección establecido. En definitiva, con este estudio se quiere ver si se cumple la normativa. Para ello se ha realizado un estudio de la consecución de los límites de detección establecidos en el R.D.

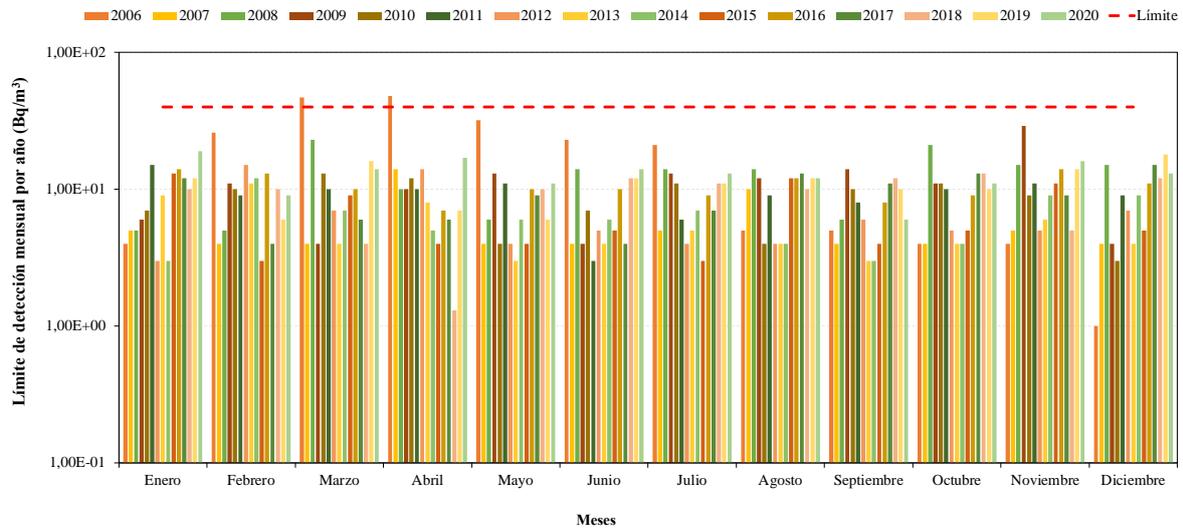
Tras realizar un estudio de los valores límite de detección establecidos, se han encontrado ciertas irregularidades con los siguientes isótopos:  $I^{131}$ ,  $Am^{241}$ , el índice de alfa total,  $Pb^{210}$ ,  $Ra^{226}$  y  $Ra^{228}$ . A continuación, se va a mostrar un análisis de cada uno de esta irregularidades e incumplimientos.

#### 4.1.1.2.1. Índice de actividad alfa total

En lo tocante al índice de alfa total, al igual que en la actividad (véase gráfica 1), se supera el límite de detección máxima de  $40 \text{ Bq/m}^3$  en el agua de las estaciones de muestreo de Sevilla y Barcelona. Como se observa en la gráfica 11. en Barcelona, la superación sucede en el año 2006 durante los meses de marzo y abril, de forma extraordinaria, teniendo en cuenta que entonces no era un valor exigido.

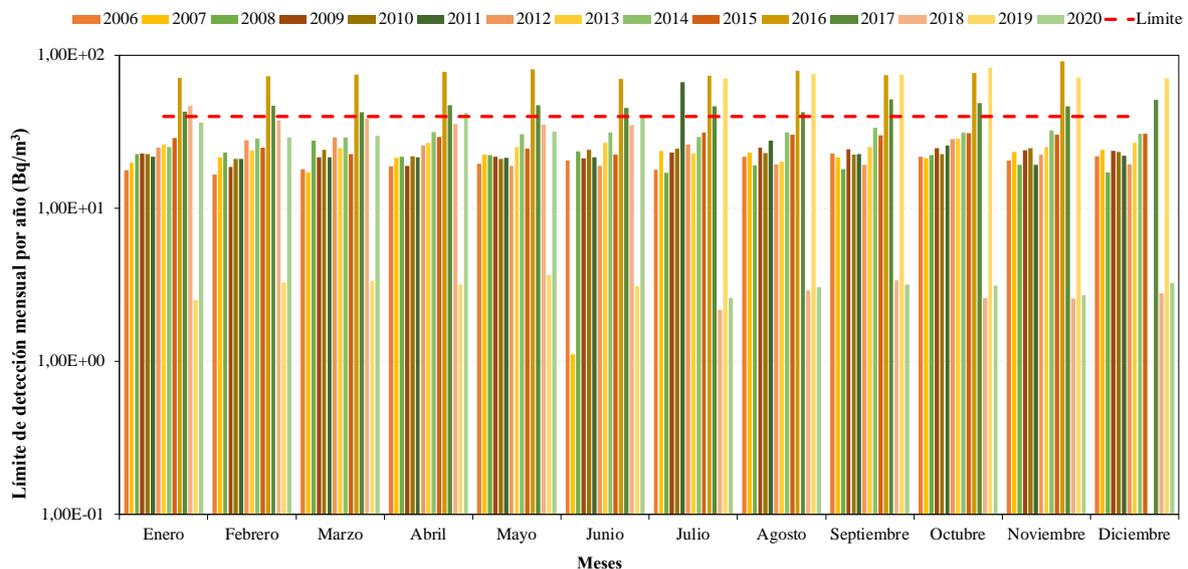
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 11. Evolución temporal de la concentración del límite de detección del índice alfa total del agua potable en Barcelona. Fuente: Elaboración propia.



No obstante, en la gráfica 12 en Sevilla, se muestra cómo en varias ocasiones se supera el límite de detección establecido, aunque el más significativo es el del año 2019 puesto que los valores a mitad de año sufren un aumento, siendo los valores medios a finales de años 6 veces mayores que a principios.

Gráfica 12. Evolución temporal de la concentración del límite de detección del índice alfa total del agua potable en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.



## 4.1.1.2.2. Americio-241

En lo referente al incumplimiento del valor máximo del límite de detección de  $60 \text{ Bq/m}^3$  del Americio-241 encontrado, se podría decir que este incumplimiento ha sido totalmente puntual, ya que en el laboratorio de la Universidad Politécnica de Valencia se incumplió una única vez en 2017 obteniendo un valor de  $72,63 \text{ Bq/m}^3$ .

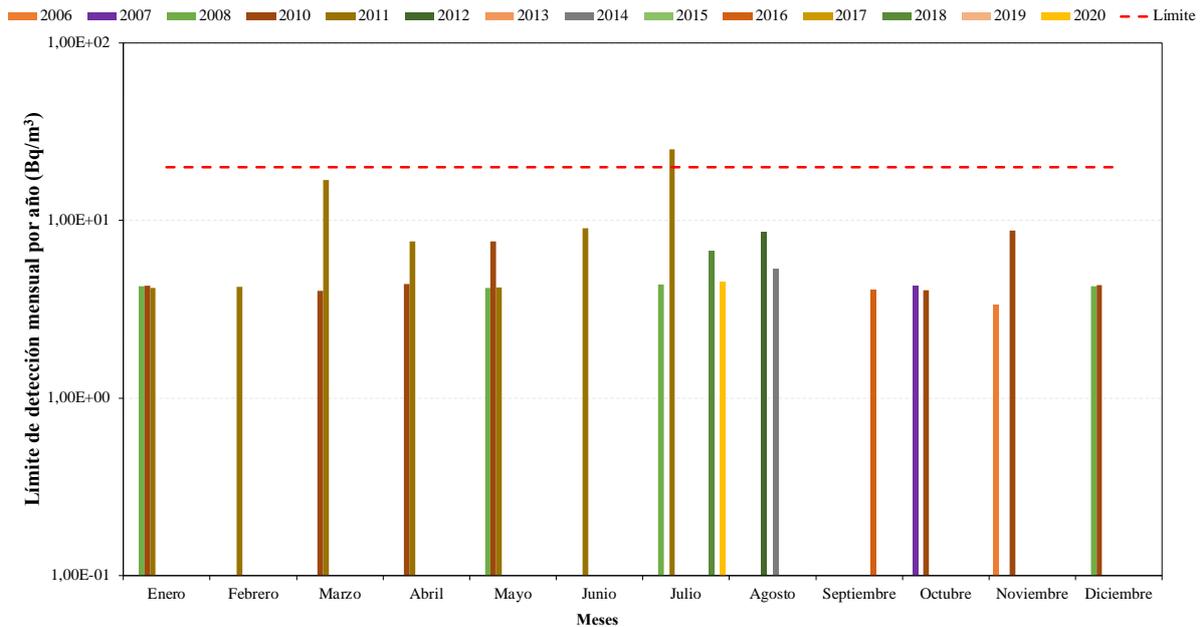
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

## 4.1.1.2.3. Plomo-210

El límite de detección de 20 Bq/m<sup>3</sup> del plomo-210, hay seis zonas de vigilancia que superan este límite de detección. Sin embargo, tanto en las estaciones de Sevilla como en la de Granada, solo existe una única muestra medida en todo el periodo analizado y este incumplimiento solo ocurre esa única vez, por ello no se han realizado gráficas ni análisis pertinentes.

Como se puede ver, en la estación de muestreo de La Laguna el límite establecido solo se supera en 2011 de forma puntual, en el mes de julio con un valor de 25,2 Bq/m<sup>3</sup>.

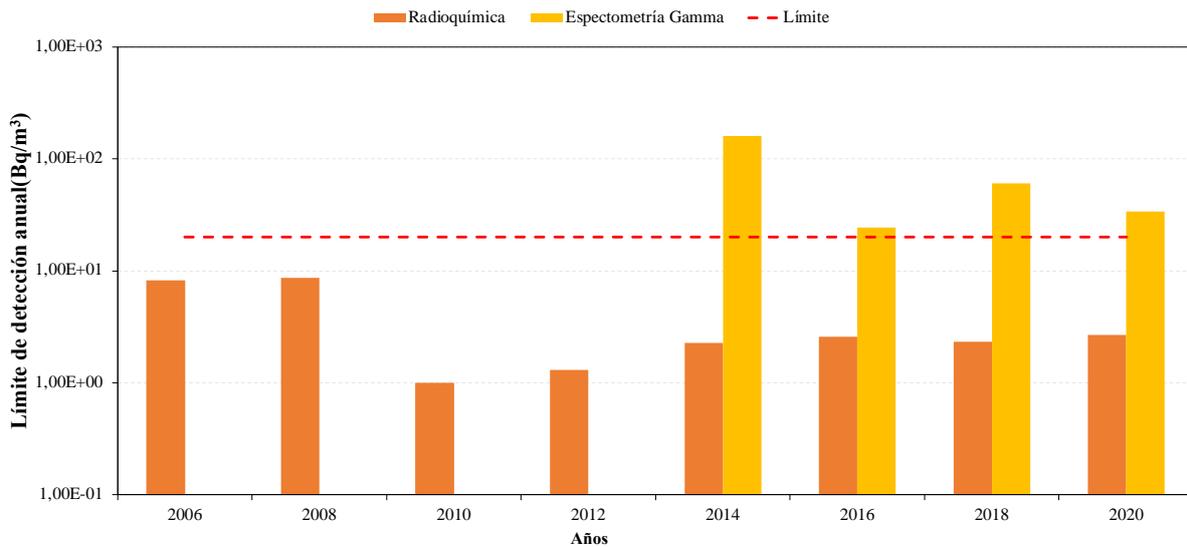
Gráfica 13. Evolución temporal del límite de detección del plomo-210 del agua potable en La Laguna. Fuente: Elaboración propia.



Por otra parte, cabe destacar las zonas de muestreo del CIEMAT en Madrid, ya que es curioso que en el muestreo a través de espectrometría gamma de este radionucleido se ha superado siempre el límite establecido mientras que en el realizado empleando la radioquímica no lo hace. Ciertamente, la técnica que emplea radioquímica hace que se emplee un tipo de detector que rebaja el límite de detección. Esto puede observarse claramente en la gráfica 14.

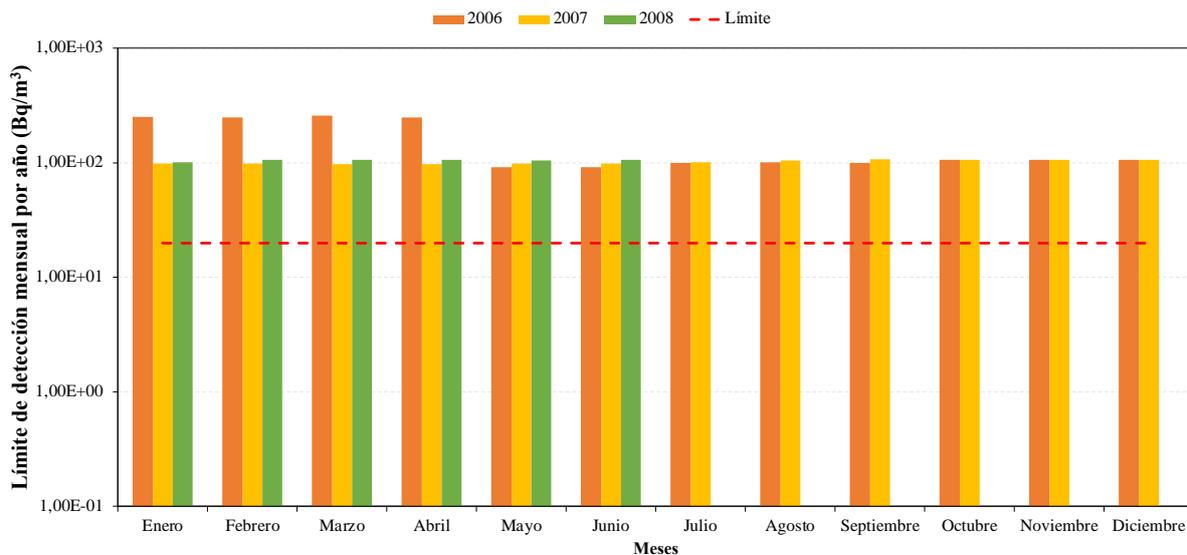
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 14. Evolución temporal del límite de detección del plomo-210 del agua potable en CIEMAT. Fuente: Elaboración propia.



En la siguiente gráfica 15 sobre los datos de Madrid cabe mencionar que además de incumplirse en todos los casos los límites de detección exigidos desde 2016, la forma de la gráfica tiene una clara correlación con la obtenida en el radio-226 (gráfica 25).

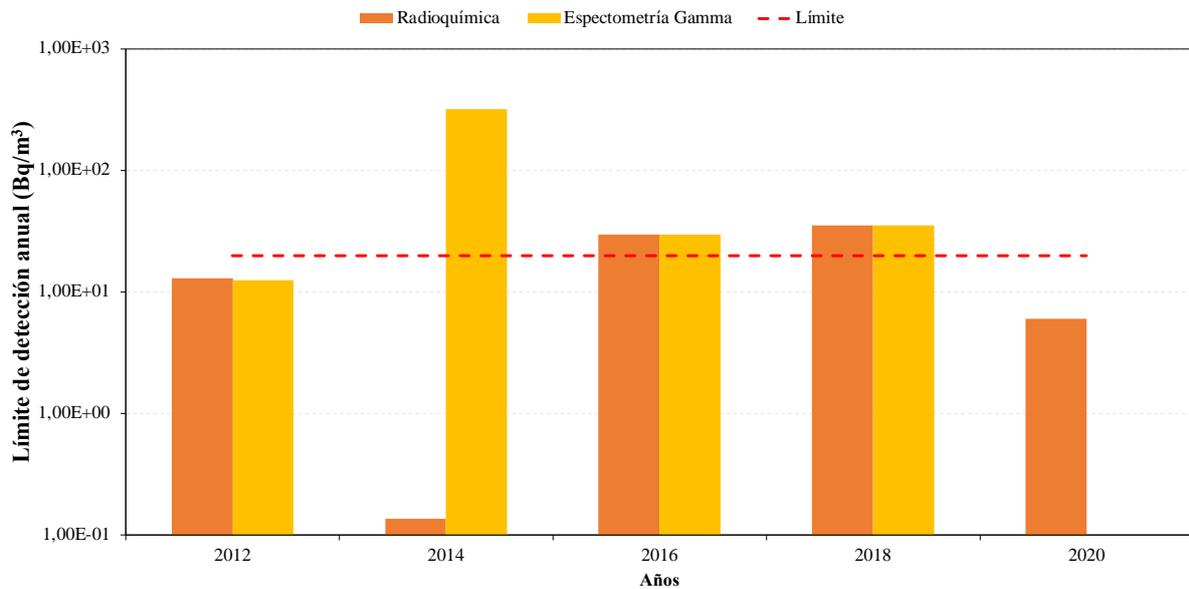
Gráfica 15. Evolución temporal del límite de detección del plomo-210 del agua potable en Madrid. Fuente: Elaboración propia.



En Cáceres, resalta la diferencia que existe en el año 2014, y los valores del 2016 y 2018 donde ambos valores coinciden independientemente del método utilizado para su medida y superan con el de 2014 el valor máximo exigido (véase la gráfica 16).

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 16. Evolución temporal del límite de detección del plomo-210 del agua potable en Cáceres. Fuente: Elaboración propia.

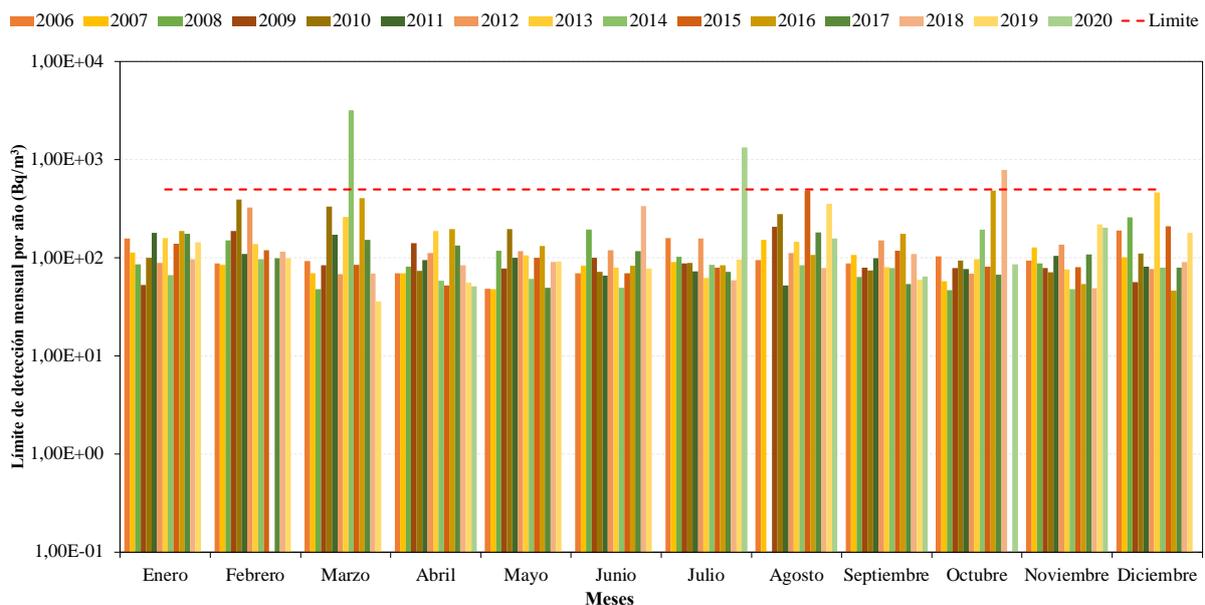


## 4.1.1.2.4. Iodo-131

Para el iodo-131 límite de detección de 500 Bq/m<sup>3</sup> es otro de los que se incumple en 7 zonas de muestreo. En la mayoría de ellas, se supera el límite establecido, pero luego este se corrige en los siguientes datos informados con el paso del tiempo. Sin embargo, en Granada esto es prácticamente lo contrario, ya que los valores se superan durante los años. Puede verse el detalle seguidamente.

Como se muestra, en la estación de muestreo de las islas Baleares extrañamente el límite exigido solo se supera en marzo del 2020, mientras que en el resto de meses y años estos valores se encuentra sobre los 100 Bq/m<sup>3</sup>.

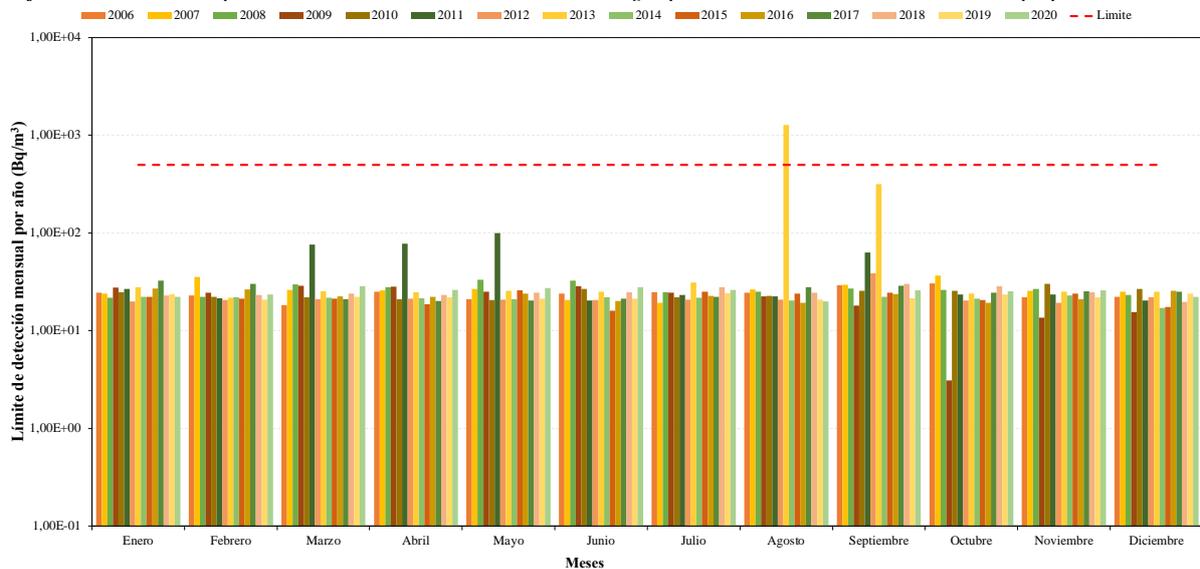
Gráfica 17. Evolución temporal del límite de detección del iodo-131 del agua potable en Islas Baleares. Fuente: Elaboración propia.



# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

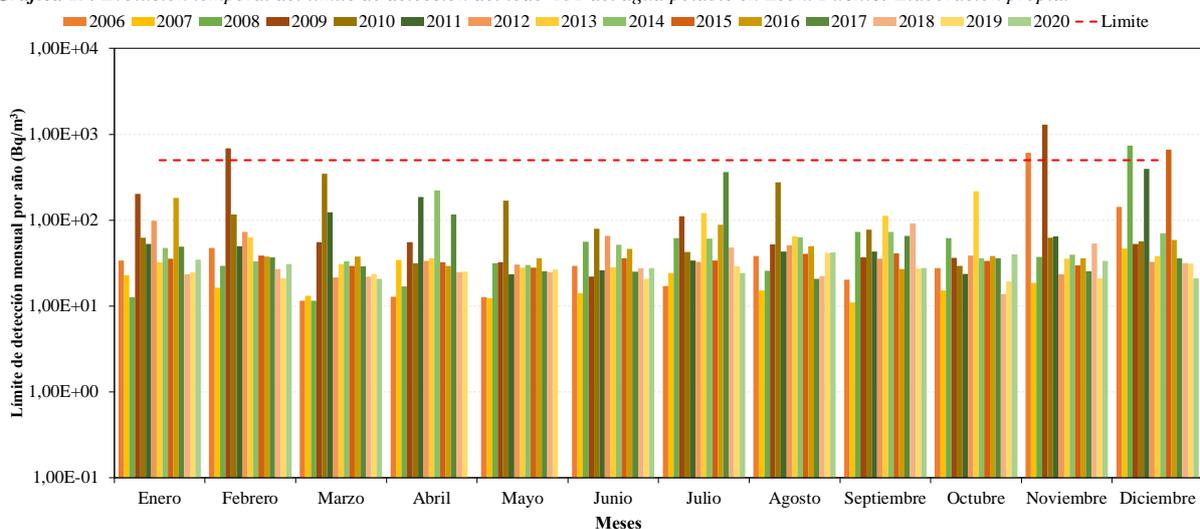
Al igual que en las Baleares, en Sevilla el límite solo se supera en el 2013, teniendo unos valores medios a 20 Bq/m<sup>3</sup> durante el resto de muestras.

Gráfica 18. Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.



Mientras, en León el límite se supera en los años 2006, 2008, 2009 y en 2015. No obstante, este incumplimiento solo ocurre de forma puntual.

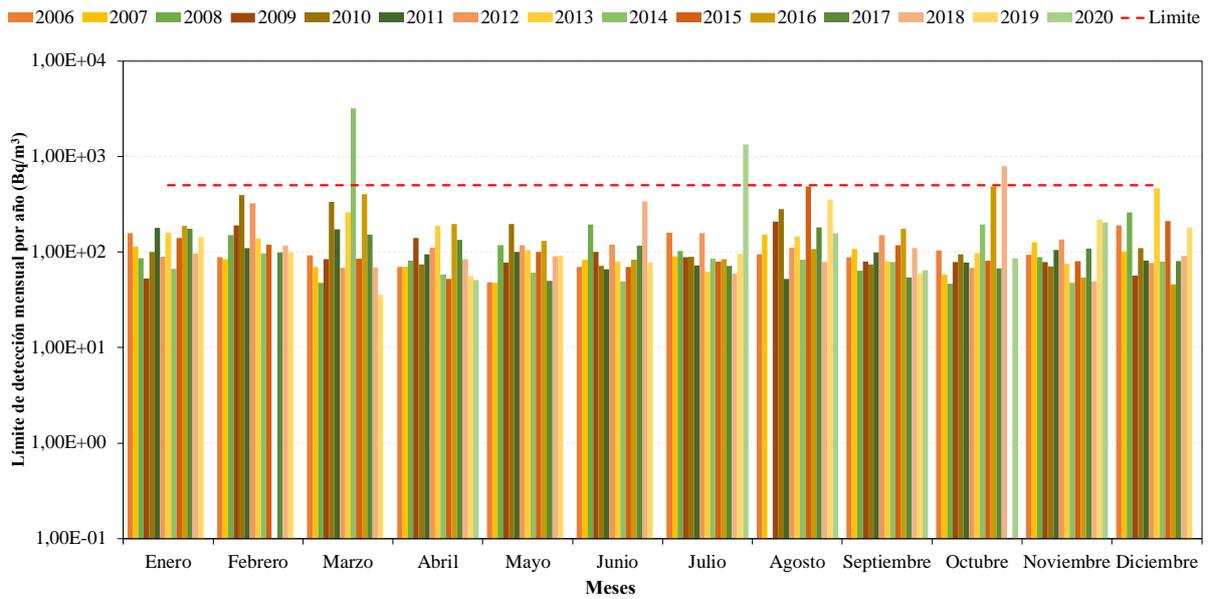
Gráfica 19. Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en León. Fuente: Elaboración propia.



En Valencia (Universidad Politécnica de Valencia), se distingue como los años donde se supera el límite coinciden con los últimos de los años 2018 e 2020, sin embargo, estos se incumplen de forma puntual, en octubre y en marzo y julio respectivamente.

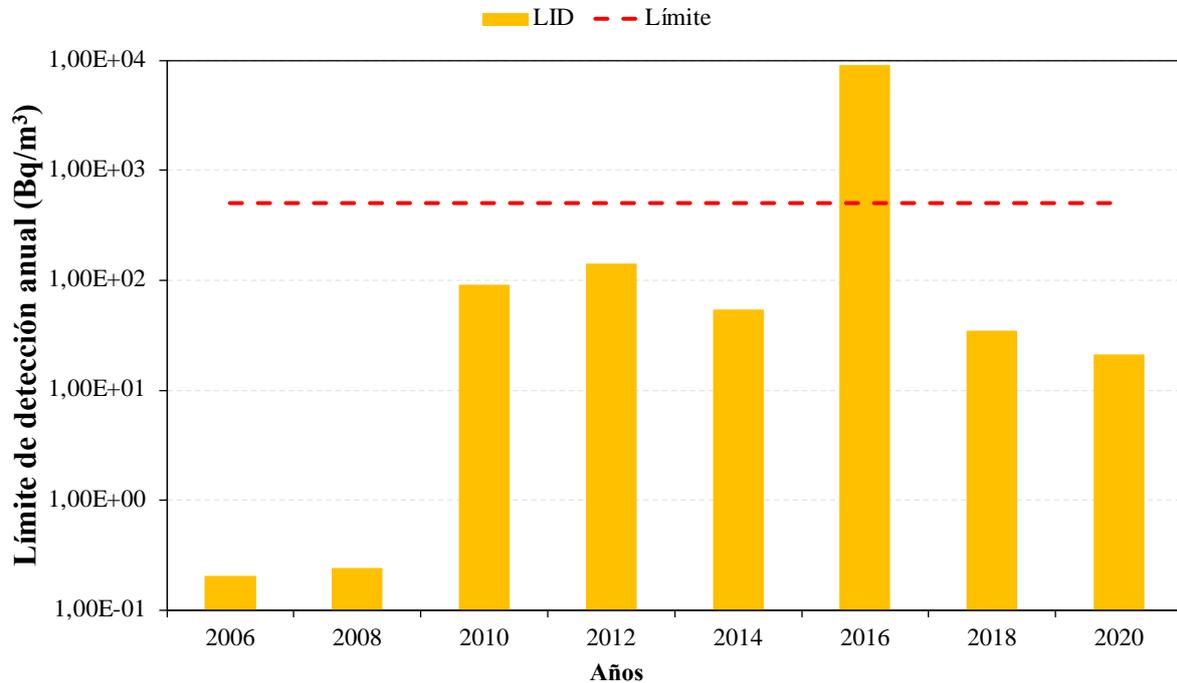
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 20. Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en Valencia. P. Fuente: Elaboración propia.



En el CIEMAT destaca la diferencia de valores que hay con el resto de zonas de muestreo. Esto se debe a que en la red de alta sensibilidad límite de detección el muestreo se lleva a cabo cada dos años. Este incumplimiento es justamente en el año de edición del R.D, por lo que realmente no se puede hablar propiamente de tal incumplimiento. Cabe mencionar que esto no se aplica a Sevilla, ya que los datos obtenidos sobre el Iodo-131 se han medido en la red densa.

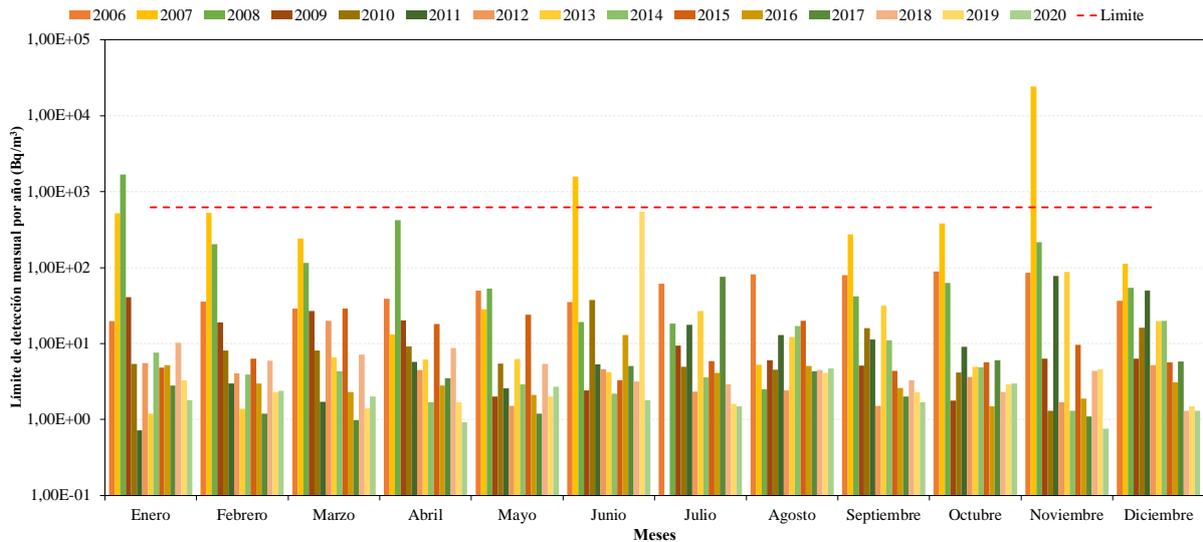
Gráfica 21. Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en CIEMAT. Fuente: Elaboración propia.



En Salamanca, el límite se supera en el año 2008 y en el 2013, aunque puntualmente. Asimismo, se ve como los valores van disminuyendo poco a poco durante los años posteriores, siendo muchos menores que el valor exigido.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 22. Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en Salamanca. Fuente: Elaboración propia.



Por último, se puede observar cómo Granada es la estación de muestreo donde más incumplimientos de límite de detección hay incluso en los años posteriores a 2016, destacando los meses de abril, mayo y junio, donde estos valores rara vez se superan.

Gráfica 23. Evolución temporal del límite de detección del yodo-131 del agua potable en Granada. Fuente: Elaboración propia.



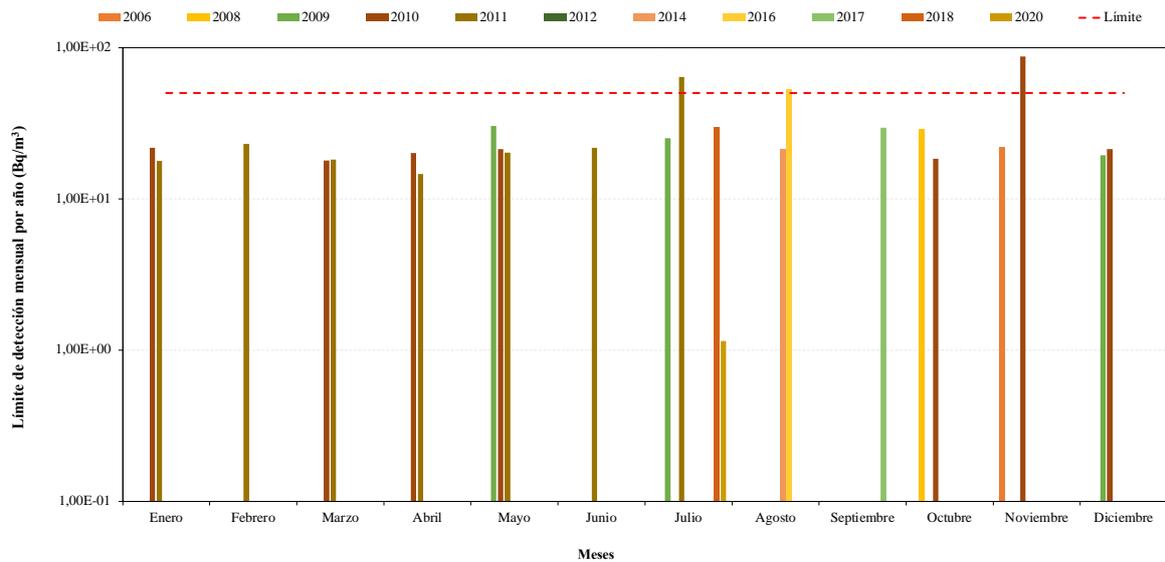
## 4.1.1.2.5. Radio-226

Analizando el incumplimiento del límite de detección de 40 Bq/m<sup>3</sup> en el radio-226, este es puntual tanto en las estaciones de muestreo de Madrid (Universidad Politécnica de Madrid) como en La Laguna.

En la laguna, como se puede ver solo supera el límite de forma puntual en los años 2010, 2011 y 2016.

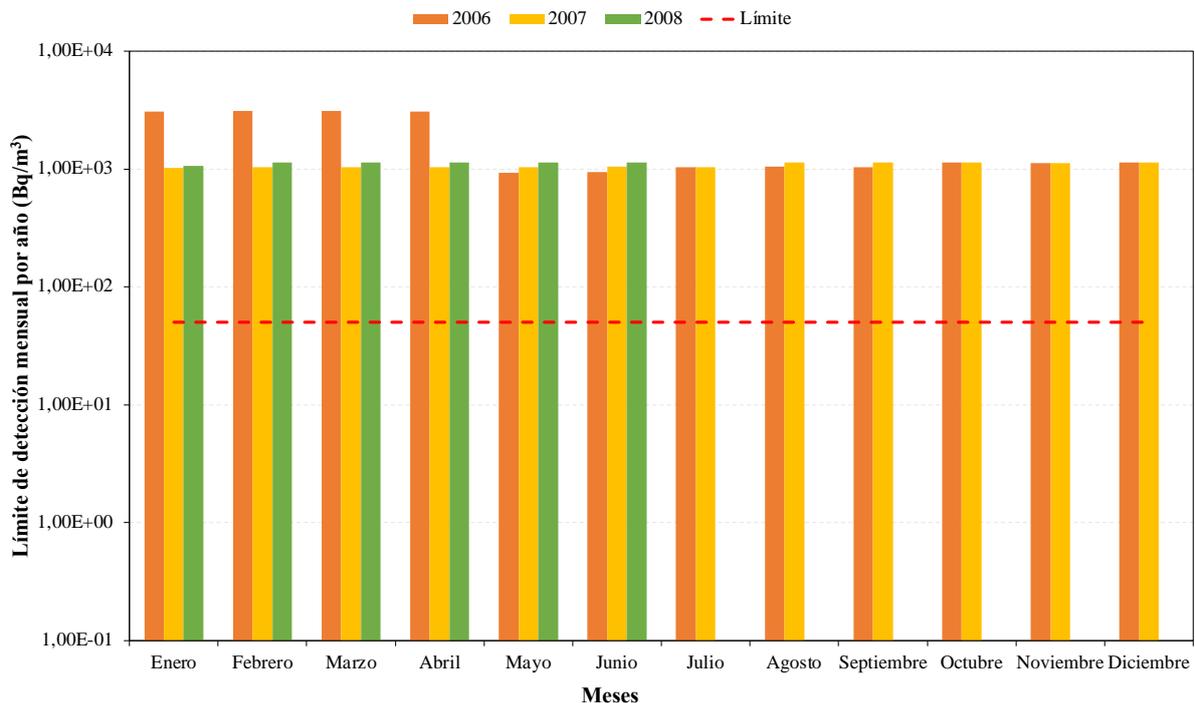
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 24. Evolución temporal del límite de detección del radio-226 del agua potable en La Laguna. Fuente: Elaboración propia.



Mientras en Madrid, se observa como el incumplimiento ha ocurrido en todos los años. Esto ha podido ser uno de los motivos por lo que no se han realizado más muestreo de radio-226 en la estación.

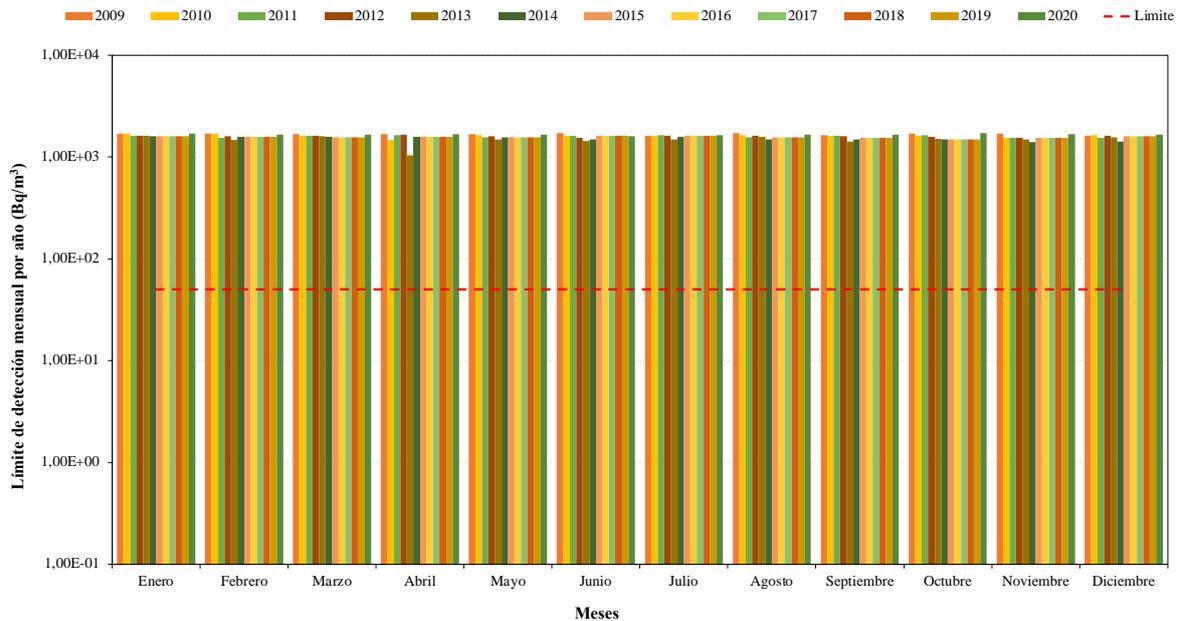
Gráfica 25. Evolución temporal del límite de detección del radio-226 del agua potable en Madrid. Fuente: Elaboración propia.



Por otro lado, destaca la estación de muestreo de Oviedo donde todos sus valores de límites de detección son prácticamente estables, pero que a su vez todos superan el límite establecido, incluso después del año 2016.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 26. Evolución temporal del límite de detección del radio-226 del agua potable en la estación de muestreo de Oviedo. Fuente: Elaboración propia.



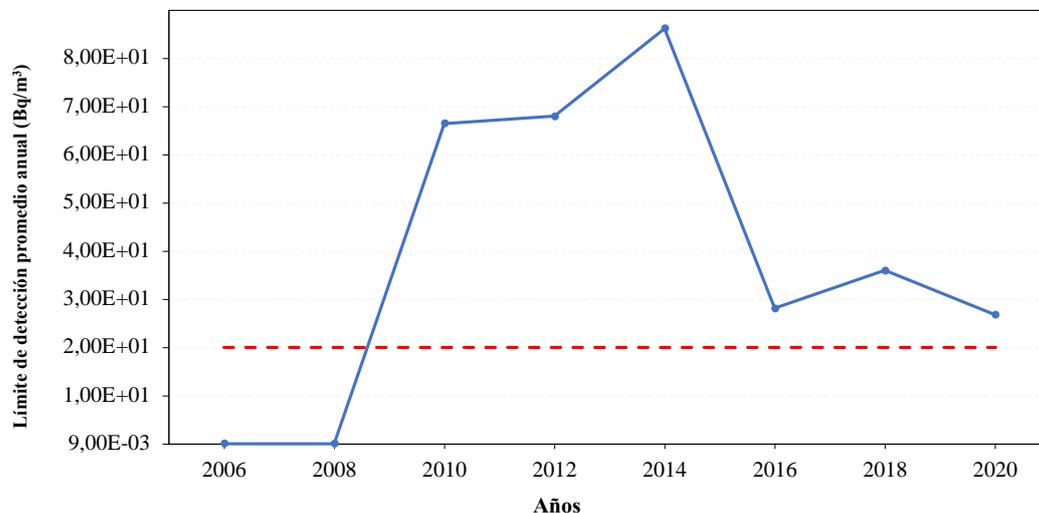
## 4.1.1.2.6. Radio-228

También, se encuentran valores que superan el límite de detección de 20 Bq/m<sup>3</sup> del Radio-228. A diferencia del resto de isótopos expuestos, los valores del radio se miden cada dos años, por lo que puede dificultar el análisis.

Como se puede observar, en las cuatro zonas de muestreo en cuyo lugar se supera el límite, éste tiende a la baja en los últimos años, coherente con la exigencia establecida en 2016 con la publicación del R.D., a excepción de Cáceres que, sin embargo, tiende al alza.

En lo referente a la estación de muestreo del CIEMAT en Madrid se puede ver cómo el cambio entre el año 2008 y 2010 es notable, ya que pasa de los 0,09 Bq/m<sup>3</sup> a uno 70 Bq/m<sup>3</sup>, y este sigue al alza hasta el año 2016 donde aparentemente se estabiliza, pero no llega a ser inferior al valor máximo que se exige a partir de ese año.

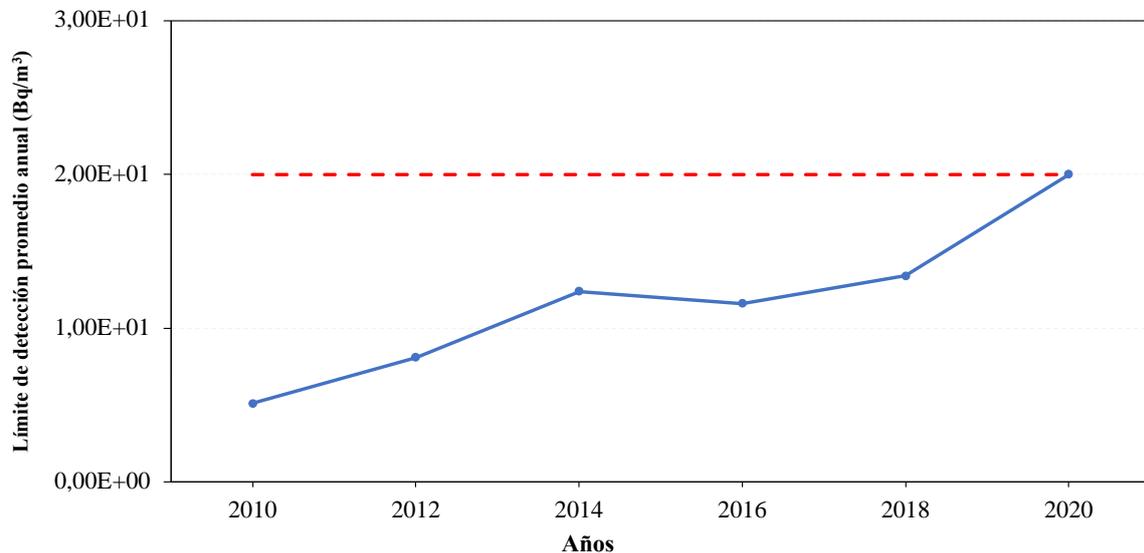
Gráfica 27. Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en CIEMAT. Fuente: Elaboración propia.



## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

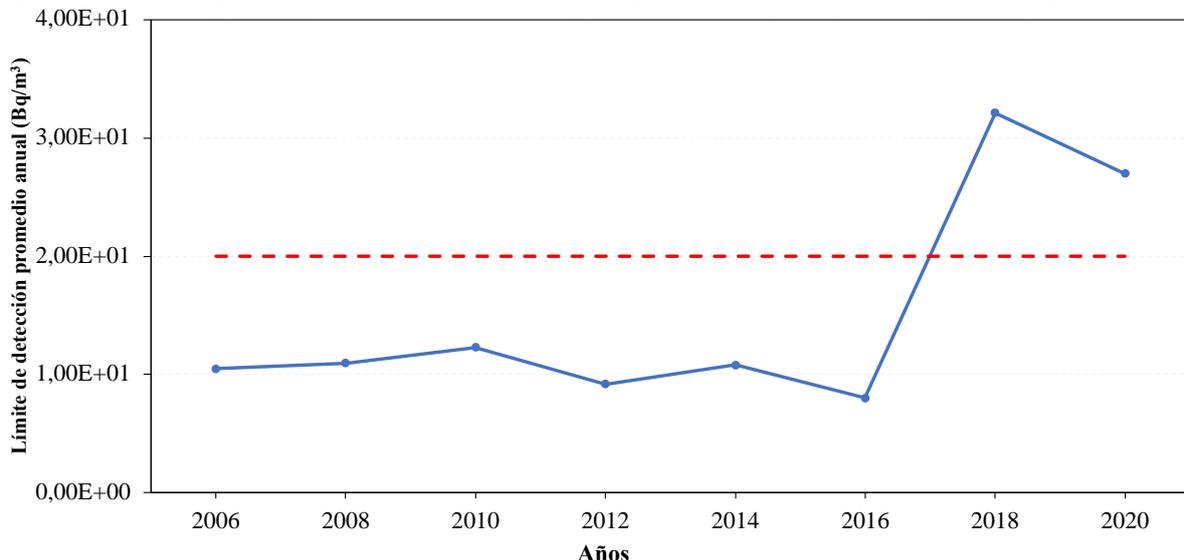
Analizando, la evolución en la estación de muestreo de Cáceres, llama la atención como el valor del límite de detección va aumentando logrando alcanzar el último año, el 2020, un valor de 20 Bq/m<sup>3</sup> justo el valor límite e indicando así que el valor tiende al alza. Tal situación puede verse en la gráfica 28.

Gráfica 28. Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en Cáceres. Fuente: Elaboración propia.



Asimismo, en la estación de muestreo de Bilbao el incumplimiento del límite de detección ocurre en los dos últimos años de medida, en 2018 y 2020, lo cual es un poco extraño, ya que los valores del límite de detección han rondado siempre los valores de 10 Bq/m<sup>3</sup> y se superan precisamente después de ser valores exigidos por la legislación.

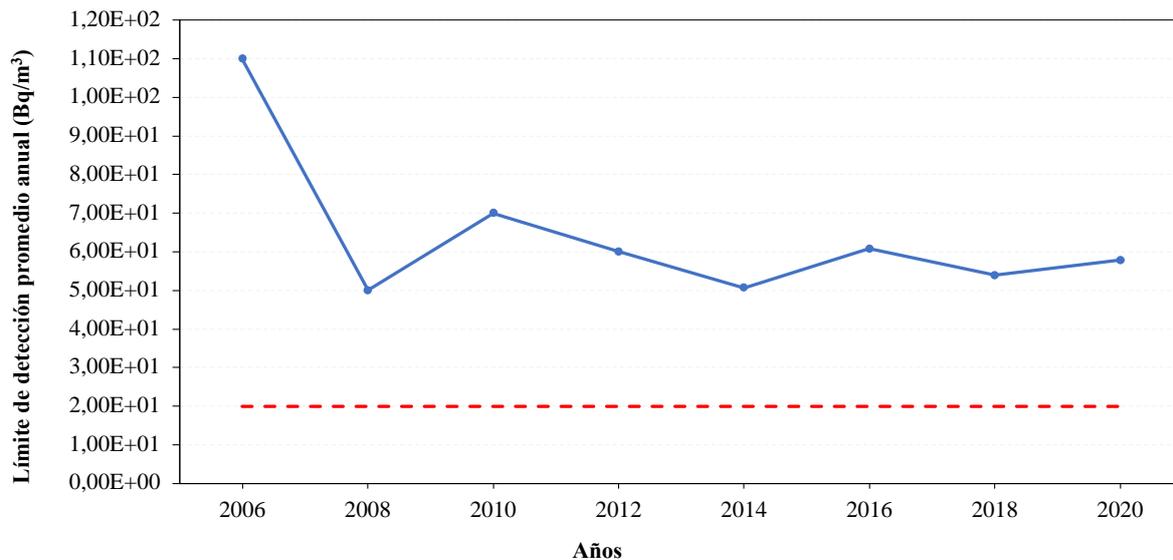
Gráfica 29. Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en Bilbao. Fuente: Elaboración propia.



Por otro lado, en la estación de muestreo de Barcelona no ocurre lo mismo que las zonas anteriores. En esta casuística, los valores siempre han estado por encima del límite establecido, aunque se puede ver como cada vez se va estableciendo y disminuyendo su valor.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 30. Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en Barcelona. Fuente: Elaboración propia.



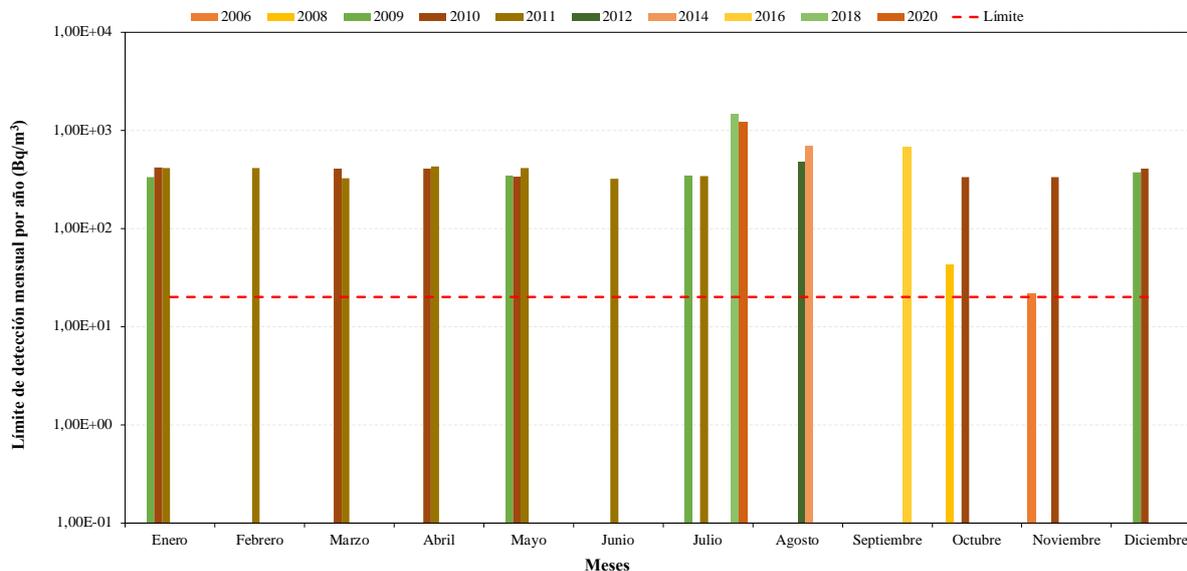
Por último, cabe destacar que tanto la estación de muestreo de Sevilla como la zona de muestreo de La Laguna las muestras no se miden cada dos años. En el primer caso, se ve en la tabla 8. como las muestras obtenidas se miden en el año 2007 y 2008 obteniendo unos valores de 141 y 122 Bq/m<sup>3</sup>, valores muy superiores al límite indicado, pero hay que tener en cuenta que entonces no eran valores exigidos.

Tabla 8. Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.

Zona de vigilancia	Iso	Actividad	Error	Límite de detección	Unidad	Fecha inicio	Fecha fin	Análisis
Sevilla	Ra228			1,41E+02	Bq/m <sup>3</sup>	2/2/07	2/2/07	Radioquímica
Sevilla	Ra228			1,22E+02	Bq/m <sup>3</sup>	4/6/08	4/6/08	Radioquímica

Mientras que en la grafica x., los valores obtenidos son en distintos meses y años consecutivos, superando los valores distintivamente.

Gráfica 31. Evolución temporal del límite de detección del radio-228 del agua potable en La Laguna. Fuente: Elaboración propia.



## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Como se ha nombrado anteriormente, el radio se mide cada dos años. No obstante, en la universidad de La Laguna existe una anomalía ya que se realizan distintas medidas durante varios años seguidos. Sin embargo, analizando los valores de los años pares, los cuales son los de obligado cumplimiento se superan en todos ellos.

### 4.1.2. Evolución temporal en España

Como se ha explicado en el apartado de la Metodología, para realizar el análisis de la evolución temporal de los radionucleidos en España se han seleccionado aquellos más relevantes para el estudio, así como las zonas de muestreo.

#### 4.1.2.1. Análisis temporal estadístico

##### 4.1.2.1.1. Índice de actividad alfa total

En este apartado solamente se ha tenido en cuenta las zonas de muestreo de la red de alta sensibilidad, ya que son aquellos que cuentan con un número mayor de actividad registrada. Observando la Tabla 9, para la actividad del índice de actividad alfa total los valores máximos se hallan en Sevilla y en La Laguna y los mínimos corresponden a la estación de muestreo del CIEMAT. En el caso del promedio, sucede lo misma tendencia.

Tabla 9. Resultados del análisis de los datos para el índice de actividad alfa total. Fuente: Elaboración propia.

Zona de muestreo	Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	Desviación típica (Bq/m <sup>3</sup> )	Nº de análisis	Límite de detección	nº análisis > Límite de detección /nº de análisis
CIEMAT	2,220E+01	1,434E+00	4,802E+00	3,317E+00	159	179	159/179
Sevilla	2,036E+02	2,879E+00	6,026E+01	5,844E+01	24	179	24/179
Bilbao	1,801E+01	2,506E+00	6,056E+00	2,906E+00	89	178	89/178
Cáceres	2,930E+01	4,530E+00	1,093E+01	5,763E+00	23	180	23/180
La Laguna	2,491E+02	1,559E+00	7,860E+01	4,917E+01	180	180	180/180
Barcelona	7,200E+01	7,000E+00	2,942E+01	1,498E+01	176	180	176/180

##### 4.1.2.1.2. Índice de actividad beta total

Como se muestra en la Tabla 10, para la actividad del índice de actividad beta total los valores máximos se hallan en Barcelona y en La Laguna y los mínimos corresponden a la estación de muestreo de Bilbao. Idéntica conclusión se observa en los valores promedio. En cuanto al más bajo de los valores se observa en la estación del CIEMAT.

Tabla 10. Resultados del análisis de los datos para el índice de actividad beta total. Fuente: Elaboración propia.

Zona de muestreo	Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	Desviación típica (Bq/m <sup>3</sup> )	Nº de análisis	Límite de detección n	nº análisis > Límite de detección /nº de análisis
CIEMAT	2,430E+02	1,511E+01	4,382E+01	2,569E+01	179	179	179/179
Sevilla	8,927E+02	5,087E+01	2,002E+02	1,393E+02	145	179	145/179
Bilbao	9,635E+01	2,020E+01	3,594E+01	9,649E+00	177	178	177/178
Cáceres	2,069E+02	6,500E+01	1,108E+02	3,094E+01	180	180	180/180
La Laguna	1,021E+03	2,639E+02	5,648E+02	1,887E+02	180	180	180/180
Barcelona	1,170E+03	8,200E+01	3,845E+02	2,542E+02	180	180	180/180

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

### 4.1.2.1.3. Índice de actividad beta resto

En la Tabla 11. se observa como el valor puntual máximo del índice de actividad beta resto se sitúa en Sevilla, siendo este considerablemente más elevado que el resto. Mientras, los valores mínimos de actividad se han encontrado en Bilbao, Cáceres y Barcelona. En el caso de los promedios, las conclusiones son las mismas.

Tabla 11. Resultados del análisis de los datos para el índice de actividad beta resto. Fuente: Elaboración propia.

Zona de muestreo	Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	Desviación típica (Bq/m <sup>3</sup> )	Nº de análisis	Límite de detección	nº análisis > límite de detección /nº de análisis
CIEMAT	2,158E+02	9,234E+00	2,958E+01	3,646E+01	59	179	59/179
Sevilla	8,875E+02	3,667E+01	1,987E+02	1,483E+02	110	179	110/179
Bilbao	6,365E+01	5,627E+00	1,587E+01	8,275E+00	153	178	153/178
Cáceres	6,180E+01	8,000E+00	2,366E+01	9,637E+00	124	150	124/150
La Laguna	4,928E+02	4,882E+01	1,584E+02	1,007E+02	75	180	75/180
Barcelona	6,500E+01	1,100E+01	3,113E+01	1,723E+01	8	180	8/180

### 4.1.2.1.4. Estroncio-90

En la Tabla 12, se muestran los valores para el Sr-90, donde destaca la gran diferencia entre los valores máximos y mínimos de las muestras. Como se observa, la diferencia entre los valores promedio de La Laguna y Cáceres, existe dos órdenes de magnitud de diferencia. No obstante, se puede ver como la diferencia viene dada por la difiere.

Tabla 12. Resultados del análisis de los datos para la actividad del Sr-90. Fuente: Elaboración propia.

Zona de muestreo	Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	Desviación típica (Bq/m <sup>3</sup> )	Nº de análisis	Límite de detección	nº análisis > límite de detección /nº de análisis
CIEMAT	8,139E+00	5,415E-01	2,428E+00	1,595E+00	177	179	177/179
Sevilla	1,917E+01	4,390E-01	3,450E+00	2,328E+00	178	180	178/180
Bilbao	7,410E+00	2,138E+00	3,691E+00	8,036E-01	177	178	177/178
Cáceres	9,727E+00	2,520E+00	5,750E+00	1,241E+00	160	160	160/160
La Laguna	4,362E+01	2,456E+00	1,004E+01	9,365E+00	68	180	68/180
Barcelona	5,730E+00	1,640E+00	3,211E+00	9,281E-01	175	180	175/180

### 4.1.2.1.5. Cesio-137

Como se puede ver en la Tabla 13, La Laguna destaca en el análisis del Cs-137, ya que no existen muestras de este radionucleido. Además, se puede distinguir la peculiaridad de Barcelona, puesto que en esta zona solo se obtiene un único valor de concentración en todo el periodo analizado. Por otro lado, observando las otras zonas de muestreo los valores promedios son similares en la zona norte (Bilbao y el CIEMAT) y en la zona sur (Cáceres y Sevilla). Los valores obtenidos son valores ligeramente por encima del límite de detección y con incertidumbres altas, por lo que no son valores significativos., aun así, se ha decidido estudiar su evolución y su tendencia.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Tabla 13. Resultados del análisis de los datos para el Cs-137. Fuente: Elaboración propia.

Zona de muestreo	Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	Desviación típica (Bq/m <sup>3</sup> )	Nº de análisis	Límite de detección	nº análisis > límite de detección /nº de análisis
CIEMAT	3,821E-02	1,010E-02	1,966E-02	7,225E-03	38	179	38/179
Sevilla	1,295E+00	7,600E-02	2,879E-01	3,223E-01	14	79	14/79
Bilbao	2,484E-02	1,168E-02	1,908E-02	5,124E-03	10	178	10/178
Cáceres	2,240E-01	2,600E-02	1,173E-01	6,003E-02	8	186	8/186
La Laguna	-	-	-	-	-	-	-
Barcelona	2,800E-02	2,800E-02	2,800E-02	-	1	180	1/180

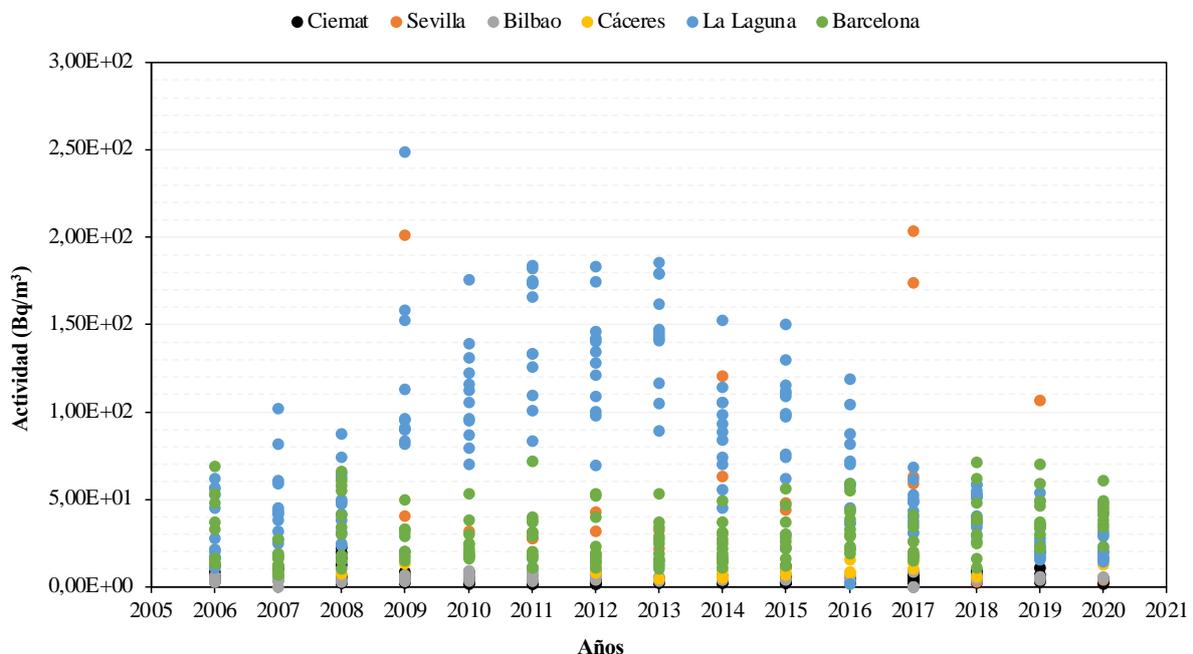
## 4.1.2.2. Evolución temporal

### 4.1.2.2.1. Índice de actividad de alfa total

En la gráfica 32 se muestra la evolución temporal índice de actividad alfa. Como se puede ver, en La Laguna y en Sevilla es donde se presenta una mayor concentración.

Se puede ver que en los primeros años había valores altos en la estación de Barcelona que luego han ido bajando mientras que en La laguna los valores suben y se concentran los valores máximos entre los años 2011 a 2015, disminuyendo después paulatinamente. Se aprecia claramente como la estación de Bilbao tiene siempre los valores más bajos. No puede concluirse que estos valores estén ni disminuyendo ni incrementándose con el tiempo, parecen sufrir oscilaciones estadísticas.

Gráfica 32. Actividad detectada del índice alfa total desde 2006 hasta 2020. Fuente: Elaboración propia.



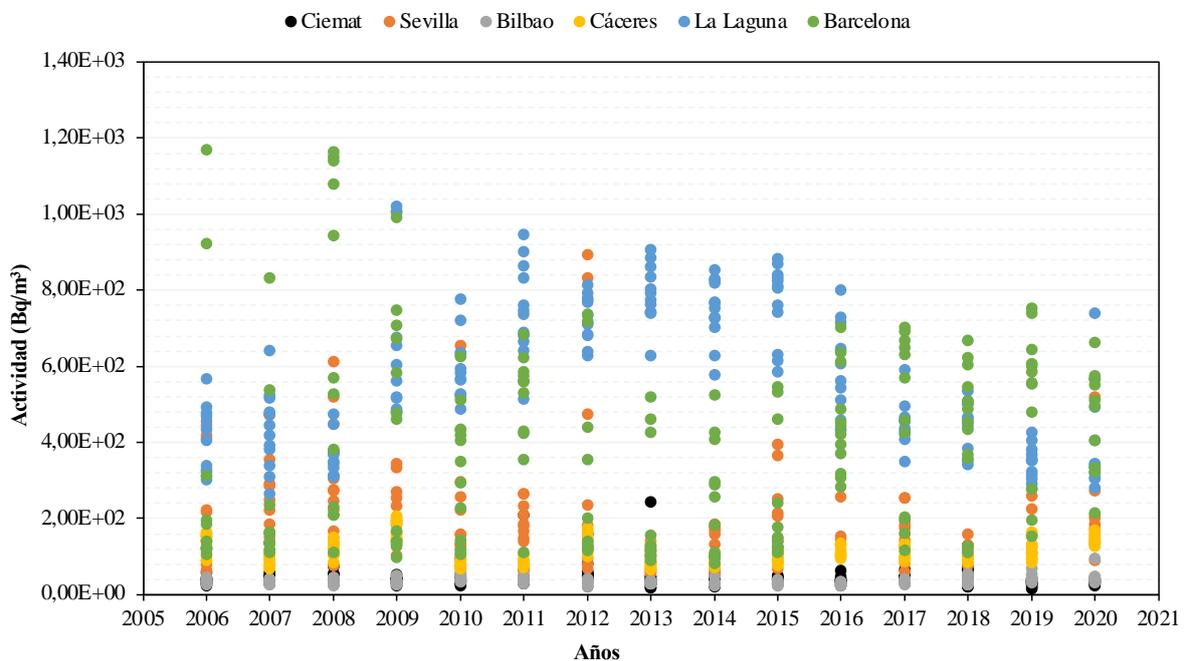
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

## 4.1.2.2.2. Índice de actividad de beta total

En la gráfica 33 se muestra la evolución temporal índice de actividad beta total detectado por la red de alta sensibilidad en el agua. Éste es el más abundante de todas de las muestras analizadas, ya que representa la suma de todos los radionucleidos de emisores beta. Como se puede observar, en La Laguna y en Barcelona es donde se presenta una mayor concentración.

Se puede ver que en los primeros años había valores altos en la estación de Barcelona que luego han ido bajando mientras que en La laguna los valores suben y se concentran los valores máximos entre los años 2011 a 2015, disminuyendo después paulatinamente. Se aprecia claramente como la estación de Bilbao tiene siempre los valores más bajos. No puede concluirse que estos valores estén ni disminuyendo ni incrementándose con el tiempo, parecen sufrir oscilaciones estadísticas.

Gráfica 33. Actividad detectada del índice beta total desde 2006 hasta 2020. Fuente: Elaboración propia.



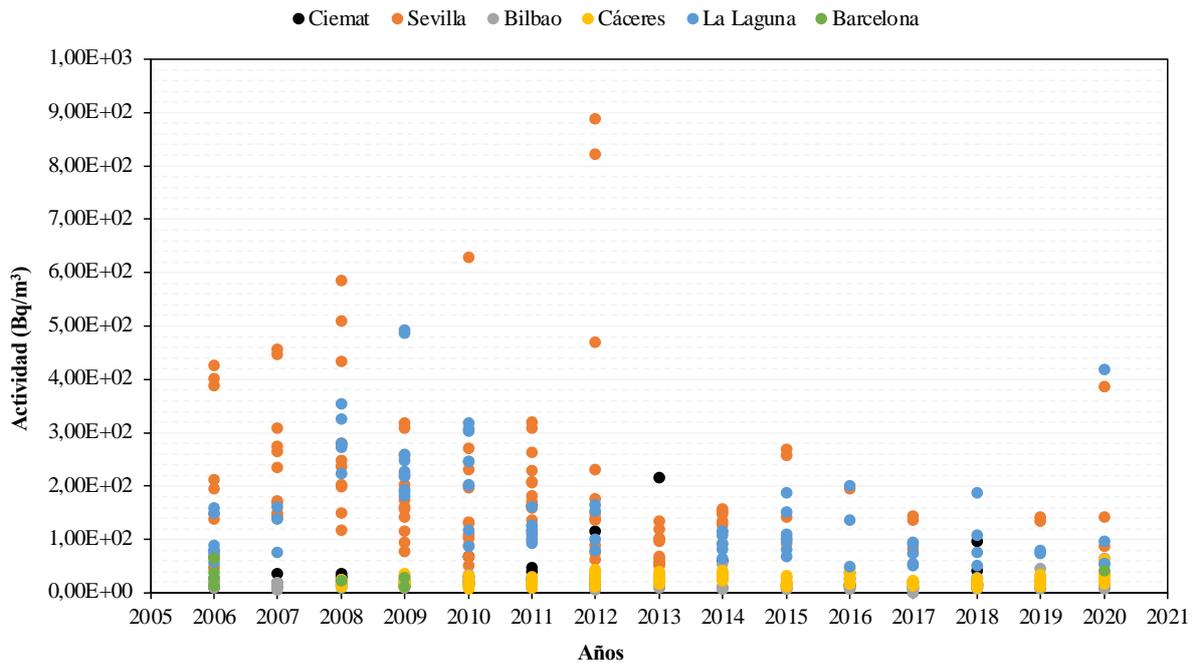
## 4.1.2.2.3. Índice de actividad de beta resto

Por otro lado, en la siguiente imagen se muestran el índice de actividad beta resto, que aporta la información del contenido de emisores beta sin incluir el K-40. Como se muestra en la gráfica 34., el aporte de K-40 es muy elevado ya que la diferencia entre la gráfica 33 y la actual es considerable. Además, cabe destacar la evolución en la zona de Sevilla ya que se puede ver como el valor va en aumento hasta el año 2012 que sufre una bajada, hasta equilibrarse.

Igualmente, puede observarse que los valores más bajos corresponden a las estaciones de Bilbao y Cáceres. En este caso, sí que parece haber una tendencia a la baja del índice de actividad beta resto con el tiempo, más allá de oscilaciones estadísticas.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

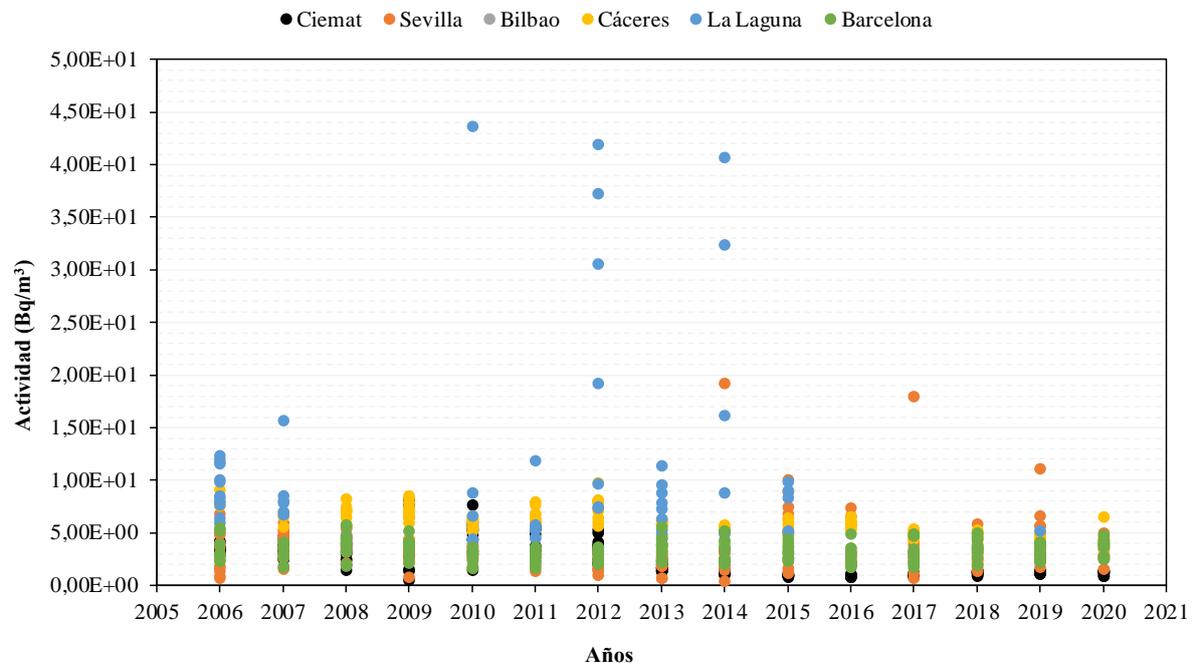
Gráfica 34. Actividad detectada del índice beta resto desde 2006 hasta 2020. Fuente: Elaboración propia.



## 4.1.2.2.4. Estroncio-90

La gráfica 35 muestra la evolución temporal para el contenido de Sr-90 en el agua potable analizada. Este es uno de los radioisótopos con valores de concentraciones de actividad más elevados de los dos analizados. Los valores máximos puntuales de actividad se ven reflejados en la zona de La Laguna en los años 2012, 2014 y 2019, pero en general muestran actividades similares al resto.

Gráfica 35. Actividad detectada de Sr-90 desde 2006 hasta 2020. Fuente: Elaboración propia.

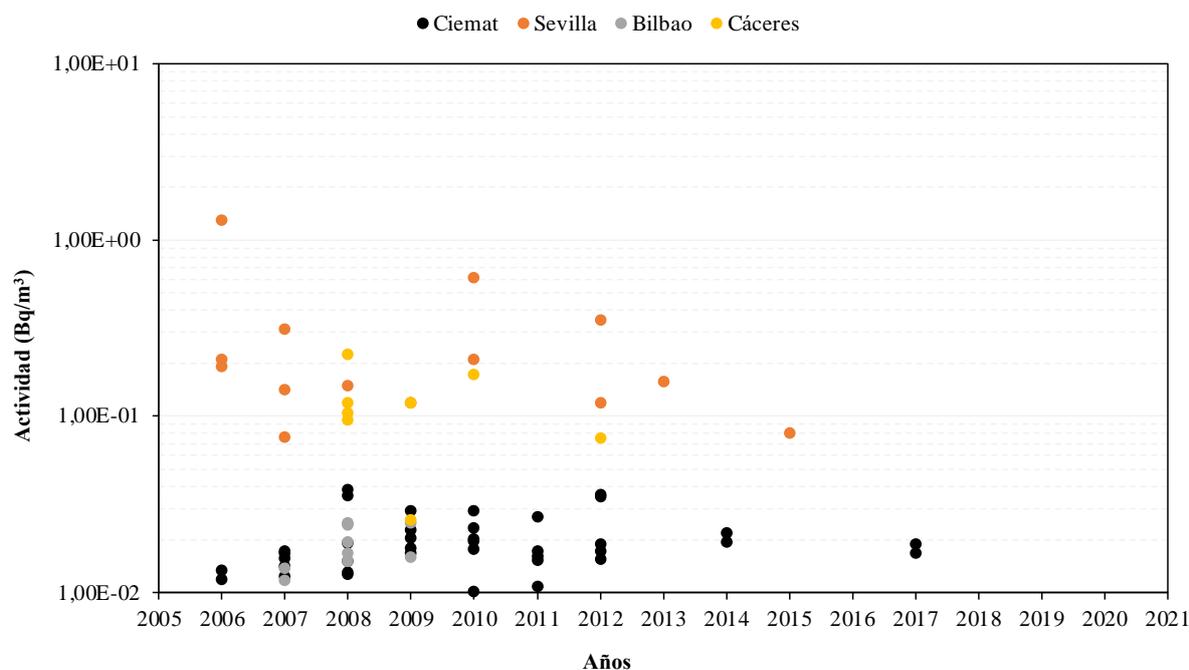


# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

## 4.1.2.2.5. Cesio-137

Por último, se puede ver en la gráfica 36, la evolución puntual del Cs-137. Como se puede observar no se tienen prácticamente valores de actividad de este radioisótopo, destacando la falta de datos a partir del año 2017. Realmente no es que no se informe de este radionucleido desde entonces si no que su valor está por debajo del límite de detección de cada una de las estaciones de muestreo.

Gráfica 36. Actividad detectada de Cs-137 desde 2006 hasta 2020. Fuente: Elaboración propia.



## 4.1.2.3. Análisis de la ley de desintegración radiactiva

Como se puede observar en la gráfica 35 y la gráfica 36, los valores las concentraciones de actividad del Sr-90 y del Cs-137 tienden a la baja ya que su periodo de desintegración es relativamente corto siendo de 28,8 años y 30,05 años respectivamente y claramente no ha habido aportes significativos de Fukushima o del funcionamiento de las centrales nucleares. Al tender los valores a la baja queda claro que su origen es del fallout y que el impacto de este va disminuyendo con el tiempo.

Tal y como se ha explicado en la Metodología, en este apartado se ha analizado si la evolución de estos dos radioisótopos se corresponde con su periodo de desintegración radiactiva teórico. Por ello, se han analizado ambos radionucleidos individualmente según su zona de muestreo.

### 4.1.2.3.1. Estroncio-90

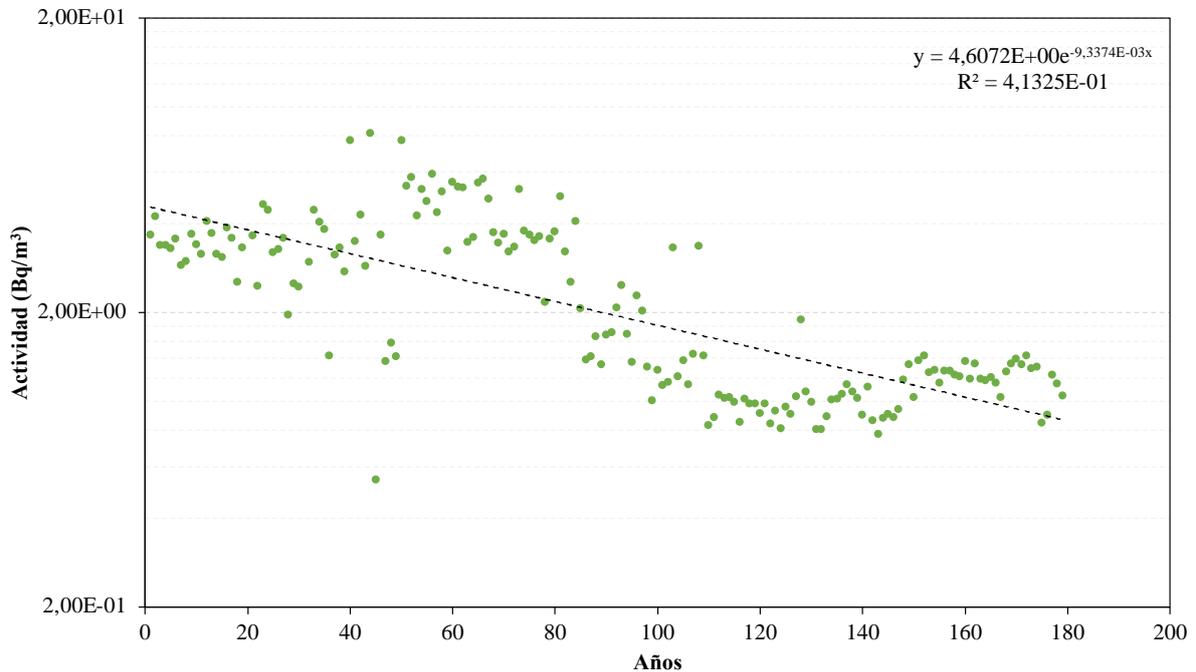
En la gráfica 37, se puede ver la línea de tendencia es a la baja ya que los valores del Sr-90 van disminuyendo. No obstante, la representación no se ajusta a una disminución lineal, ya que parece una onda.

Por ello, se ha procedido a ajustar los valores a una ecuación exponencial negativa y si observamos al resultado de la ecuación (5), se puede ver como el periodo aparente es de 74,23

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

años un valor bastante alejado del valor teórico de 28,8 años. Pero podemos analizar con detalle lo que ocurre en las distintas estaciones de muestreo para ver por qué sale este resultado.

Gráfica 37. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en el CIEMAT. Fuente: Elaboración propia.



A continuación, se muestra el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Sr-90:

$$y = x \cdot e^{-bx} \sim e^{-\lambda x} \rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

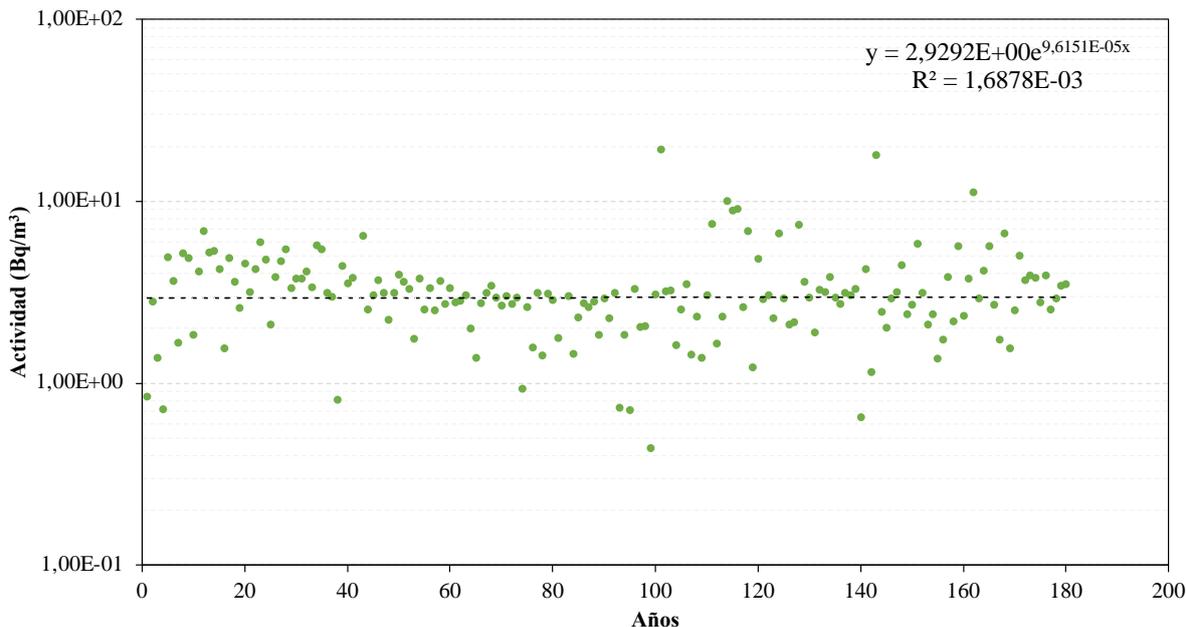
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{9,3374 E-03} = 74,23 \text{ años} \quad (5)$$

En la gráfica 38, se muestra la zona de Sevilla que a diferencia de la gráfica anterior los valores aumentan en vez de disminuir, es por ello que el valor del periodo calculado es de 7208,94 años. Hay que mencionar que como se puede observar en la gráfica 38 el ajuste a la ecuación exponencial es realmente muy malo, con lo que no tiene mucho sentido el valor obtenido.

Además, se puede observar cómo los valores puntuales son bastante más elevados hacia el año 2015, esta anomalía puede venir dada por un error en la medida, en la toma de datos o en el tipo de instrumentación utilizado para analizar la muestra.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 38. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.

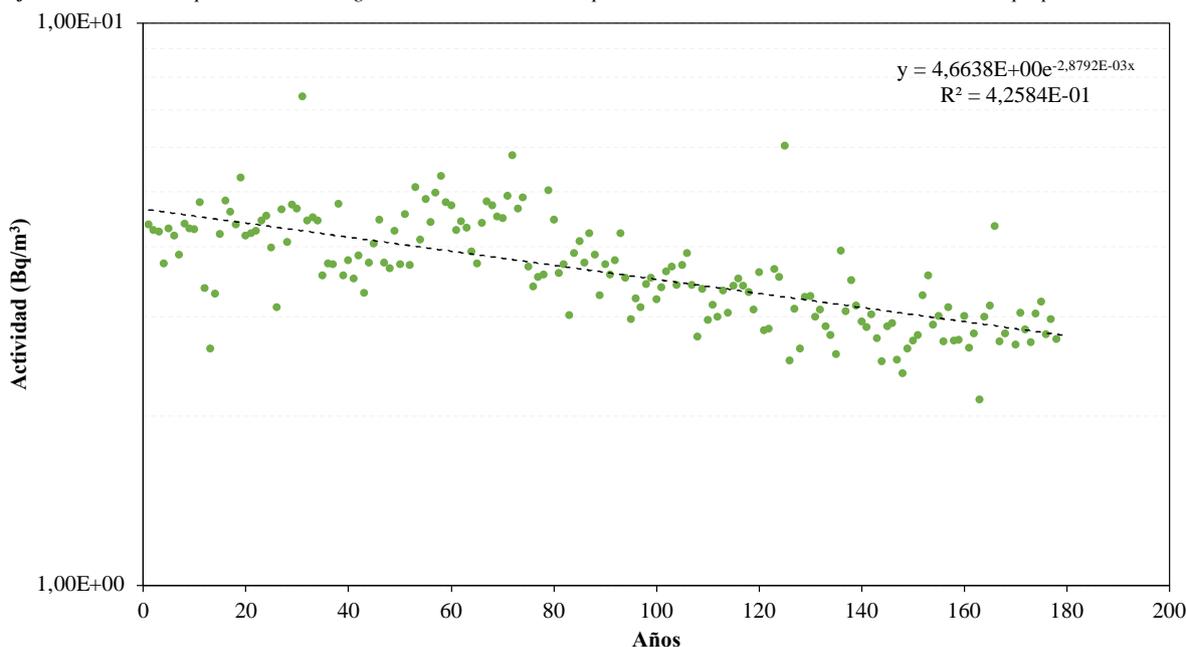


A continuación, se muestra el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Sr-90:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{9,6151E-05} = 7208,94 \text{ años}$$

Por otro lado, en la zona de muestreo de Bilbao se puede ver cómo con el tiempo va disminuyendo los valores de Sr-90 obteniendo un periodo de 240,74 años. Comparándolo con el valor real, se puede observar cómo difieren, sin embargo, el valor del ajuste es muy malo ya que el  $R^2$  es de 0,425.

Gráfica 39. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Bilbao. Fuente: Elaboración propia.



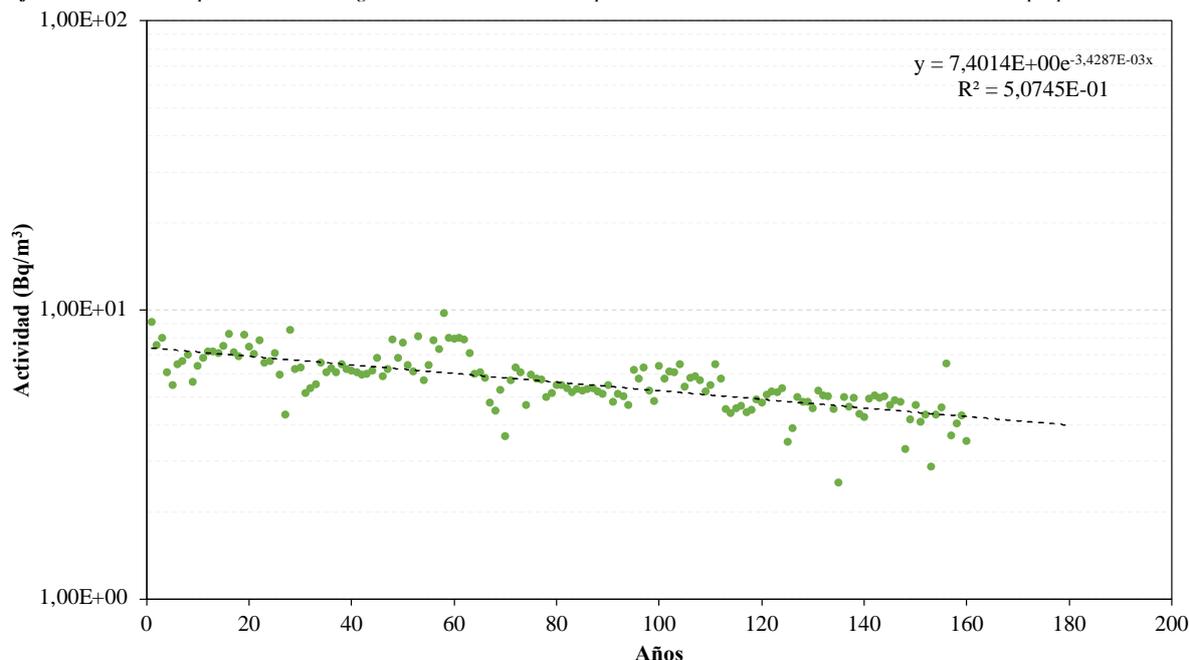
## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Sr-90:

$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{2,8792 E - 03} = 240,74 \text{ años}$$

Al igual que en caso anterior, en Cáceres la concentración del Sr-90 disminuye. No obstante, el periodo aparente es de 202,16 años.

Gráfica 40. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Cáceres. Fuente: Elaboración propia.



A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Sr-90:

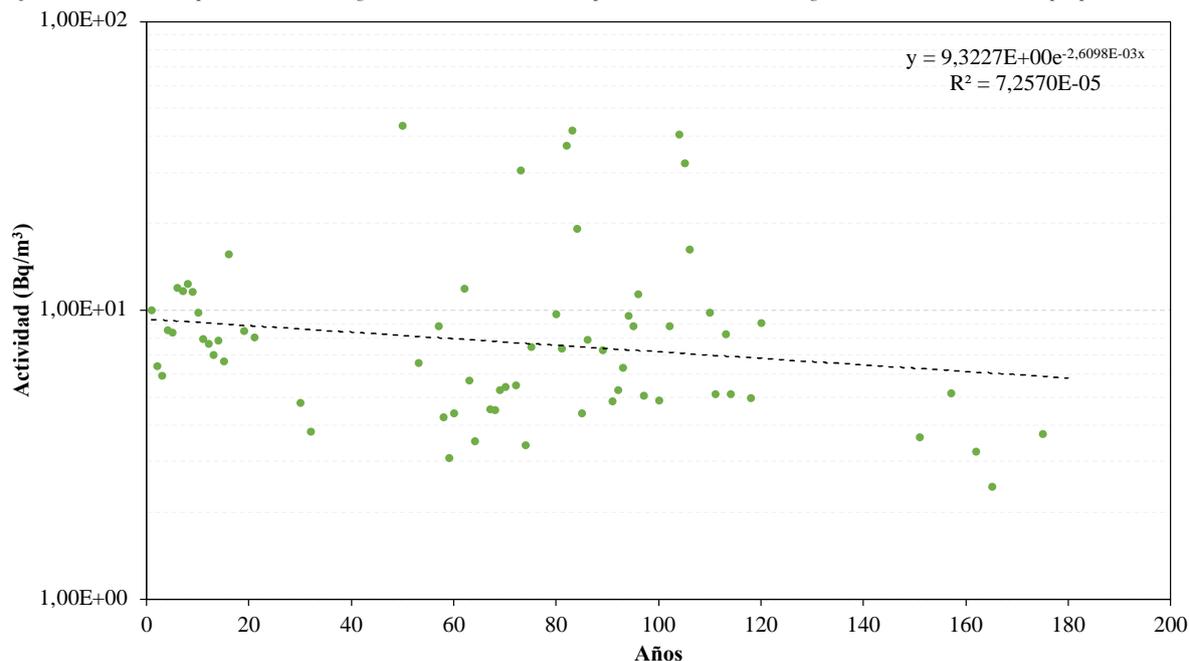
$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{3,4287 E - 03} = 202,16 \text{ años}$$

Igualmente, comparando el periodo teórico con el real podemos ver la diferencia es claramente mayor, pero de un orden de magnitud muy similar. Por el valor del  $R^2$  del ajuste, se puede ver que este ajuste es algo mejor que los anteriores.

En la gráfica 41, se puede observar cómo en La Laguna los valores del Sr-90 van disminuyendo con el tiempo, obteniendo un periodo de 265,59 años siendo este un valor muy alejado del real. No obstante, cabe destacar que este laboratorio de muestreo cuenta con menos valores que en el caso de Bilbao y Cáceres y el ajuste es realmente malo.

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 41. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en La Laguna. Fuente: Elaboración propia.



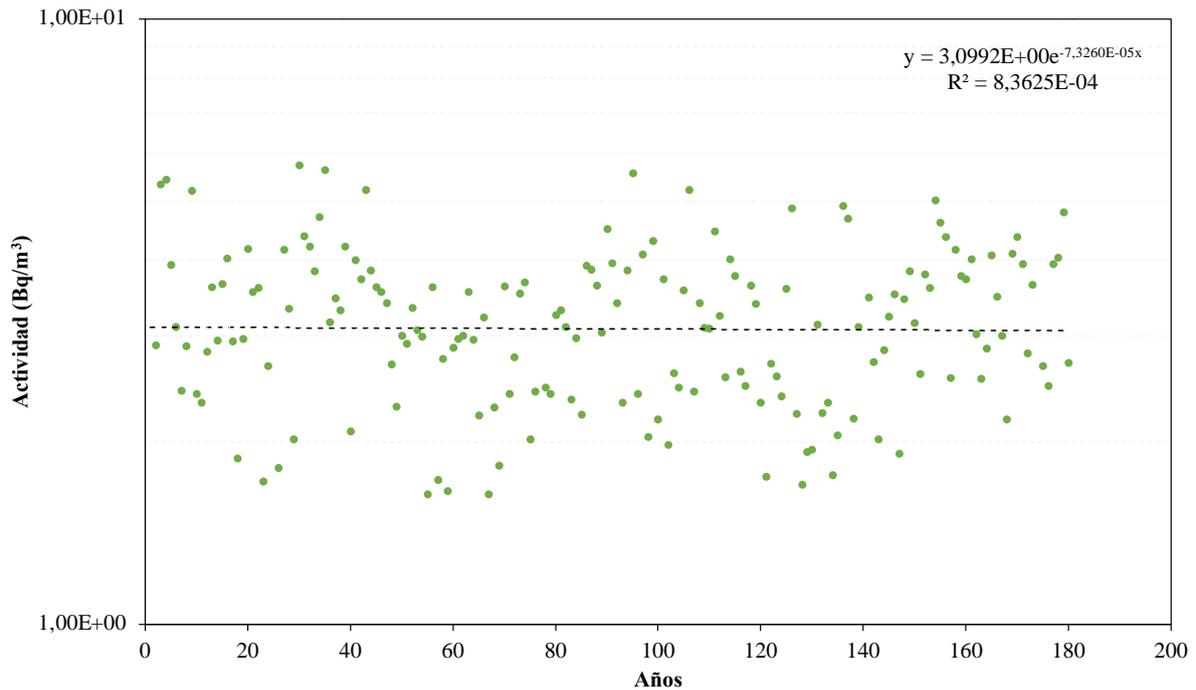
A continuación, se muestra el valor del periodo real del Sr-90:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{2,6098 E - 03} = 265,59 \text{ años}$$

En cuando a la zona de Barcelona, se puede ver como los valores aquí no tiende ni al alza ni a la baja, ya que aparentemente se encuentran en un rango oscilante alrededor de un valor medio. Por ello, se obtiene un valor del periodo desorbitado en comparación con los obtenidos en otros laboratorios y un ajuste pésimo. Este puede ser por diversos motivos, como el instrumental utilizado para analizar las muestras o el tiempo empleado.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 42. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Barcelona. Fuente: Elaboración propia.



A continuación, se muestra el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Sr-90:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{7,3260 E - 05} = 9461,47 \text{ años}$$

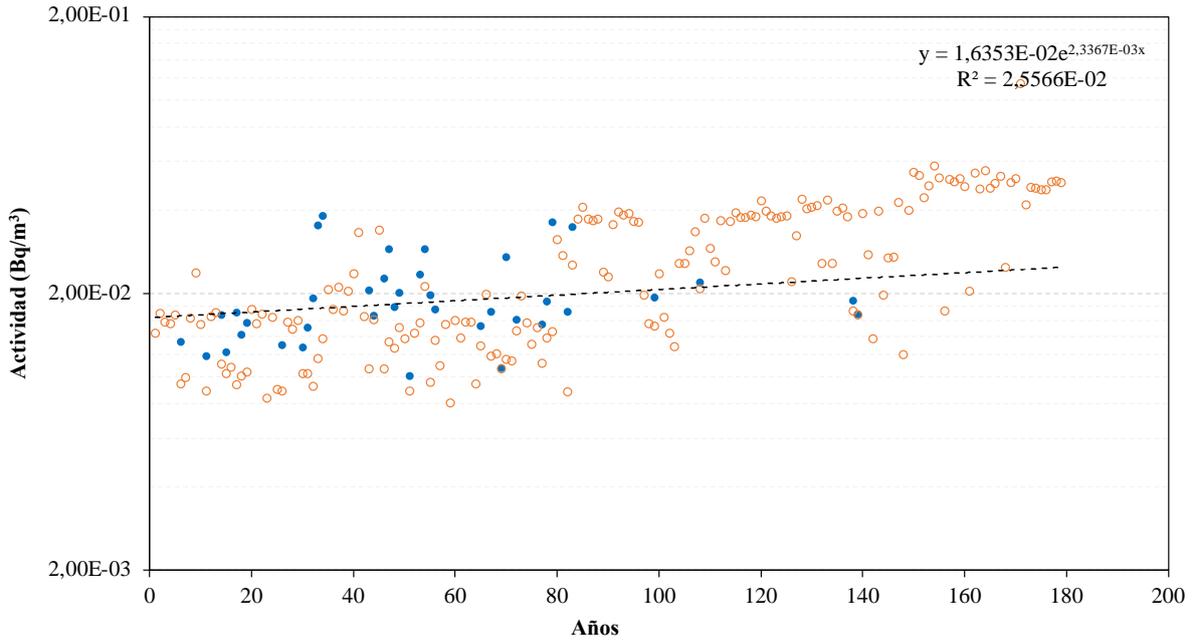
## 4.1.2.3.2. Cesio-137

Una vez analizado el Sr-90, se ha estudiado el periodo del Cs-137 como se ha observado en la gráfica 36, no existen muchos datos sobre la concentración de actividad del Cs-137. Por consiguiente, el valor del periodo calculado para los distintos laboratorios va a diferir considerablemente con el valor teórico. No obstante, cabe mencionar que el hecho de no obtener muchos valores no significa que las medidas no se hayan realizado correctamente, sino que es muy probable que este isótopo tuviera una mayor concentración en años anteriores y en el periodo de estudio éste ya no se encuentre. Por ello, en este estudio, se ha decidido representar la actividad y el límite de detección.

Observando la gráfica 43 se puede observar como la tendencia es al alza, siendo sus valores de periodo aparente de 296,64 años. No obstante, este valor no es muy veraz y máxime con ese ajuste tan malo al tener del valor del  $R^2$  del ajuste, ya que como se puede ver durante el muestreo del agua el valor de los límites de detección ha aumentado en los laboratorios de las estaciones de muestreo imposibilitando en cierta medida la obtención de datos de actividad.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 43. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en el CIEMAT. Fuente: Elaboración propia.

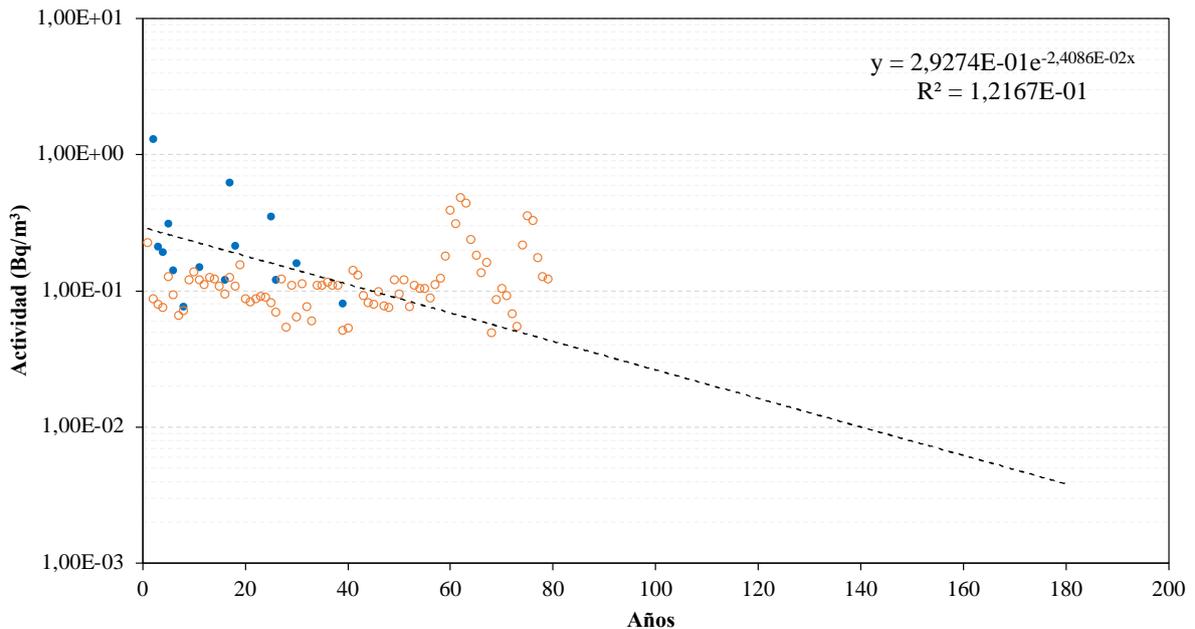


A continuación, se muestra el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Cs-137:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{2,3367 E - 03} = 296,64 \text{ años}$$

Por contrario en Sevilla, la tendencia es a la baja pero debido al número de datos de concentración obtenidos es complicado obtener un valor del periodo fidedigno, a pesar que el valor obtenido sea bastante próximo al real.

Gráfica 44. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.



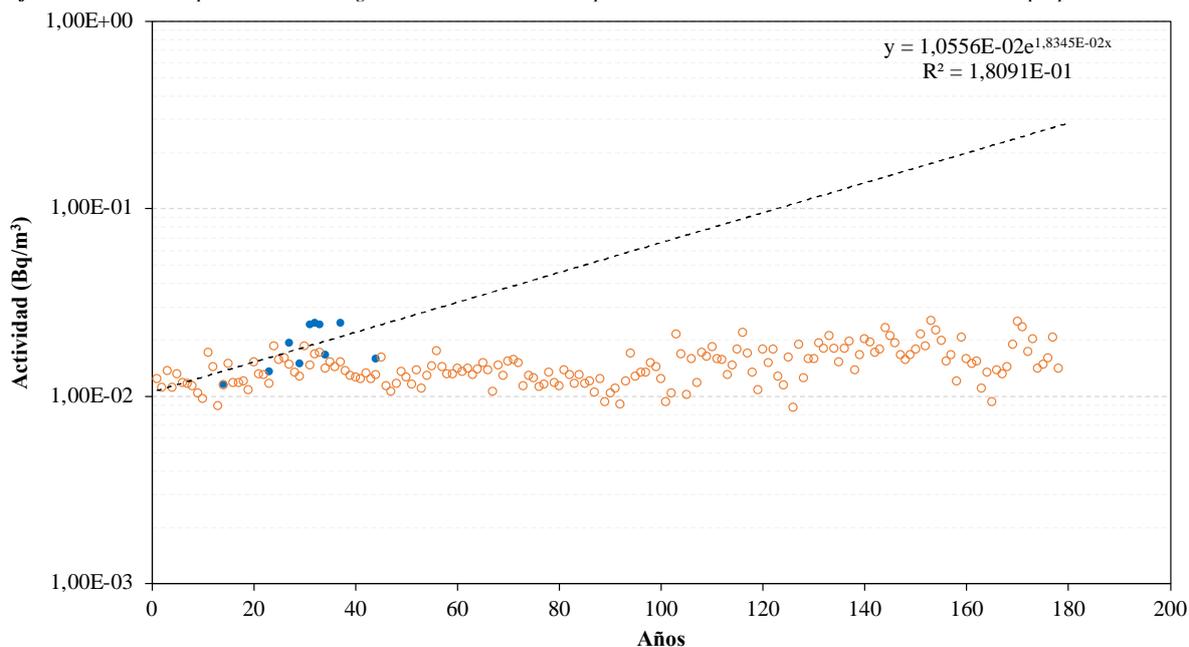
## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Cs-137:

$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{2,4086 E - 02} = 28,78 \text{ años}$$

Al igual, que en el CIEMAT la tendencia en la gráfica 45 es al alza, pero debido a la escasez de datos no se puede concluir los valores obtenidos.

Gráfica 45. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Bilbao. Fuente: Elaboración propia.



\*El límite de detección es el marcado en naranja.

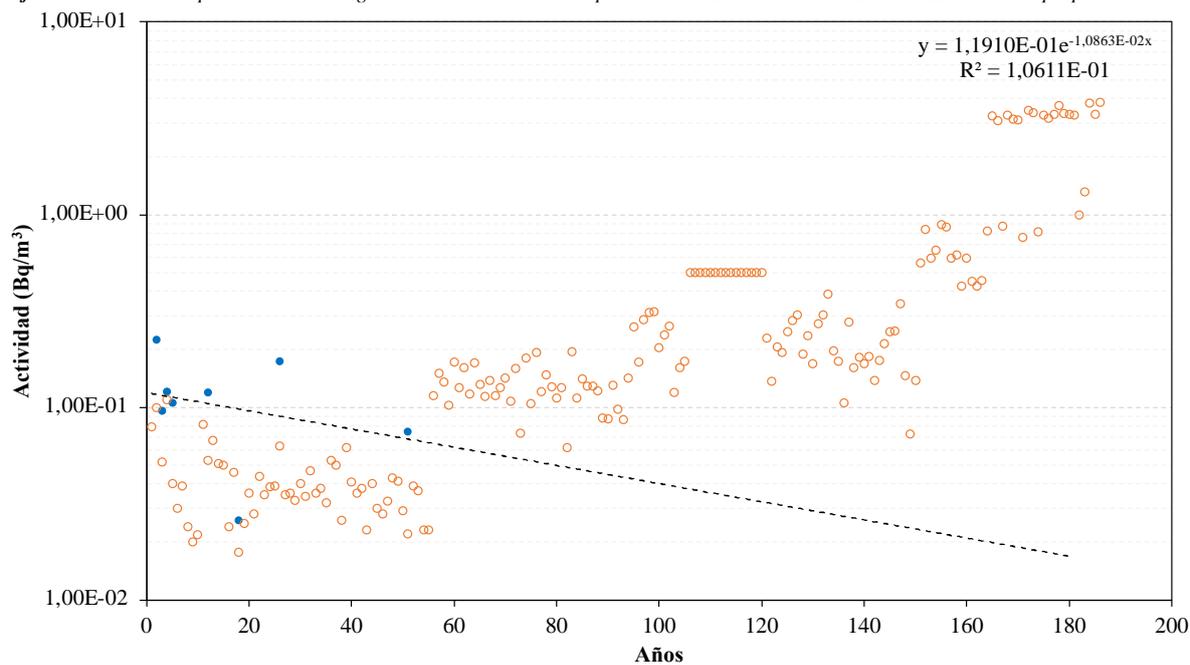
A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Cs-137:

$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{1,8345 E - 02} = 37,78 \text{ años}$$

Al igual, que en Sevilla en la gráfica 46 se muestra la tendencia en Cáceres es a la baja del Cs-137 pero con el aumento del límite de detección y el número de datos, es muy complejo sacar una conclusión.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 46. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Cáceres. Fuente: Elaboración propia.



A continuación, se muestra la el valor del periodo real del Cs-137:

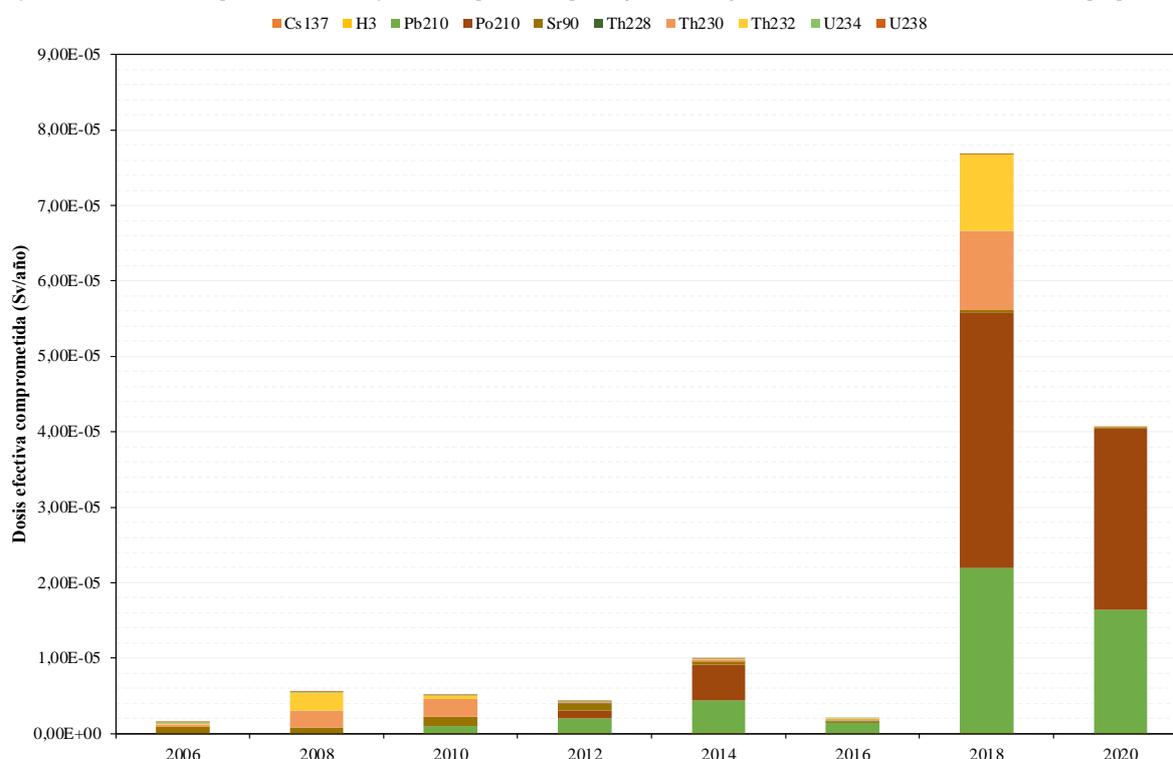
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{1,0863 E - 02} = 63,81 \text{ años}$$

## 4.1.3 Impacto dosimétrico del contenido radiactivo en España

Se ha calculado la dosis efectiva comprometida teniendo en cuenta los valores de concentración de actividad y se ha observado qué radionucleidos son los que más contribuyen a la dosis. Por otro lado, se ha observado como no todos los años se obtienen información de todos los radionucleidos, esto se debe a la frecuencia de muestreo de cada isótopo. Por ello, solo se han representado los datos de los años pares. Al descartar los valores de los años impares, la dosis va a ser menor.

En el caso del CIEMAT, cabe destacar que los componentes de la dosis varían respecto a otros casos, ya que el isótopo del Sr-90 está presente en menor medida, siendo el Po-210 el de mayor concentración. Por otro lado, cabe destacar como ha habido un incremento en los últimos años de medida de la dosis efectiva comprometida llegando a obtener un valor de 76,8  $\mu\text{Sv/año}$  frente a un promedio de 2,72  $\mu\text{Sv/año}$ .

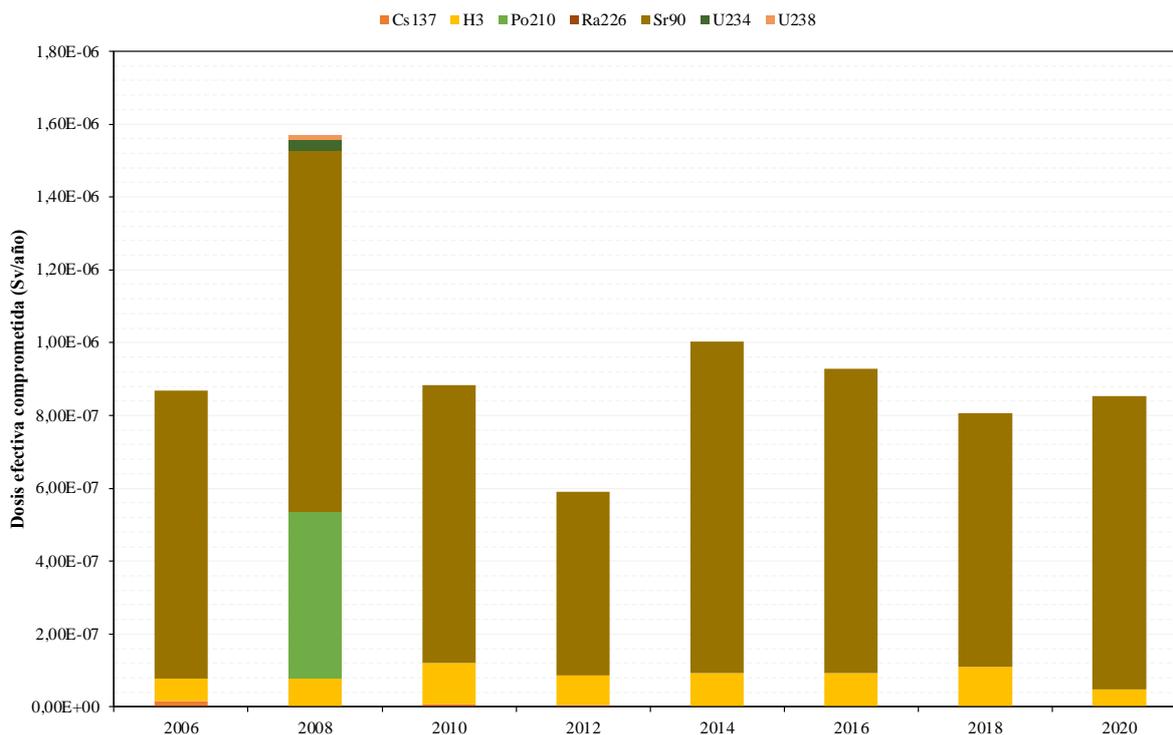
Gráfica 47. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en el CIEMAT. Fuente: Elaboración propia.



En Sevilla, como se puede ver en la gráfica 48 el Sr-90 es claramente el isótopo artificial que tiene un orden de magnitud superior al resto.

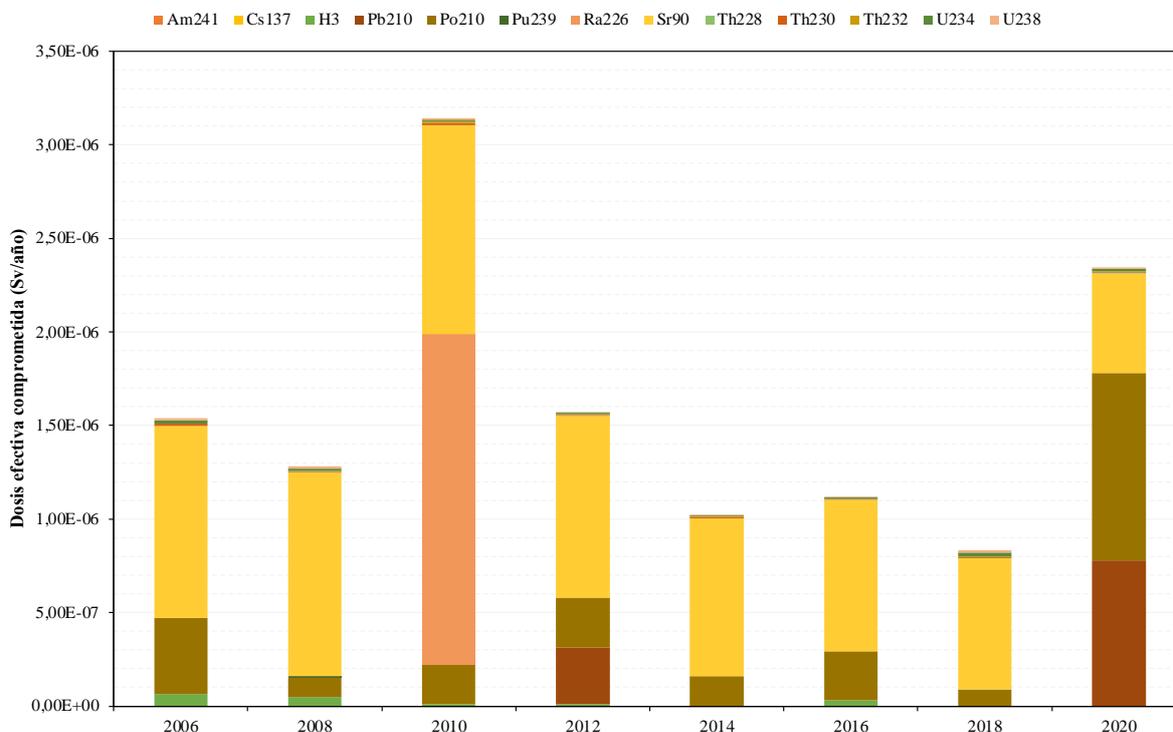
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 48. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.



Como se puede observar en la gráfica 49, la actividad de Sr-90 destaca sobre el resto de isótopos presentes como el Ra-226, el Pb-210 y el Po-210. Observando la evolución temporal de la dosis efectiva comprometida, el valor de dosis más elevado debido a los isótopos artificiales es de 3,14  $\mu$ Sv/año muy por debajo del valor máximo permitido de 1 mSv/año.

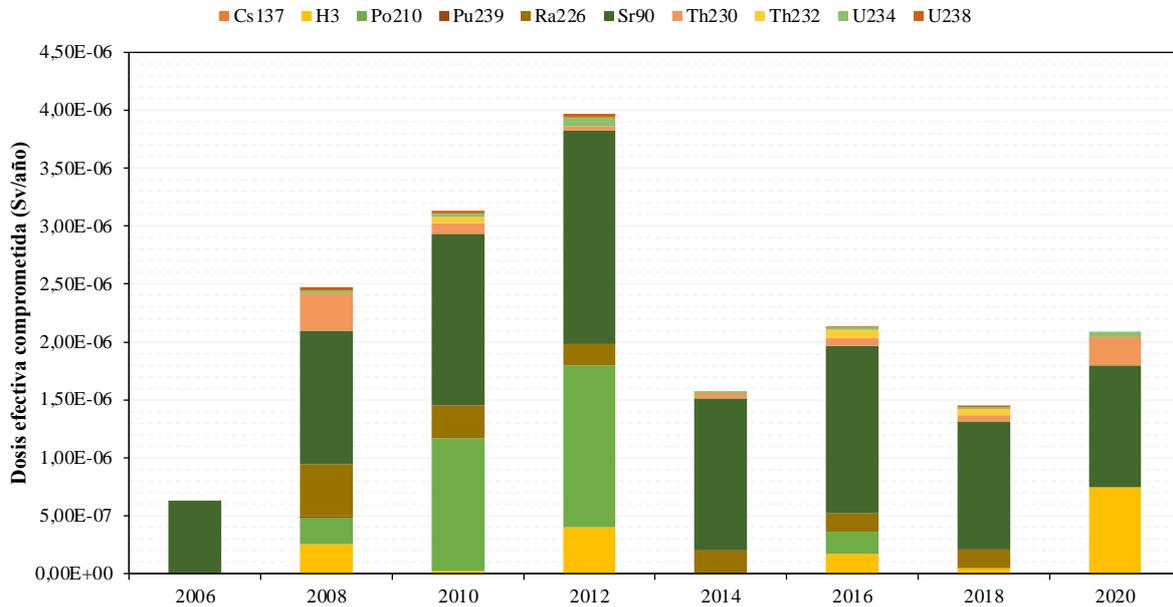
Gráfica 49. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en Bilbao. Fuente: Elaboración propia.



## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

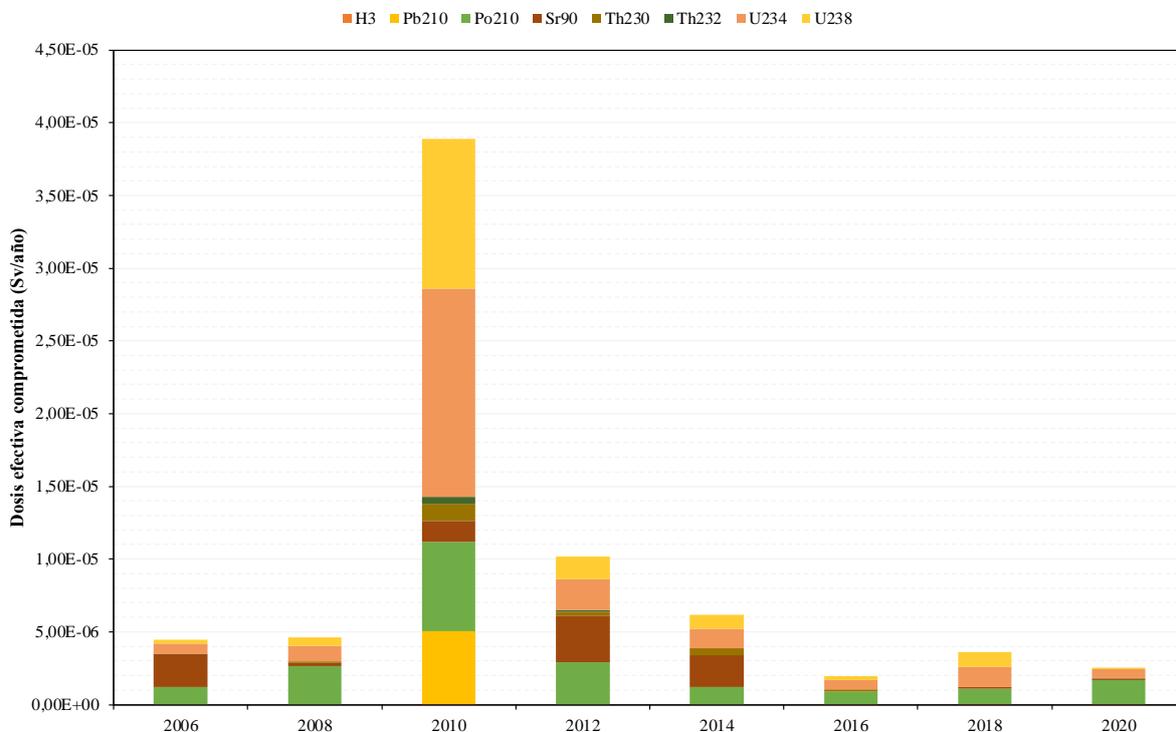
En la gráfica 50, se muestra como el Sr-90 es el isótopo con mayor presencia en el agua en Cáceres, seguido por el Ra-226 y el Po-210.

Gráfica 50. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en Cáceres. Fuente: Elaboración propia.



En la zona de La Laguna, se pueden observar (gráfica 51) como los uranios (U-234 y U-238) son unos de los mayores contribuyentes en la obtención de la dosis efectiva comprometida. Al igual que en el CIEMAT, el Sr-90 no aporta tanto como el Pb-210 y el Po-210.

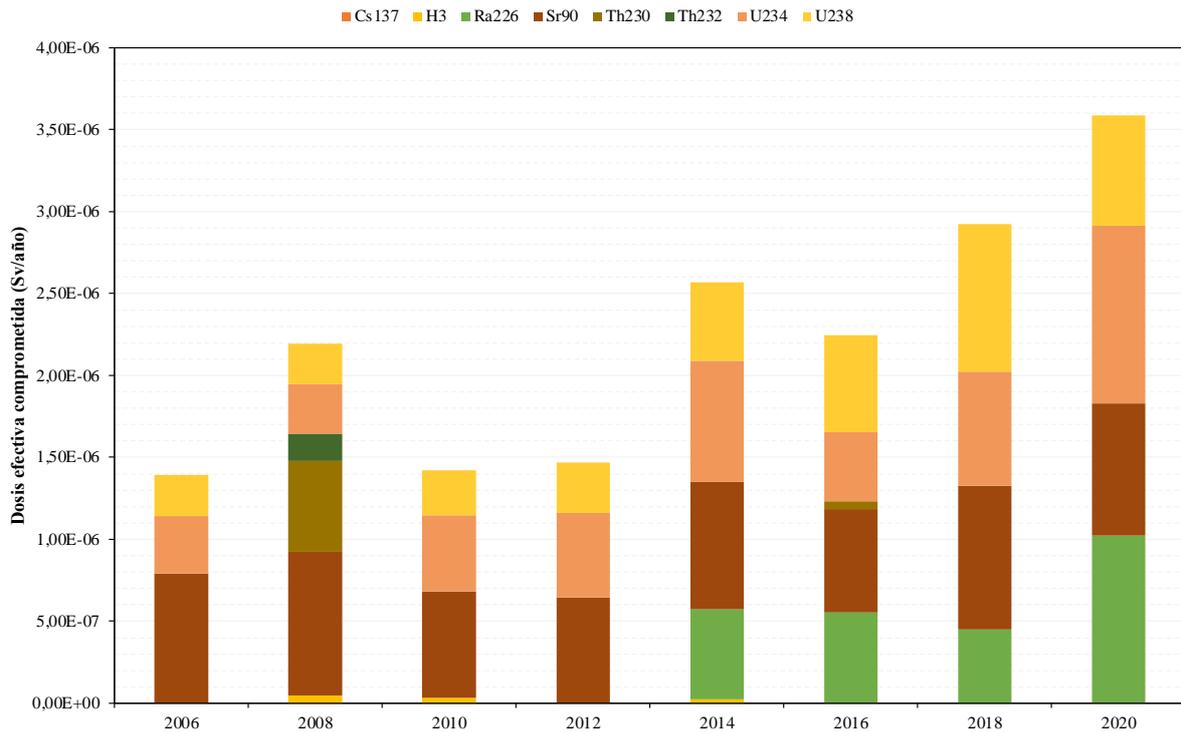
Gráfica 51. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en La Laguna. Fuente: Elaboración propia.



Como se muestra en la gráfica 52, destacan el Sr-90 y el U-234 como los mayores contribuyentes de dosis efectiva comprometida.

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 52. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en Barcelona. Fuente: Elaboración propia.



Como se puede observar, en el panorama nacional para los radioisótopos artificiales, la dosis comprometida por ingestión de agua se encuentra prácticamente todos por debajo del promedio, destacando Granada, La Laguna y el CIEMAT. En el caso de Granada, este valor se debe a un valor máximo puntual en 2014 y en general a la escasez de datos.

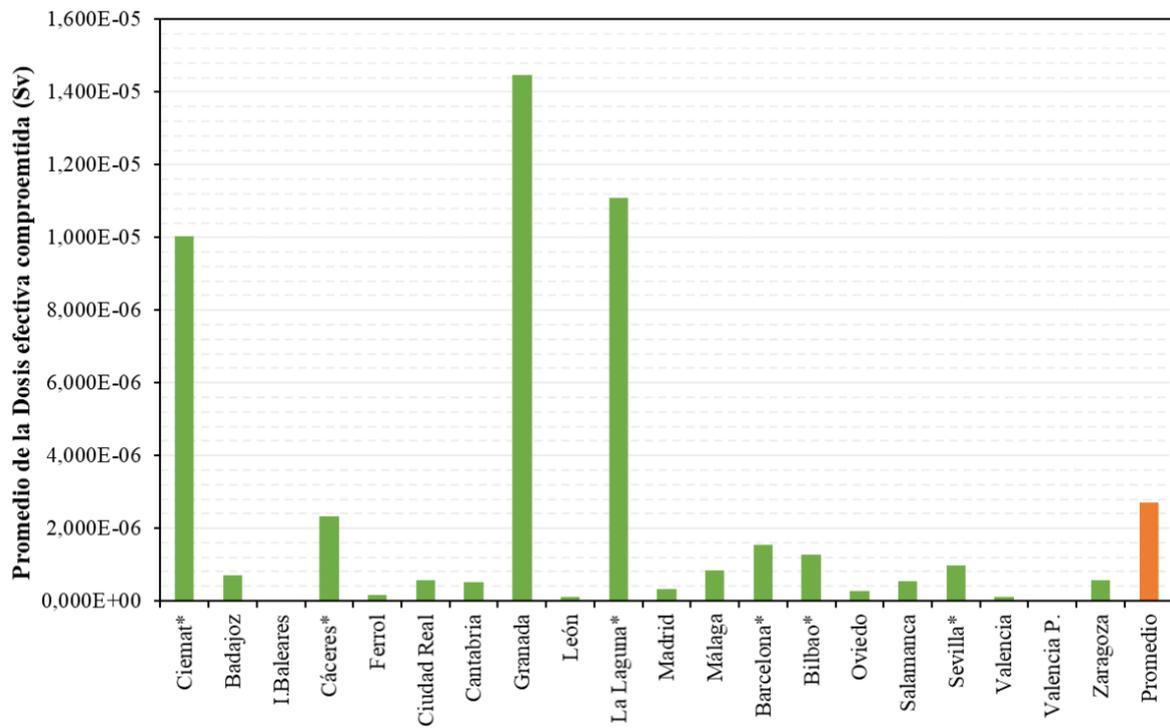
Analizando el caso del CIEMAT, como se puede ver en la gráfica 47 en el año 2018 y 2020, los valores de dosis efectiva comprometida son de 76,8  $\mu\text{Sv/año}$  y de 40,7  $\mu\text{Sv/año}$ , estos valores son bastante más elevado que los anteriores esto se debe principalmente al Po-210 y al Pb-210 que en ambos años es muy elevado.

Por otro lado, en el caso de La Laguna ocurre lo mismo que en el CIEMAT, ya que durante tres años consecutivos el valor de la dosis en el agua es más elevado, con la diferencia de que el U-234 es el segundo isótopo con mayor concentración.

Sin embargo, en ambos casos el aumento de la dosis ocurre en años distintos, por lo que no se puede atribuir este aumento a ningún suceso ocurrido en un año concreto como podría ser el accidente producido en Fukushima, ya que los años afectados deberían de ser los años más próximos al accidente, es decir, el año 2011, 2012 y 2013.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 53. Promedio de la dosis efectiva comprometida en España entre los años 2006-2020. Fuente: Elaboración propia.



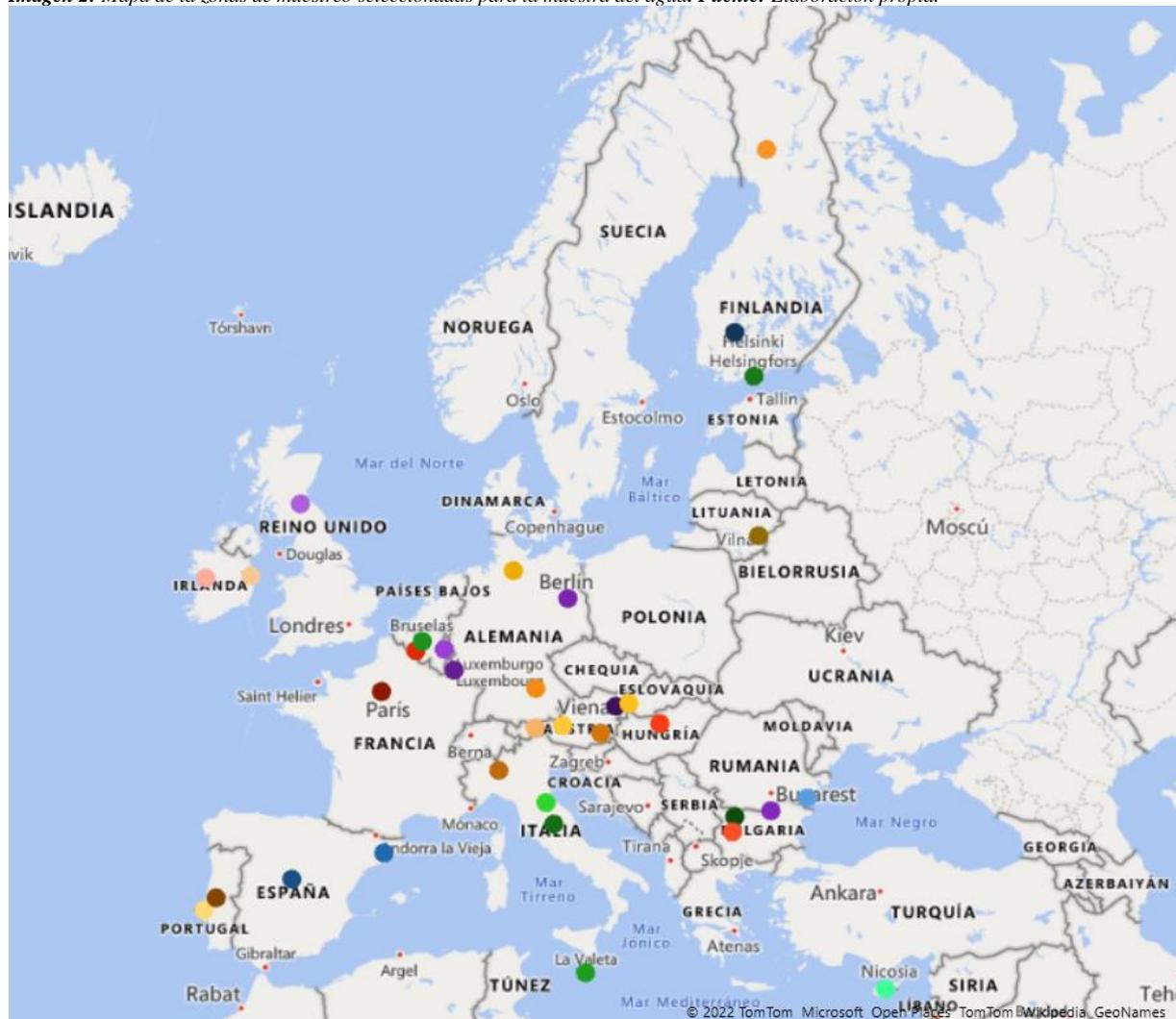
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

## 4.1.4. Evolución temporal en Europa

Como se ha explicado en el apartado de metodología, no ha resultado sencillo realizar el análisis de todos los países ni para todas las muestras. Por ello, se ha realizado un análisis muy minucioso sobre las zonas seleccionadas. El sistema que se ha usado para la selección de la zona ha sido el número de muestras y la ubicación de las zonas de muestreo. Como se muestra en la imagen 2, las zonas de muestreo se hallan marcadas. En la medida de lo posible se ha intentado seleccionar zonas separadas entre norte y sur, como es el caso de Finlandia con la zona de Rovaniemi y Helsinki o Tampere, o como en el caso de España e Irlanda, se este a oeste. Se han intentado seleccionar entre norte, sur, este y oeste, para determinar un valor medio del país.

En el caso de España, a pesar de tener más zonas de muestreo, se han utilizado los datos del CIEMAT y de Barcelona, ya que los resultados de estos dos laboratorios coincidían con la base de datos del REMdb, mientras que en los otros faltaban los datos de varios radionucleidos.

Imagen 2: Mapa de la zonas de muestreo seleccionadas para la muestra del agua. Fuente: Elaboración propia.



\*el punto verde que aparece en Malta corresponde a Estocolmo, error en el programa.

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

### *4.1.4.1. Análisis temporal estadístico*

#### *4.1.4.1.1. Índice de actividad alfa total*

En la Tabla 14, se muestran los valores para el índice de alfa total de los distintos países europeos. Como se puede observar, los valores máximos se hallan en Portugal, Italia, Reino Unido, Luxemburgo y Eslovaquia, siendo los más elevados Luxemburgo e Italia. Por el lado contrario, los valores mínimos se encuentran en España, Irlanda, Chipre, Lituania y Bulgaria. Observando estos resultados, se puede ver la diferencia entre países vecinos como España y Portugal o Irlanda y Reino Unido, entre los valores máximos y mínimos. Sin embargo, en los valores medios, se puede ver como la diferencia no es tan grande, el valor medio máximo se encuentra en Eslovaquia y el mínimo en España.

No obstante, se puede ver como los resultados del promedio no difieren demasiado entre países vecinos, en el caso de España y Portugal por ejemplo se puede observar como la diferencia es de 50 Bq/m<sup>3</sup>, esta diferencia se puede considerar elevada, sin embargo, hay que tener en cuenta el número de muestras analizadas, y el lugar donde se han estudiado las mismas.

**Tabla 14.** Resultados del análisis de los datos para la actividad del índice de alfa total. **Fuente:** Elaboración propia.

<b>País</b>	<b>Máximo (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mínimo (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nº de análisis</b>
España	6,90E+01	2,68E+00	1,70E+01	24
Portugal	1,61E+02	5,00E+00	2,27E+01	132
Italia	1,78E+02	7,80E+00	5,99E+01	83
Reino Unido	1,00E+02	7,70E+00	2,53E+01	42
Irlanda	8,30E+01	1,52E+01	3,36E+01	12
Chipre	7,60E+01	2,00E+01	4,30E+01	41
Luxemburgo	1,78E+02	4,00E+01	6,53E+01	126
Lituania	6,10E+01	1,50E+00	2,24E+01	48
Bulgaria	4,90E+01	6,00E+00	2,07E+01	3
Eslovaquia	1,08E+02	5,00E+01	7,35E+01	12

#### *4.1.4.1.2. Índice de actividad beta total*

Observando los resultados obtenidos para el índice de beta total de la Tabla 15, se puede ver como España es el país con el máximo valor de actividad puesto que su valor difiere en una unidad del resto, mientras, el valor mínimo corresponde con Italia. Entre ambos valores la diferencia es notable, sin embargo, estos valores pueden ser puntuales. Por ello, observando el promedio de todos los países se pueden hallar más similitudes y diferencias.

En el caso del promedio, se muestran dos rangos de valores distintos ya que estos rondan entre E01 y E+02 Bq/m<sup>3</sup>. Comparando los países que se hallan en una zona geográfica similar se puede ver como la diferencia es el doble, por ejemplo, en Irlanda el promedio es de 108 Bq/m<sup>3</sup> mientras, que en el Reino Unido el valor es de 45,9 Bq/m<sup>3</sup>, no obstante, cabe mencionar que las muestras de Irlanda son 2/3 menores a las de Reino Unido.

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Tabla 15. Resultados del análisis de los datos para la actividad del índice de beta total. Fuente: Elaboración propia.

País	Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	Nº de análisis
España	1,17E+03	2,39E+01	1,70E+02	24
Portugal	2,05E+02	1,60E+01	5,65E+01	144
Italia	1,80E+02	6,00E-02	5,50E+01	98
Reino Unido	2,22E+02	1,40E+01	4,59E+01	42
Irlanda	1,80E+02	5,10E+01	1,08E+02	12
Chipre	3,17E+02	3,00E+01	9,64E+01	35
Luxemburgo	8,10E+02	4,00E+01	4,89E+02	111
Lituania	3,80E+02	5,00E+01	1,74E+02	48
Bulgaria	3,50E+02	2,00E+01	1,59E+02	5
Eslovaquia	1,24E+02	8,60E+01	1,12E+02	12
Bélgica	2,40E+02	1,00E+02	1,53E+02	8
Hungría	2,43E+02	8,00E-01	1,14E+02	179
Malta	1,90E+02	7,00E+01	9,89E+01	9

### 4.1.4.1.3. Índice de actividad beta resto

En la Tabla 16, se pueden ver los valores obtenidos de beta resto en únicamente cuatro de los países europeos. A pesar de ello, se pueden ver las diferencias, en el caso de Austria se puede ver que cuenta con los valores máximos dentro de todos los resultados mientras que España cuenta con los menores dentro del máximo y del promedio.

Tabla 16. Resultados del análisis de los datos para la actividad del índice de beta resto. Fuente: Elaboración propia.

País	Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	Nº de análisis
España	6,50E+01	1,04E+01	2,31E+01	208
Portugal	1,61E+02	7,00E+00	3,68E+01	80
Austria	5,36E+02	3,52E+02	4,18E+02	144
Lituania	1,61E+02	4,00E+00	5,76E+01	48

### 4.1.4.1.4. Estroncio-90

Como se muestra en la Tabla 17, dentro de los valores máximos de actividad del estroncio-90, destaca España, así como en su valor medio. En lo referente al valor mínimo Finlandia es el país con el valor más bajo.

Tabla 17. Resultados del análisis de los datos para la actividad del Sr-90. Fuente: Elaboración propia.

País	Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	Nº de análisis
España	8,14E+03	9,59E-02	2,66E+03	60
Portugal	1,45E+01	1,30E-02	1,99E+00	132
Italia	5,30E+00	2,50E+00	3,68E+00	16
Finlandia	9,50E+00	9,00E-02	4,85E+00	38
Alemania	3,20E+01	2,83E-02	4,54E+00	159
Hungría	4,65E+01	5,88E-03	5,27E+00	80
Suecia	6,00E+00	3,28E+00	4,82E+00	9
Austria	1,30E+01	3,16E+00	6,01E+00	19
Bulgaria	9,50E+00	6,00E-01	3,00E+00	19
República checa	8,20E+00	1,20E+00	3,86E+00	63
Malta	7,54E+01	2,23E+01	4,04E+01	10
Eslovenia	2,39E+00	3,70E-01	1,19E+00	14
Romania	7,00E+00	5,10E+00	5,83E+00	4
Eslovaquia	9,00E+00	4,00E+00	5,91E+00	11

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

### **4.1.4.1.5. Cesio-137**

Como se puede ver en la Tabla 18, Finlandia destaca en el análisis del valor máximo del Cs-137. Este máximo se refleja en el valor del promedio ya que este es el mayor seguido por Alemania. Por otro lado, España destaca por lo contrario a Finlandia ya que este tiene los mínimos valores dentro de los máximos, los mínimos y el promedio.

*Tabla 18. Resultados del análisis de los datos para la actividad del Cs-137. Fuente: Elaboración propia.*

<b>País</b>	<b>Máximo (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mínimo (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nº de análisis</b>
España	1,67E-01	1,44E-03	2,50E-02	120
Portugal	6,28E+00	1,70E-02	1,07E+00	130
Italia	9,28E-01	2,88E-01	4,98E-01	97
Reino Unido	1,00E+01	9,30E-01	2,00E+00	63
Finlandia	2,91E+01	3,00E-01	7,25E+00	36
Alemania	1,26E+01	2,40E+00	6,46E+00	42
Austria	3,86E+00	6,00E-01	1,79E+00	60
Bulgaria	2,00E+01	1,00E+00	2,86E+00	19
República checa	2,10E+00	3,00E-01	9,49E-01	72
Estonia	5,00E+00	3,00E+00	3,77E+00	13
Suecia	4,00E+00	2,00E+00	2,56E+00	10

### **4.1.4.1.6. Tritio**

Analizando los resultados de la actividad del tritio de la Tabla 19, se puede ver como Rumania cuenta con el valor máximo de actividad, asimismo tiene el valor medio más elevado. No obstante, observando los valores del promedio de cada país se puede observar cómo no hay una gran diferencia entre ellos.

*Tabla 19. Resultados del análisis de los datos para la actividad del tritio. Fuente: Elaboración propia.*

<b>País</b>	<b>Máximo (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mínimo (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nº de análisis</b>
España	2,51E+03	1,00E+02	7,53E+02	144
Portugal	7,51E+03	1,72E+00	1,42E+03	131
Italia	1,00E+04	1,63E+03	4,67E+03	83
Reino Unido	2,43E+03	1,00E+03	1,14E+03	125
Lituania	6,40E+03	2,00E+02	2,83E+03	36
Finlandia	1,90E+03	9,00E+02	1,26E+03	36
Alemania	1,00E+04	3,80E+02	4,67E+03	100
Hungría	1,30E+03	1,70E+02	5,33E+02	96
Austria	2,71E+03	9,07E+02	1,49E+03	72
Bélgica	1,11E+04	1,80E+03	4,13E+03	46
República checa	3,90E+03	5,30E+02	1,15E+03	72
Eslovenia	2,40E+03	1,50E+02	1,13E+03	32
Romania	2,21E+04	6,30E+02	5,49E+03	95

### **4.1.4.2. Evolución temporal**

Tras analizar los resultados de cada índice y de cada radionucleido se han realizado las gráficas de la evolución temporal de los distintos países, ya que con el conocimiento de los valores máximos, mínimos y medios no se puede llegar a una conclusión clara, puesto que esos valores pueden coincidir con valores puntuales.

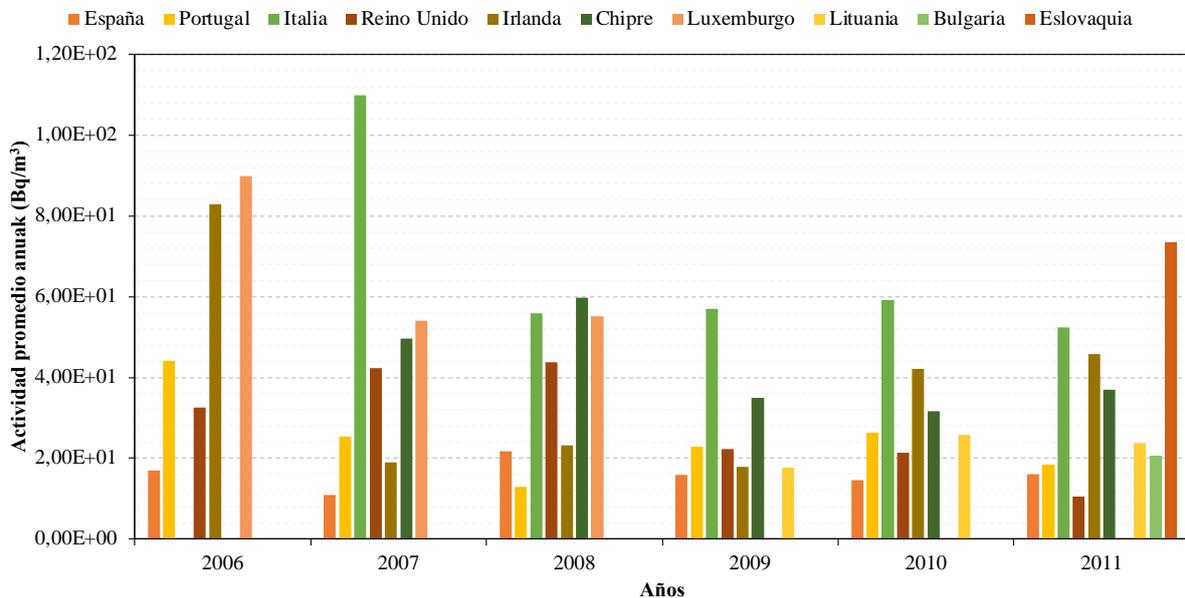
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

## 4.1.4.2.1. Índice de actividad alfa total

Observando la gráfica 54, se puede ver como al igual que en la Tabla 14, los valores máximos corresponden a Italia y Luxemburgo. No obstante, esto máximos se deben a los valores obtenidos en el año 2006 y 2007, puesto que los valores superan al resto en gran medida. No obstante, observando el resto de años se puede observar cómo disminuyen con el tiempo en la mayoría de los casos.

Analizando en mayor profundidad la ubicación de cada país, se puede ver como en función de la zona los valores promedios se aproximan. En el caso de España y Portugal, se puede ver como los valores varían entorno a los 20 Bq/m<sup>3</sup>, por lo que las diferencias no son muy elevadas, sin embargo, se puede ver como la diferencia es mínima en el 2011. Continuando el análisis con países del mediterráneo se puede ver como en Italia los valores son bastante elevados al igual que Chipre.

Gráfica 54. Evolución temporal del índice de actividad alfa total en Europa. Fuente: Elaboración propia.



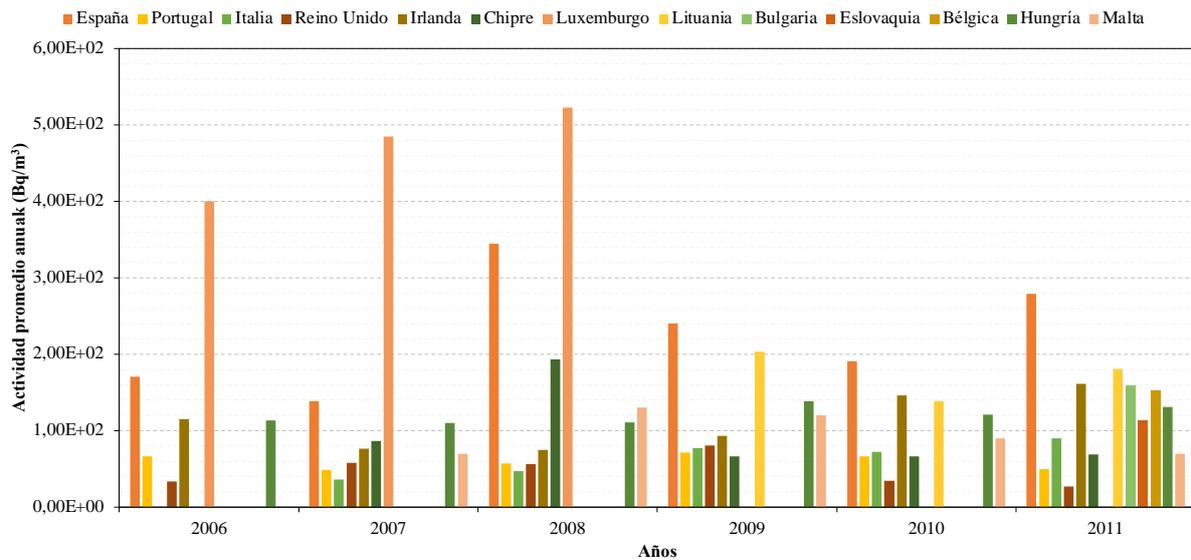
## 4.1.4.2.2. Índice de actividad beta total

Como nos muestra la gráfica 55. Luxemburgo destacan los tres primeros años analizados. Observando la tendencia del índice beta total, se puede corroborar como este va en aumento hasta el 2009 donde se dejan de aportar valores. Otro de los países que destaca sobre los demás, es España como se puede ver sus valores son más elevados. Comparando con Portugal, estando este en la misma zona geográfica se puede observar la diferencia que existe entre ambos, puesto que no parece que exista una correlación entre ambos.

No obstante, analizando Irlanda y Reino Unido, se puede ver como en el periodo 2007-2009 los valores del índice son muy similares por lo que se podría concretar que existe alguna relación con la ubicación. Sin embargo, el resto de años analizados esta relación no se corrobora, principalmente esto es debido a la diferencia de datos entre ambos.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

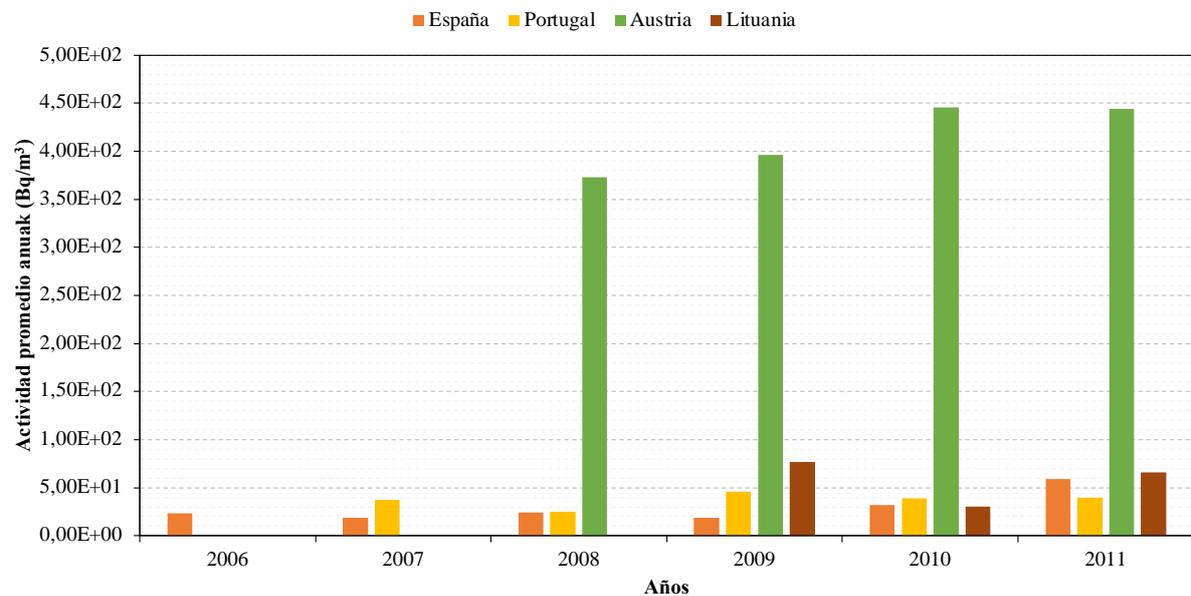
Gráfica 55. Evolución temporal del índice de actividad beta total en Europa. Fuente: Elaboración propia.



## 4.1.4.2.3. Índice de actividad beta resto

Analizando la gráfica 56, de la evolución temporal del índice de actividad beta resto, se puede observar como en el caso de Austria su evolución es al alza. Mientras, España, Lituania y Portugal obtienen unos valores mucho más bajos entorno a unos valores muy similares.

Gráfica 56. Evolución temporal del índice de actividad total en Europa. Fuente: Elaboración propia.

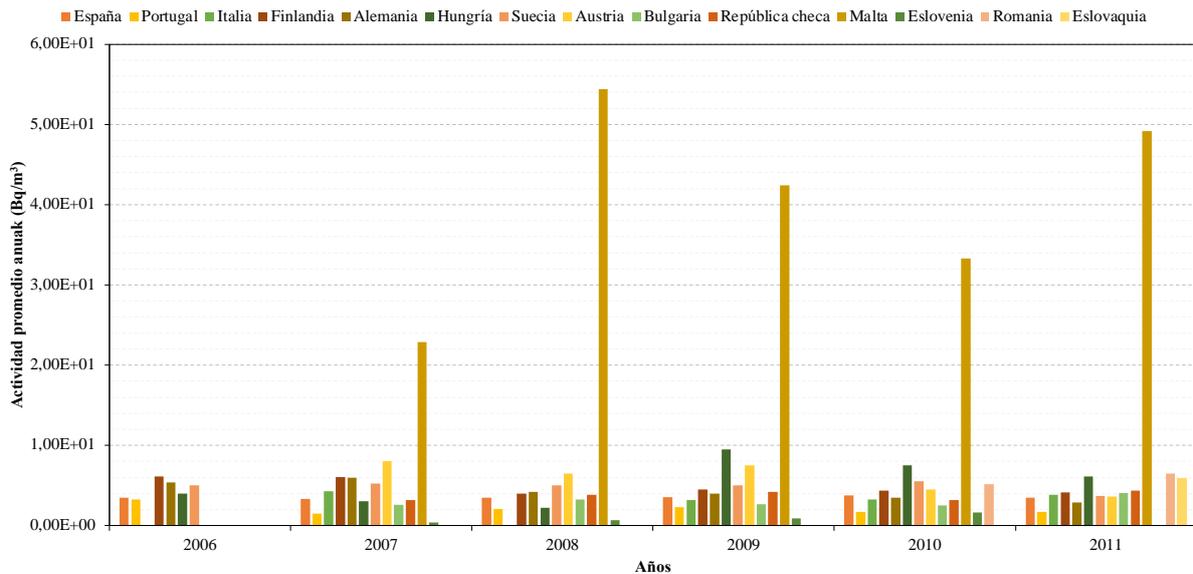


## 4.1.4.2.4. Estroncio-90

En el caso del estroncio-90 destaca sin duda alguna Malta con valores muy elevados el cual va al alza. Esta casuística destaca, puesto que países cercanos como Italia no obtienen valores tan elevados. Apartando el país de Malta, se puede ver como Finlandia y Alemania tienen unos valores muy similares durante el periodo analizado, en este caso se podría hallar una relación en función de la zona geográfica.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

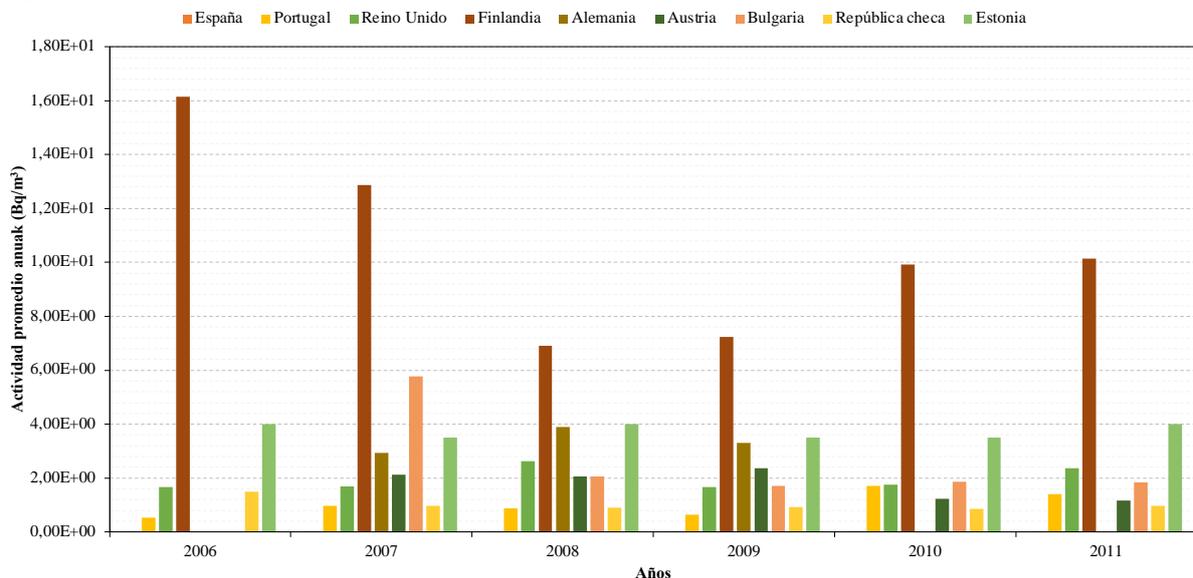
**Grafica 57.** Evolución temporal del índice de actividad total en Europa. **Fuente:** Elaboración propia.



## 4.1.4.2.5. Cesio-137

En lo referente al Cesio-137 se puede observar en la gráfica 58, como Finlandia destaca sobre el resto de los países. Además, se puede ver como Alemania no obtiene estos valores, a pesar de ser uno de los países más próximos. Por otro lado, se puede observar como tampoco existe una disminución de cesio durante los años. No obstante, analizando otros países que se encuentran próximos entre si tampoco encontramos una relación ante el comportamiento del radionucleido. Observando Alemania, Austria y República Checa, se puede ver como existe una disminución de la cantidad del radionucleido, no obstante, los valores no se aproximan.

**Grafica 58.** Evolución temporal del índice de actividad total en Europa. **Fuente:** Elaboración propia.

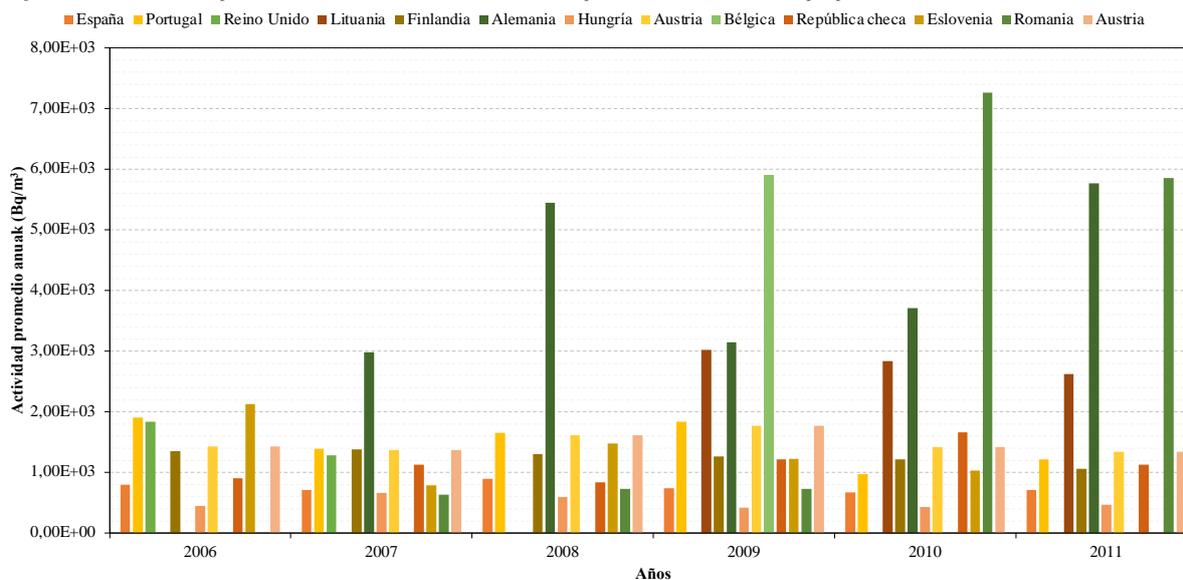


## 4.1.4.2.6. Tritio

Por último, analizando la actividad promedio del tritio, se puede ver como Alemania y Romania destacan sobre el resto de valores, además la tendencia es al alza en ambos casos.

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 59. Evolución temporal del índice de actividad total en Europa. Fuente: Elaboración propia.



Tras analizar los índices de actividad, el estroncio-90 y el cesio-137, se ha podido comprobar que no existe una relación entre los valores y la ubicación geográfica de cada país. Además, observando la evolución temporal se ve como en varios casos no se ve una disminución de los valores de actividad tal como debería de ser según la desintegración radiactiva.

**4.1.5 Impacto meteorológico: la precipitación**

Tras realizar los análisis anteriores y tras realizar un análisis previo de los datos accesibles, para este apartado se han tenido en cuenta los radioisótopos artificiales de Sr-90 y tritio, del isótopo natural K-40 y de los índices de alfa total, beta total y beta resto.

Para ello, se ha realizado un cálculo de la correlación entre los radionucleidos e índices con los datos de la precipitación disponibles. Este parámetro permite identificar en qué medida influye el promedio de la precipitación en la concentración de actividad de los distintos radionucleidos en agua. Una vez identificados aquellos radionucleidos se han analizado aquellas zonas de muestreo cuyo valor del índice de correlación es más próximo a la unidad.

Observando la Tabla 20, existe una fuerte correlación global entre la precipitación y las actividades del tritio y algo menor con el índice de actividad beta resto en Barcelona, lo cual indica que la precipitación esta ligeramente relacionada con ambas concentraciones. Por otro lado, se puede ver como el K-40 es el isótopo que más relación tiene con la precipitación ya que en varias zonas este valor ronda entorno a la media unidad. Además, a diferencia de 4 zonas la correlación es positiva en vez de negativa, es decir, sí una aumenta la otra también. Por otro lado, cabe destacar como en el caso del Sr-90 la relación es negativa a excepción de la zona de Barcelona.

No obstante, los valores de correlación no son muy elevados en ninguno de los casos, ya que solamente dos valores superan más de la media unidad, por lo que realmente no existe correlación lineal evidente en ningún caso.

*Tabla 20. Correlación de la actividad de los radionucleidos. Fuente: Elaboración propia.*

	Sr-90	Tritio	K-40	Alfa total	Beta total	Beta resto
Badajoz	-0,0557		0,4798	0,1700	0,0958	
Barcelona	0,0810	0,6167		-0,0798	0,0339	0,3070
Bilbao	-0,0557	-0,0480		0,0062	-0,0767	-0,1450
Cáceres	-0,0557	0,0865	0,1268	-0,0384	-0,0310	0,0271
Cantabria	-0,0557		-0,5830	-0,0122	-0,0247	
CIEMAT	-0,1169	-0,1143		-0,0510	0,0234	0,0100
Madrid	-0,1143		0,0267	-0,1931	0,0379	
Ciudad Real	-0,0557		-0,0915		-0,0089	
Zaragoza	-0,0557			-0,0734	0,0247	
Valencia	-0,0557			-0,0967	0,0238	
Valencia P.			-0,0164	0,0326	-0,1758	
Sevilla	-0,0557	0,1800		-0,1058	-0,0352	-0,0121
Salamanca	-0,0557		0,0719	0,0554	0,1743	
Oviedo	-0,0557			-0,0878	-0,2047	
Málaga	-0,0557		0,1435	-0,0849	-0,0491	
León	-0,0557		-0,2916	0,0443	0,0145	
La Laguna	-0,0557	-0,0894		0,1569	0,1950	0,0509
I. Baleares	-0,0557		0,4847	0,0354	0,0136	
Ferrol	-0,0557		0,2671	0,1175	0,3739	
Granada	-0,0557		0,0735	-0,0094	0,1173	

## **4.2. ANÁLISIS DEL CONTENIDO RADIACTIVO EN LA DIETA**

### **4.2.1. Incumplimientos en los criterios sanitarios en la dieta**

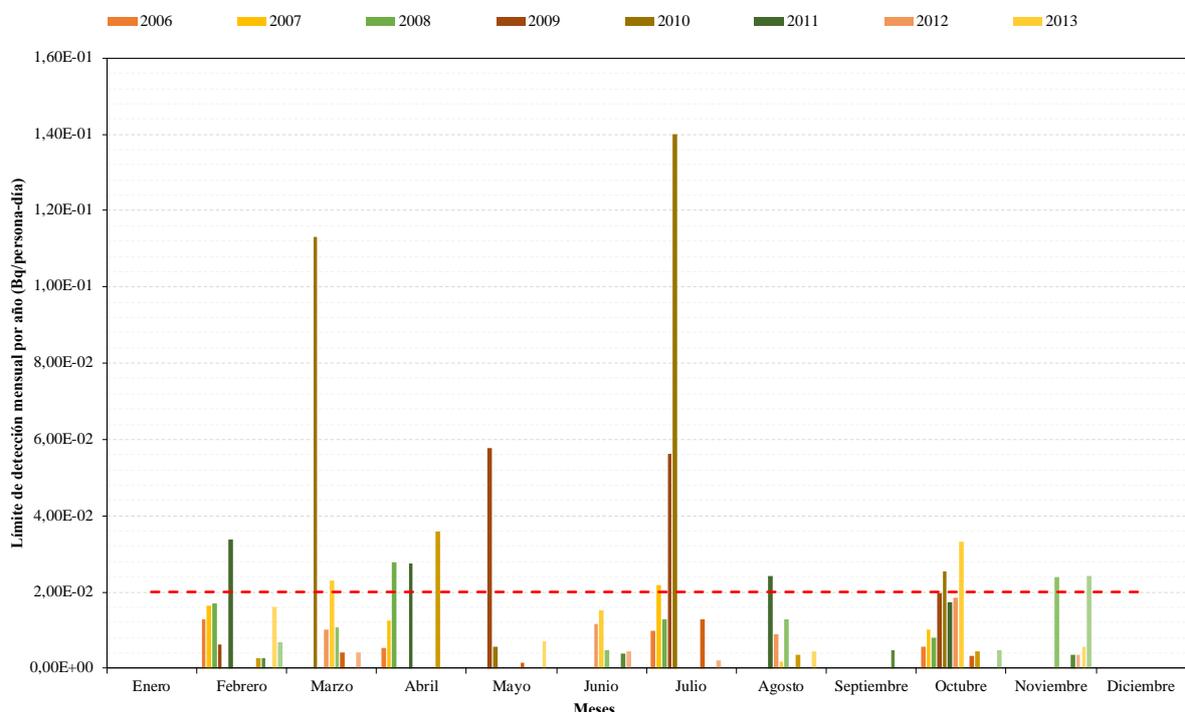
En lo referente a los criterios sanitarios en la dieta, a día de hoy no existe ninguna legislación que establezca unos límites de los mismos, ya que la dieta tipo varía a raíz en función del producto y de la cultura de consumo del mismo. Para este estudio se ha tenido una dieta tipo que se basa en la dieta mediterránea. Esta dieta se caracteriza por alimentos de origen vegetal como cereales, verduras, legumbre, frutas y frutos secos, por el uso del aceite de oliva como fuente de grasa y por el pescado, mariscos, lácteos y carnes de aves de forma moderada. No siendo muy común el consumo de carne roja y dulces. <sup>[16]</sup>

Por ello, para realizar este análisis se ha tomado como referencia una tabla de los límites de detección que se requieren para los análisis de las redes densa y espaciada exigidos por el Consejo de seguridad nuclear. En esta tabla, solo se establecen dos límites, concretamente para el cesio-137 y para el estroncio-90, siendo los límites de 0,05 Bq/persona-día y 0,02 Bq/persona-día, respectivamente.

#### *4.2.1.1. Análisis del estroncio-90*

Primeramente, se ha analizado el estroncio-90 en la dieta. Como se observa en la siguiente gráfica, en los años 2009 y 2010 los valores del límite de detección informados por el CIEMAT superan el límite establecido. No obstante, se puede ver como este va disminuyendo con el tiempo.

*Gráfica 60. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en CIEMAT. Fuente: Elaboración propia.*



Analizando la gráfica 61 de las Islas Baleares, se puede ver como el límite establecido se supera casi todos los meses hasta el año 2014, donde se ve la tendencia a la baja de estos valores.

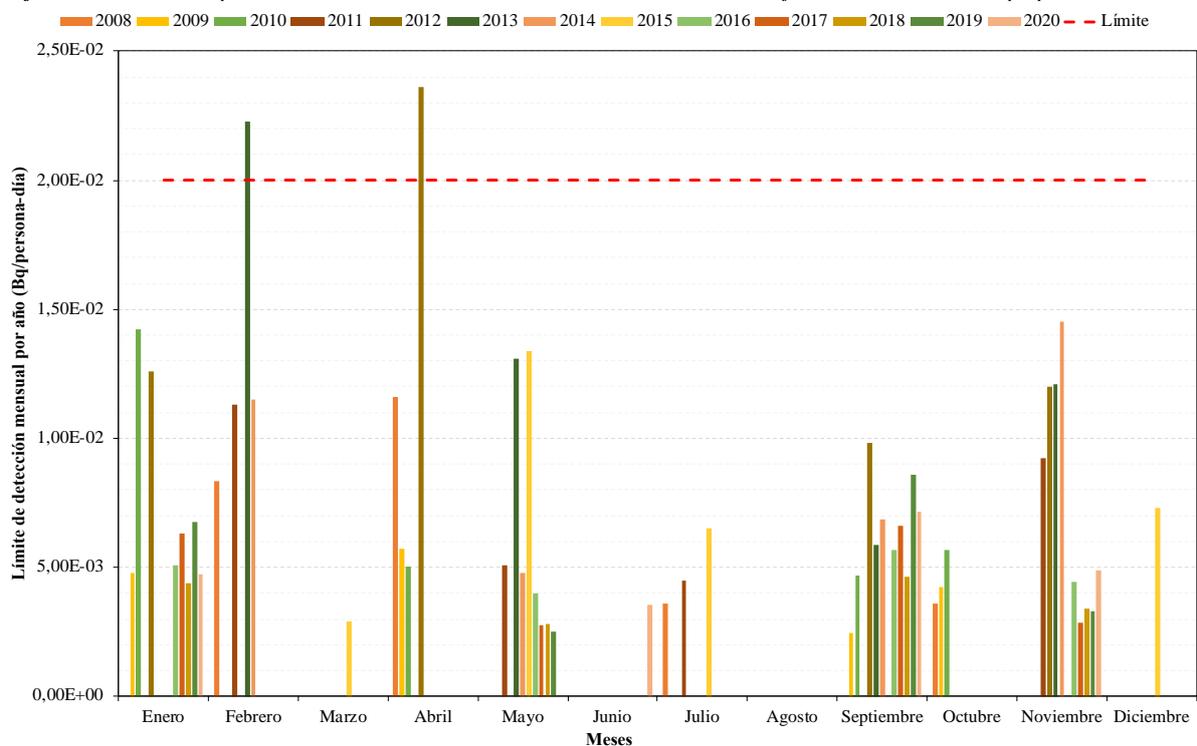
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 61. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en las Islas Baleares. Fuente: Elaboración propia.



En Badajoz, el incumplimiento ocurre de forma puntual, en dos ocasiones siendo la primera en el abril del 2012 y la segunda en febrero del 2013.

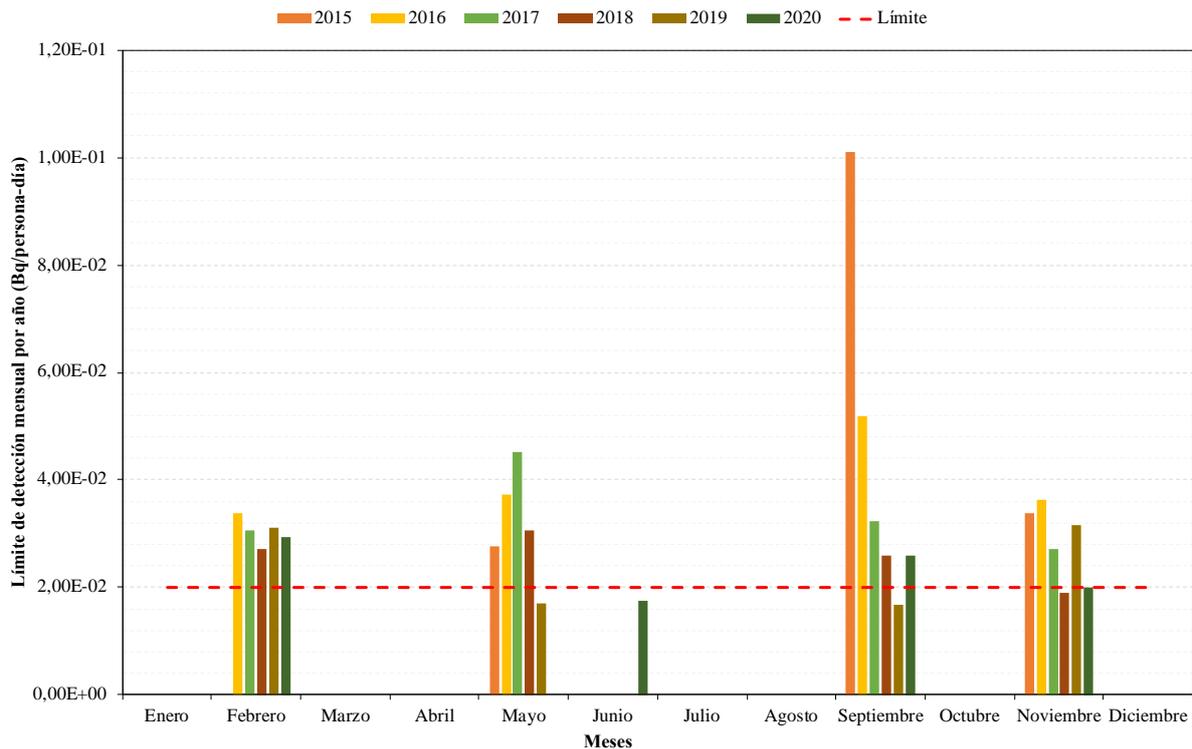
Gráfica 62. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Badajoz. Fuente: Elaboración propia.



En el caso de Ferrol, como se puede observar en la gráfica 63 el límite se supera prácticamente en todos los años. No obstante, parece que con los años el valor se va reduciendo.

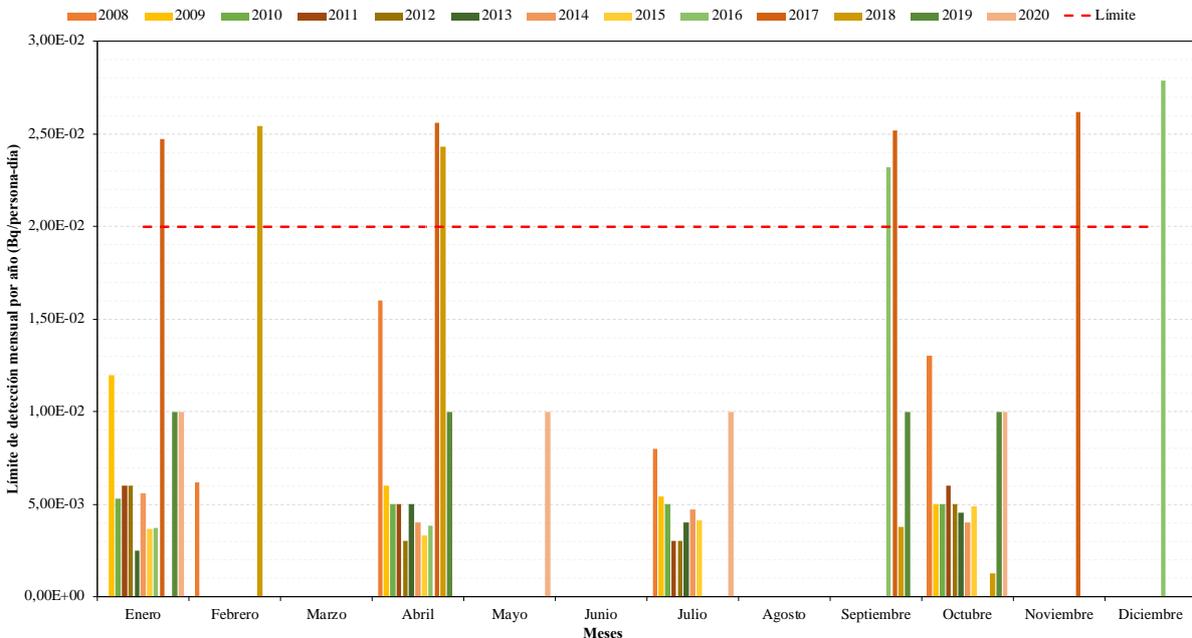
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 63. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Ferrol. Fuente: Elaboración propia.



En Cáceres a diferencia del resto, se puede ver como los valores del límite se superan en los años 2016, 2017 y 2018. Este aumento se puede tomar como un indicador de que ha habido un cambio de algún equipo de medida por alguno más moderno o el cambio en la metodología utilizada para analizar la muestra, puesto que en el 2020 este valor es el mismo de 0,1 Bq/persona-día.

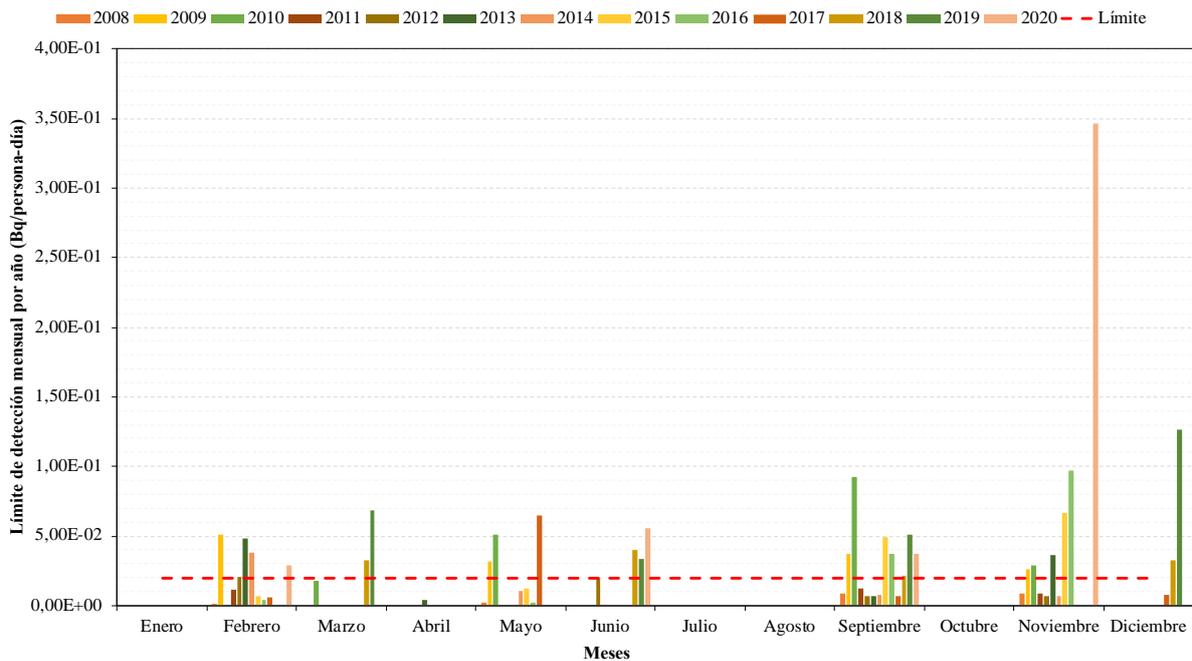
Gráfica 64. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Cáceres. Fuente: Elaboración propia.



En el caso de Ciudad Real, el límite se supera todos los años, destacando el valor de noviembre del 2020.

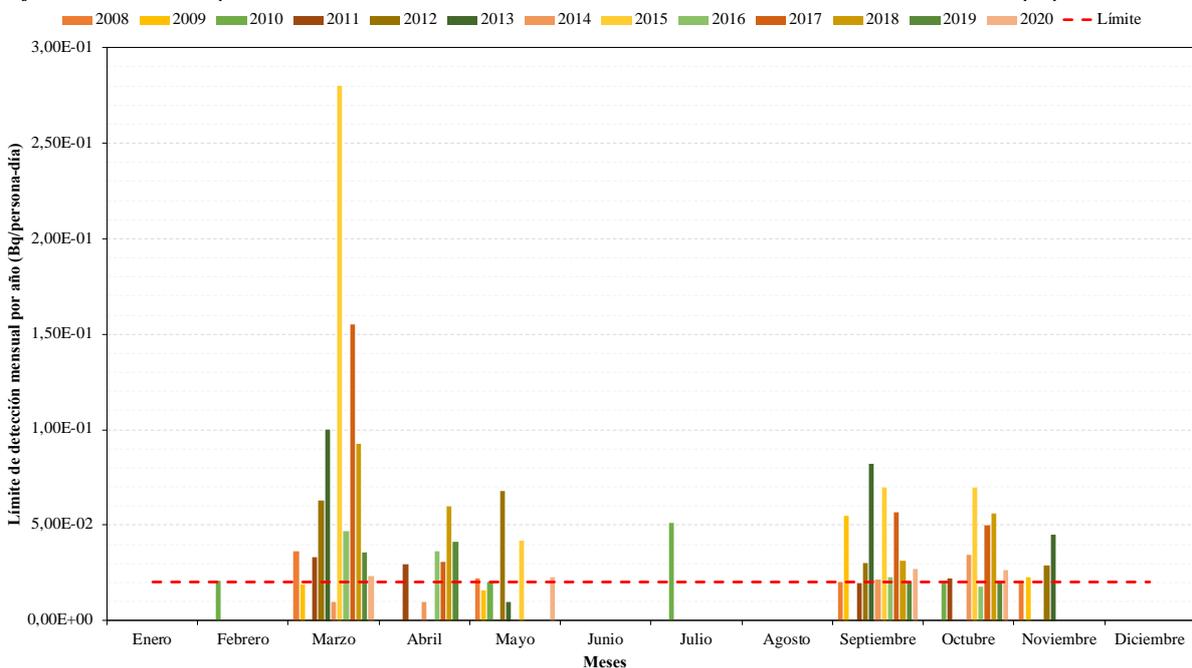
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 65. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Ciudad Real. Fuente: Elaboración propia.



En la siguiente gráfica 66, se puede observar que el límite de detección requerido en Cantabria se supera durante varios años donde destaca el mes de marzo en todos ellos, ya que se puede ver como los valores más elevados se observan en dicho mes.

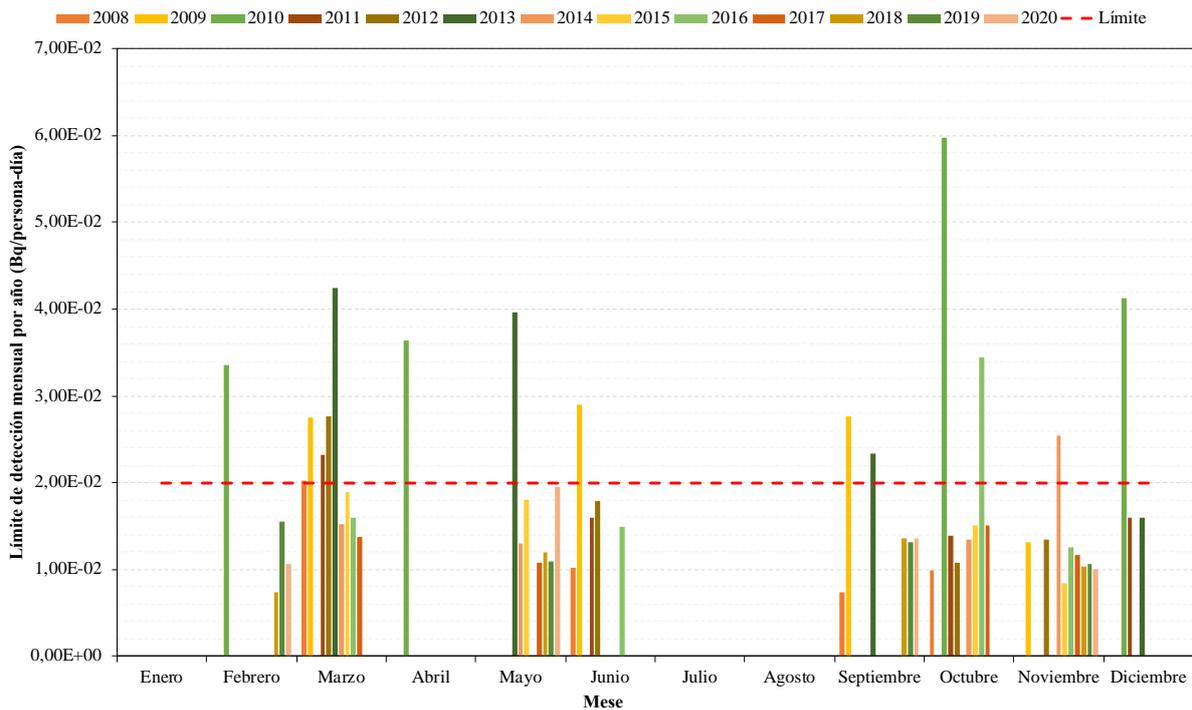
Gráfica 66. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Cantabria. Fuente: Elaboración propia.



En Granda, como en la mayoría de las estaciones de estudio el límite de detección requerido se supera durante los primeros años reduciéndose los valores poco a poco con los años.

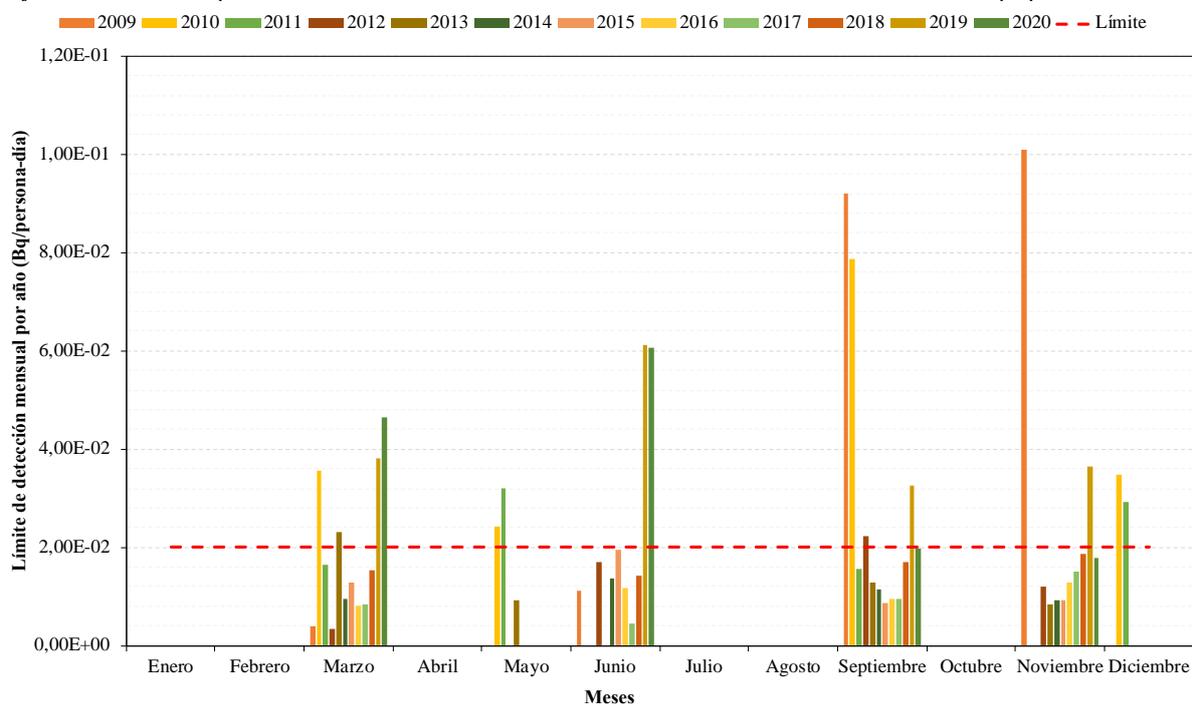
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 67. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Granada. Fuente: Elaboración propia.



En Madrid, se puede observar cómo se supera el valor establecido siendo septiembre y noviembre del 2009 los de mayor diferencia, seguidos por los valores del 2019 y 2020.

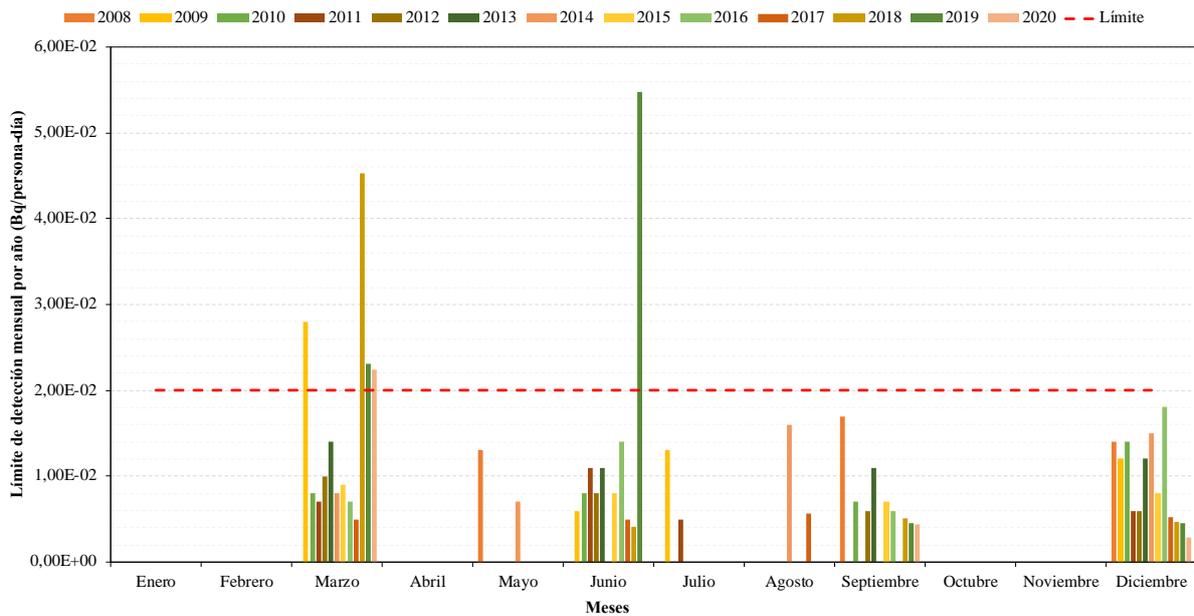
Gráfica 68. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Madrid. Fuente: Elaboración propia.



En el caso de León, se puede observar cómo existe un incumplimiento de los límites establecidos, pero se ve como estos valores se van reduciendo con el tiempo a excepción del mes de marzo que se supera el valor en el año 2019 y 2020.

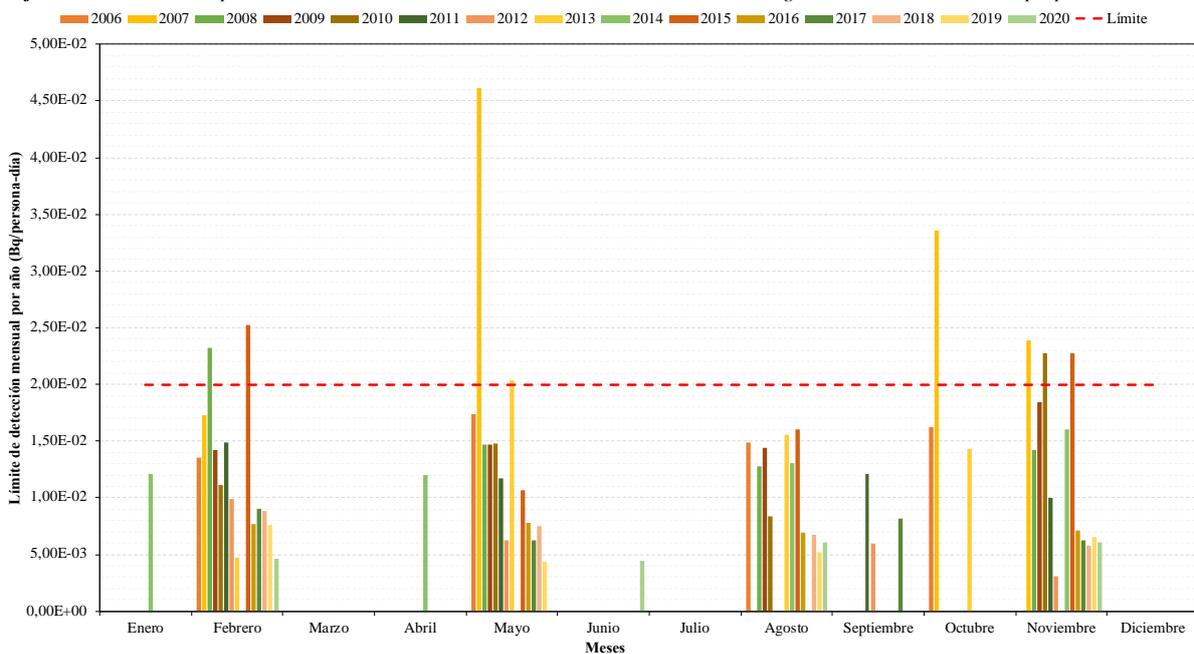
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

**Gráfica 69.** Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en León. *Fuente: Elaboración propia.*



En el caso de La Laguna, se puede ver como en los primeros años se supera el valor límite establecido, sin embargo, desde el 2016 este límite no se vuelve a superar y va disminuyendo el mismo con el tiempo.

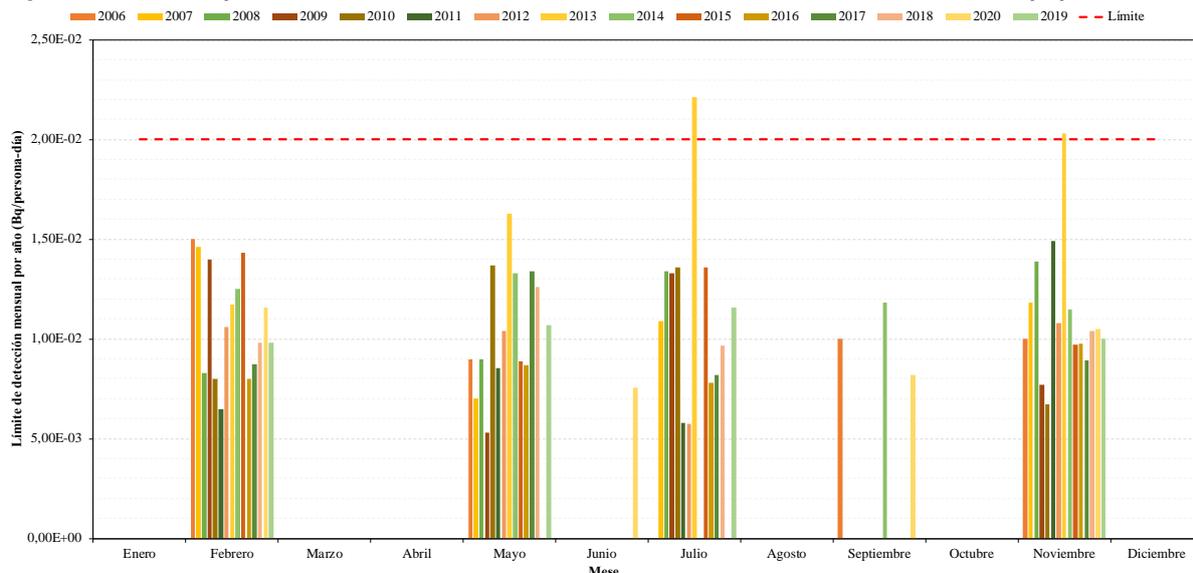
**Gráfica 70.** Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en La laguna. *Fuente: Elaboración propia.*



Como se observa en la gráfica 71, en Barcelona el incumplimiento del límite es puntual en el año 2013 durante los meses de julio y noviembre.

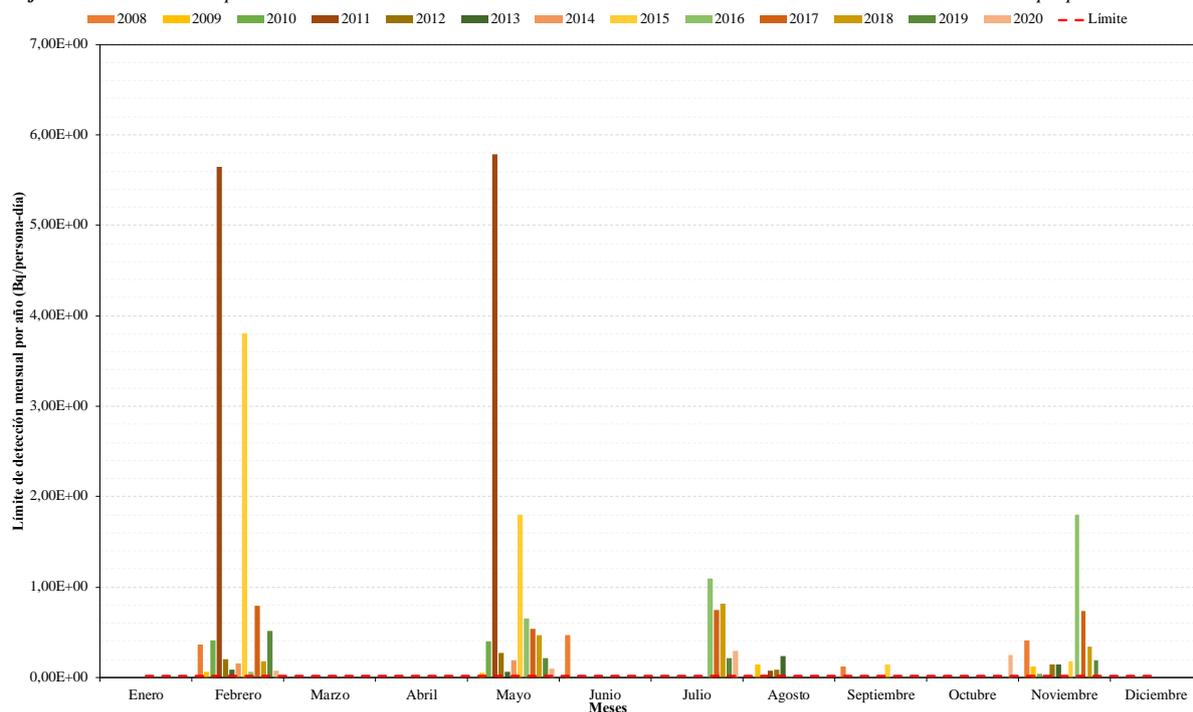
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 71. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Barcelona. Fuente: Elaboración propia.



En Salamanca, se puede ver en la gráfica 72, como el límite de detección requerido se supera en todas las ocasiones siendo el año 2011 el más destacable. Además, hay que mencionar que los valores del estroncio-90 en Salamanca son muy elevados en comparación con el resto de estaciones de muestreo.

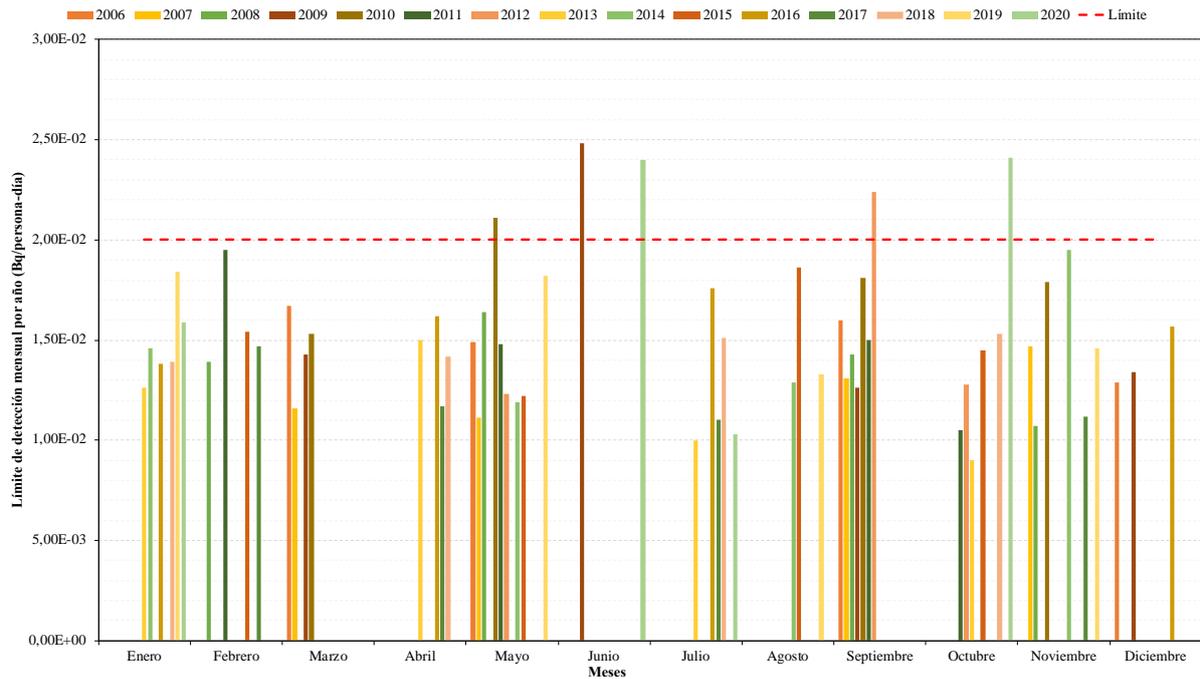
Gráfica 72. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Salamanca. Fuente: Elaboración propia.



Al igual que muchas ostras, estaciones de muestreo Sevilla supera los límites de detección de forma puntual destacando los meses de julio y octubre del año 2020. (véase gráfica 73)

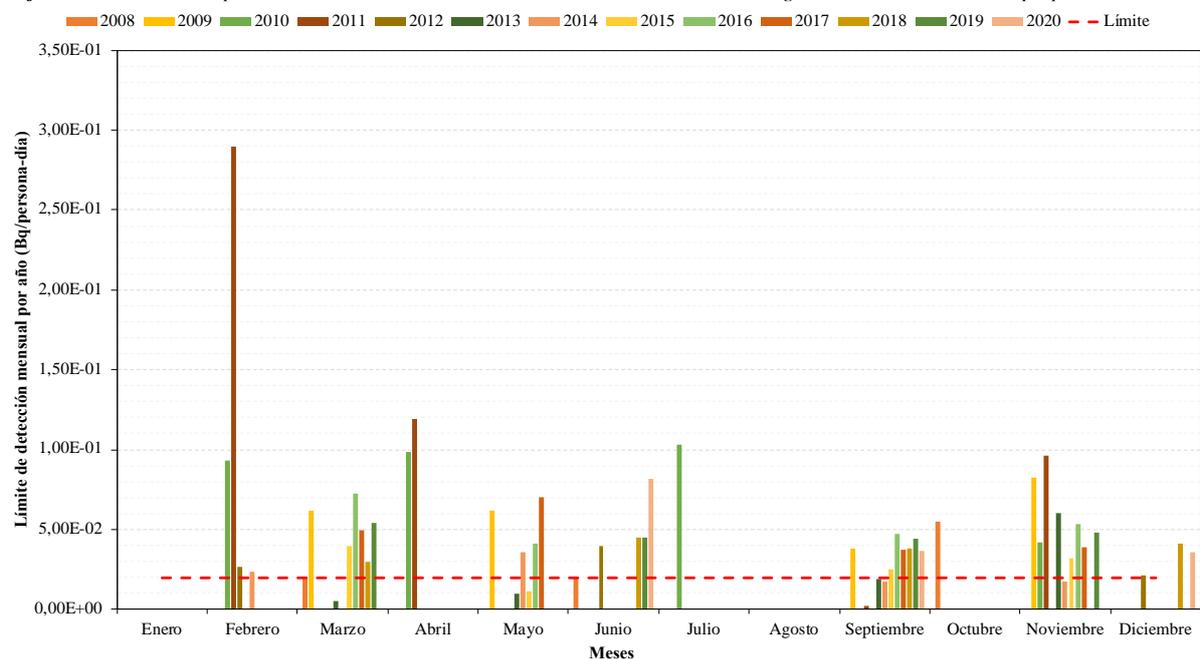
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 73. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.



En lo referente a Zaragoza, el límite establecido se supera prácticamente siempre destacando el año 2011, donde el valor es el más elevado de todos.

Gráfica 74. Evolución temporal del límite de detección del estroncio-90 de la dieta en Zaragoza. Fuente: Elaboración propia.



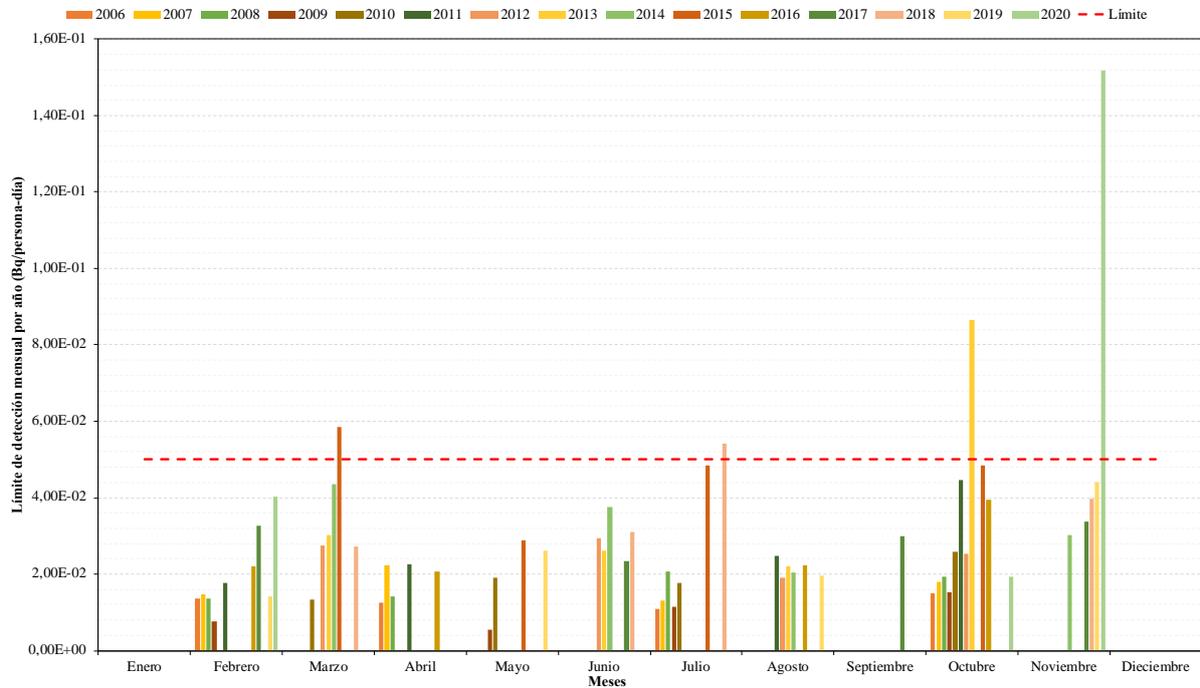
## 4.2.1.2. Análisis del cesio-137

Analizando todas las zonas de muestreo, se puede observar que en la gran mayoría de ellas se superan los límites de detección requeridos, cabe mencionar que éstos son bastante estrictos. Se observa que para alcanzar ese límite de detección algunos laboratorios miden básicamente durante 1 semana. Y más concretamente, en el laboratorio LMBA de la Universidad del País Vasco (Bilbao), lo hacen en un detector de germanio hiperpuro de muy alta eficiencia de detección, concretamente, un 90% de eficiencia relativa.

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

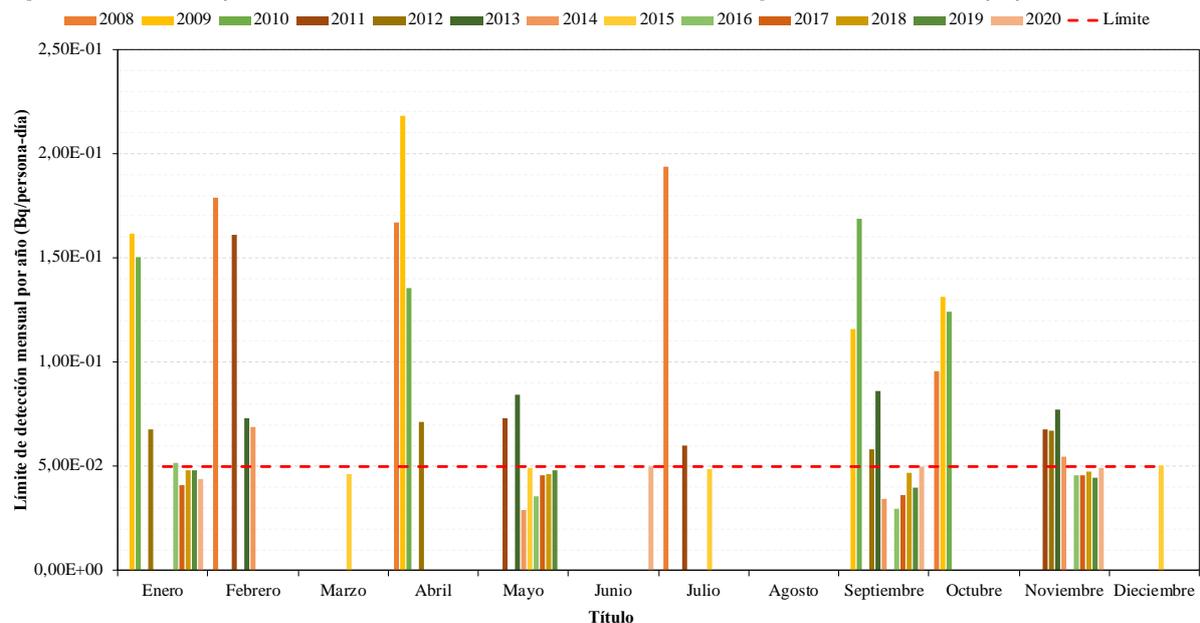
Observando la gráfica 75, se ve cómo en el CIEMAT el primer y el último año del mes no se han suministrado valores del LID. Además, cabe mencionar que el mes con mayor valor es en noviembre y en el 2020. Por lo que podría indicar que no se está realizando correctamente algún paso en el análisis.

**Gráfica 75.** Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en el CIEMAT. **Fuente:** Elaboración propia.



Al igual que en el CIEMAT, en Badajoz también hay un mes el cual no tiene valores, mientras que el resto de los meses tienen valores y varios de ellos superando dicho límite de detección establecido. No obstante, se puede ver como a partir del 2016 se va disminuyendo no superándose, aunque todos se acercan bastante al límite.

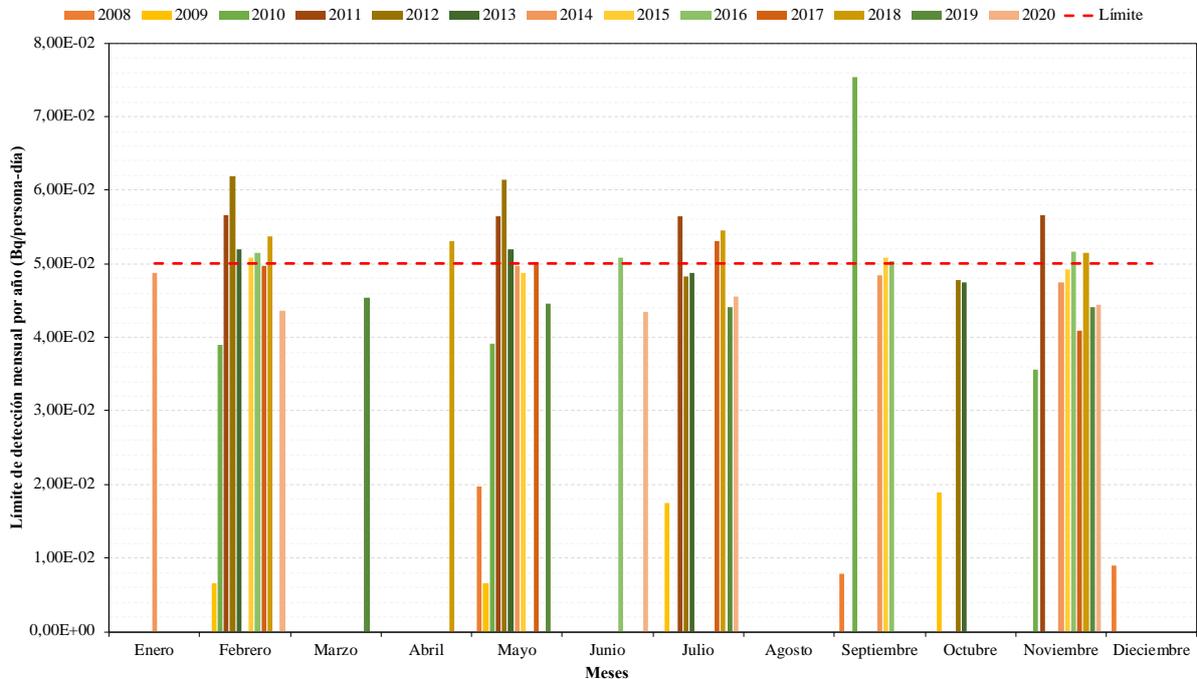
**Gráfica 76.** Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Badajoz. **Fuente:** Elaboración propia.



## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

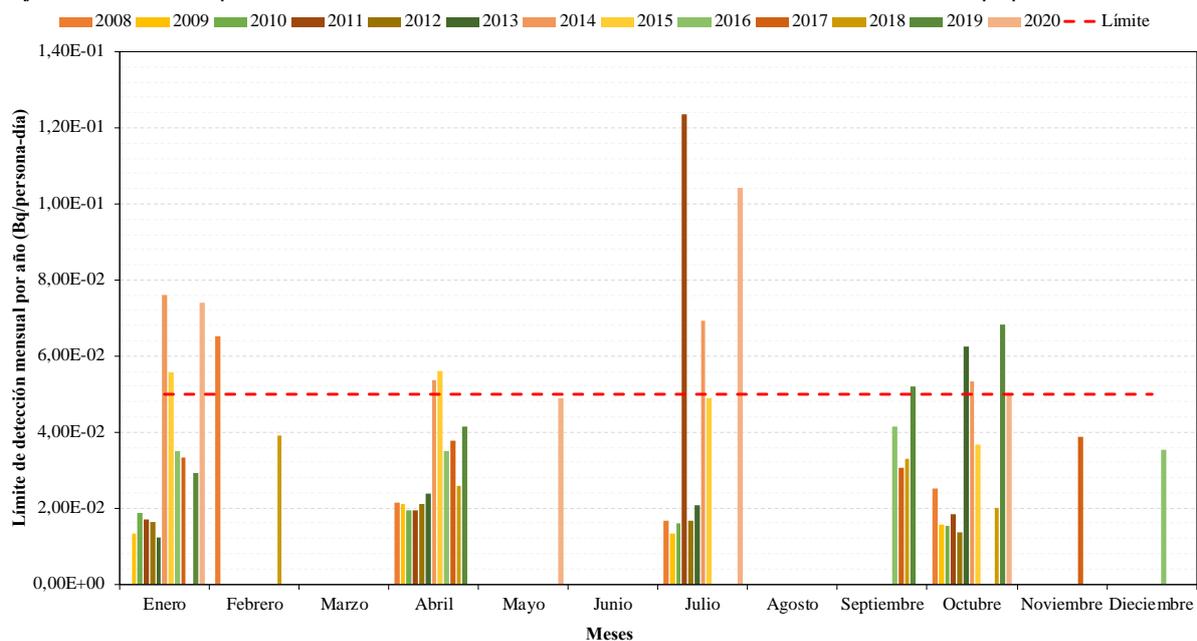
En la gráfica 77, se puede ver como en Baleares, sucede lo mismo que en Badajoz, es decir, no existen valores en agosto, esto puede ser debido al periodo vacacional de las zonas de muestreo, pues la mayoría de ellas se encuentran en universidades que pueden cerrar las instalaciones. Como se puede observar, el límite se supera durante varios años y meses, aunque tienda a disminuirse, ya que en los dos últimos años no se llega al límite.

Gráfica 77. Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Baleares. Fuente: Elaboración propia.



En Cáceres (véase gráfica 78), destacan todos los años en los cuales se han obtenido valores del LID en enero, abril, julio y octubre. Ya que en esos meses se ha incumplido el límite establecido. Además, como se puede ver los primeros años los valores no eran tan elevados como en los últimos, lo que llega a pensar que han podido tener algún cambio en la forma de medir o en la sustitución de los equipos.

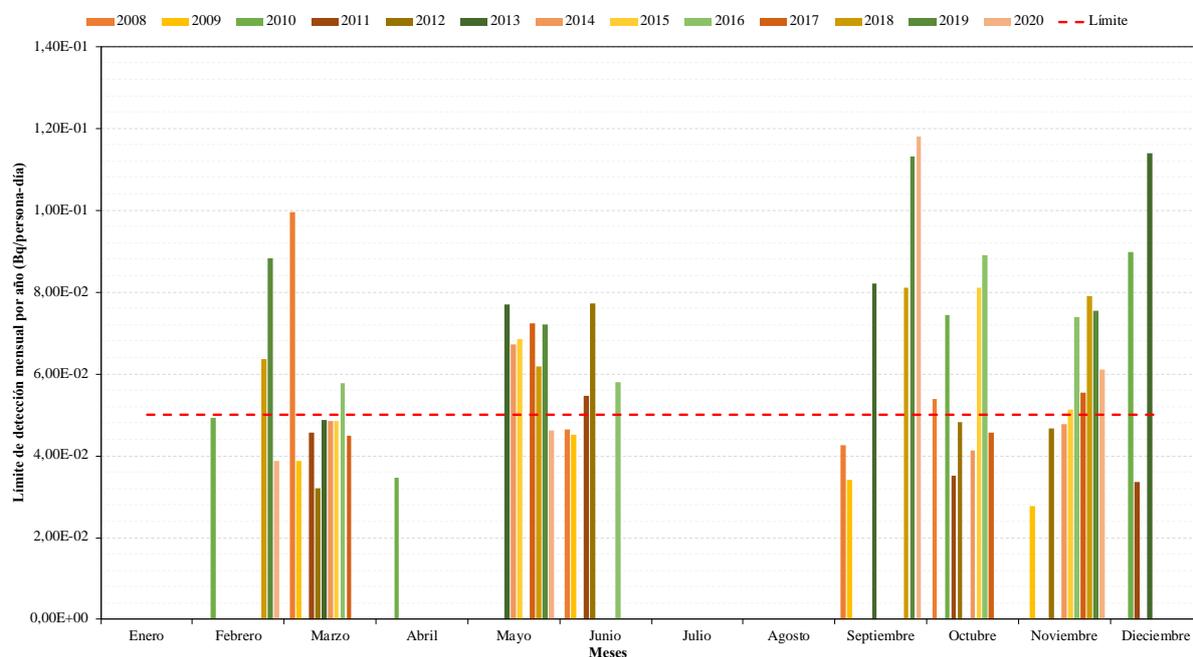
Gráfica 78. Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Cáceres. Fuente: Elaboración propia.



## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

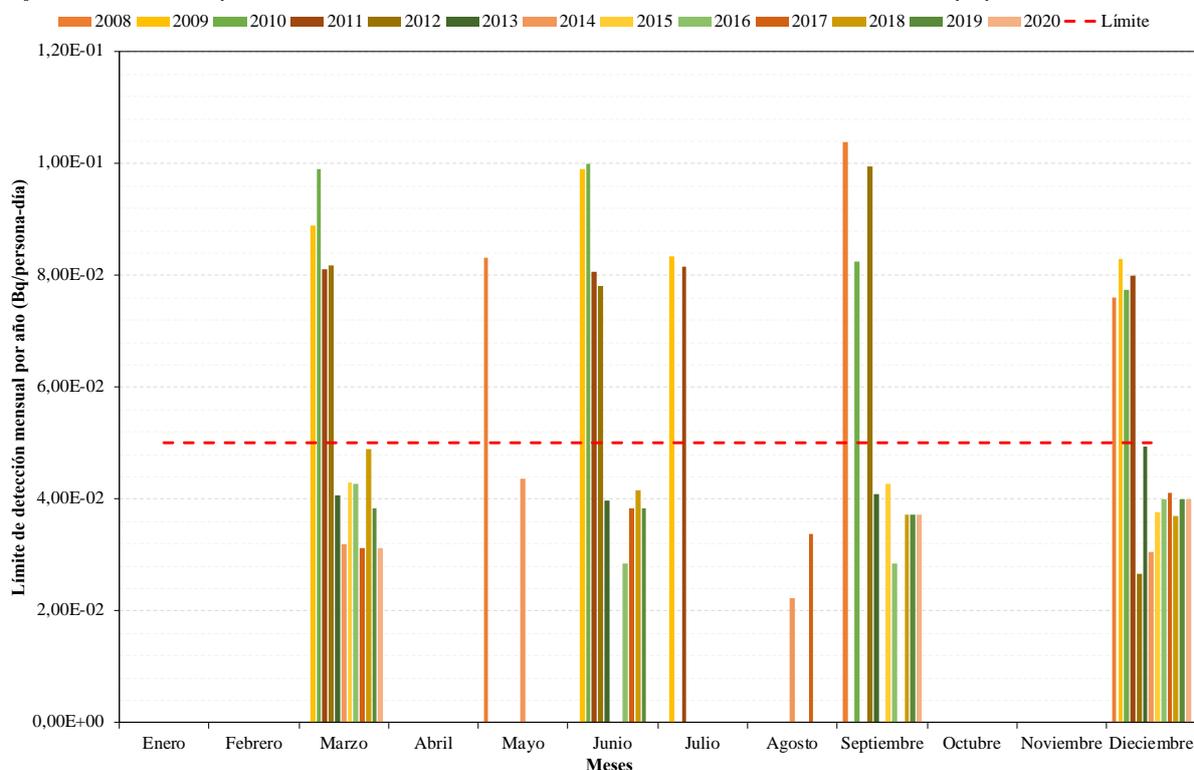
En el caso de Granada se puede observar en la gráfica 79, que al igual que en otras estaciones no se tienen todos los valores, pero la mayoría de ellos superan el límite.

Gráfica 79. Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Granada. Fuente: Elaboración propia.



En León (véase gráfica 80), se puede ver como casi todos los valores superan el límite durante los primeros años de muestreo. Sin embargo, estos valores van disminuyendo a partir del 2017, siendo los últimos prácticamente constantes.

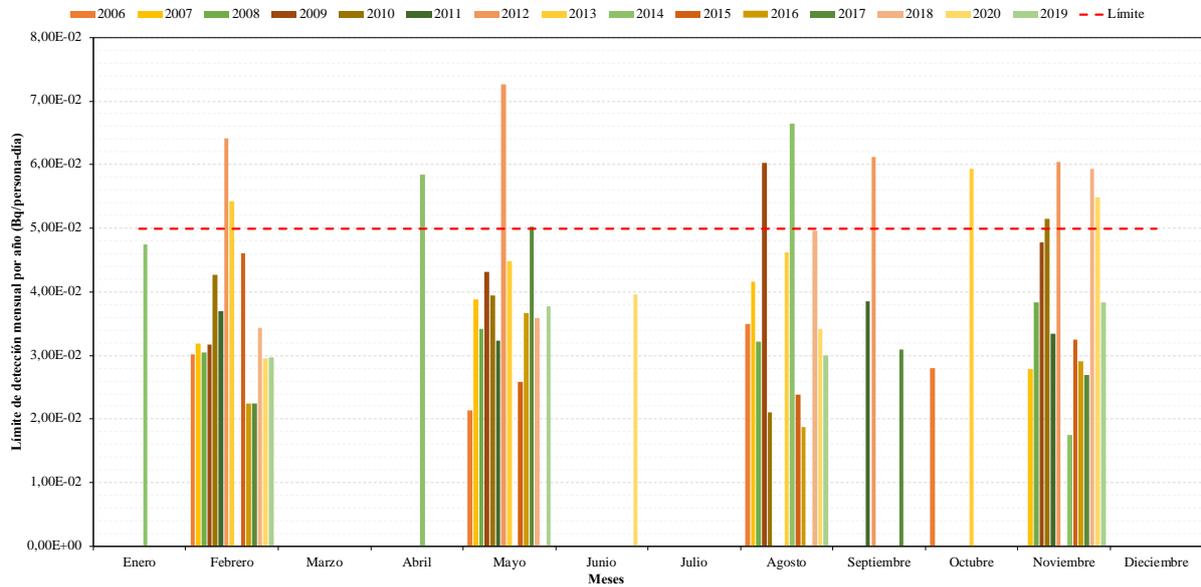
Gráfica 80. Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en León. Fuente: Elaboración propia.



# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

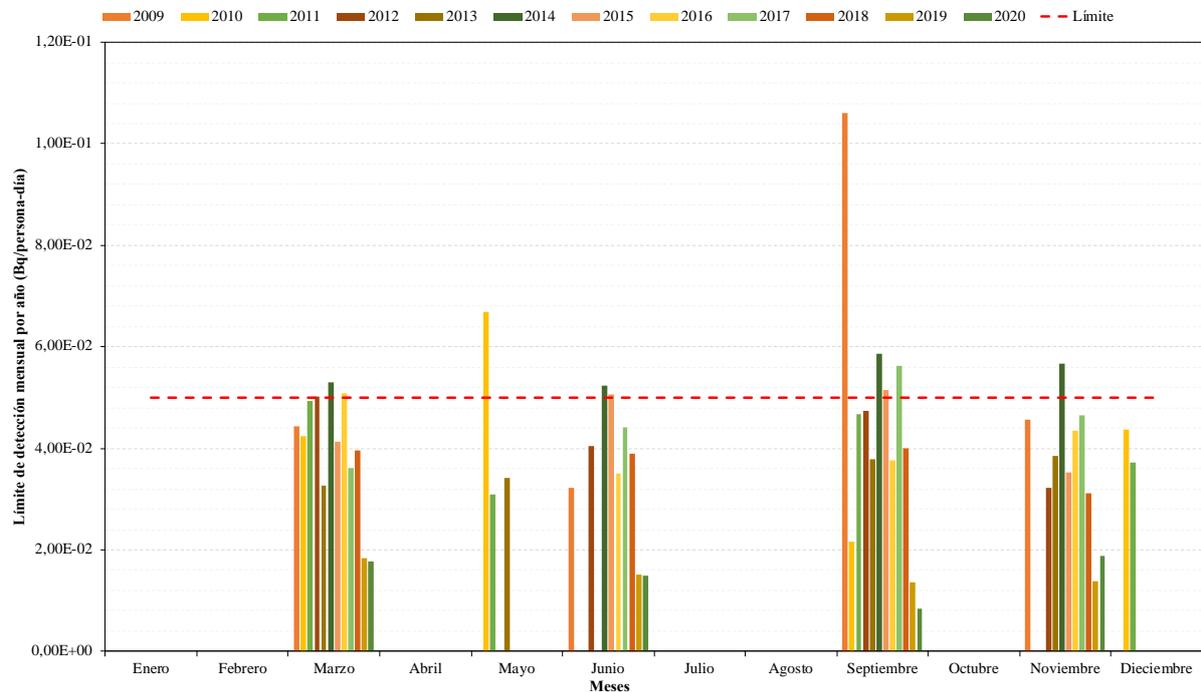
En la gráfica 81 se puede ver como en La Laguna realiza el análisis de las muestras en el segundo mes de cada trimestre, siendo el 2012 el año con los valores más elevados detectados.

**Gráfica 81.** Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en La laguna. **Fuente:** Elaboración propia.



En Madrid, el incumplimiento del límite sucede durante los primeros años (véase gráfica 82), ya que estos valores empiezas a decaer según pasa el tiempo.

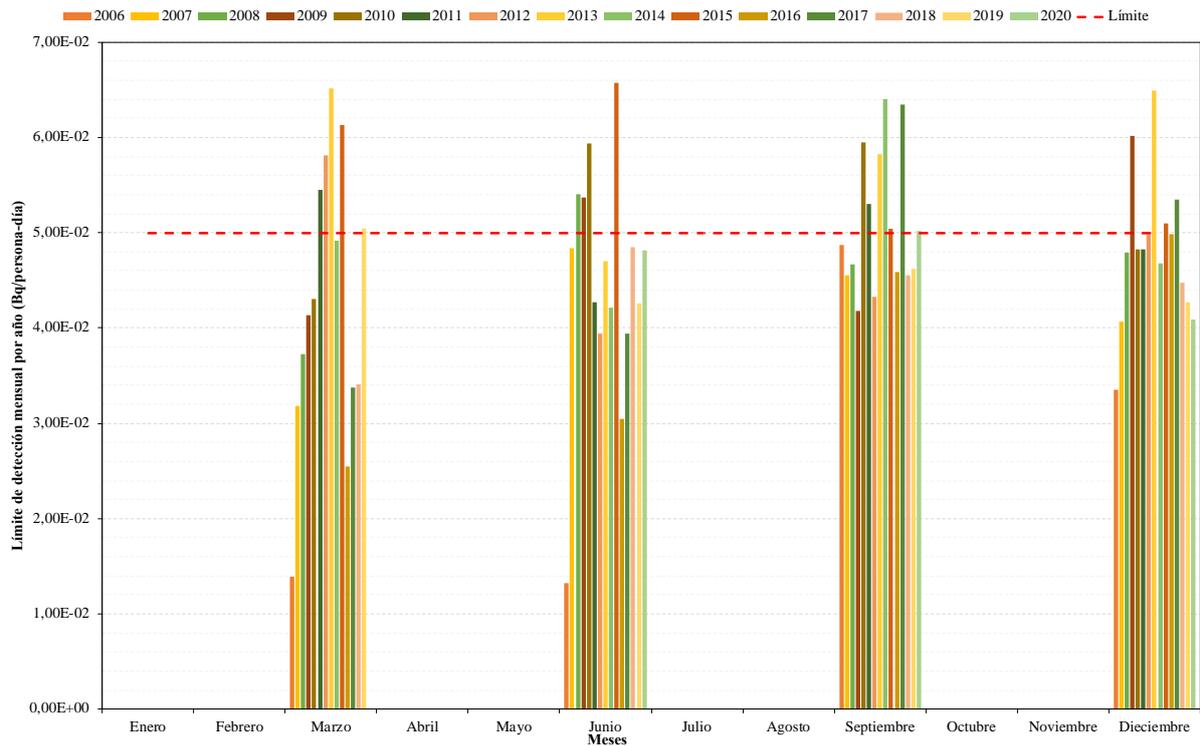
**Gráfica 82.** Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Madrid. **Fuente:** Elaboración propia.



En Bilbao, se puede observar como las muestras se analizan en el último mes de cada trimestre (véase gráfica 83). Analizando los valores obtenidos se puede ver como los resultados suelen rondar valores similares.

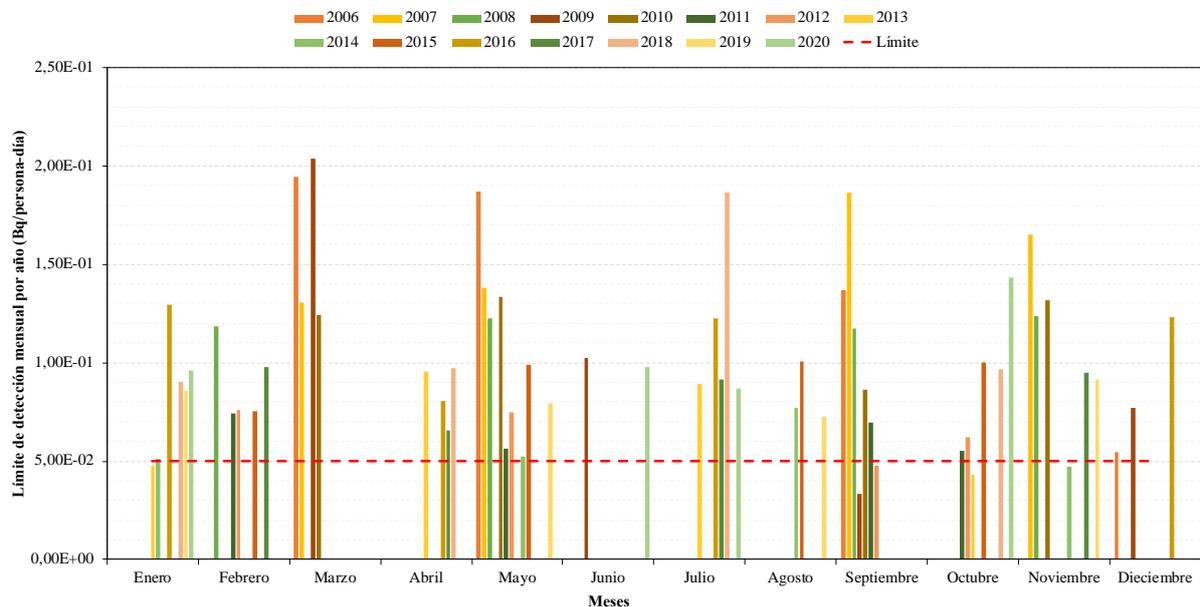
# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

**Gráfica 83.** Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Bilbao. **Fuente:** Elaboración propia.



En cuanto a Sevilla se puede ver como en la gráfica 84, a excepción de algunos meses los valores superan el límite la mayoría de las veces.

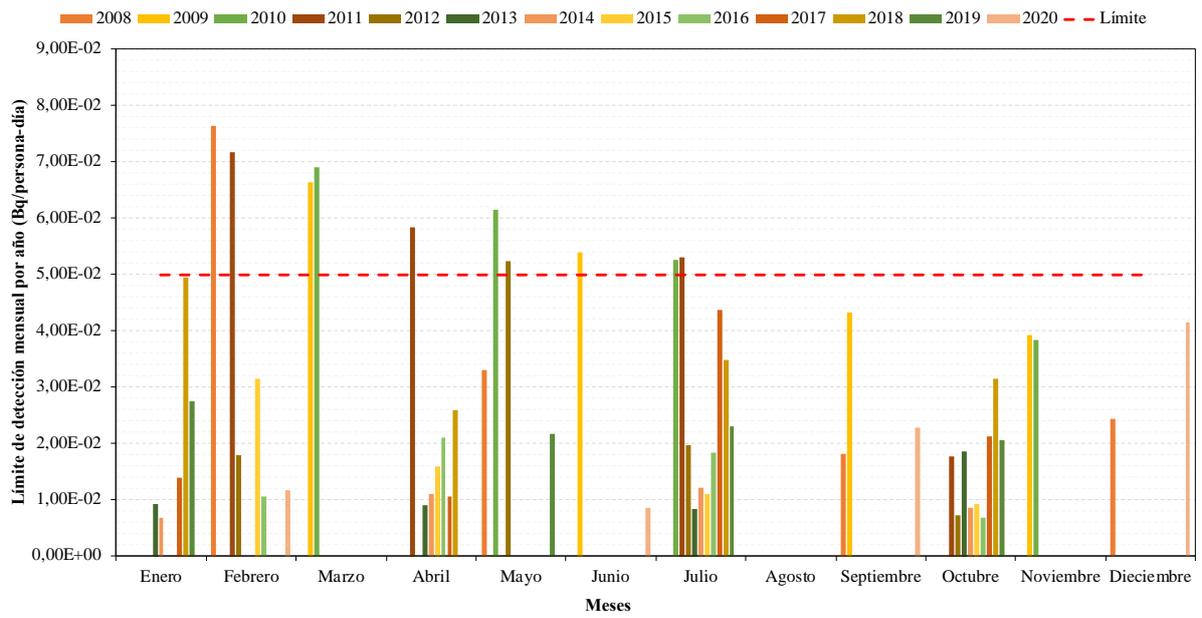
**Gráfica 84.** Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Sevilla. **Fuente:** Elaboración propia.



Mientras en Valencia, se muestra como el incumplimiento de los límites de detección son en los primeros meses y durante los primeros años de muestreo hasta el 2016 donde no se vuelven a superar.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 85. Evolución temporal del límite de detección del cesio-137 de la dieta en Valencia P. Fuente: Elaboración propia.



## 4.2.2 Evolución temporal en España

En este apartado, como se indica en el título se ha realizado un estudio sobre la evolución temporal en España. Como se puede ver en el Anexo I y en el apartado de los incumplimientos del límite de detección en la dieta, existen 20 estaciones de muestreo. Sin embargo, se ha decidido realizar este estudio solamente para las zonas de muestro de la red de alta sensibilidad. Esta decisión ha sido tomada en un primer lugar para realizar el mismo estudio que se ha llevado a cabo con la muestra del agua y para simplificar el estudio y poder realizar una comparativa con los datos de Europa de una forma más sencilla. No obstante, en el Anexo I, se muestra únicamente el análisis estadístico de las estaciones de la red densa.

### 4.2.2.1. Análisis temporal estadístico

#### 4.2.2.1.1. Estroncio-90

En la Tabla 21, se muestran los valores para el Sr-90. Como se observa, el valor máximo es el CIEMAT al igual que en el valor promedio y que el valor mínimo. No obstante, existe cierta diferencia entre el número más alto y más bajo de los valores máximos, puesto que, entre el CIEMAT y Barcelona, existe una diferencia de prácticamente la mitad.

*Tabla 21. Resultados del análisis de los datos para el Sr-90. Fuente: Elaboración propia.*

Zona de muestreo	Máximo (Bq/persona-día)	Mínimo (Bq/persona-día)	Promedio (Bq/persona-día)	Desviación típica (Bq/persona-día)	nº de análisis con identificación positiva	Límite de detección	nº análisis > límite de detección / nº de análisis
CIEMAT	2,30E-01	2,93E-03	7,53E-02	6,56E-02	46	59	46/59
Sevilla	1,08E-01	1,20E-02	4,25E-02	1,99E-02	54	60	54/60
Bilbao	1,08E-01	9,07E-03	3,30E-02	1,85E-02	73	81	73/81
Cáceres	1,09E-01	1,16E-02	3,90E-02	1,82E-02	50	52	50/52
Barcelona	6,46E-02	1,78E-02	3,48E-02	1,06E-02	59	60	59/60
La Laguna	1,70E-01	1,88E-02	7,17E-02	4,43E-02	60	60	60/60

#### 4.2.2.1.2. Cesio-137

En la Tabla 22, se muestran los valores para el Cs-137, donde destaca la diferencia entre los valores máximos y mínimos de las muestras. Como se observa, el valor máximo es Barcelona mientras que el mínimo es el de Bilbao, ambos con una diferencia de dos órdenes de magnitud. No obstante, en el caso del promedio se muestra como el valor más elevado es el de Sevilla, aunque este valor no se puede tener en cuenta, puesto que solo existen dos valores de actividad.

*Tabla 22. Resultados del análisis de los datos para el Cs-137. Fuente: Elaboración propia.*

Zona de muestreo	Máximo (Bq/persona-día)	Mínimo (Bq/persona-día)	Promedio (Bq/persona-día)	Desviación típica (Bq/persona-día)	nº de análisis con identificación positiva	Límite de detección	nº análisis > límite de detección / nº de análisis
CIEMAT	1,05E-01	1,86E-02	4,26E-02	2,15E-02	30	59	30/59
Sevilla	1,40E-01	6,14E-02	1,01E-01	5,55E-02	2	60	2/60
Bilbao	8,41E-02	1,70E-03	3,74E-02	1,69E-02	34	81	33/81
Cáceres	7,93E-02	3,30E-02	5,36E-02	1,52E-02	16	52	16/52
Barcelona	3,33E-01	2,77E-02	6,62E-02	4,67E-02	50	60	50/60
La Laguna	1,72E-01	1,24E-02	3,96E-02	2,61E-02	56	60	56/60

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

### 4.2.2.1.3. Carbono-14

En lo referente al carbono-14, se puede ver en la tabla 23, como la mayor presencia de este radionucleido es en Bilbao existiendo una gran diferencia con La Laguna, siendo este el valor más bajo de los máximos. En el caso del valor mínimo se puede ver como todos rondan sobre los 30 Bq/m<sup>3</sup>, mientras que en el CIEMAT este valor se halla aproximadamente por la mitad. Además, CIEMAT no encuentra actividad en 24 de sus 47 determinaciones. Resulta muy curioso dado el origen natural y artificial del C-14, presente en todo material biológico y además es un comportamiento que es totalmente distinto al del resto de laboratorios que dan valor de actividad en prácticamente el 100% de los análisis.

Tabla 23. Resultados del análisis de los datos para el C-14. Fuente: Elaboración propia.

Zona de muestreo	Máximo (Bq/persona-día)	Mínimo (Bq/persona-día)	Promedio (Bq/persona-día)	Desviación típica (Bq/persona-día)	nº de análisis con identificación positiva	Límite de detección	nº análisis > límite de detección /nº de análisis
CIEMAT	1,93E+02	1,69E+01	7,43E+01	5,41E+01	23	47	23/47
Sevilla	6,38E+01	3,10E+01	4,24E+01	7,28E+00	52	52	51/52
Bilbao	4,98E+02	2,17E+01	7,25E+01	7,05E+01	50	51	50/51
Cáceres	8,30E+01	3,49E+01	5,82E+01	8,77E+00	50	50	50/50
Barcelona	1,56E+02	3,39E+01	7,33E+01	2,75E+01	52	52	52/52
La Laguna	7,45E+01	2,36E+01	5,29E+01	1,07E+01	51	51	51/51

### 4.2.2.1.4. Potasio-40

Como se muestra en la tabla 24, se pueden ver los valores máximos y mínimos del potasio-40 en la dieta. En lo referente al valor máximo se puede observar que entre Cáceres y el CIEMAT la diferencia es de la mitad, esta misma correlación sucede con los valores mínimos. Sin embargo, el valor mínimo le corresponde a Bilbao, la cual tiene un valor que difiere del resto en dos órdenes de magnitud.

De nuevo nos encontramos con un caso curioso, porque el laboratorio de Cáceres no encuentra actividad de K-40 en 50 de sus 52 determinaciones. Resulta muy sorprendente dado el origen natural del K-40, presente en todo material que incorpore potasio, oligoelemento presente en una dieta básica y además es un comportamiento que es totalmente distinto al del resto de laboratorios que dan valor de actividad en prácticamente el 100% de los análisis.

Tabla 24. Resultados del análisis de los datos para el K-40. Fuente: Elaboración propia.

Zona de muestreo	Máximo (Bq/persona-día)	Mínimo (Bq/persona-día)	Promedio (Bq/persona-día)	Desviación típica (Bq/persona-día)	nº de análisis con identificación positiva	Límite de detección	nº análisis > límite de detección /nº de análisis
CIEMAT	3,03E+02	4,87E+01	1,36E+02	3,75E+01	59	59	59/59
Sevilla	2,76E+02	8,51E+00	1,13E+02	3,82E+01	55	60	55/60
Bilbao	1,47E+02	1,37E-01	7,85E+01	1,27E+01	60	81	60/81
Cáceres	1,12E+02	9,15E+01	1,02E+02	1,46E+01	2	52	2/52
Barcelona	2,36E+02	6,77E+01	1,52E+02	3,88E+01	60	60	60/60
La Laguna	1,56E+02	6,43E+01	1,06E+02	2,03E+01	60	60	60/60

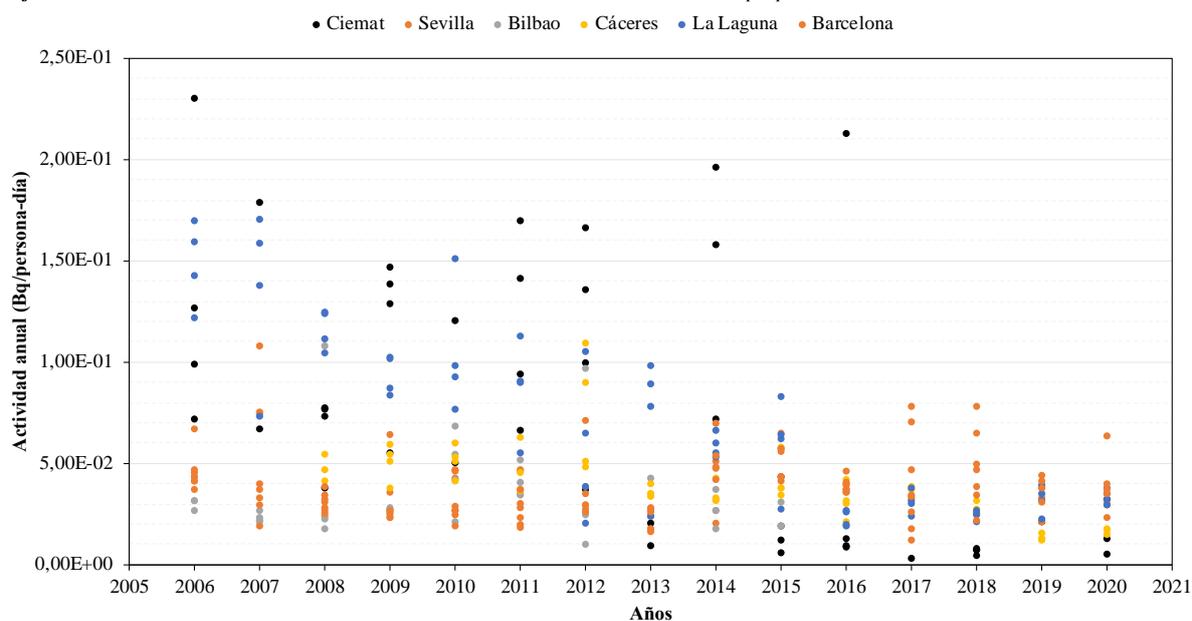
## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

### 4.2.2.2. Evolución temporal

#### 4.2.2.2.1. Estroncio-90

Como se puede observar en la gráfica 86, las estaciones de Bilbao, Cáceres y Sevilla tienen unos valores entre  $1E-02$  y  $1E+00$  durante el periodo estudiado, a excepción de algunos valores puntuales. No obstante, destacan el CIEMAT y La Laguna, en ambos casos, con el tiempo sus valores van disminuyendo. No obstante, en el caso del CIEMAT se ve cómo en varias ocasiones el valor aumenta, por ejemplo, en el mismo año 2016 el CIEMAT registra valores entorno a los  $2E-01$  Bq/persona-día y a su vez, valores de  $0,1 E+00$  Bq/persona-día.

Gráfica 86. Actividad detectada de Sr-90 desde 2006 hasta 2020. Fuente: Elaboración propia.

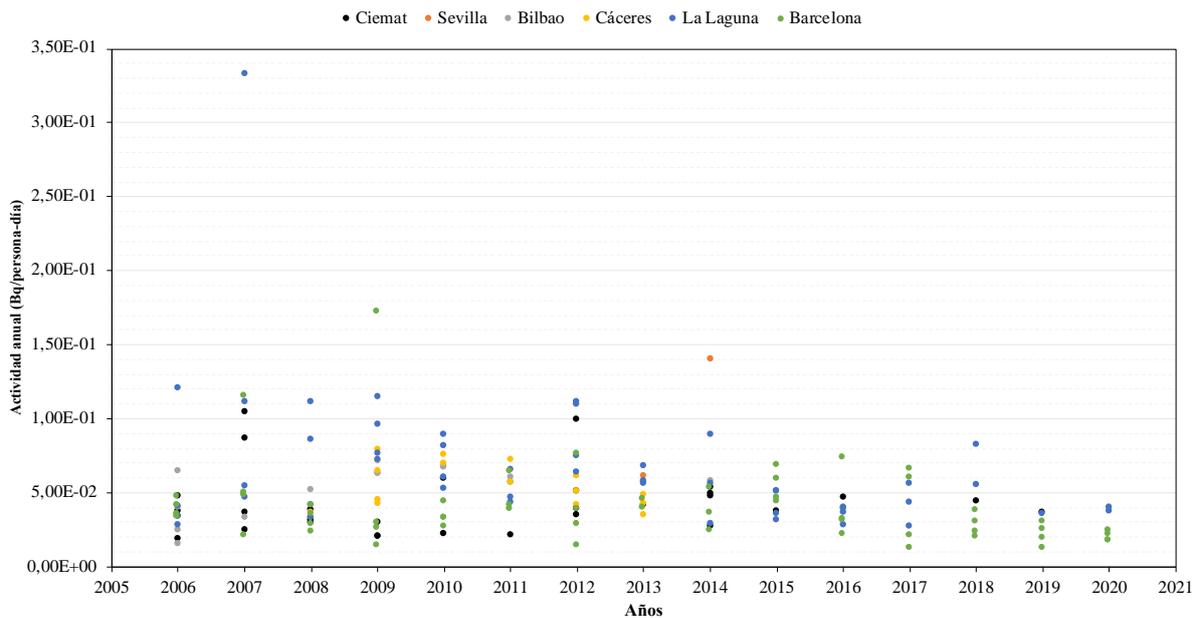


#### 4.2.2.2.2. Cesio-137

Con la gráfica 87, claramente se muestra como los valores del cesio-137 van disminuyendo con el tiempo en todas las zonas de muestreo. No obstante, se puede observar cómo La Laguna y Barcelona tienen valores más elevados de actividad.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

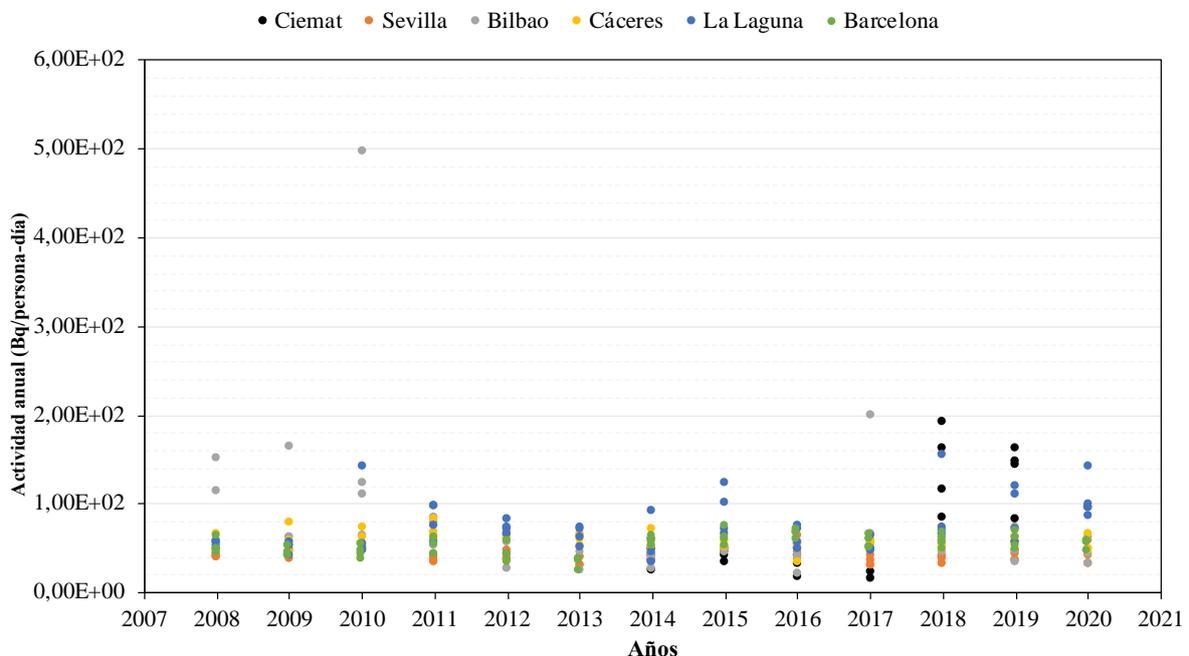
Gráfica 87. Actividad detectada de Cs-137 desde 2006 hasta 2020. Fuente: Elaboración propia.



## 4.2.2.2.3. Carbono-14

Observando la gráfica 88, del carbono-14 se puede ver como la tendencia de este isótopo es al alza en vez de a la baja en el caso del CIEMAT y de La Laguna, mientras que en el resto de los casos es al revés.

Gráfica 88. Actividad detectada de C-14 desde 2006 hasta 2020. Fuente: Elaboración propia.



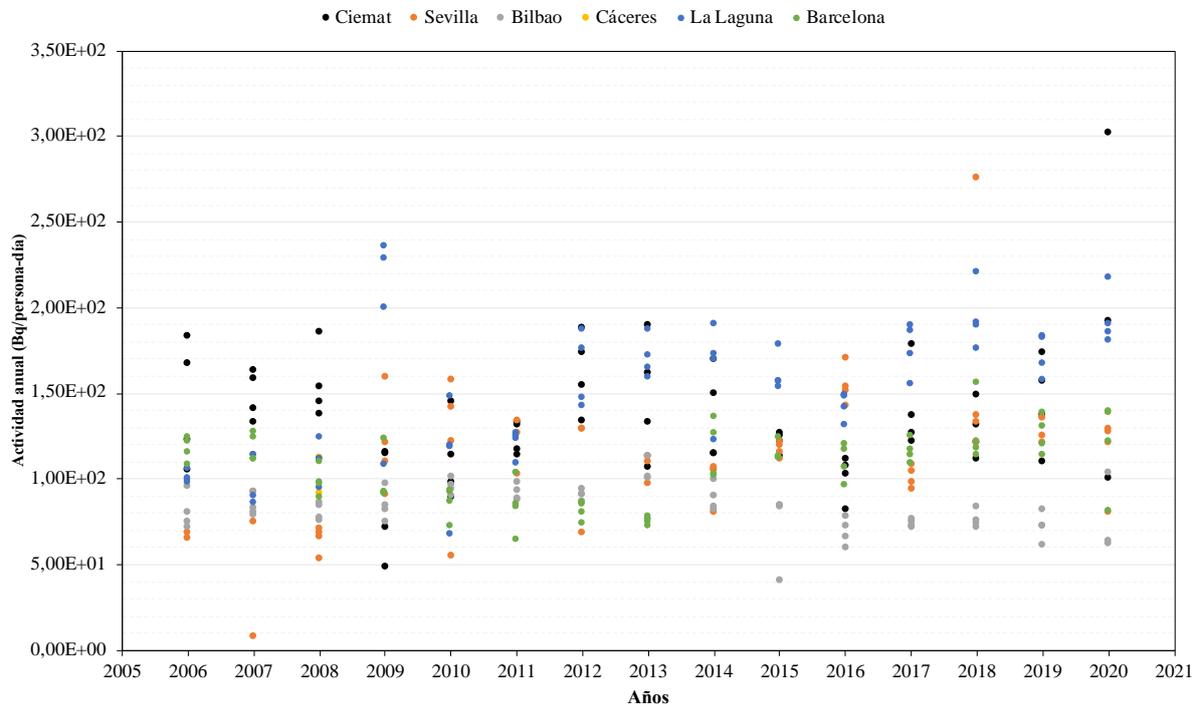
## 4.2.2.2.4. Potasio-40

En el caso del potasio, se puede observar cómo los valores son prácticamente iguales ya que el rango se sitúa sobre los 50 Bq/persona-día y los 250 Bq/persona-día durante su evolución

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

temporal. No obstante, se puede ver como Bilbao tiene una tendencia a la baja, mientras que La Laguna, por el contrario, va al alza.

Gráfica 89. Actividad detectada de K-40 desde 2006 hasta 2020. Fuente: Elaboración propia.



### 4.2.2.3. Análisis de la ley de desintegración radiactiva

Como se puede observar en la gráfica 86 y la gráfica 87, los valores las concentraciones de actividad del Sr-90 y del Cs-137 tienden a la baja ya que su periodo de desintegración es relativamente corto siendo de 28,8 años y 30,05 años respectivamente y claramente no ha habido aportes significativos a la dieta del funcionamiento de las centrales nucleares. Al tender los valores a la baja en la mayoría de los casos, queda claro que su origen es, de la desintegración radiactiva de los isótopos y del impacto de este que hace que se disminuya con el tiempo la cantidad de estos isótopos.

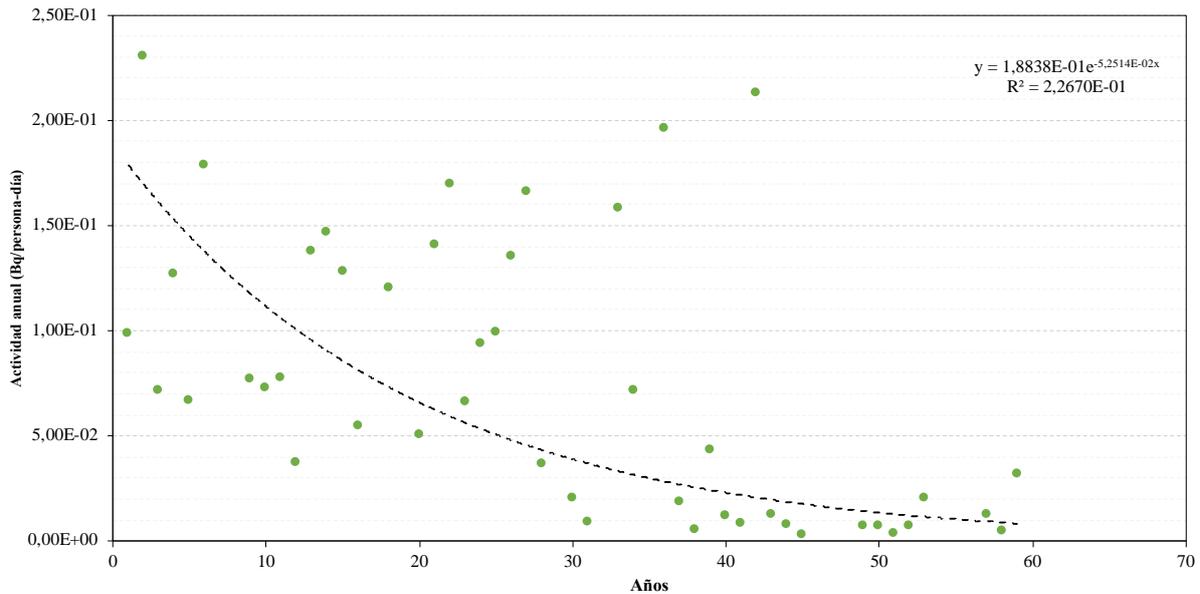
Como se ha explicado en el apartado de la Metodología, en este apartado se ha analizada si la evolución de estos radionucleidos corresponde con el periodo teórico de la desintegración. Por ello, se han analizado en profundidad ambos radionucleidos en función de la estación de muestreo

#### 4.2.2.3.1. Estroncio-90

La gráfica 90, se puede ver la línea de tendencia es a la baja ya que los valores del Sr-90 van disminuyendo. No obstante, la representación no se ajusta a una disminución lineal, por ello se ha ajustado a una ecuación exponencial negativa. Observando el resultado de la ecuación (6), se puede ver como el periodo aparente en el CIEMAT es de 13,19 años un valor alejado del teórico de 28,8 años, puesto que este es la mitad. Mirando la gráfica 86, se puede ver cómo hay valores bastantes dispersos.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 90. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en el CIEMAT. Fuente: Elaboración propia.



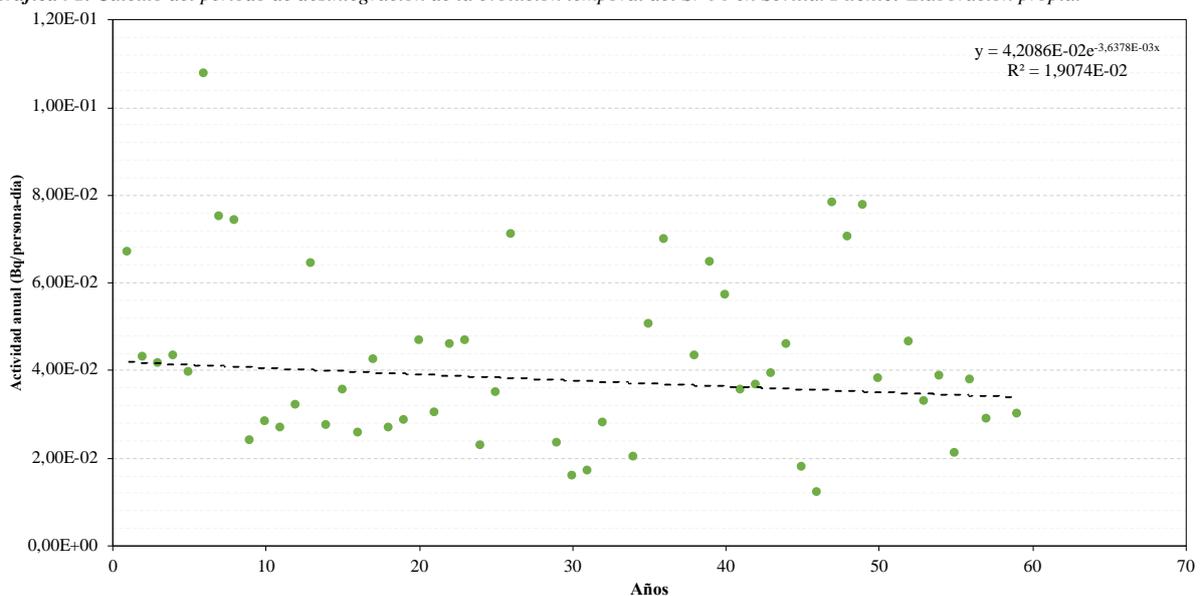
A continuación, se muestra el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Sr-90:

$$y = x \cdot e^{-bx} \sim e^{-\lambda x} \rightarrow \lambda = \frac{\text{Ln}2}{T_{1/2}} \rightarrow T_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{\lambda}$$

$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{5,2548 \text{ E}-02} = 13,19 \text{ años} \quad (6)$$

En la gráfica 91, se muestra la zona de Sevilla que a diferencia de la gráfica anterior los valores se mantienen prácticamente constante, aunque todos ellos están ciertamente dispersos. Por ello que el valor del periodo calculado es de 190,54 años. Hay que mencionar que como se puede observar en la gráfica el ajuste a la ecuación exponencial es realmente muy malo, con lo que no tiene mucho sentido el valor obtenido.

Gráfica 91. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.



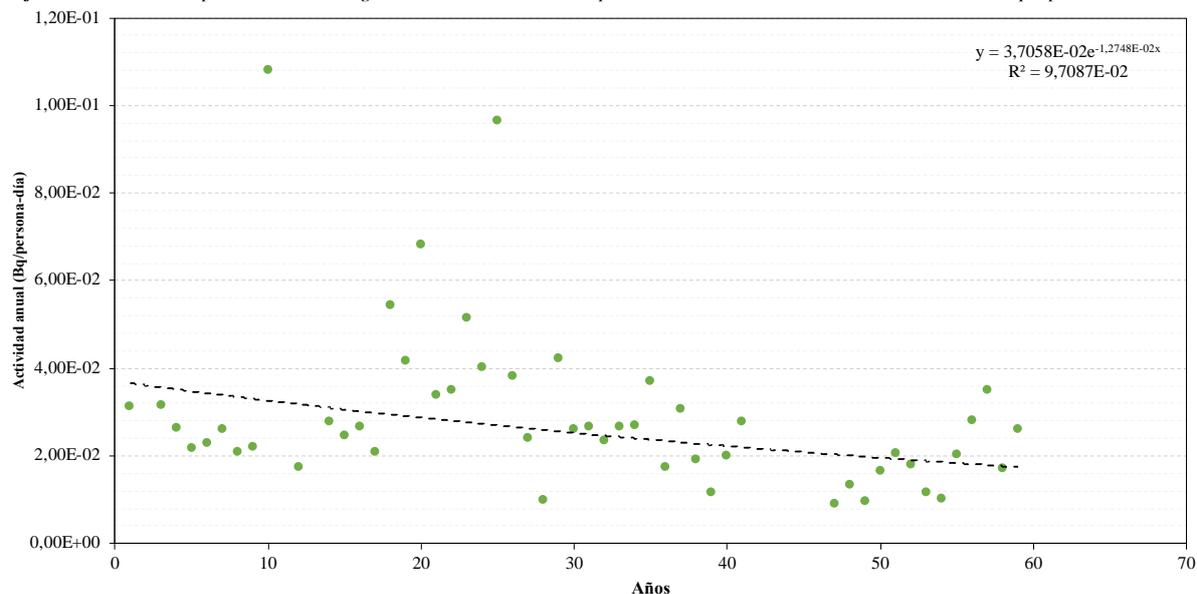
## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Sr-90:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{3,6378E-03} = 190,54 \text{ años}$$

Por otro lado, en la zona de muestreo de Bilbao se puede ver en la gráfica 92, cómo con el tiempo va disminuyendo los valores de Sr-90 obteniendo un periodo de 18,74 años. Comparándolo con el valor real, se puede observar cómo difieren, aunque se encuentran bastante cerca teniendo en cuenta que la diferencia son 10 años, aun así, se puede ver como el  $R^2$  es muy bajo.

Gráfica 92. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Bilbao. Fuente: Elaboración propia.



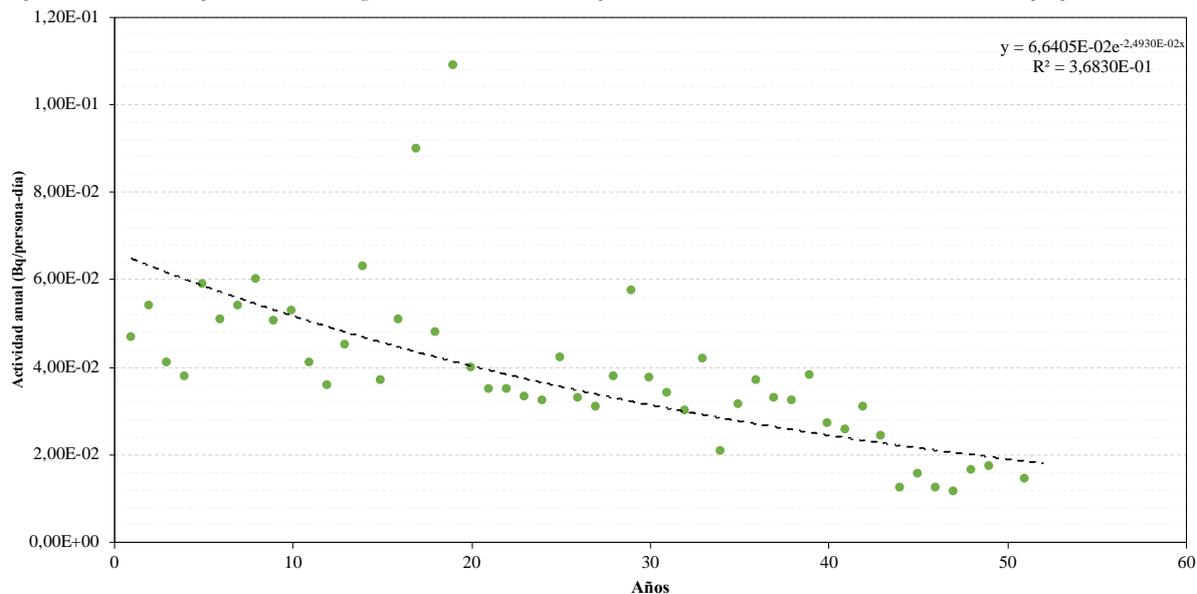
A continuación, se muestra el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Sr-90:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{3,7058 E - 02} = 18,7 \text{ años}$$

Al igual que en caso anterior, en Cáceres la concentración del Sr-90 disminuye, obteniendo un valor aparente de 27,8 años, un valor prácticamente igual al real de 28,8 años. Con este resultado se podría decir que la tendencia real se asemeja a la real.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 93. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Cáceres. Fuente: Elaboración propia.



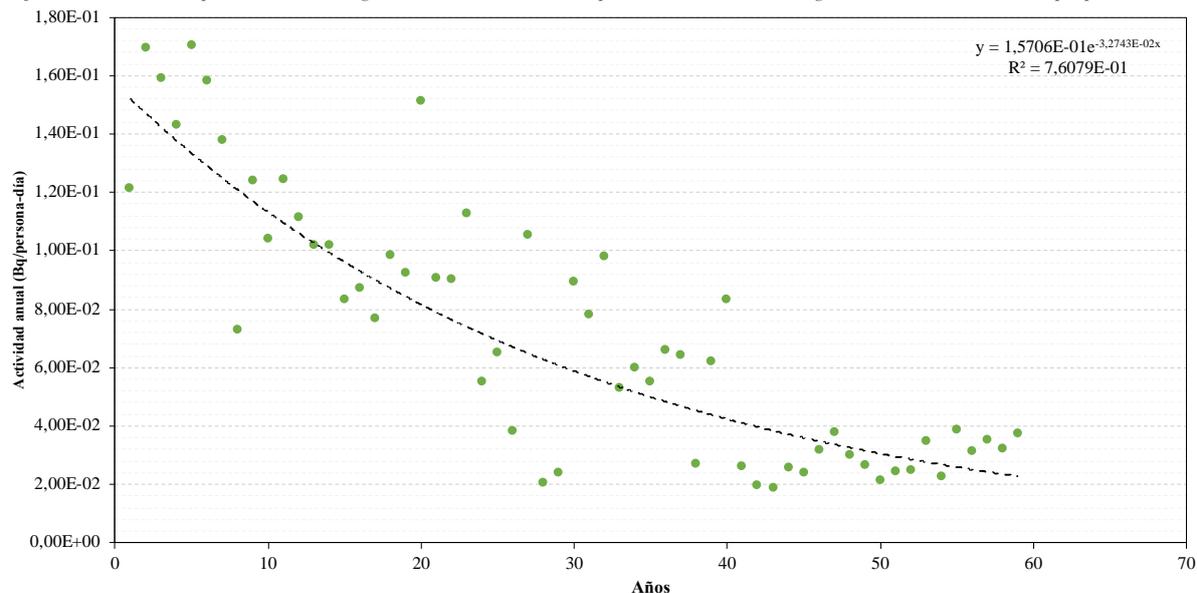
A continuación, se muestra el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Sr-90:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{2,4930 E - 02} = 27,80 \text{ años}$$

Por el valor del  $R^2$  del ajuste y a la vista de la gráfica misma salvo valores anómalos, se puede ver que este ajuste es algo mejor que los anteriores.

En la gráfica 94, se puede observar cómo en La Laguna los valores del Sr-90 van disminuyendo con el tiempo, obteniendo un periodo de 21,7 años siendo este un valor no muy alejado del real.

Gráfica 94. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en La Laguna. Fuente: Elaboración propia.



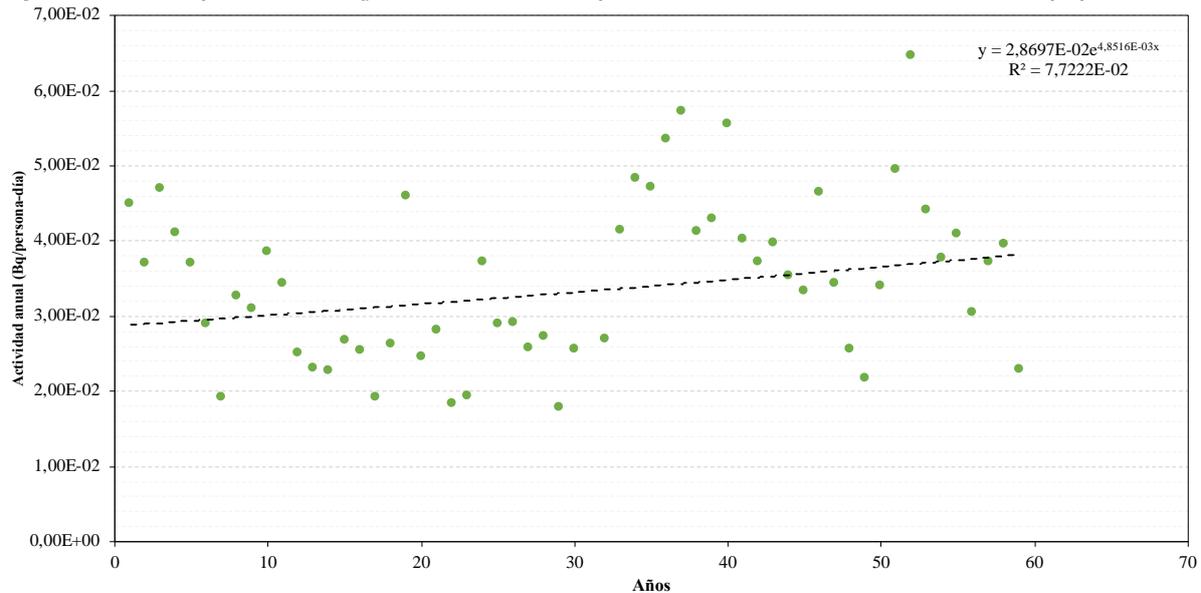
## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

A continuación, se muestra la el valor del periodo real del Sr-90:

$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{3,2743 E - 02} = 21,17 \text{ años}$$

En cuando a la zona de Barcelona, se puede ver como los valores aquí no tiende al alza. Por ello, se obtiene un valor del periodo desorbitado en comparación con los obtenidos en Cáceres, Bilbao y La laguna. Este puede ser por diversos motivos, como el instrumental utilizado para analizar las muestras o el tiempo empleado.

**Gráfica 95.** Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Sr-90 en Barcelona. **Fuente:** Elaboración propia.



A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Sr-90:

$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{4,8516 E - 03} = 142,87 \text{ años}$$

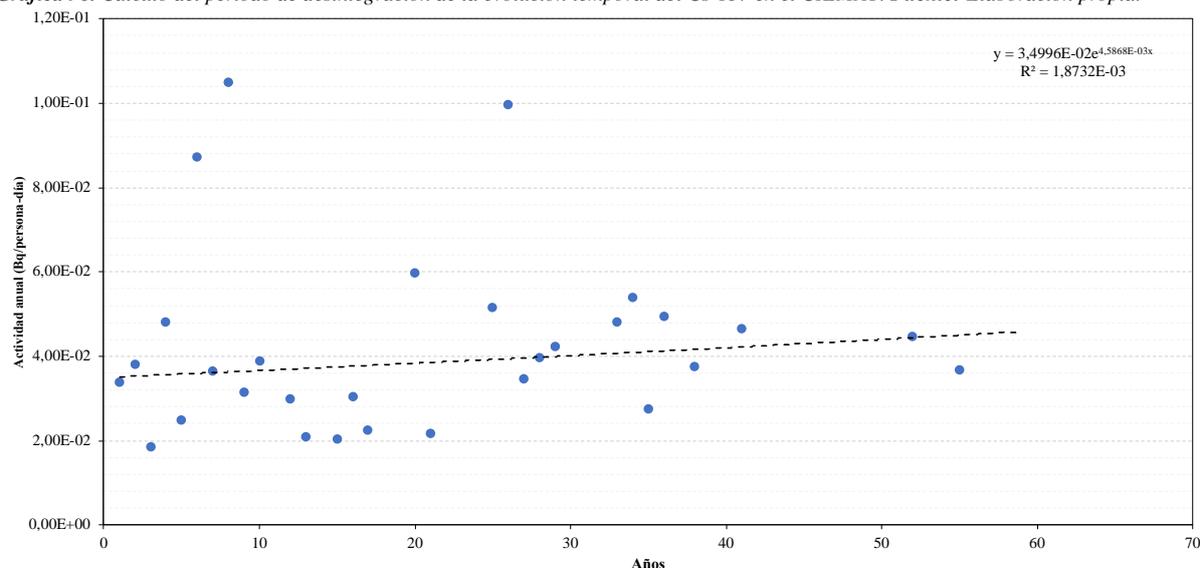
### 4.2.2.3.2. Cesio-137

Una vez analizado el Sr-90, se ha estudiado el periodo del Cs-137 como se ha observado en la gráfica 87, no existen muchos datos sobre la concentración de actividad del Cs-137. Por consiguiente, el valor del periodo calculado para los distintos laboratorios va a diferir considerablemente con el valor teórico. No obstante, cabe mencionar que el hecho de no obtener muchos valores no significa que las medidas no se hayan realizado correctamente.

Observando la gráfica 96, se puede observar como la tendencia es al alza, siendo sus valores de periodo aparente de 151,12 años. No obstante, este valor no es muy veraz y máxime con ese ajuste tan malo al tener del valor del  $R^2$  del ajuste.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 96. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en el CIEMAT. Fuente: Elaboración propia.

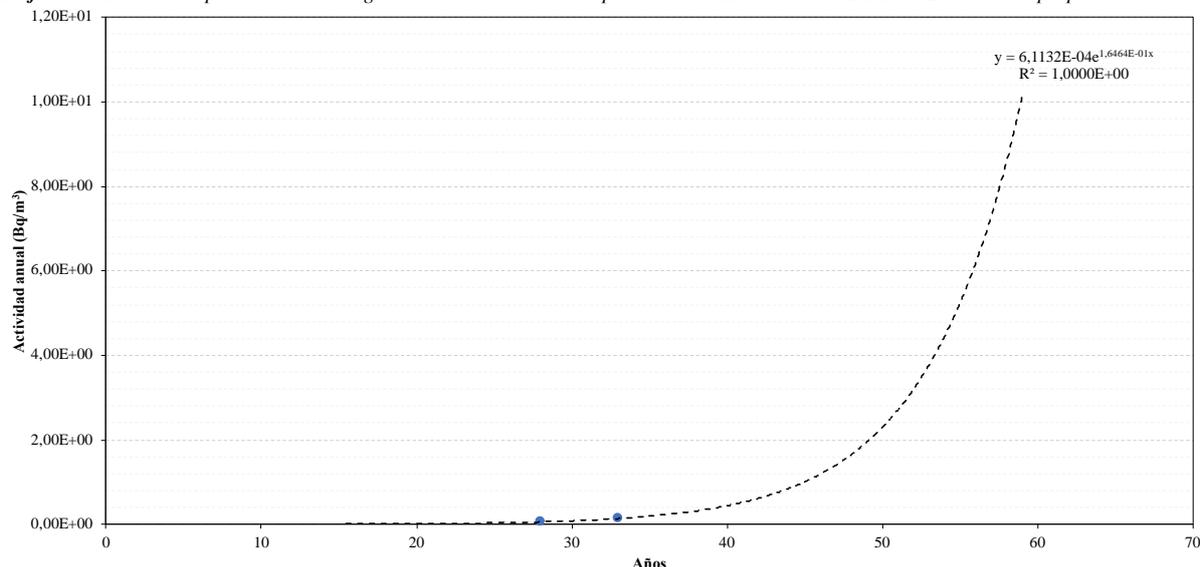


A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Cs-137:

$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{4,5868 E - 03} = 151,12 \text{ años}$$

Por contrario en Sevilla, el estudio no tiene ningún sentido ya que solo se obtienen dos resultados, por lo que la línea de tendencia y sus resultados no se pueden tomar como válidos.

Gráfica 97. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.



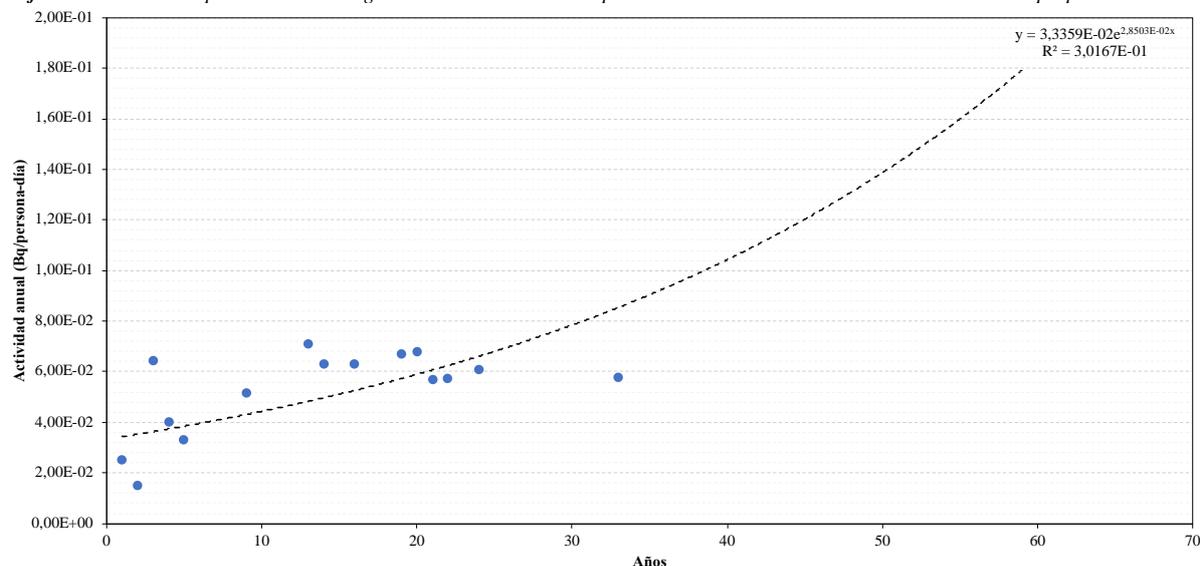
A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Cs-137:

$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{1,6464 E - 01} = 4,21 \text{ años}$$

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Al igual, que en el CIEMAT la tendencia en la gráfica 98 es al alza, pero debido a la escasez de datos no se puede concluir los valores obtenidos.

Gráfica 98. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Bilbao. Fuente: Elaboración propia.

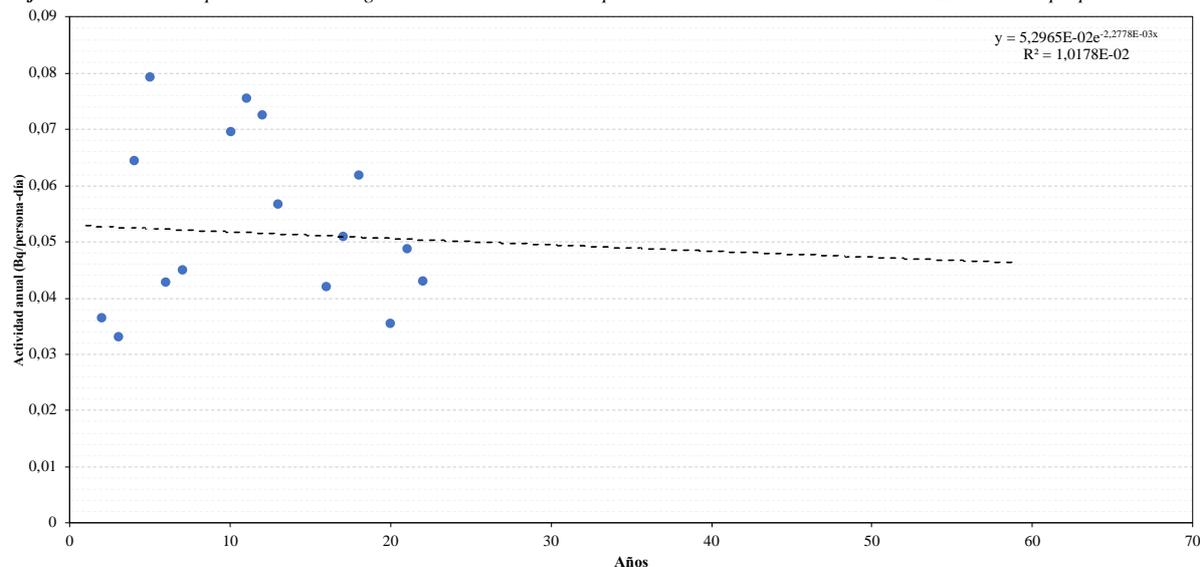


A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Cs-137:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{2,8503 E - 02} = 24,32 \text{ años}$$

En gráfica 99 se muestra la tendencia en Cáceres es a la baja del Cs-137 pero con el número de datos tan escasos, es muy complejo sacar una conclusión., ya que con el ajuste tan malo se comprende que el valor aparente sea 304,31 años.

Gráfica 99. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Cáceres. Fuente: Elaboración propia.



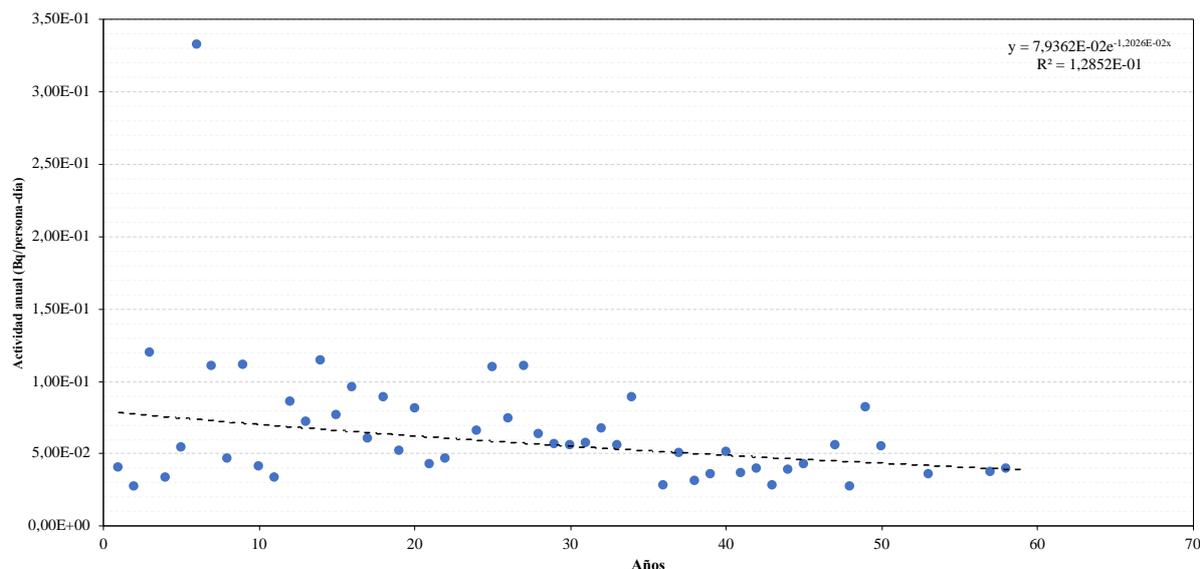
## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Cs-137:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{2,2778 E - 03} = 304,31 \text{ años}$$

En el caso de La Laguna, se puede observar en la gráfica 100, como los valores tienden a la baja obteniendo así un valor aparente de 57,54 años. No obstante, el valor difiere bastante el real.

**Gráfica 100.** Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en La Laguna. **Fuente:** Elaboración propia.



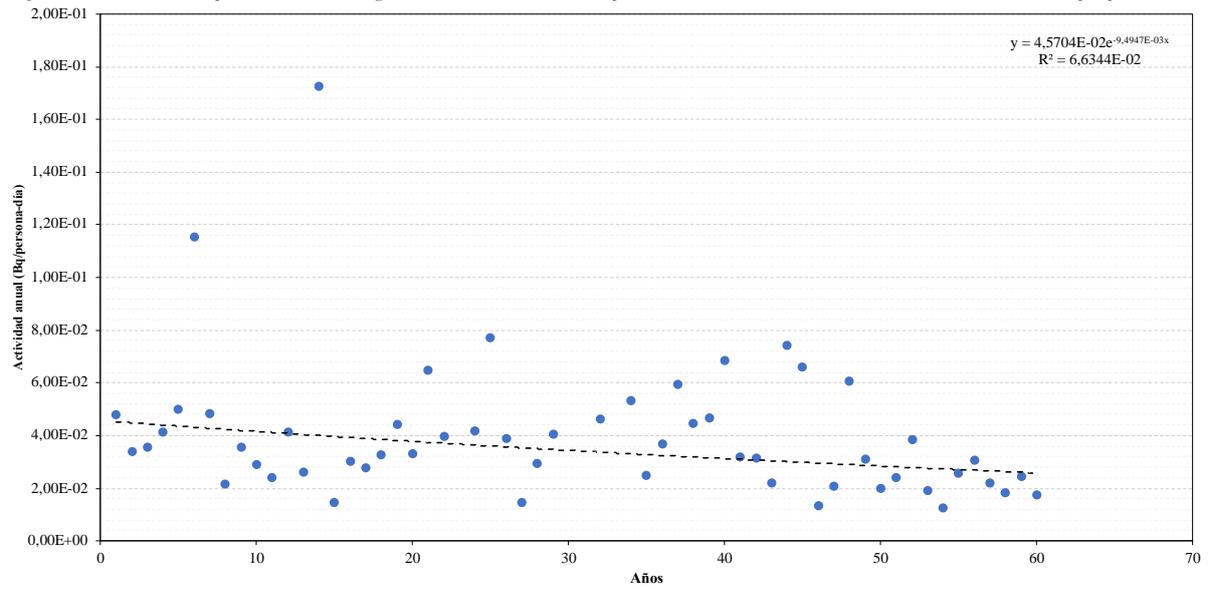
A continuación, se muestra la el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Cs-137:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{1,2026 E - 02} = 57,64 \text{ años}$$

En el caso de La Laguna se puede observar que tiende a la baja pero que al igual que en el caso anterior su valor aparente de 70 años se halla muy lejos del real, además el ajuste es malo.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 101. Cálculo del periodo de desintegración de la evolución temporal del Cs-137 en Barcelona. Fuente: Elaboración propia.



A continuación, se muestra el valor del periodo aparente de la concentración de actividad del Cs-137:

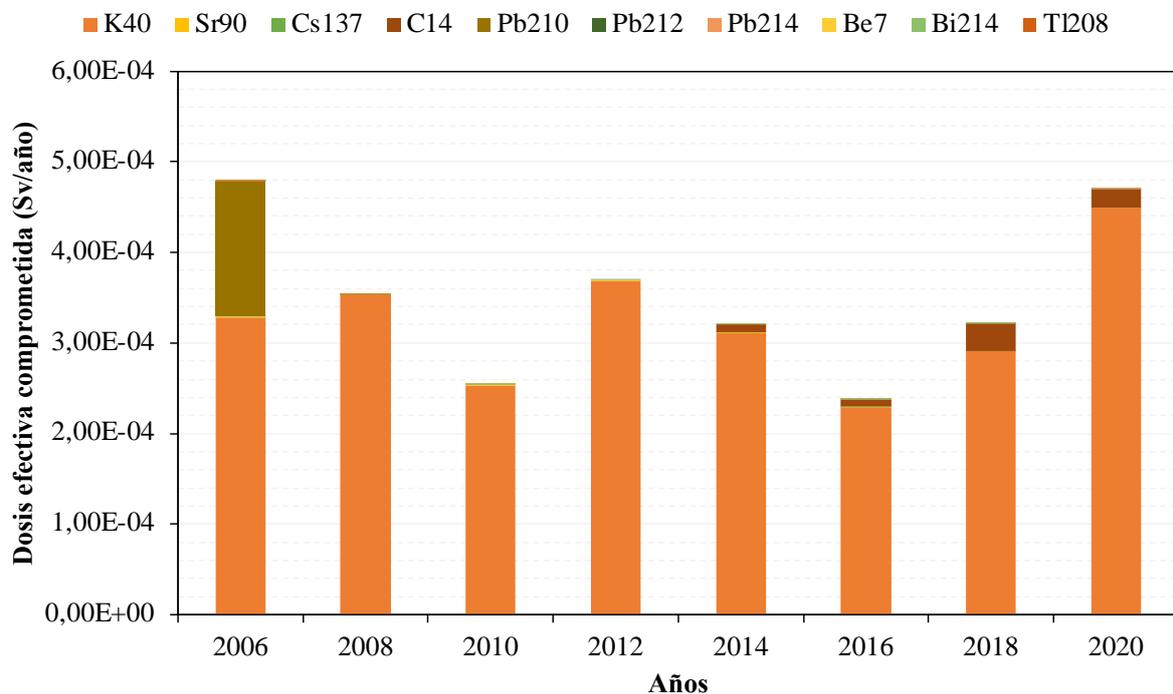
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{9,4947 E - 03} = 73 \text{ años}$$

### 4.2.3 Impacto dosimétrico del contenido radiactivo en España

Se ha calculado la dosis efectiva comprometida teniendo en cuenta los valores de concentración de actividad y se ha observado qué radionucleidos son los que más contribuyen a la dosis. Por otro lado, se ha observado como no todos los años se obtienen información de todos los radionucleidos, esto se debe a la frecuencia de muestreo de cada isótopo. Por ello, solo se han representado los datos de los años pares. Al descartar los valores de los años impares, la dosis va a ser menor.

En el caso del CIEMAT, se puede observar como la dosis efectiva comprometida no varía en gran medida. Los mayores contribuyentes al valor de la dosis anual son el potasio-40 y el carbono-14 y el caso del plomo-210 en el 2006.

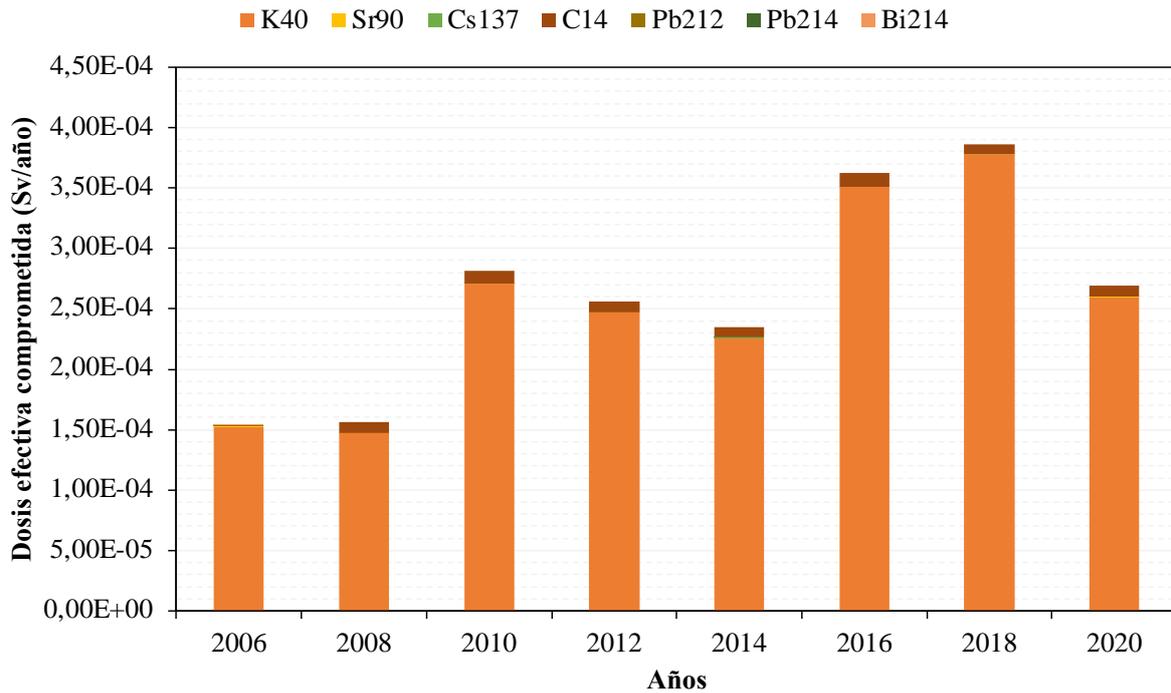
Gráfica 102. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de dieta en el CIEMAT. Fuente: Elaboración propia.



En Sevilla, como se puede ver en la gráfica 103 la dosis aumenta ligeramente en los años 2016 y 2018. Al igual que en el CIEMAT, el potasio-40 es el isótopo que se encuentra más presente seguido del carbono-14.

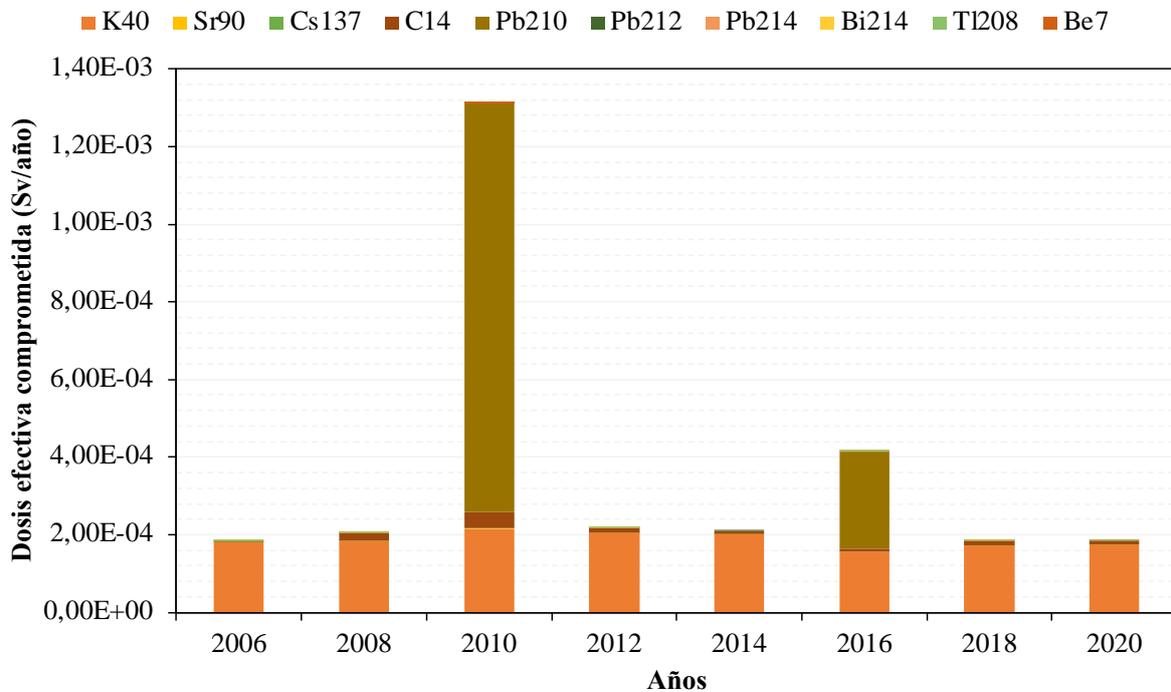
## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Gráfica 103. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de dieta en Sevilla. Fuente: Elaboración propia.



Como se puede observar en la gráfica 104, en Bilbao destaca el año 2010, donde el valor del plomo-210 supera enormemente el resto de valores, siendo el valor de la dosis comprometida prácticamente íntegra compuesta del plomo-210. En el año 2016, sucede en cierta medida lo mismo con la diferencia de que el plomo-210 no es más de la mitad que la dosis comprometida.

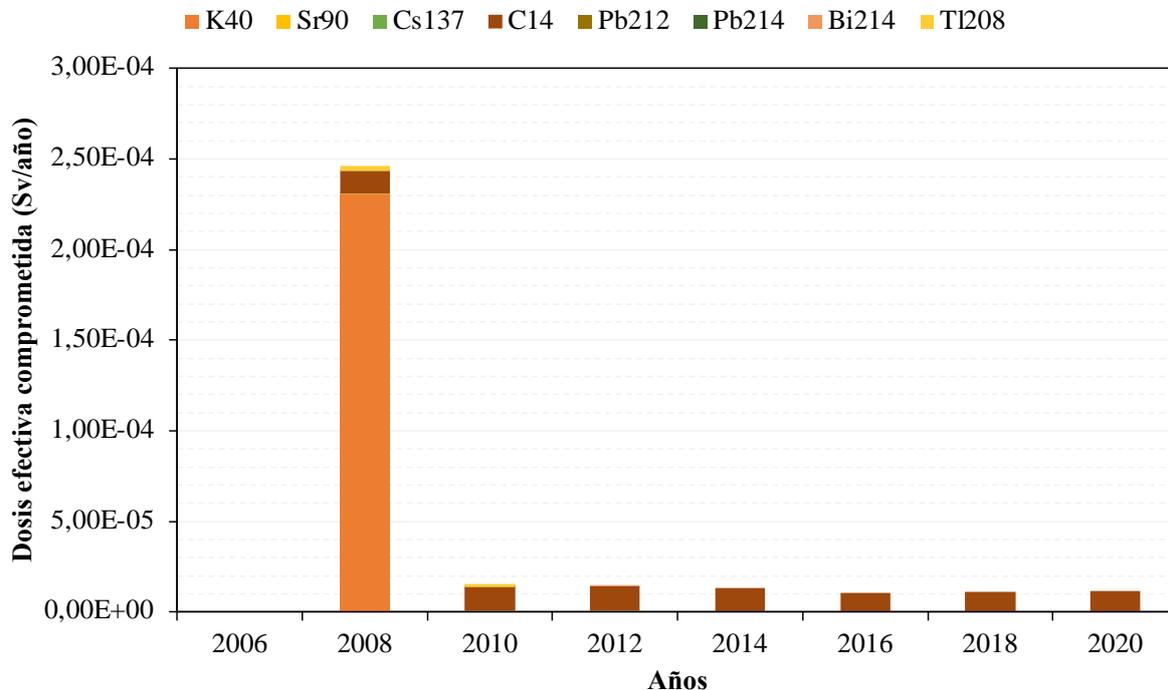
Gráfica 104. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de dieta en Bilbao. Fuente: Elaboración propia.



## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

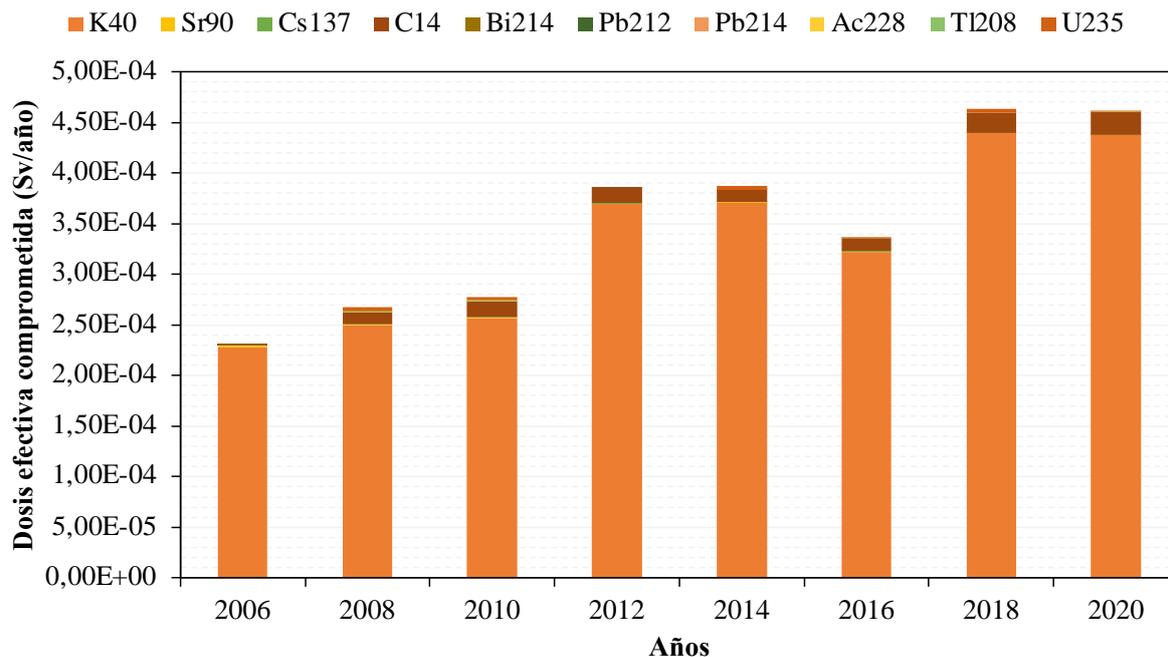
En la gráfica 105, se muestra la dosis comprometida en Cáceres. En este caso se puede ver como el carbono-14 es el isótopo que más aporta al valor de la dosis en todos los años. No obstante, se puede ver como en el año 2008 el valor del potasio-40 se dispara.

Gráfica 105. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de dieta en Cáceres. Fuente: Elaboración propia.



En la zona de La Laguna, se pueden observar en la gráfica 106, como al igual que en el resto de estaciones, el potasio-40 es el radionucleido de mayor presencia en la dieta. Además, cabe destacar que, en esta zona, el valor de la dosis tiende al alza.

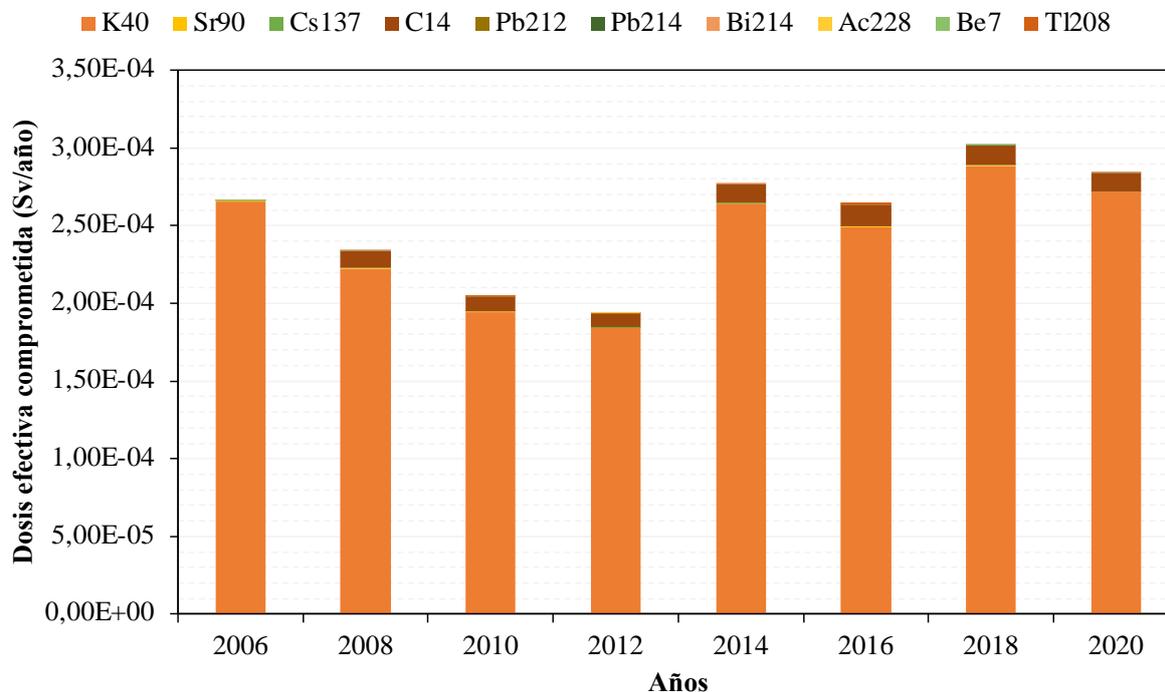
Gráfica 106. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de dieta en La Laguna. Fuente: Elaboración propia.



## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Por último, en el caso de Barcelona como se muestra en la gráfica 107 el potasio-40 y el carbono-14 destacan sobre el resto de los radionucleidos, ya que ambos son lo que mayor presencia tienen en la dieta.

Gráfica 107. Evolución temporal de la dosis efectiva comprometida por ingestión de agua en Barcelona. Fuente: Elaboración propia.



### 4.2.4 Evolución temporal en Europa

Al igual, que en caso de la evolución temporal en la muestra de agua. En este apartado se han escogido aquellas zonas de muestreo con mayor número de valores y en función de la ubicación entre las estaciones de cada país.

Observando la Figura 3, se puede ver como existen menos zonas de muestreo que en caso del agua. No obstante, esto se debe principalmente a que en muchas de las zonas analizadas la unidad no correspondía con Bq/persona-día y no se especificaba el significado de las mismas, por lo que no se han tenido que descartar dichas muestras.

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Imagen 3: Mapa de la zonas de muestreo seleccionadas para la muestra del agua. Fuente: Elaboración propia.



### 4.2.4.1. Análisis temporal estadístico

#### 4.2.4.1.1. Estroncio-90

Observando los valores para la actividad del Sr-90 de la Tabla 25, se puede ver como el valor máximo del mismo se halla en Finlandia, siendo el Reino Unido el de valor mínimo. No obstante, analizando el valor del promedio se puede observar como la diferencia no es muy elevada entre ambos, aunque destaca Hungría con un único valor.

## ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

Tabla 25. Resultados del análisis de los datos para la actividad del Sr-90. Fuente: Elaboración propia.

País	Máximo (Bq/persona-día)	Mínimo (Bq/persona-día)	Promedio (Bq/persona-día)	Nº de análisis
Austria	3,09E-01	9,23E-03	6,51E-02	97
Bélgica	1,21E+00	2,30E-02	2,74E-01	145
Bulgaria	1,81E-01	2,00E-03	4,68E-02	22
Chipre	2,10E-01	8,00E-02	1,22E-01	18
República checa	4,10E-01	1,10E-01	2,39E-01	12
Dinamarca	1,51E-01	4,77E-02	9,34E-02	7
Finlandia	6,03E+00	1,05E-01	6,70E-01	111
Francia	4,27E-01	2,11E-01	2,72E-01	19
Alemania	7,00E+00	0,00E+00	2,60E-01	561
Hungría	3,00E-02	3,00E-02	3,00E-02	1
Irlanda	2,04E+00	2,00E-01	7,30E-01	8
Italia	1,61E-01	5,00E-02	7,11E-02	17
Letonia	2,00E-01	2,40E-02	9,12E-02	6
Lituania	2,20E-01	7,00E-03	3,43E-02	84
Luxemburgo	2,60E+00	1,00E-02	1,95E-01	24
Portugal	9,94E-01	4,40E-02	1,52E-01	71
Eslovaquia	4,60E-02	1,30E-02	2,98E-02	4
España	1,72E-01	5,43E-03	3,92E-02	48
Suecia	1,30E+00	1,50E-01	5,96E-01	14
Reino Unido	2,53E-01	7,40E-03	6,27E-02	109

### 4.2.4.1.2. Cesio-137

En lo referente al Cesio-137, se puede ver en la tabla 26, como Bélgica tiene un valor bastante elevado respecto al resto de los valores máximos, observando el mínimo y el promedio, se puede confirmar que el valor es puntual puesto que el promedio no es muy elevado. En el caso de Lituania, desataca el valor mínimo puesto que difiere en una unidad del resto. A pesar de ello, se puede observar cómo los valores promedios rondan la misma unidad a excepción de Austria, Bélgica y Suecia.

Tabla 26. Resultados del análisis de los datos para la actividad del Cs-137. Fuente: Elaboración propia.

País	Máximo (Bq/persona-día)	Mínimo (Bq/persona-día)	Promedio (Bq/persona-día)	Nº de análisis
Austria	1,12E-01	8,57E-02	1,00E-01	19
Bélgica	1,79E+00	2,60E-02	1,74E-01	20
Bulgaria	1,05E-01	3,20E-02	6,88E-02	20
República checa	1,19E-01	3,93E-02	6,27E-02	16
Dinamarca	5,65E-02	3,35E-02	4,50E-02	2
Finlandia	1,36E-01	4,25E-02	9,11E-02	15
Francia	1,27E-01	6,02E-02	9,17E-02	7
Alemania	3,86E-01	1,40E-02	8,27E-02	62
Italia	1,76E-01	2,40E-02	7,87E-02	16
Letonia	1,60E-01	1,20E-02	7,13E-02	8
Lituania	7,00E-02	8,00E-03	2,68E-02	60
Portugal	3,40E-01	2,20E-02	6,68E-02	33
Eslovaquia	4,60E-02	3,40E-02	4,03E-02	3
España	1,79E-01	1,02E-02	6,17E-02	40
Suecia	3,40E-01	5,00E-02	1,18E-01	9
Reino Unido	4,50E-01	1,63E-02	9,61E-02	101

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

### 4.2.4.1.3. Carbono-14

Como se puede observar en la Tabla 27, en lo referente al C-14, solo se obtienen valores de dos países, donde España supera los valores del Reino Unido en todos ellos. Para poder analizar, este radionucleido más en profundidad se ha realizado en el siguiente subapartado unas gráficas donde se observa la evolución del mismo.

*Tabla 27. Resultados del análisis de los datos para la actividad del C-14. Fuente: Elaboración propia.*

<b>País</b>	<b>Máximo (Bq/persona-día)</b>	<b>Mínimo (Bq/persona-día)</b>	<b>Promedio (Bq/persona-día)</b>	<b>Nº de análisis</b>
España	2,27E+02	3,67E+01	1,02E+02	26
Reino Unido	1,04E+02	1,49E+01	4,52E+01	109

### 4.2.4.1.4. Potasio-40

Por último, en el caso del K-40, se puede observar en la tabla 28 como Dinamarca destaca por tener los valores más elevados en lo referente al valor máximo, mínimo y al promedio. No obstante, se puede ver como tiene muy pocos valores respecto al resto de países. Por otro lado, observando Alemania, se puede ver como es el segundo país con valores más elevados, a pesar de no obtener los mismos valores se muestra la posible relación entre Dinamarca y Alemania.

*Tabla 28. Resultados del análisis de los datos para la actividad del K-40. Fuente: Elaboración propia.*

<b>País</b>	<b>Máximo (Bq/persona-día)</b>	<b>Mínimo (Bq/persona-día)</b>	<b>Promedio (Bq/persona-día)</b>	<b>Nº de análisis</b>
Austria	2,72E+01	2,25E+00	1,16E+01	97
Chipre	3,49E+02	7,37E+01	1,34E+02	28
Dinamarca	1,13E+03	1,13E+02	2,66E+02	7
Alemania	3,42E+02	3,34E+01	1,21E+02	561
Letonia	1,03E+02	3,94E+01	6,69E+01	6
Luxemburgo	1,83E+02	3,45E+01	8,99E+01	24
Portugal	1,39E+02	3,43E+01	7,86E+01	60
Eslovaquia	9,87E+01	7,02E+01	8,28E+01	4
España	1,86E+02	4,87E+01	1,15E+02	48

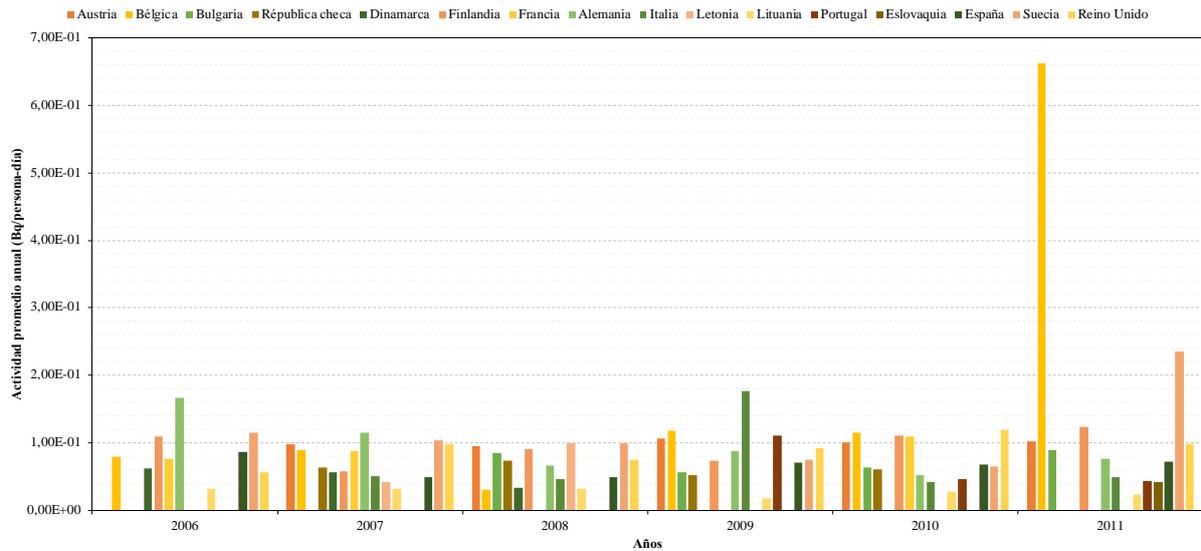
### *4.2.4.2. Evolución temporal*

#### 4.2.4.2.1. Estroncio-90

Observando la gráfica 108, se puede ver como en el 2011 Portugal destaca de forma puntual respecto al resto de años y países, seguramente este valor venga dado por algún error en la toma de datos. Analizando el resto de países, se puede ver como la evolución temporal va en disminución en países como Alemania. No obstante, hay muchos otros países como Francia o Suecia que aumentan el último año.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

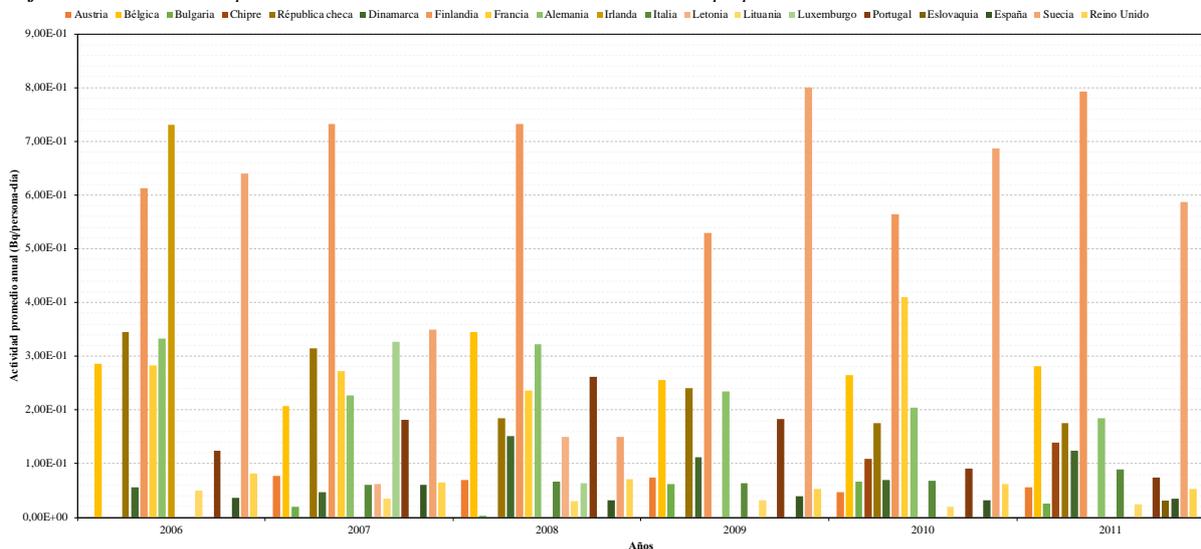
Gráfica 108. Evolución temporal de la actividad del Sr-90. Fuente: Elaboración propia.



## 4.2.4.2.2. Cesio-137

Observando la gráfica 109, se puede ver como Finlandia y Suecia destacan respecto al resto de valores, en este caso se puede llegar a la conclusión que hay una relación geográfica de ambos países, ya que ambos tienen una gran cantidad de actividad. No obstante, el comportamiento es distinto en ambos países, observando los dos últimos años se puede ver como en Finlandia del 2010 al 2011 aumenta el valor, mientras que en el caso de Suecia ocurre lo contrario, esto mismo sucede en el 2006-2007.

Gráfica 109. Evolución temporal de la actividad del Cs-137. Fuente: Elaboración propia.

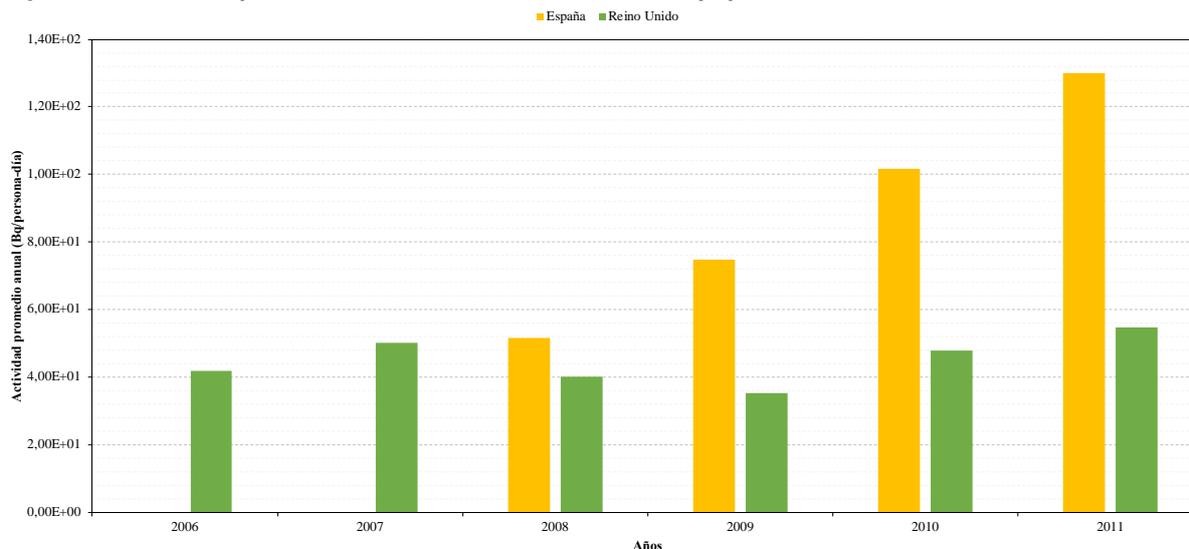


## 4.2.4.2.3. Carbono-14

En el caso del carbono-14, solo tenemos los valores del Reino Unido y de España. En esta gráfica se puede observar perfectamente las diferencias de magnitudes y sobre todo la tendencia en ambos países. En España, el aumento es prácticamente lineal, mientras que en Reino Unido se ve como la tendencia es al alza, pero también se ve como sus valores rondan los 40 Bq/m<sup>3</sup>.

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

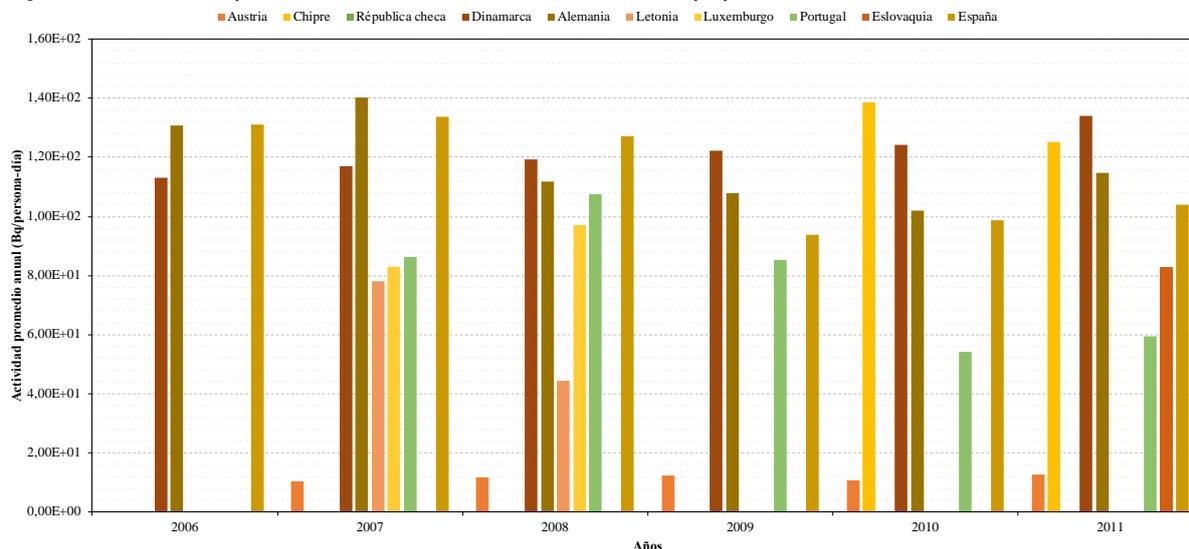
Gráfica 110. Evolución temporal de la actividad del C-14. Fuente: Elaboración propia.



## 4.2.4.2.4. Potasio-40

Por último, en lo referente al potasio-40 se puede observar cómo Austria es el país con menor actividad de potasio, cuyo valor es prácticamente constante. Mientras se puede ver como Dinamarca, Alemania y España destacan por sus valores. Analizando la relación de ubicación entre Alemania y Dinamarca se puede ver como la concentración de actividad es similar, no obstante, la tendencia de ambas difiere. En el caso de Dinamarca, se puede observar como la aumentado poco a poco durante el periodo estudiando, mientras que en Alemania su comportamiento se asimila más a una onda puesto que disminuye y vuelve a incrementar.

Gráfica 111. Evolución temporal de la actividad del K-40. Fuente: Elaboración propia.



## **5. CONCLUSIONES**

Con este trabajo se ha querido analizar el papel de los isótopos radiactivos en el agua y en la dieta. Para ello, en este proyecto se ha llevado a cabo un análisis de los diversos parámetros que analizan en profundidad la concentración radiactiva de los distintos radionucleidos, los cuales son: el incumplimiento de los criterios exigidos para el control radiológico en agua y dieta, evolución temporal del contenido radiactivo en España y en Europa para el agua y la dieta, el impacto dosimétrico del contenido radiactivo en España y el impacto meteorológico del agua.

Para poder realizar el análisis, se ha establecido un criterio de búsqueda y clasificación de datos. Este ha consistido en analizar la fuente de datos y, los datos en base a los siguientes parámetros: número de muestras disponibles, zona de muestreo y los radionucleidos clave.

Posteriormente, se han estudiado los radionucleidos en función del tipo de muestra, es decir, primero se ha analizado el agua y después la dieta, aunque se ha utilizado la misma metodología.

En el primer estudio, se han analizado los incumplimientos sanitarios establecidos en el RD 314/2016, tanto para la concentración de actividad como para los límites de detección. Se ha observado que efectivamente, existen incumplimientos tanto de concentración de actividad como en los límites de detección. A pesar de ello, se ha comprobado que en la gran mayoría de los casos ha sido de forma puntual. Además, en las zonas que se ha requerido, se han realizado estudios adicionales para asegurar que no existen riesgos para la salud.

Después, se ha realizado el estudio temporal en España, en este apartado se ha analizado la disminución de la concentración de actividad de los índices de actividad, así como del Sr-90 y del Cs-137. En este apartado, se ha observado las diferencias entre las distintas zonas de muestreo y sobre su evolución temporal. En el caso de los índices de actividad, se ha visto como en la mayoría de los casos no ha habido una disminución con el tiempo. Además, se ha observado cómo no se cumple el periodo de desintegración teórico del Sr-90 y del Cs-137. Esto último se debe al ajuste de la fórmula en las gráficas y al número de muestras disponibles.

En el caso del impacto dosimétrico del contenido radiactivo en España, se ha analizado la dosis efectiva comprometida de la concentración de actividad y se ha observado cuales son los más contribuyentes. En el caso del agua, se ha visto que en la mayoría de las estaciones de muestreo el Pb-210, Po-210 y Sr-90, son los más contribuyentes en España. Destacando la contribución del Cs-137 en Bilbao y del U-234 en Barcelona.

Posteriormente, se ha realizado la evolución temporal en Europa para observar su evolución con el tiempo, y sobre todo para verificar si existe alguna relación entre los países y sus valores. En este análisis, se ha visto que no existe una correlación entre los países independientemente de su cercanía, ya que en la mayoría de los casos los niveles de concentración, así como la evolución temporal difieren.

Por último, se ha estudiado la relación de la precipitación con el agua. En este apartado, se ha tratado de identificar si existe algún incremento en la concentración de actividad debido a las precipitaciones. Tras analizar los resultados, se ha demostrado que no existe relación alguna entre ambos parámetros.

En lo referente al agua, se han realizado los mismos análisis a excepción del apartado de la precipitación. En el caso de los incumplimientos, solamente se han analizado los límites de

## ***ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA***

---

detección del Sr-90 y del Cs-137, ya que los límites están establecidos por el consejo de seguridad nacional. Al igual que en la muestra de agua, se ha observado que los incumplimientos se han dado de forma puntual en la mayoría de los casos.

En la evolución temporal de la dieta se han analizado las actividades del Sr-90, el Cs-137, el C-14 y el K-40. Tras estudiarlos, se ha observado que tanto en los casos del Cs-137 como del Sr-90 han disminuido durante el periodo analizado. No obstante, para el caso del K-40 y del C-14 esto no ha sucedido.

Sobre el impacto dosimétrico se ha visto que los radionucleidos más contribuyentes son el Pb-214, Bi-214 y el Pb-210, así como el C-14 aunque en menor medida. Además, se ha observado como el Bi-214 está presente en las zonas de Sevilla, Cáceres y Barcelona, donde la concentración de radón en España está más presente.

Después, se ha analizado la evolución en Europa, donde se ha observado en la mayoría de países que no hay una disminución de concentración de actividad.

En conclusión, a través de este trabajo se han observado tres puntos clave sobre el incumplimiento, la evolución temporal y sobre el impacto dosimétrico. A pesar de hallar incumplimientos se ha demostrado que no hay riesgos para la salud humana. En lo referente a la evolución, se ha visto que en un periodo de 15 años la variación de la concentración no es tan evidente como dictamina la base teórica. Por último, en cuanto al impacto dosimétrico se ha observado que el Pb-210 y el Po-210 son los más contribuyentes, a pesar de no tener un valor de concentración muy elevado.

## **6. REFERENCIAS**

- [1] Real Academia de la Lengua (RAE). (2022). *Definición de la radiactividad*. Recuperado de: <https://dle.rae.es/radiactividad#DCVtL8>
- [2] Foro Nuclear. (s.f.). *¿Qué es la radiactividad?* Recuperado de: <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-proteccion-radiologica-y-radiacion/que-es-la-radiactividad/>
- [3] Consejo de Seguridad Nuclear. (2009). *TEMA 5: Magnitudes y unidades radiológicas*. Recuperado de: [https://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros\\_md/624874014\\_241120091324.pdf](https://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/624874014_241120091324.pdf)
- [4] PLANAS, O. (2020a). *¿Qué es la radiactividad?* Recuperado de: <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/radioactividad>
- [5] Consejo de Seguridad Nuclear, & Ministerio de Educación. (s. f.). *Radiación y protección radiológica*. Recuperado de: [https://www.csn.es/documents/10182/914813/OFC-04-06%20Radiaci%C3%B3n%20y%20protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica%20\(Gu%C3%ADa%20did%C3%A1ctica%20para%20Educaci%C3%B3n%20Secundaria\)](https://www.csn.es/documents/10182/914813/OFC-04-06%20Radiaci%C3%B3n%20y%20protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica%20(Gu%C3%ADa%20did%C3%A1ctica%20para%20Educaci%C3%B3n%20Secundaria))
- [6] OTERO PAZOS, A. (s. f.). *Estudio de la radiactividad ambiental en suelos de la costa norte de A Coruña Y Lugo*. Recuperado de: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/11928/OteroPazos\\_Alberto\\_TD\\_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/11928/OteroPazos_Alberto_TD_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- [7] Consejo de Seguridad Nuclear. (s. f.-e). *Radiación natural y artificial*. Recuperado de: <https://www.csn.es/radiacion-natural-y-artificial2>
- [8] Curso Blink Learning. (s. f.). *Radiactividad*. Recuperado de: [https://www.blinklearning.com/Cursos/c392159\\_c15880339\\_La\\_radiactividad.php](https://www.blinklearning.com/Cursos/c392159_c15880339_La_radiactividad.php)
- [9] Consejo de Seguridad Nuclear. (2012). *Tema 1: Introducción a las radiaciones ionizantes. Naturaleza y tipos de radiación. Interacción de la radiación con la materia*. Recuperado de: [https://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros\\_md/1838994721\\_1672013134047.pdf](https://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/1838994721_1672013134047.pdf)
- [10] Universidad Politécnica de Madrid (s.f.). *Radioactividad y desintegraciones nucleares*. Recuperado de: <http://nuclear.fis.ucm.es/EM2011/desintegraciones-em2011.pdf>
- [11] Consejo de Seguridad Nuclear. (s. f.-a). *¿Sabes que es la radiación?* Recuperado de: <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-proteccion-radiologica-y-radiacion/que-sabes-de-la-radiacion/>
- [12] Consejo de Seguridad Nuclear. (s. f.-c). *Procedimiento para la determinación del índice de actividad alfa total en aguas potables mediante la metodología de desecación y medida en detectores de ZnS(Ag) o en contador proporcional*. Recuperado de: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-07+Vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Procedimiento+1.16>

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

- [13] Consejo de Seguridad Nuclear. (s. f.-b). *Procedimiento para la determinación de los índices de actividad alfa total y beta total en aguas potables mediante el método de concentración y detección por centelleo líquido*. Recuperado de: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-07+Vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Procedimiento+1.18#:~:text=El%20%C3%AAndice%20de%20actividad%20alfa,emisores%20beta%2C%20exceptuando%20el%20tritio.>
- [14] Consejo de Seguridad Nuclear. (2019) Programa de *vigilancia radiológica ambiental*. Recuperado de: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04.43+Programas+de+vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Resultados+2019/98bd36ca-e6db-8c56-c108-deaff43f819f>
- [15] J.Loyen, A. Brassac, C.Augeray, C.Fayolle & M.Gleizes (2012) *Radioactivity in French bottled waters*. Recuperado de: <https://intranet.pacifico-meetings.com/amsysweb/faces/publicacionOnline.xhtml?id=146>
- [16] European Commission. (s. f.-a). *Environmental Radioactivity in the European Community 2007-2011*. Recuperado de: <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Environmental-Monitoring/Monitoring-Reports-Download>
- [17] Real Decreto 140/2003, de 7 febrero, *por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano*. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2003/BOE-A-2003-3596-consolidado.pdf>
- [18] Consejo de Seguridad Nuclear (s.f.) *Mapa de resultados vigilancia radiológica ambiental en España*. Recuperado de: <https://www.csn.es/kprgisweb2/index.html?lang=es>
- [19] European Commission. (s. f.-b). *REMdb. Radiological maps*. Recuperado de: <https://remap.jrc.ec.europa.eu/Default.aspx>
- [20] Clínica Mayo. (s. f.). *Definición de dieta tipo o dieta mixta*. Recuperado de: <https://www.mayoclinic.org/es-es/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/mediterranean-diet/art-20047801>
- [21] Medline Plus (s.f.). *Definición de la dieta mediterránea*. Recuperado de: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000110.htm>
- [22] Laraweb (s.f) *Library for gamma and alpha emissions*. Recuperado de: <http://www.nucleide.org/Laraweb/index.php>
- [23] K.Eckerman, J.Harrison, H-G.Menzel, & C.H.Clement. (2013). *ICRP. Annals of the ICRP. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60*. Recuperado de: <file:///Users/natalia/Downloads/ICRP-119-2012.pdf>
- [24] Gobierno de España. (s. f.). *AEMET OpenData*. Recuperado de: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>
- [25] Consejo de Seguridad Nacional (2014). *Programa de vigilancia radiológica ambiental*. Recuperado de: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04.37+Programas+de+vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Resultados+2014>

**ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA  
EN ESPAÑA**

---

[26] Consejo de Seguridad Nacional (2016). *Programa de vigilancia radiológica ambiental*. Recuperado de: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04.39+Programas+de+vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Resultados+2016/94d04a0c-a9c7-4bc3-9fc3-d4ad0b5f47b4>

**ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA  
EN ESPAÑA**

**ANEXOS**

**ANEXO I: LABORATORIOS COLABORADORES EN LA REM**

<b>Denominación</b>	<b>Laboratorio</b>	<b>Código</b>
Badajoz	Universidad Extremadura de Badajoz	UBD
Cáceres	Universidad de Extremadura de Cáceres	UCC
I. Baleares	Universidad de las Islas Baleares	UBL
Cantabria	Universidad de Cantabria	UCN
Granada	Universidad de Granada	UGR
Málaga	Universidad de Málaga	UML
Sevilla	Universidad de Sevilla	USE
León	Universidad de León	ULE
Salamanca	Universidad de Salamanca	USA
La Laguna	Universidad de La Laguna	ULL
Madrid	Universidad Politécnica de Madrid	UMD
CIEMAT	Laboratorio de radiactividad Ambiental. Ciemat	ICI
Bilbao	Universidad del País Vasco	UPV/EHU
Valencia	Universidad de Valencia	UVC
Valencia. P	Universidad Politécnica de Valencia	UVP
Ciudad Real	Universidad de Castilla-La mancha	UCM
Ferrol	Universidad de La Coruña	UCF
Oviedo	Universidad de Asturias	UOV
Zaragoza	Universidad de Zaragoza	UZA
Barcelona	Universidad Politécnica de Cataluña	UPC

*Fuente: [14]*

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

## ANEXO II: PRIMER ANÁLISIS DE DATOS

Datos del agua:

Zona de vigilancia	Isotopo	Nº de medidas	Años de medida	Valor máximo de la Actividad	Valor mínimo de la Actividad	Promedio de la actividad	LID máxima	LID mínima	Promedio del LID	Nº de medidas de Actividad	Nº de medidas de LID
USA	AC228	18	2008-2009	9,6E+00	3,3E+00	6,1E+00	9,6E+00	8,0E-01	2,9E+00	14	18
UGR	AC228	2	2010-2010	1,7E+02	1,7E+02	1,7E+02	1,5E+00	1,5E+00	1,5E+02	2	2
UMD	AC228	30	2006-2006	1,7E+02	1,7E+02	1,7E+02	5,9E+00	1,4E+00	2,1E+02	1	30
ICI	AT	179	2006-2020	2,2E+01	1,4E+00	4,8E+00	4,7E+00	8,9E-01	1,5E+00	159	179
UBD	AT	180	2006-2020	1,7E+01	3,1E+00	9,3E+00	2,4E+00	2,8E+00	7,0E+00	22	180
UBL	AT	180	2006-2020	1,0E+02	1,5E+01	4,1E+01	1,1E+00	3,8E+00	7,0E+00	180	180
UCC	AT	180	2006-2020	2,9E+01	4,5E+00	1,1E+01	2,1E+00	3,0E+00	7,9E+00	23	180
UCF	AT	180	2006-2020	1,2E+01	3,0E+00	7,0E+00	1,4E+00	1,7E+00	9,0E+00	14	180
UCM	AT	179	2006-2020	1,2E+01	1,2E+01	1,2E+01	2,8E+00	6,8E+00	1,4E+01	1	179
UCN	AT	179	2006-2020	8,9E+01	1,2E+01	4,3E+01	3,9E+00	7,0E+00	1,6E+01	125	179
UGR	AT	178	2006-2020	8,5E+01	4,5E+00	1,8E+01	3,2E+00	1,0E+00	7,3E+00	65	178
ULE	AT	172	2006-2020	6,2E+01	6,6E+00	2,1E+01	2,7E+00	5,4E+00	1,2E+01	59	172
ULL	AT	180	2006-2020	2,5E+02	1,6E+00	7,9E+01	1,4E+00	9,4E-01	4,7E+00	180	180
UMD	AT	180	2006-2020	7,6E+01	4,5E+00	2,4E+01	1,1E+00	8,1E-01	6,9E+00	16	180
UML	AT	177	2006-2020	5,3E+01	3,3E+00	9,4E+00	5,5E+00	1,6E+00	2,9E+00	147	177
UOV	AT	179	2006-2020	4,3E+01	8,5E+00	1,7E+01	2,1E+00	6,2E+00	1,1E+01	101	179
UPC	AT	180	2006-2020	7,2E+01	7,0E+00	2,9E+01	4,8E+00	1,0E+00	9,5E+00	176	180
UPV/EH	AT	245	2000-2020	1,8E+01	2,5E+00	5,5E+00	1,2E+00	1,2E+00	3,0E+00	139	245
USA	AT	176	2006-2020	3,4E+01	1,2E+00	8,3E+00	7,7E+00	5,4E-01	3,4E+00	96	176
USE	AT	179	2006-2020	2,0E+02	2,9E+00	6,0E+01	9,1E+00	1,1E+00	2,9E+01	24	179
UVC	AT	181	2006-2020	6,8E+01	9,0E+00	2,9E+01	2,2E+00	6,0E+00	1,0E+01	174	181
UVP	AT	181	2006-2020	8,3E+01	1,2E+01	4,1E+01	2,4E+00	5,2E+00	1,2E+01	181	181
UZA	AT	176	2006-2020	5,8E+01	1,0E+00	1,2E+01	2,7E+00	6,3E-01	8,2E+00	104	176
ULL	Po210	25	2006-2020	3,3E+00	3,4E-01	1,4E+00	2,8E+00	2,5E-02	6,4E-01	20	25
ULL	Pb210	25	2006-2020	1,1E+01	4,4E+00	7,5E+00	2,5E+00	3,4E+00	6,5E+00	7	25
ICI	Pb210	12	2006-2020	4,3E+01	1,8E+00	1,5E+01	1,6E+00	1,0E+00	2,6E+01	6	12
UPV/EH	Pb210	10	2002-2020	1,5E+00	3,6E-01	8,3E-01	6,7E-01	3,2E-01	4,5E-01	3	10
USA	Pb210	15	2008-2012	5,1E+00	1,4E-01	2,6E+00	1,4E+00	1,3E-01	5,7E+00	2	15
UCC	Pb210	9	2012-2020	1,5E+01	1,5E+01	1,5E+01	3,2E+00	1,4E-01	5,4E+01	1	9
UGR	Pb210	1	2014-2014	1,7E+02	1,7E+02	1,7E+02	5,3E+00	5,3E+00	5,3E+01	1	1
USA	Be7	180	2006-2020	7,5E+00	7,5E+00	7,5E+00	3,8E+00	1,4E+00	7,8E+00	1	180
UVC	Be7	181	2006-2020	1,0E+02	1,0E+02	1,0E+02	1,6E+00	2,4E+00	6,4E+01	1	181

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

UVC	Bi214	181	2006-2020	1,9E+02	2,4E+01	6,4E+01	2,1E+02	1,4E+01	2,8E+01	48	181
UBD	Bi214	180	2006-2020	9,2E+02	2,4E+02	4,3E+02	3,8E+02	1,0E+02	2,3E+02	46	180
UMD	Bi214	180	2006-2020	3,0E+02	6,7E+01	1,5E+02	3,7E+02	5,2E+01	9,6E+01	36	180
UGR	Bi214	180	2006-2020	4,1E+02	5,3E+01	2,0E+02	8,9E+01	4,1E+01	1,0E+02	27	180
UOV	Bi214	180	2006-2020	3,9E+02	1,1E+02	1,9E+02	1,2E+02	8,4E+01	1,0E+02	25	180
UML	Bi214	180	2006-2020	6,0E+02	2,9E+01	1,2E+02	1,1E+02	1,3E+01	4,7E+01	21	180
UCF	Bi214	180	2006-2020	6,6E+02	1,1E+02	2,3E+02	5,4E+02	2,1E+01	1,2E+02	17	180
ULE	Bi214	178	2006-2020	1,6E+02	4,8E+01	9,2E+01	7,7E+01	2,7E+01	5,2E+01	16	178
UZA	Bi214	180	2006-2020	4,9E+02	6,3E+01	1,6E+02	9,7E+01	2,4E+01	5,6E+01	13	180
USA	Bi214	180	2006-2020	2,6E+01	5,2E-01	6,2E+00	1,0E+00	3,5E-01	2,8E+00	11	180
UCC	Bi214	36	2006-2018	1,2E+01	6,6E+00	8,7E+00	6,8E+00	1,3E+00	3,4E+00	8	36
UCN	Bi214	180	2006-2020	2,9E+02	4,8E+01	1,5E+02	4,2E+02	3,7E+01	1,3E+02	8	180
USE	Bi214	180	2006-2020	5,6E+01	5,5E+01	5,6E+01	4,2E+02	5,9E+00	5,1E+01	2	180
ICI	Bi214	4	2014-2020	6,0E+01	6,0E+01	6,0E+01	5,3E+00	2,0E+00	3,1E+01	1	4
UVP	Bi214	180	2006-2020	1,8E+02	1,8E+02	1,8E+02	2,5E+00	6,3E+00	1,8E+02	1	180
UCC	Pu239	6	2008-2018	7,0E-02	7,0E-02	7,0E-02	1,1E-01	1,0E-02	4,1E-02	1	6
UCC	Ra226	7	2008-2020	2,2E+00	7,8E-01	1,2E+00	1,0E+00	3,2E-02	2,2E-01	6	7
UPC	Ra226	8	2006-2020	5,0E+00	2,2E+00	3,2E+00	3,0E+00	8,0E-01	1,3E+00	4	8
UPV/EH U	Ra226	10	2002-2020	8,7E+00	8,7E+00	8,7E+00	3,1E+00	4,6E+00	9,6E+00	1	10
USE	Ra226	1	2007-2007	1,4E+00	1,4E+00	1,4E+00	1,1E+00	1,1E+00	1,1E+00	1	1
UPV/EH U	Pu239	10	2002-2020	3,0E-02	3,0E-02	3,0E-02	1,2E-02	2,2E-03	5,4E-03	1	10
UPV/EH U	Am241	10	2002-2020	7,4E-03	6,5E-03	6,9E-03	1,4E-02	1,9E-03	4,9E-03	2	10
UPV/EH U	BR	245	2000-2020	6,4E+01	1,4E-01	1,6E+01	1,5E+00	4,5E+00	6,7E+00	205	245
UCC	BR	150	2008-2020	6,2E+01	8,0E+00	2,4E+01	2,4E+00	3,0E+00	9,2E+00	124	150
USE	BR	179	2006-2020	8,9E+02	3,7E+01	2,0E+02	1,8E+02	2,0E+01	6,1E+01	110	179
ULL	BR	180	2006-2020	4,9E+02	4,9E+01	1,6E+02	8,0E+01	1,9E+01	5,3E+01	75	180
ICI	BR	179	2006-2020	2,2E+02	9,2E+00	3,0E+01	7,8E+01	6,2E+01	1,3E+01	59	179
UPC	BR	180	2006-2020	6,5E+01	1,1E+01	3,1E+01	5,7E+01	2,3E+01	2,1E+01	8	180
UPV/EH U	BT	245	2000-2020	3,1E+02	2,0E+01	3,7E+01	1,0E+00	3,0E+00	5,0E+00	244	245
UVC	BT	181	2006-2020	6,8E+02	3,8E+01	2,1E+02	2,9E+01	1,5E+01	1,9E+01	181	181
UCC	BT	180	2006-2020	2,1E+02	6,5E+01	1,1E+02	2,9E+01	4,2E+01	9,5E+00	180	180
UCF	BT	180	2006-2020	4,9E+01	2,0E+01	3,3E+01	2,1E+01	3,8E+00	6,3E+00	180	180
ULL	BT	180	2006-2020	1,0E+03	2,6E+02	5,6E+02	8,0E+01	1,9E+01	5,3E+01	180	180
UMD	BT	180	2006-2020	9,6E+01	9,7E+00	3,8E+01	1,2E+01	4,1E+01	8,5E+00	180	180
UPC	BT	180	2006-2020	1,2E+03	8,2E+01	3,8E+02	5,7E+01	6,0E+01	2,1E+01	180	180
ICI	BT	179	2006-2020	2,4E+02	1,5E+01	4,4E+01	3,6E+01	3,9E+01	8,3E+00	179	179
UBD	BT	180	2006-2020	1,9E+02	3,2E+01	7,5E+01	3,3E+01	2,3E+01	5,1E+00	179	180

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

UBL	BT	180	2006-2020	5,4E+02	2,1E+01	9,9E+01	2,0E+01	1,2E+01	1,6E+01	179	180	
UOV	BT	180	2006-2020	9,4E+01	6,3E+00	3,0E+01	6,4E+00	3,5E+00	4,9E+00	179	180	
UVP	BT	180	2006-2020	1,6E+02	5,8E+01	1,0E+02	7,0E+00	2,3E+00	3,0E+01	179	180	
ULE	BT	178	2006-2020	2,0E+02	8,6E+00	3,0E+01	1,2E+00	9,8E-01	4,2E+00	178	178	
USA	BT	179	2006-2020	1,2E+02	9,1E+00	4,4E+01	1,3E+00	2,3E+00	6,2E+00	178	179	
UZA	BT	180	2006-2020	2,7E+02	3,1E+01	1,0E+02	7,2E+00	1,3E+00	4,0E+01	173	180	
UCN	BT	180	2006-2020	3,1E+02	3,6E+01	7,5E+01	6,1E+00	1,5E+00	3,9E+01	150	180	
USE	BT	179	2006-2020	8,9E+02	5,1E+01	2,0E+02	1,8E+00	3,9E+00	6,5E+01	145	179	
UML	BT	181	2006-2020	3,9E+02	1,5E+01	8,4E+01	5,4E+00	1,4E+00	3,3E+01	134	181	
UGR	BT	180	2006-2020	3,3E+02	1,1E+01	5,4E+01	2,8E+00	1,5E+00	1,1E+01	83	180	
UCM	BT	179	2006-2020	3,2E+02	2,7E+01	1,1E+02	1,6E+00	1,4E+00	7,2E+01	64	179	
ULL UPV/EH	U234	25	2006-2020	8,6E+01	1,6E+01	5,4E+01	4,0E+00	4,4E-01	9,5E-01	25	25	
U	U234	10	2006-2020	6,4E-01	1,4E-01	3,7E-01	2,1E-02	6,5E-03	1,1E-02	10	10	
UPC	U234	8	2006-2020	3,0E+01	8,5E+00	1,6E+01	1,8E+00	1,0E-01	1,4E-01	8	8	
ICI	U234	8	2006-2020	5,5E+00	3,4E-01	2,2E+00	0	5,7E-02	4,5E-01	7	8	
UCC	U234	7	2008-2020	2,1E+00	2,6E-01	9,2E-01	1,0E+00	3,5E-02	3,1E-01	7	7	
USE	U234	2	2007-2008	8,5E-01	8,5E-01	8,5E-01	2,9E-01	2,5E-01	2,7E-01	1	2	
USE	I129	1	2007-2007	1,4E-05	1,4E-05	1,4E-05	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	1	1	
ULL UPV/EH	U238	25	2006-2020	7,4E+01	4,2E+00	4,3E+01	2,5E+00	2,0E-01	4,9E-01	25	25	
U	U238	10	2006-2020	5,0E-01	1,0E-01	2,8E-01	1,4E-02	1,3E-05	7,5E-03	10	10	
UPC	U238	8	2006-2020	2,8E+01	7,4E+00	1,4E+01	2,0E-01	1,0E-01	1,3E-01	8	8	
ICI	U238	8	2006-2020	2,5E+00	3,8E-01	1,2E+00	1,7E+00	0	3,3E-02	4,7E-01	6	8
UCC	U238	7	2008-2020	8,9E-01	3,0E-01	6,3E-01	1,0E+00	0	2,0E-02	2,8E-01	5	7
USE	U238	2	2007-2008	3,7E-01	3,7E-01	3,7E-01	2,7E-01	2,5E-01	2,6E-01	1	2	
UMD	K40	180	2006-2020	7,4E+03	6,1E+02	1,8E+03	2,7E+00	2,1E+00	7,5E+02	47	180	
USA	K40	180	2006-2020	1,2E+02	2,0E+01	4,6E+01	2,6E+00	2,2E-01	6,5E+01	47	180	
UBD	K40	180	2006-2020	8,5E+03	1,9E+03	4,2E+03	3,6E+00	1,2E+00	2,3E+03	41	180	
UVC	K40	181	2006-2020	1,3E+03	2,0E+02	4,9E+02	6,6E+00	1,3E+00	2,7E+02	41	181	
ULE	K40	178	2006-2020	1,7E+03	2,7E+02	6,9E+02	2	2	4,3E+02	33	178	
UCC	K40	36	2018	3,0E+02	5,4E+01	1,5E+02	8,7E+00	1,2E+00	3,8E+01	29	36	
UCM	K40	179	2006-2020	2,1E+03	1,9E+02	4,0E+02	3,7E+00	8,5E+00	1,3E+02	29	179	
UCN	K40	180	2006-2020	1,4E+03	3,2E+02	8,5E+02	9,3E+00	9,6E+00	3,9E+02	19	180	
UGR	K40	180	2006-2020	8,0E+02	4,5E+02	6,9E+02	1,1E+00	3,6E+00	6,4E+02	10	180	
UML	K40	180	2006-2020	1,8E+03	1,9E+02	7,2E+02	6,3E+00	1,2E+00	2,8E+02	9	180	
UCF	K40	180	2006-2020	9,7E+02	5,8E+02	7,2E+02	1,2E+00	1,5E+00	6,4E+02	7	180	
UBL	K40	180	2006-2020	2,0E+03	1,7E+03	1,8E+03	2,5E+00	3,3E+00	1,1E+03	4	180	
USE	K40	180	2006-2020	2,6E+03	9,2E+02	1,8E+03	7,6E+00	4,1E+00	3,8E+02	2	180	

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

UVP	K40	180	2006-2020	4,2E+03	3,8E+03	4,0E+03	3,7E+03	4,3E+03	2,5E+03	2	180
UZA	K40	180	2006-2020	4,7E+02	4,7E+02	4,7E+02	4,3E+03	1,1E+03	2,7E+02	1	180
UGR	Pa234	1	2007-2007	2,0E+03	2,0E+03	2,0E+03	1,5E+03	1,5E+03	1,5E+03	1	1
UPV/EH	Sr90	245	2000-2020	7,4E+00	2,1E+00	4,1E+00	2,1E+00	1,4E-01	2,6E-01	244	245
USE	Sr90	180	2006-2020	1,9E+01	4,4E-01	3,4E+00	8,7E-01	2,6E-01	4,3E-01	178	180
ICI	Sr90	179	2006-2020	8,1E+00	5,4E-01	2,4E+00	9,2E-01	1,6E-02	1,1E-01	177	179
UPC	Sr90	180	2006-2020	5,7E+00	1,6E+00	3,2E+00	2,9E+00	1,2E+00	1,7E+00	175	180
UCC	Sr90	160	2006-2020	9,7E+00	2,5E+00	5,8E+00	5,0E+00	2,3E-01	1,0E+00	160	160
ULL	Sr90	180	2006-2020	4,4E+01	2,5E+00	1,0E+01	6,6E+00	6,8E-01	2,9E+00	68	180
UCN	Sr90	60	2006-2020	1,8E+01	4,0E+00	9,4E+00	2,0E+00	1,9E+00	5,0E+00	33	60
UCM	Sr90	60	2006-2020	5,2E+01	6,1E-01	9,5E+00	1,9E+00	2,9E-02	3,7E+00	29	60
UML	Sr90	60	2006-2020	9,5E+01	3,2E+00	1,6E+01	9,9E+00	2,7E+00	4,4E+00	28	60
UGR	Sr90	124	2006-2020	9,5E+00	3,2E+00	5,4E+00	4,1E+00	2,2E+00	2,8E+00	21	124
UBD	Sr90	60	2006-2020	4,7E+01	4,4E+00	1,1E+01	2,5E+00	2,5E+00	7,3E+00	19	60
UZA	Sr90	60	2006-2020	2,6E+01	9,4E+00	1,2E+01	2,1E+00	7,1E+00	1,1E+01	18	60
UVP	Sr90	60	2006-2020	4,3E+00	1,3E+00	2,2E+00	3,9E+00	1,0E+00	1,6E+00	16	60
UOV	Sr90	60	2006-2020	1,6E+01	4,0E+00	7,4E+00	5,0E+00	3,1E+00	4,2E+00	15	60
ULE	Sr90	60	2006-2020	8,3E+00	3,1E+00	6,0E+00	2,0E+00	2,2E+00	6,6E+00	7	60
USA	Sr90	58	2006-2020	8,0E+00	1,9E+00	4,5E+00	4,1E+00	1,0E+00	9,4E+00	7	58
UMD	Sr90	60	2006-2020	1,9E+01	6,0E+00	1,3E+01	3,0E+00	4,6E+00	1,5E+01	5	60
UCF	Sr90	60	2006-2020	8,0E+00	8,0E+00	8,0E+00	1,3E+00	2,5E+00	5,8E+00	1	60
UCN	Pb212	180	2006-2020	1,7E+02	3,8E+01	9,0E+01	1,5E+00	2,4E+00	8,1E+01	29	180
USA	Pb212	180	2006-2020	3,2E+00	3,1E-01	1,3E+00	1,1E+00	2,3E-01	1,5E+00	17	180
UML	Pb212	180	2006-2020	9,7E+01	4,7E+01	6,5E+01	4,5E+00	8,4E+00	4,4E+01	16	180
UVP	Pb212	180	2006-2020	3,6E+02	5,3E+01	1,6E+02	2,5E+00	4,0E+00	9,8E+01	16	180
ULE	Pb212	178	2006-2020	9,6E+01	1,6E+01	4,1E+01	4,0E+00	1,0E+00	3,0E+01	14	178
UBD	Pb212	180	2006-2020	2,7E+02	1,3E+02	2,0E+02	2,7E+00	7,0E+00	1,6E+02	13	180
UCM	Pb212	179	2006-2020	7,5E+01	2,3E+01	3,7E+01	7,4E+00	1,3E+00	2,6E+01	12	179
UZA	Pb212	180	2006-2020	2,7E+02	5,0E+01	1,2E+02	8,7E+00	2,1E+00	5,7E+01	12	180
UGR	Pb212	180	2006-2020	3,5E+02	5,5E+01	1,4E+02	8,6E+00	2,9E+00	6,8E+01	10	180
UCF	Pb212	180	2006-2020	2,1E+02	1,1E+02	1,7E+02	1,8E+00	1,1E+00	1,0E+02	8	180
UMD	Pb212	180	2006-2020	1,1E+02	8,7E+01	9,7E+01	2,7E+00	2,9E+00	6,7E+01	5	180
UCC	Pb212	36	2006-2018	1,8E+01	3,2E+00	8,3E+00	6,9E+00	9,9E-01	3,6E+00	3	36
ICI	Pb212	4	2020	5,7E+00	5,7E+00	5,7E+00	2,5E+00	5,3E+00	1,3E+01	1	4
UVC	Pb212	181	2006-2020	2,3E+01	2,3E+01	2,3E+01	3,2E+00	1,1E+00	1,8E+01	1	181
UOV	Pb214	180	2006-2020	4,7E+02	1,4E+02	2,3E+02	1,7E+00	9,3E+00	1,2E+02	33	180
UMD	Pb214	180	2006-2020	2,8E+02	8,0E+01	1,5E+02	4,0E+00	4,3E+00	1,0E+02	32	180

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

UVC	Pb214	181	2006-2020	1,4E+02	3,1E+01	6,7E+01	4,5E+01	1,4E+01	2,3E+01	29	181	
UBD	Pb214	180	2006-2020	9,2E+02	2,7E+02	4,9E+02	3,6E+01	9,2E+01	2,4E+02	25	180	
USA	Pb214	180	2006-2020	2,3E+01	4,9E-01	3,3E+00	5,0E+00	2	2,8E-01	5,5E+00	21	180
ULE	Pb214	178	2006-2020	1,6E+02	3,0E+01	7,9E+01	7,2E+01	1,9E+01	4,8E+01	19	178	
UZA	Pb214	180	2006-2020	2,2E+02	9,7E+01	1,5E+02	1,1E+01	2,8E+01	6,9E+01	8	180	
USE	Pb214	180	2006-2020	5,7E+01	4,2E+01	4,7E+01	6,7E+01	6,9E+01	5,1E+01	7	180	
UCC	Pb214	36	2006-2018	1,1E+01	5,7E+00	7,7E+00	1,0E+01	1,3E+01	3,6E+00	5	36	
UCF	Pb214	180	2006-2020	5,2E+02	7,9E+01	2,4E+02	3,6E+01	3,8E+01	1,2E+02	5	180	
UML	Pb214	180	2006-2020	1,7E+02	4,8E+01	1,0E+02	1,0E+01	1,4E+01	4,7E+01	5	180	
UCN	Pb214	180	2006-2020	1,4E+02	4,7E+01	9,2E+01	2,2E+01	2,1E+01	7,3E+01	3	180	
UGR	Pb214	180	2006-2020	1,7E+02	1,3E+02	1,5E+02	1,5E+01	1,0E+01	9,9E+01	3	180	
UVP	Pb214	180	2006-2020	1,9E+02	1,8E+02	1,9E+02	2,0E+01	6,7E+01	1,5E+02	2	180	
ICI	Pb214	4	2014-2020	4,9E+01	4,9E+01	4,9E+01	4,4E+01	1,7E+01	2,7E+01	1	4	
UCM	Pb214	179	2006-2020	4,4E+01	4,4E+01	4,4E+01	8,2E+01	1,7E+01	3,2E+01	1	179	
UPV/EH U	Po210	10	2002-2020	1,1E+00	8,2E-02	3,0E-01	3,6E-02	4,5E-03	1,0E-02	10	10	
ICI	Po210	8	2006-2020	3,9E+01	1,1E+00	1,8E+01	1,9E+01	0	2,7E-01	1,1E+00	4	8
UCC	Po210	7	2008-2020	1,6E+00	2,2E-01	8,5E-01	1,0E+00	0	4,5E-02	3,3E-01	4	7
USE	Po210	2	2007-2008	5,2E-01	5,2E-01	5,2E-01	2,3E-01	1,5E-01	1,9E-01	1	2	
ICI	Ra224	8	2006-2020	1,4E+00	5,5E-01	9,7E-01	1,3E+00	0	5,3E-01	9,4E-01	2	8
ICI	Cs137	183	2006-2020	3,8E-02	1,0E-02	2,0E-02	1,9E+00	1	8,1E-03	2,5E-01	38	183
UPV/EH U	Cs137	233	2001-2020	2,6E-02	1,2E-02	1,8E-02	2,6E-02	8,8E-03	1,5E-02	17	233	
USE	Cs137	247	2006-2020	1,3E+00	7,6E-02	2,9E-01	4,4E+00	1	5,1E-02	1,9E+01	14	247
UCC	Cs137	186	2006-2020	2,2E-01	2,6E-02	1,2E-01	3,8E+00	0	1,8E-02	5,1E-01	8	186
UOV	Cs137	180	2006-2020	4,6E+01	4,6E+01	4,6E+01	6,2E+00	4,1E+00	4,8E+01	1	180	
UPC	Cs137	180	2006-2020	2,8E-02	2,8E-02	2,8E-02	3,9E-02	1,3E-02	3,0E-02	1	180	
USA	Cs137	180	2006-2020	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01	1,4E+00	0	1,6E-01	5,5E-01	1	180
USA	Co60	180	2006-2020	1,2E+00	1,1E+00	1,2E+00	1,1E+00	0	2,0E-01	5,4E-01	2	180
UZA	Ru103	180	2006-2020	2,2E+02	9,7E+01	1,5E+02	1,1E+01	2,8E+01	6,9E+01	8	180	
ICI	H3	179	2006-2012	6,3E+02	1,8E+02	4,1E+02	1,5E+01	8,0E+01	1,0E+02	179	179	
ICI	Th228	3	2016-2018	2,0E+00	5,8E-01	1,1E+00	3,4E-01	2,7E-01	3,0E-01	3	3	
UPV/EH U	Th228	2	2018-2020	4,8E-02	2,8E-02	3,8E-02	9,1E-03	8,7E-03	8,9E-03	2	2	
ULL	Th230	25	2006-2020	3,8E+00	4,7E-01	1,7E+00	1,8E+00	0	9,8E-02	2,4E-01	18	25
UPV/EH U	Th230	10	2002-2020	9,4E-02	2,6E-02	4,8E-02	1,9E-02	4,5E-03	1,1E-02	10	10	
ICI	Th230	8	2006-2020	6,8E+01	1,9E-01	1,3E+01	3,0E+00	0	3,9E-02	8,9E-01	8	8
UCC	Th230	7	2008-2020	2,1E+00	2,6E-01	8,2E-01	1,0E+00	0	4,0E-02	2,6E-01	7	7
UPC	Th230	8	2006-2020	3,6E+00	3,0E-01	2,0E+00	2,0E-01	1,0E-01	1,5E-01	2	8	
UPV/EH U	Th232	10	2002-2020	2,8E-02	9,5E-03	1,4E-02	1,7E-02	4,5E-03	8,4E-03	8	10	

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

ICI	Th232	7	2006-2018	6,0E+01	3,5E-01	1,1E+01	3,0E+00	0	2,5E-02	9,0E-01	7	7	
ULL	Th232	25	2006-2020	2,9E+00	6,4E-01	1,4E+00	1,8E+00	0	8,1E-02	2,1E-01	7	25	
UCC	Th232	6	2010-2020	4,2E-01	3,0E-01	3,5E-01	1,0E+00	0	4,5E-02	2,4E-01	3	6	
UPC	Th232	8	2006-2020	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	3,0E-01	4,6E+00	1,0E-01	1,6E-01	1	8	
UGR	Th234	2	2007-2008	7,0E+03	7,0E+03	7,0E+03	3	2	2,6E+03		1	2	
UCN	Ti208	180	2006-2020	9,2E+01	1,7E+01	4,6E+01	6,1E+00	4,3E+00	1	0	2,5E+01	30	180
UGR	Ti208	180	2006-2020	4,1E+02	6,4E+01	2,7E+02	6,8E+00	1,6E+00	1	1	4,2E+01	20	180
UBD	Ti208	180	2006-2020	2,7E+02	8,2E+01	1,5E+02	1,8E+00	4,8E+00	2	1	1,0E+02	16	180
UCF	Ti208	180	2006-2020	1,1E+02	5,3E+01	7,7E+01	1,1E+00	1,5E+00	2	1	4,9E+01	7	180
UZA	Ti208	180	2006-2020	9,5E+01	4,5E+01	7,1E+01	4,8E+00	1,5E+00	1	1	3,1E+01	6	180
ULE	Ti208	178	2006-2020	3,5E+01	2,3E+01	2,9E+01	7,2E+00	1,0E+00	1	1	2,6E+01	4	178
UMD	Ti208	180	2006-2020	5,9E+01	4,1E+01	4,9E+01	1,7E+00	2,2E+00	2	1	4,6E+01	4	180
UVC	Ti208	181	2006-2020	1,6E+01	9,0E+00	1,3E+01	2,6E+00	6,5E+00	1	0	1,1E+01	2	181
UCC	Ti208	36	2006-2018	2,2E+00	2,2E+00	2,2E+00	9,6E+00	0	6,5E-01	1,8E+00	1	36	
USA	Ti208	180	2006-2020	5,1E-01	5,1E-01	5,1E-01	7,1E+00	2	4,0E-02	6,1E+00	1	180	
USE	Ti208	180	2006-2020	4,1E+01	4,1E+01	4,1E+01	4,5E+00	3,4E+00	1	0	2,6E+01	1	180
UVP	Ti208	180	2006-2020	1,1E+03	1,1E+03	1,1E+03	2,7E+00	2,8E+00	3	1	2,2E+02	1	180
USE	H3	180	2006-2020	2,7E+03	1,4E+02	6,0E+02	1,7E+00	1,1E+00	3	2	3,2E+02	161	180
UCC	H3	150	2008-2020	7,2E+03	1,3E+03	3,3E+03	2,4E+00	1,1E+00	3	3	1,5E+03	67	150
UPV/EH	H3	245	2000-2020	1,8E+03	5,5E+02	1,0E+03	8,9E+00	3,9E+00	3	2	9,4E+02	49	245
ULL	H3	180	2006-2020	2,8E+02	4,0E+01	9,4E+01	1,5E+00	3,0E+00	2	1	7,5E+01	24	180
UPC	H3	180	2006-2020	2,5E+03	7,1E+02	1,4E+03	1,9E+00	1,0E+00	3	2	1,0E+03	7	180
UVP	H3	2	2007-2015	2,2E+03	3,5E+02	1,3E+03	1,6E+00	1,9E+00	3	2	9,0E+02	2	2
UPV/EH	U235	10	2002-2020	4,3E-02	1,0E-02	2,4E-02	2,2E-02	5,7E-03	1,1E-02			8	10
UPC	U235	8	2006-2020	2,0E+00	5,0E-01	9,7E-01	2,0E-01	1,0E-01	1,1E-01			6	8
ICI	U235	8	2006-2020	1,5E-01	1,5E-01	1,5E-01	4,6E-01	2,3E-02	1,9E-01			1	8
UCC	U235	5	2010-2018	5,0E-02	5,0E-02	5,0E-02	1,3E-01	2,0E-02	8,8E-02			1	5

### De la dieta:

Zona de vigilancia	Isotopo	Nº de medidas	Años de medida	Valor máximo de la Actividad	Valor mínimo de la Actividad	Promedio de la actividad	LID máximo	LID mínimo	Promedio del LID	Nº de medidas de Actividad	Nº de medidas de LID
USA	AC228	4	2009-2009	6,9E-02	4,3E-02	5,6E-02	3,0E-01	2,2E-02	1,5E-01	2	4
UPC	AC228	60	2006-2020	1,1E-01	6,1E-02	8,0E-02	1,9E-01	4,4E-02	8,9E-02	7	60
ULL	AC228	60	2006-2020	2,3E-01	8,6E-02	1,6E-01	3,3E-01	6,3E-02	1,6E-01	9	60
UMD	Be7	48	2009-2020	4,9E-01	4,9E-01	4,9E-01	7,2E-01	4,9E-02	2,9E-01	1	48
UPC	Be7	60	2006-2020	3,0E-01	2,9E-01	3,0E-01	8,5E-01	1,1E-01	2,3E-01	2	60
UPV/EHU	Be7	81	2000-2020	4,7E-01	2,1E-01	3,4E-01	1,2E+00	4,9E-02	4,6E-01	2	81

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

ICI	Be7	59	2006-2020	3,3E-01	1,6E-01	2,5E-01	3,3E+00	1,1E-01	4,8E-01	4	59
UCF	Be7	23	2015-2020	4,8E-01	3,0E-01	4,2E-01	4,2E-01	1,4E-01	2,5E-01	4	23
USE	Bi214	60	2006-2020	9,5E-01	3,4E-01	7,2E-01	4,3E-01	9,3E-02	2,0E-01	3	60
UVP	Bi214	52	2008-2020	2,4E-01	1,2E-01	1,8E-01	2,5E-01	1,9E-02	9,2E-02	4	52
UVC	Bi214	52	2008-2020	2,7E-01	9,0E-02	1,8E-01	4,2E-01	2,8E-02	8,1E-02	5	52
ULE	Bi214	47	2008-2020	3,2E-01	1,7E-01	2,2E-01	2,6E-01	1,2E-01	1,6E-01	6	47
UZA	Bi214	50	2008-2020	1,5E-01	5,5E-02	9,2E-02	2,0E-01	1,6E-02	4,7E-02	7	50
ULL	Bi214	60	2006-2020	8,7E-02	5,6E-02	7,1E-02	1,6E-01	4,2E-02	8,3E-02	8	60
UOV	Bi214	52	2008-2020	5,2E-01	9,6E-02	2,0E-01	3,0E-01	4,4E-02	8,3E-02	8	52
UCC	Bi214	52	2008-2020	6,3E-01	7,3E-02	2,2E-01	2,6E-01	2,5E-02	8,6E-02	11	52
UML	Bi214	52	2008-2020	1,1E+00	6,6E-02	2,2E-01	2,5E-01	3,3E-02	8,7E-02	11	52
UCF	Bi214	23	2015-2020	1,5E-01	5,6E-02	1,0E-01	9,6E-01	3,9E-02	1,1E-01	14	23
UPC	Bi214	60	2006-2020	7,0E-02	2,7E-02	4,7E-02	8,6E-02	2,3E-02	4,3E-02	17	60
UBD	Bi214	52	2008-2020	1,1E+00	1,7E-01	6,4E-01	5,9E-01	5,8E-02	1,7E-01	19	52
UGR	Bi214	52	2008-2020	1,9E+00	9,2E-02	4,1E-01	4,2E-01	9,1E-02	2,0E-01	23	52
ICI	Bi214	59	2006-2020	5,4E-01	2,3E-02	1,3E-01	3,0E-01	6,5E-03	6,4E-02	24	59
USA	Bi214	52	2008-2020	8,7E-02	1,2E-02	3,6E-02	3,0E-01	4,7E-03	6,2E-02	26	52
UCN	Bi214	52	2008-2020	1,9E+00	1,3E-01	2,9E-01	2,0E-01	8,2E-02	1,3E-01	27	52
UMD	Bi214	48	2009-2020	4,9E-01	5,0E-02	2,4E-01	2,2E-01	3,9E-02	1,0E-01	35	48
UPV/EHU	Bi214	81	2000-2020	1,2E+00	3,6E-02	4,0E-01	6,1E-01	1,4E-02	1,4E-01	36	81
ICI	C14	47	2009-2020	1,9E+02	1,7E+01	7,4E+01	3,6E+02	1,1E+00	8,3E+01	23	47
UCC	C14	50	2008-2020	8,3E+01	3,5E+01	5,8E+01	5,0E-01	5,0E-03	6,4E-02	50	50
UPV/EHU	C14	51	2008-2020	5,0E+02	2,2E+01	7,3E+01	9,4E+01	6,8E+00	1,9E+01	50	51
UPC	C14	51	2008-2020	7,5E+01	2,4E+01	5,3E+01	2,3E+01	5,9E-02	2,3E+00	51	51
ULL	C14	52	2008-2020	1,6E+02	3,4E+01	7,3E+01	9,4E+01	7,3E-02	1,6E+01	52	52
USE	C14	52	2008-2020	6,4E+01	3,1E+01	4,2E+01	1,2E-01	5,7E-02	7,6E-02	52	52
UBD	Cs137	52	2008-2020	8,4E-02	8,4E-02	8,4E-02	2,2E-01	2,9E-02	7,8E-02	1	52
UCM	Cs137	51	2008-2020	4,1E-02	4,1E-02	4,1E-02	6,9E-02	3,2E-03	2,5E-02	1	51
ULE	Cs137	49	2008-2020	3,6E-02	3,6E-02	3,6E-02	1,0E-01	2,2E-02	5,6E-02	1	49
UGR	Cs137	52	2008-2020	1,3E-01	5,9E-02	9,7E-02	1,2E-01	2,8E-02	6,1E-02	2	52
USE	Cs137	60	2006-2020	1,4E-01	6,1E-02	1,0E-01	2,0E-01	3,3E-02	1,0E-01	2	60
UML	Cs137	52	2008-2020	5,6E-02	3,3E-02	4,4E-02	6,4E-02	1,1E-02	3,6E-02	3	52
UVC	Cs137	52	2008-2020	7,8E-02	4,6E-02	5,3E-02	6,0E-02	1,2E-02	2,8E-02	6	52
UCN	Cs137	52	2008-2020	4,0E-02	2,4E-02	2,9E-02	5,2E-02	1,8E-02	2,4E-02	11	52
UBL	Cs137	51	2008-2020	2,2E-01	2,8E-02	1,1E-01	7,5E-02	6,6E-03	4,5E-02	13	51
UCF	Cs137	23	2015-2020	4,8E-02	2,0E-02	3,4E-02	3,7E-02	1,4E-02	2,6E-02	13	23

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

UZA	Cs137	50	2008-2020	1,5E-01	1,5E-02	5,8E-02	5,9E-02	9,8E-03	2,3E-02	15	50
UCC	Cs137	52	2008-2020	7,9E-02	3,3E-02	5,4E-02	1,2E-01	1,2E-02	3,7E-02	16	52
UOV	Cs137	52	2008-2020	6,7E-02	2,1E-02	4,1E-02	5,5E-02	2,0E-02	3,2E-02	25	52
UVP	Cs137	52	2008-2020	1,7E-01	8,9E-03	5,3E-02	7,6E-02	6,7E-03	2,9E-02	29	52
ICI	Cs137	59	2006-2020	1,1E-01	1,9E-02	4,3E-02	1,5E-01	5,4E-03	2,9E-02	30	59
UMD	Cs137	48	2009-2020	2,3E-01	1,4E-02	8,3E-02	1,1E-01	8,5E-03	4,0E-02	30	48
USA	Cs137	52	2008-2020	1,7E-01	8,9E-03	2,9E-02	3,6E-02	2,3E-03	1,2E-02	31	52
UPV/EHU	Cs137	81	2000-2020	8,4E-02	1,7E-03	3,7E-02	6,6E-02	6,8E-03	3,7E-02	34	81
ULL	Cs137	60	2006-2020	3,3E-01	2,8E-02	6,6E-02	7,3E-02	1,8E-02	3,9E-02	50	60
UPC	Cs137	60	2006-2020	1,7E-01	1,2E-02	4,0E-02	4,1E-02	8,4E-03	1,9E-02	56	60
UCC	K40	52	2008-2020	1,1E+02	9,2E+01	1,0E+02	3,9E+02	1,0E-02	2,0E+01	2	52
UCF	K40	23	2015-2020	1,7E+02	1,0E+02	1,4E+02	8,6E-01	1,5E-01	2,7E-01	23	23
UMD	K40	48	2009-2020	4,6E+02	2,1E+01	2,3E+02	9,1E+00	3,1E-01	1,1E+00	43	48
UZA	K40	50	2008-2020	1,0E+02	3,9E+01	6,0E+01	1,1E+00	7,3E-02	4,1E-01	47	50
ULE	K40	48	2008-2020	2,1E+02	3,6E+01	8,7E+01	9,1E+00	1,0E+00	1,4E+00	48	48
UBL	K40	51	2008-2020	1,8E+02	9,8E+01	1,4E+02	1,2E+00	2,5E-01	8,4E-01	51	51
UCM	K40	51	2008-2020	1,5E+02	1,2E+01	9,2E+01	5,6E-01	3,0E-02	3,7E-01	51	51
UML	K40	52	2008-2020	9,2E+02	2,7E+01	1,2E+02	1,9E+00	1,3E-01	6,4E-01	51	52
UBD	K40	52	2008-2020	1,6E+02	4,0E+01	8,6E+01	4,7E+00	3,4E-01	1,3E+00	52	52
UCN	K40	52	2008-2020	1,1E+02	4,6E+01	7,1E+01	6,3E-01	2,2E-01	3,5E-01	52	52
UGR	K40	52	2008-2020	2,3E+02	7,5E+00	1,0E+02	3,2E+00	6,8E-01	1,4E+00	52	52
UOV	K40	52	2008-2020	1,2E+02	7,4E+01	9,6E+01	7,0E-01	1,9E-01	5,1E-01	52	52
USA	K40	52	2008-2020	2,3E+02	2,1E+01	1,1E+02	3,4E+00	4,7E-03	8,5E-01	52	52
UVC	K40	52	2008-2020	1,9E+02	7,2E+01	1,1E+02	1,5E+00	3,2E-01	6,8E-01	52	52
UVP	K40	52	2008-2020	3,2E+02	3,7E+01	1,4E+02	2,0E+00	1,8E-01	7,0E-01	52	52
USE	K40	60	2006-2020	2,8E+02	8,5E+00	1,1E+02	4,5E+00	7,1E-01	2,1E+00	55	60
ICI	K40	59	2006-2020	3,0E+02	4,9E+01	1,4E+02	1,7E+00	7,9E-02	3,6E-01	59	59
ULL	K40	60	2006-2020	2,4E+02	6,8E+01	1,5E+02	8,5E-01	2,3E-01	5,3E-01	60	60
UPC	K40	60	2006-2020	1,6E+02	6,4E+01	1,1E+02	5,9E-01	1,2E-01	2,5E-01	60	60
UPV/EHU	K40	81	2000-2020	1,5E+02	1,4E-01	7,8E+01	2,8E+00	5,2E-04	6,4E-01	81	81
ULL	Pa234M	60	2006-2020	9,6E+00	8,6E+00	9,1E+00	1,7E+01	4,2E+00	8,5E+00	2	60
UCC	Pb210	40	2011-2020	1,3E+00	1,3E+00	1,3E+00	2,9E+01	3,9E-01	4,5E+00	1	40
UGR	Pb210	1	2014-2014	1,1E+00	1,1E+00	1,1E+00	9,2E-01	9,2E-01	9,2E-01	1	1
ULL	Pb210	60	2006-2020	2,7E-01	2,7E-01	2,7E-01	1,5E+00	2,6E-01	7,2E-01	1	60
USA	Pb210	2	2009-2016	1,7E-01	1,0E-01	1,3E-01	1,3E-01	7,6E-02	1,0E-01	2	2
ICI	Pb210	58	2006-2020	6,7E-01	4,9E-01	6,0E-01	3,3E+01	1,4E-01	1,4E+00	3	58

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

UPV/EHU	Pb210	81	2000-2020	1,8E+01	1,0E+00	6,2E+00	1,3E+01	2,0E-03	2,4E+00	16	77
UCF	Pb212	23	2015-2020	5,6E-02	5,6E-02	5,6E-02	9,2E-02	3,6E-02	5,4E-02	1	23
UCN	Pb212	52	2008-2020	9,9E-02	9,9E-02	9,9E-02	1,6E-01	4,8E-02	8,9E-02	1	52
ULL	Pb212	60	2006-2020	6,3E-02	6,3E-02	6,3E-02	1,8E-01	3,3E-02	8,2E-02	1	60
USE	Pb212	60	2006-2020	4,0E-01	2,6E-01	3,3E-01	3,1E-01	7,4E-02	1,5E-01	3	60
UVC	Pb212	52	2008-2020	1,9E-01	1,3E-01	1,5E-01	1,0E-01	2,5E-02	4,6E-02	3	52
UCM	Pb212	51	2008-2020	9,7E-01	1,0E-02	2,4E-01	1,0E-01	7,8E-03	6,7E-02	5	51
UVP	Pb212	52	2008-2020	9,4E-02	3,2E-02	4,8E-02	9,6E-02	1,2E-02	4,8E-02	5	52
UPC	Pb212	60	2006-2020	4,7E-02	1,7E-02	3,5E-02	6,5E-02	1,5E-02	3,2E-02	6	60
UCC	Pb212	52	2008-2020	2,2E-01	4,4E-02	1,1E-01	1,9E-01	2,1E-02	6,8E-02	7	52
UMD	Pb212	48	2009-2020	1,9E-01	5,6E-02	1,1E-01	1,3E-01	2,3E-02	6,1E-02	7	48
UZA	Pb212	50	2008-2020	2,0E-01	1,9E-02	7,9E-02	1,6E-01	1,3E-02	3,9E-02	10	50
UBD	Pb212	52	2008-2020	5,9E-01	1,0E-01	3,4E-01	4,4E-01	4,6E-02	1,5E-01	15	52
UOV	Pb212	52	2008-2020	2,5E-01	8,6E-02	1,6E-01	1,0E-01	2,6E-02	7,4E-02	18	52
ICI	Pb212	59	2006-2020	2,5E-01	1,7E-02	4,9E-02	2,2E-01	8,9E-03	3,7E-02	24	59
USA	Pb212	52	2008-2020	8,3E-02	3,9E-03	2,9E-02	2,6E-01	1,1E-03	3,8E-02	29	52
UPV/EHU	Pb212	81	2000-2020	2,8E-01	2,3E-02	1,2E-01	1,6E-01	1,4E-02	7,5E-02	45	81
UCM	Pb214	51	2008-2020	1,4E-01	1,0E-01	1,2E-01	1,3E-01	1,1E-02	8,3E-02	3	51
USE	Pb214	60	2006-2020	1,3E+00	1,8E-01	8,3E-01	3,8E-01	9,3E-02	1,8E-01	3	60
UVP	Pb214	52	2008-2020	2,0E-01	1,9E-02	1,2E-01	2,0E-01	1,8E-02	7,5E-02	3	52
UVC	Pb214	52	2008-2020	2,8E-01	1,2E-01	1,8E-01	1,0E-01	3,2E-02	5,8E-02	4	52
ULE	Pb214	49	2008-2020	3,2E-01	2,1E-01	2,6E-01	2,5E-01	1,3E-01	1,7E-01	5	49
UML	Pb214	52	2008-2020	1,7E-01	7,8E-02	1,1E-01	2,1E-01	2,5E-02	9,1E-02	5	52
UZA	Pb214	50	2008-2020	7,7E-02	5,4E-02	6,8E-02	2,1E-01	1,5E-02	4,7E-02	5	50
ULL	Pb214	60	2006-2020	1,2E-01	5,6E-02	7,8E-02	1,5E-01	4,5E-02	8,3E-02	7	60
UCC	Pb214	52	2008-2020	4,0E-01	8,3E-02	1,6E-01	3,0E-01	2,4E-02	8,6E-02	9	52
UOV	Pb214	52	2008-2020	1,4E-01	7,8E-02	1,1E-01	1,5E-01	4,3E-02	8,2E-02	10	52
UGR	Pb214	52	2008-2020	4,4E-01	1,6E-01	2,8E-01	1,2E+00	7,7E-02	2,0E-01	11	52
UBD	Pb214	52	2008-2020	9,6E-01	2,3E-01	5,9E-01	5,4E-01	6,7E-02	1,9E-01	15	52
UCF	Pb214	23	2015-2020	6,7E-01	5,3E-02	1,4E-01	1,8E-01	4,4E-02	7,2E-02	15	23
UPC	Pb214	60	2006-2020	1,1E-01	3,2E-02	5,0E-02	8,3E-02	2,4E-02	4,4E-02	17	60
ICI	Pb214	59	2006-2020	4,5E-01	2,1E-02	1,2E-01	3,3E-01	6,0E-03	6,1E-02	24	59
USA	Pb214	52	2008-2020	6,7E-02	9,2E-03	3,4E-02	4,5E-01	3,0E-03	7,4E-02	28	52
UCN	Pb214	52	2008-2020	1,2E+00	5,0E-02	1,7E-01	1,2E-01	4,5E-02	6,9E-02	29	52
UPV/EHU	Pb214	81	2000-2020	9,6E-01	3,2E-02	2,9E-01	4,4E-01	1,5E-02	1,4E-01	32	81
UMD	Pb214	48	2009-2020	4,9E-01	5,5E-02	2,6E-01	2,1E-01	3,0E-02	9,8E-02	38	48

## **ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

USA	Ra226	2	2009-2009	1,7E-01	1,6E-02	9,5E-02	8,6E-02	9,3E-03	4,8E-02	2	2
ULE	Ru103	49	2008-2020	3,2E-01	2,1E-01	2,6E-01	2,5E-01	1,3E-01	1,7E-01	5	49
USA	Sr90	51	2008-2020	4,6E-01	9,0E-02	2,2E-01	5,8E+00	4,5E-03	6,2E-01	3	51
UZA	Sr90	50	2008-2020	8,8E-02	2,1E-02	4,8E-02	2,9E-01	1,8E-03	5,0E-02	15	50
UCF	Sr90	23	2015-2020	1,0E-01	2,8E-02	5,3E-02	1,0E-01	1,7E-02	3,3E-02	18	23
UMD	Sr90	48	2009-2020	9,5E-02	6,5E-03	3,0E-02	1,0E-01	3,5E-03	2,4E-02	24	48
UCN	Sr90	52	2008-2020	9,8E-02	2,2E-02	5,2E-02	2,8E-01	1,0E-02	4,4E-02	25	52
UCM	Sr90	51	2008-2020	6,2E-02	1,0E-03	3,0E-02	3,5E-01	5,9E-04	3,6E-02	31	51
UGR	Sr90	52	2008-2020	1,9E-01	1,3E-02	4,7E-02	6,0E-02	7,3E-03	1,9E-02	34	52
ICI	Sr90	59	2006-2020	2,3E-01	2,9E-03	7,5E-02	1,4E-01	1,5E-03	1,7E-02	46	59
UML	Sr90	52	2008-2020	7,4E-02	9,5E-03	3,4E-02	2,0E-02	1,8E-03	9,5E-03	46	52
UBD	Sr90	52	2008-2020	1,6E-01	5,5E-03	4,9E-02	2,4E-02	2,4E-03	7,3E-03	48	52
ULE	Sr90	50	2008-2020	9,3E-02	1,3E-02	3,7E-02	5,5E-02	2,9E-03	1,1E-02	48	50
UCC	Sr90	52	2008-2020	1,1E-01	1,2E-02	3,9E-02	2,8E-02	1,3E-03	9,1E-03	50	52
UOV	Sr90	52	2008-2020	1,2E-01	1,1E-02	4,0E-02	1,1E-02	4,1E-03	6,7E-03	52	52
UVC	Sr90	52	2008-2020	7,3E-02	1,5E-02	3,0E-02	1,7E-02	6,0E-03	1,1E-02	52	52
UVP	Sr90	52	2008-2020	1,6E-01	5,2E-03	2,5E-02	2,3E-02	1,4E-03	5,7E-03	52	52
USE	Sr90	60	2006-2020	1,1E-01	1,2E-02	4,2E-02	2,5E-02	9,0E-03	1,5E-02	54	60
UPC	Sr90	60	2006-2020	6,5E-02	1,8E-02	3,5E-02	2,2E-02	5,3E-03	1,1E-02	59	60
ULL	Sr90	60	2006-2020	1,7E-01	1,9E-02	7,2E-02	4,6E-02	3,1E-03	1,3E-02	60	60
UPV/EHU	Sr90	81	2000-2020	1,1E-01	9,1E-03	3,3E-02	7,7E-02	1,0E-04	9,1E-03	73	81
UCF	Tl208	23	2015-2020	4,1E-02	4,1E-02	4,1E-02	1,4E-01	2,3E-02	4,2E-02	1	23
UVC	Tl208	52	2008-2020	1,7E-01	1,7E-01	1,7E-01	5,9E-02	1,5E-02	3,0E-02	1	52
UVP	Tl208	52	2008-2020	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	3,4E-01	1,1E-02	1,0E-01	1	52
UMD	Tl208	48	2009-2020	5,8E-02	4,4E-02	5,1E-02	1,0E-01	1,3E-02	4,9E-02	2	48
ICI	Tl208	59	2006-2020	1,0E-01	1,2E-02	4,4E-02	1,6E-01	4,9E-03	3,1E-02	3	59
UOV	Tl208	52	2008-2020	6,6E-02	3,1E-02	4,6E-02	5,7E-02	1,5E-02	4,2E-02	3	52
UPC	Tl208	60	2006-2020	4,2E-02	2,3E-02	3,1E-02	4,3E-02	1,1E-02	2,1E-02	3	60
UCC	Tl208	52	2008-2020	1,5E-01	5,3E-02	8,6E-02	2,4E-01	1,6E-02	5,3E-02	4	52
UZA	Tl208	50	2008-2020	5,5E-02	1,1E-02	3,2E-02	9,5E-01	9,7E-03	4,4E-02	6	50
USA	Tl208	52	2008-2020	5,8E-02	4,7E-03	1,8E-02	2,3E-01	7,2E-04	3,4E-02	8	52
UGR	Tl208	52	2008-2020	1,0E+00	1,8E-01	4,0E-01	2,0E-01	4,0E-02	8,1E-02	10	52
ULL	Tl208	60	2006-2020	7,6E-02	2,3E-02	4,9E-02	7,0E-02	1,2E-02	4,1E-02	13	60
UBD	Tl208	52	2008-2020	2,6E-01	6,1E-02	1,9E-01	2,3E-01	2,9E-02	8,6E-02	17	52
UCN	Tl208	52	2008-2020	7,6E-02	1,4E-02	3,9E-02	4,3E-02	9,1E-03	1,7E-02	18	52
UPV/EHU	Tl208	81	2000-2020	2,2E-01	3,5E-02	9,4E-02	1,9E-01	4,6E-03	5,6E-02	24	81

**ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

---

ULL	U235	60	2006-2020	2,9E-01	7,9E-02	2,0E-01	1,3E-01	3,6E-02	7,0E-02	21	60
-----	------	----	-----------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----	----

---

**ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

**ANEXO III: VALORES DE DOSIS**

Valores del agua:

Zona	Iso	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
UCC	Cs137		5,17E-09	1,64E-09	7,12E-10				
UCC	H3		2,50E-07	2,63E-08	3,98E-07		1,68E-07	5,25E-08	7,50E-07
UCC	Po210		2,28E-07	1,14E-06	1,40E-06		1,93E-07		
UCC	Pu239		1,28E-08						
UCC	Ra226		4,50E-07	2,86E-07	1,82E-07	2,04E-07	1,66E-07	1,59E-07	
UCC	Sr90	6,29E-07	1,15E-06	1,48E-06	1,84E-06	1,31E-06	1,44E-06	1,10E-06	1,05E-06
UCC	Th230		3,22E-07	8,58E-08	3,99E-08	5,21E-08	7,19E-08	5,67E-08	2,47E-07
UCC	Th232			5,54E-08			7,04E-08	5,04E-08	
UCC	U234		2,97E-08	3,47E-08	7,51E-08	9,16E-09	1,80E-08	1,61E-08	4,78E-08
UCC	U238		2,76E-08	2,40E-08	2,92E-08		9,76E-09	1,28E-08	
ULL	H3			1,45E-09			8,67E-09	4,20E-09	9,62E-10
ULL	Pb210			5,07E-06					
ULL	Po210	1,23E-06	2,67E-06	6,12E-06	2,91E-06	1,18E-06	8,89E-07	1,10E-06	1,70E-06
ULL	Sr90	2,30E-06	1,76E-07	1,45E-06	3,21E-06	2,21E-06		7,45E-08	7,64E-08
ULL	Th230		1,30E-07	1,17E-06	2,49E-07	4,79E-07	1,60E-07		7,28E-08
ULL	Th232			4,93E-07	1,08E-07				
ULL	U234	6,91E-07	1,04E-06	1,43E-05	2,14E-06	1,34E-06	6,01E-07	1,43E-06	5,67E-07
ULL	U238	2,31E-07	6,18E-07	1,03E-05	1,58E-06	9,85E-07	3,12E-07	9,72E-07	1,39E-07
UPC	Cs137		2,66E-10						
UPC	H3		4,76E-08	3,30E-08		2,35E-08			
UPC	Ra226					5,52E-07	5,52E-07	4,50E-07	1,02E-06
UPC	Sr90	7,91E-07	8,77E-07	6,50E-07	6,43E-07	7,75E-07	6,33E-07	8,79E-07	8,06E-07
UPC	Th230		5,52E-07				4,60E-08		
UPC	Th232		1,68E-07						
UPC	U234	3,51E-07	3,04E-07	4,65E-07	5,19E-07	7,40E-07	4,22E-07	6,94E-07	1,09E-06
UPC	U238	2,50E-07	2,43E-07	2,73E-07	3,09E-07	4,80E-07	5,95E-07	9,03E-07	6,73E-07
USE	Cs137	1,61E-08	1,42E-09	7,87E-09	4,46E-09				
USE	H3	6,27E-08	7,91E-08	1,12E-07	8,14E-08	9,29E-08	9,23E-08	1,09E-07	4,89E-08
USE	Po210		4,56E-07						
USE	Ra226								
USE	Sr90	7,89E-07	9,90E-07	7,64E-07	5,05E-07	9,10E-07	8,36E-07	6,97E-07	8,04E-07
USE	U234		3,04E-08						
USE	U238		1,22E-08						
EHU/UPV	Am241		9,45E-10						
EHU/UPV	Cs137		1,18E-09						
EHU/UPV	H3	6,60E-08	4,51E-08	9,30E-09	1,23E-08		2,98E-08		
EHU/UPV	Pb210				3,03E-07				7,78E-07
EHU/UPV	Po210	4,04E-07	1,06E-07	2,11E-07	2,66E-07	1,62E-07	2,61E-07	8,90E-08	1,00E-06
EHU/UPV	Pu239		5,42E-09						
EHU/UPV	Ra226			1,77E-06					

**ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

EHU/UPV	Sr90	1,03E-06	1,09E-06	1,12E-06	9,70E-07	8,42E-07	8,13E-07	7,01E-07	5,32E-07
EHU/UPV	Th228							2,53E-09	1,49E-09
EHU/UPV	Th230	1,45E-08	3,95E-09	1,31E-08	6,02E-09	7,43E-09	4,19E-09	4,13E-09	7,42E-09
EHU/UPV	Th232		1,60E-09	4,62E-09	3,30E-09	2,67E-09		2,12E-09	1,73E-09
EHU/UPV	U234	1,62E-08	1,49E-08	1,01E-08	6,42E-09	5,05E-09	5,32E-09	1,99E-08	1,30E-08
ICI	Cs137	2,40E-10	1,27E-09	1,14E-09	1,16E-09	3,92E-10			
ICI	H3	6,70E-08	7,40E-08	7,11E-08	6,94E-08	6,23E-08	5,26E-08	5,80E-08	5,80E-08
ICI	Pb210			9,27E-07	2,00E-06	4,27E-06	1,31E-06	2,19E-05	1,63E-05
ICI	Po210				9,88E-07	4,76E-06		3,39E-05	2,40E-05
ICI	Sr90	8,54E-07	6,89E-07	1,20E-06	9,45E-07	3,92E-07	2,44E-07	2,94E-07	2,44E-07
ICI	Th228				4,36E-08	3,03E-08	1,05E-07		
ICI	Th230	3,10E-07	2,31E-06	2,38E-06	1,18E-07	2,16E-07	1,99E-07	1,05E-05	2,85E-08
ICI	Th232	1,06E-07	2,35E-06	3,74E-07	5,84E-08	1,01E-07	1,55E-07	1,01E-05	
ICI	U234	1,80E-07	3,38E-08	1,95E-07	3,12E-08	6,95E-08	2,62E-08	1,23E-08	
ICI	U238	8,27E-08	1,84E-08	6,84E-08	2,09E-08	2,65E-08		1,25E-08	

Valores de la dieta:

Zona de muestreo	Iso	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
ULL	Ac228		0,16	0,14					
ULL	Pb210								
ULL	Bi214	0,07	0,08			0,09	0,06		0,08
ULL	K40	100,85	110,36	113,43	163,18	163,83	142,35	194,20	193,45
ULL	Sr90	0,15	0,12	0,10	0,06	0,06	0,02	0,02	0,03
ULL	Pb212	0,06							
ULL	Pb214					0,12	0,06		0,08
ULL	Cs137	0,06	0,07	0,07	0,09	0,06	0,04	0,07	0,04
ULL	Tl208		0,05	0,04					
ULL	C14		54,19	73,71	73,67	57,91	63,31	91,62	106,25
ULL	U235	0,08	0,20	0,19		0,21		0,23	
USE	Bi214	0,72							
USE	K40	67,37	64,90	119,49	109,02	99,72	154,93	166,90	114,69
USE	Sr90	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04
USE	Pb212	0,33							
USE	Pb214	0,83							
USE	Cs137					0,14			
USE	C14		41,37	50,86	41,33	39,01	52,11	38,72	41,82
UPV/EHU	Pb210			4,24			1,01		
UPV/EHU	Be7			0,47					
UPV/EHU	Bi214	0,16	0,17	0,39	0,72		0,63	0,62	
UPV/EHU	K40	80,80	81,06	95,62	90,69	88,97	69,33	76,30	76,73
UPV/EHU	Sr90	0,03	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03
UPV/EHU	Pb212	0,09	0,12		0,14	0,13	0,15	0,12	0,09

**ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

UPV/EHU	Pb214	0,23	0,18	0,44	0,36		0,32	0,69	0,25
UPV/EHU	Cs137	0,04	0,05	0,07		0,06			
UPV/EHU	Tl208	0,04	0,07		0,08		0,17	0,09	0,08
UPV/EHU	C14		95,75	199,04	52,18	40,30	38,78	57,04	46,35
UPC	Ac228	0,09			0,06		0,11		
UPC	Be7	0,29						0,30	
UPC	Bi214	0,07	0,04	0,03	0,04	0,06			0,04
UPC	K40	117,43	98,33	85,95	81,36	116,68	110,01	127,48	120,06
UPC	Sr90	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03
UPC	Pb212	0,04		0,02			0,04		
UPC	Pb214	0,05	0,05	0,05	0,04			0,04	0,05
UPC	Cs137	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02
UPC	Tl208			0,03			0,04		
UPC	C14		51,46	44,97	43,98	57,70	66,32	58,83	54,51
ICI	Pb210	0,60							
ICI	Be7	0,31	0,16	0,33					
ICI	Bi214	0,07	0,06	0,06		0,07	0,32	0,23	
ICI	K40	144,90	155,88	111,73	162,85	137,28	101,08	128,73	198,33
ICI	Sr90	0,13	0,07	0,09	0,11	0,14	0,06	0,01	0,02
ICI	Pb212	0,03	0,02	0,03			0,04	0,04	0,25
ICI	Pb214	0,07	0,05	0,04		0,08	0,28	0,23	0,16
ICI	Cs137	0,03	0,03	0,04	0,06	0,04	0,05	0,04	
ICI	Tl208	0,01	0,02						
ICI	C14					38,49	36,88	140,05	96,25
UCC	Pb210								
UCC	Bi214		0,47	0,22	0,12				
UCC	K40		101,87						
UCC	Sr90		0,05	0,05	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02
UCC	Pb212			0,11					
UCC	Pb214		0,40	0,16					
UCC	Cs137		0,03	0,07	0,05				
UCC	Tl208		0,11	0,06					
UCC	C14		57,75	60,50	64,25	60,42	48,32	52,54	53,21

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

## ANEXO VI: EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA DIETA

Como se ha explicado en el apartado 4.2.2.1, se ha realizado el análisis temporal estadístico de aquellas estaciones que tienen datos de la red densa.

Isótopo	Zona de muestreo	Máximo (Bq/persona-día)	Mínimo (Bq/persona-día)	Promedio (Bq/persona-día)	Desviación típica (Bq/persona-día)	Nº de análisis	Límite de detección	nº análisis > LID /nº de análisis
Sr-90	I. Baleares	0,00E+00	0,00E+00	-	-	0	51	0
Sr-90	Salamanca	4,61E-01	8,99E-02	2,15E-01	2,13E-01	3	51	3
Sr-90	Zaragoza	8,75E-02	2,10E-02	4,76E-02	2,00E-02	15	50	15
Sr-90	Ferrol	9,97E-02	2,84E-02	5,34E-02	2,09E-02	18	23	18
Sr-90	Madrid	9,46E-02	6,52E-03	3,01E-02	2,22E-02	24	48	24
Sr-90	Cantabria	9,77E-02	2,20E-02	5,25E-02	2,12E-02	25	52	25
Sr-90	Ciudad Real	6,17E-02	1,04E-03	2,99E-02	1,71E-02	31	51	31
Sr-90	Granada	1,85E-01	1,28E-02	4,73E-02	3,88E-02	34	52	34
Sr-90	Ciemat	2,30E-01	2,93E-03	7,53E-02	6,56E-02	46	59	46/59
Sr-90	Málaga	7,41E-02	9,49E-03	3,40E-02	1,67E-02	46	52	46
Sr-90	Badajoz	1,63E-01	5,55E-03	4,93E-02	3,53E-02	48	52	48
Sr-90	León	9,30E-02	1,30E-02	3,65E-02	1,75E-02	48	50	48
Sr-90	Cáceres	1,09E-01	1,16E-02	3,90E-02	1,82E-02	50	52	50/52
Sr-90	Valencia	7,30E-02	1,50E-02	2,95E-02	9,47E-03	52	52	52
Sr-90	Valencia P.	1,55E-01	5,20E-03	2,48E-02	2,15E-02	52	52	52
Sr-90	Oviedo	1,16E-01	1,08E-02	3,99E-02	1,88E-02	52	52	52
Sr-90	Sevilla	1,08E-01	1,20E-02	4,25E-02	1,99E-02	54	60	54/60
Sr-90	Barcelona	6,46E-02	1,78E-02	3,48E-02	1,06E-02	59	60	59/60
Sr-90	La Laguna	1,70E-01	1,88E-02	7,17E-02	4,43E-02	60	60	60/60
Sr-90	Bilbao	1,08E-01	9,07E-03	3,30E-02	1,85E-02	73	81	73/81
Cs-137	Ciemat	1,05E-01	1,86E-02	4,26E-02	2,15E-02	30	59	30/59
Cs-137	Sevilla	1,40E-01	6,14E-02	1,01E-01	5,55E-02	2	60	feb-60
Cs-137	Bilbao	8,41E-02	1,70E-03	3,74E-02	1,69E-02	34	81	33/81
Cs-137	Cáceres	7,93E-02	3,30E-02	5,36E-02	1,52E-02	16	52	16/52
Cs-137	La Laguna	3,33E-01	2,77E-02	6,62E-02	4,67E-02	50	60	50/60
Cs-137	Barcelona	1,72E-01	1,24E-02	3,96E-02	2,61E-02	56	60	56/60
Cs-137	Badajoz	8,39E-02	8,39E-02	8,39E-02	-	1	52	1
Cs-137	I. Baleares	2,24E-01	2,81E-02	1,06E-01	6,47E-02	13	51	13
Cs-137	Cantabria	4,03E-02	2,39E-02	2,92E-02	5,10E-03	11	52	11
Cs-137	Málaga	5,64E-02	3,25E-02	4,40E-02	1,20E-02	3	52	3
Cs-137	Granada	1,34E-01	5,95E-02	9,67E-02	5,27E-02	2	52	2
Cs-137	León	3,57E-02	3,57E-02	3,57E-02	-	1	49	1
Cs-137	Salamanca	1,68E-01	8,90E-03	2,86E-02	2,89E-02	31	52	31
Cs-137	Madrid	2,28E-01	1,43E-02	8,33E-02	4,79E-02	30	48	30
Cs-137	Valencia	7,80E-02	4,60E-02	5,33E-02	1,22E-02	6	52	6
Cs-137	Valencia P.	1,71E-01	8,85E-03	5,30E-02	3,82E-02	29	52	29
Cs-137	Ciudad Real	4,06E-02	4,06E-02	4,06E-02	-	1	51	1
Cs-137	Ferrol	4,82E-02	2,05E-02	3,38E-02	8,49E-03	13	23	13
Cs-137	Oviedo	6,68E-02	2,14E-02	4,08E-02	1,04E-02	25	52	25
Cs-137	Zaragoza	1,47E-01	1,52E-02	5,77E-02	3,30E-02	15	50	15
C-14	Ciemat	1,93E+02	1,69E+01	7,43E+01	5,41E+01	23	47	23/47
C-14	Sevilla	6,38E+01	3,10E+01	4,24E+01	7,28E+00	52	52	51/52
C-14	Bilbao	4,98E+02	2,17E+01	7,25E+01	7,05E+01	50	51	50/51
C-14	Cáceres	8,30E+01	3,49E+01	5,82E+01	8,77E+00	50	50	50/50

**ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA**

C-14	La Laguna	1,56E+02	3,39E+01	7,33E+01	2,75E+01	52	52	52/52
C-14	Barcelona	7,45E+01	2,36E+01	5,29E+01	1,07E+01	51	51	51/51
K-40	Ciemat	3,03E+02	4,87E+01	1,36E+02	3,75E+01	59	59	59/59
K-40	Sevilla	2,76E+02	8,51E+00	1,13E+02	3,82E+01	55	60	55/60
K-40	Bilbao	1,47E+02	1,37E-01	7,85E+01	1,27E+01	60	81	60/81
K-40	Cáceres	1,12E+02	9,15E+01	1,02E+02	1,46E+01	2	52	feb-52
K-40	La Laguna	2,36E+02	6,77E+01	1,52E+02	3,88E+01	60	60	60/60
K-40	Barcelona	1,56E+02	6,43E+01	1,06E+02	2,03E+01	60	60	60/60
K-40	Badajoz	156,90	40,28	85,59	2,56E+01	52	52	52
K-40	I.Baleares	177,00	97,50	136,66	1,56E+01	51	51	51
K-40	Cantabria	107,00	46,40	71,25	1,34E+01	52	52	52
K-40	Málaga	921,00	27,40	115,83	1,24E+02	51	52	51
K-40	Granada	231,10	7,52	100,91	3,22E+01	52	52	52
K-40	León	211,30	36,01	86,86	3,43E+01	48	48	48
K-40	Salamanca	231,00	21,20	114,72	5,05E+01	52	52	52
K-40	Madrid	459,20	21,15	230,19	1,22E+02	43	48	43
K-40	Valencia	191,00	72,00	106,40	1,93E+01	52	52	52
K-40	Valencia P.	315,90	36,96	137,30	4,60E+01	52	52	52
K-40	Ciudad Real	151,10	12,33	92,49	2,43E+01	51	51	51
K-40	Ferrol	169,70	102,60	141,49	1,96E+01	23	23	23
K-40	Oviedo	119,60	73,79	96,47	1,15E+01	52	52	52
K-40	Zaragoza	102,00	39,00	60,44	1,50E+01	47	50	47

# ESTUDIO DE LOS VALORES RADIOLÓGICOS AMBIENTALES EN AGUA Y DIETA EN ESPAÑA

## ANEXO V: MAPA RADÓN

