



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Universidad
de **Cantabria**

**INFORME FINAL DEL
PROYECTO
“KARST Y RADÓN”**

Financiado por el Consejo de Seguridad Nuclear

Diciembre 2024

Informe elaborado por:

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Luis Santiago Quindós Poncela, Catedrático
Alma Pereda Guinea, Contratada de Investigación
Jorge Quindós López, Técnico de Laboratorio
Alicia Fernández Villar, Contratada de Investigación
Enrique Fernández López, Técnico de Laboratorio
Luis Quindós López, Técnico de Laboratorio
Ismael Fuente Merino, Profesor Ayudante
Santiago Celaya González, Profesor Ayudante
Daniel Rábago Gómez, Contratado de Investigación
Carlos Sainz Fernández, Catedrático

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Sergio Cañete Hidalgo, Investigador
Elisa Gordo Puertas, Técnico de Laboratorio
José Manuel Pastor Vega, Catedrático
Lucía Ojeda Rodríguez, Contratada de Investigación

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ISIRYM

Gumersindo Jesús Verdú Martín
Belén Jeanne Juste Vidal
Aina Noverques Medina

Laboratorio de Radiactividad Ambiental

Sebastián Martorell Alsina
Josefina Ortiz Moragón
Marina Sáez Muños
Luisa Ballesteros Pascual

El presente informe recoge información relativa a cada uno de los objetivos que forman parte del Proyecto financiado por el Consejo de Seguridad Nuclear (diciembre 2021 - diciembre 2024) y que se refieren a continuación.

Introducción

En España, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ha identificado las zonas con mayor riesgo de exposición al radón a partir de las medidas de radón en viviendas disponibles, del Mapa de Radiación Gamma Natural (MARNA), del Mapa litoestratigráfico y de permeabilidades de España. El cumplimiento de la normativa derivada de la Directiva 2013/59 proporcionará amplia información sobre los niveles de radón en las zonas identificadas como de mayor riesgo. No obstante, fuera de estas zonas, también se detectan concentraciones de radón que superan el nivel de referencia de 300 Bq/m^3 , aunque con una probabilidad mucho menor. Este proyecto pretende estudiar en detalle uno de los factores geológicos que puede originar concentraciones elevadas de radón y que no se contempla en la actualidad en el mapa de radón: los sistemas kársticos. Esto contribuirá a un mejor conocimiento de la dinámica del radón en este tipo de sistemas y, por lo tanto, a mejorar el conocimiento sobre la exposición al radón en España.

Los objetivos del proyecto se enumeran a continuación:

OBJETIVO 1: Caracterización de las zonas kársticas elegidas desde el punto de vista radiológico-geológico-estructural

1. a.- Radiación gamma externa
1. b.- Espectrometría gamma de suelos
1. c.- Exhalación de gas radón de los suelos
1. d.- Permeabilidad
1. e. - Radón en suelos
1. f.- Caracterización geológico-estructural
1. g.- Contenido de radón en agua (en abastecimientos de agua de consumo de la zona)

OBJETIVO 2: Medidas de gas radón en viviendas y puestos de trabajo en zonas kársticas

2. a.- Selección de localizaciones para las medidas
2. b.- Evolución temporal anual
2. c.- Intercomparación de métodos de medida de variables analizadas

OBJETIVO 3: Análisis de datos y correlación entre variables medidas y modelización

La Universidad de Cantabria ha coordinado el Proyecto manteniendo la autonomía de cada una de las universidades participantes, por ello, para cada uno de los objetivos se muestra a continuación el trabajo ha sido desarrollado individualmente por cada organismo.

Resultados por objetivo

OBJETIVO 1: Caracterización de las zonas kársticas elegidas desde el punto de vista radiológico-geológico-estructural

Antes de describir cada objetivo individualmente y de mostrar los resultados obtenidos por cada universidad, se muestra una tabla resumen de todos los parámetros determinados en este apartado y el número de medidas fijadas inicialmente para este objetivo.

NÚMERO DE MEDICIONES TOTALES SEGÚN OBJETIVO 1: Caracterización de las zonas kársticas elegidas desde el punto de vista radiológico-geológico-estructural				
<u>OBJETIVO</u>	<u>Cantabria</u>	<u>Málaga</u>	<u>Castellón</u>	<u>TOTAL</u>
<u>1.a</u> Radiación y externa	160	80	80	320
<u>1.b</u> Espectrometría y de suelos	160	80	80	320
<u>1.c</u> Exhalación de ^{222}Rn de los suelos	160	80	80	320
<u>1.d</u> Permeabilidad	160	80	80	320
<u>1.e</u> ^{222}Rn en suelos	160	80	80	320
<u>1.f</u> Caracterización geológico-estructural	-	-	-	-
<u>1.g</u> Contenido de ^{222}Rn en agua	70	40	40	150
	870	440	440	1750

Tabla 1

1.a.- Radiación gamma externa. Universidad de Cantabria

Una vez limitado el área de estudio en función del mapa geológico de la Comunidad de Cantabria, se seleccionaron 160 puntos para la toma de medidas. El equipo empleado para la medición ha sido un Exploranium Gr-135 de 256 canales calibrado en el Instituto de Técnicas Energéticas de la Universidad Politècnica de Catalunya.

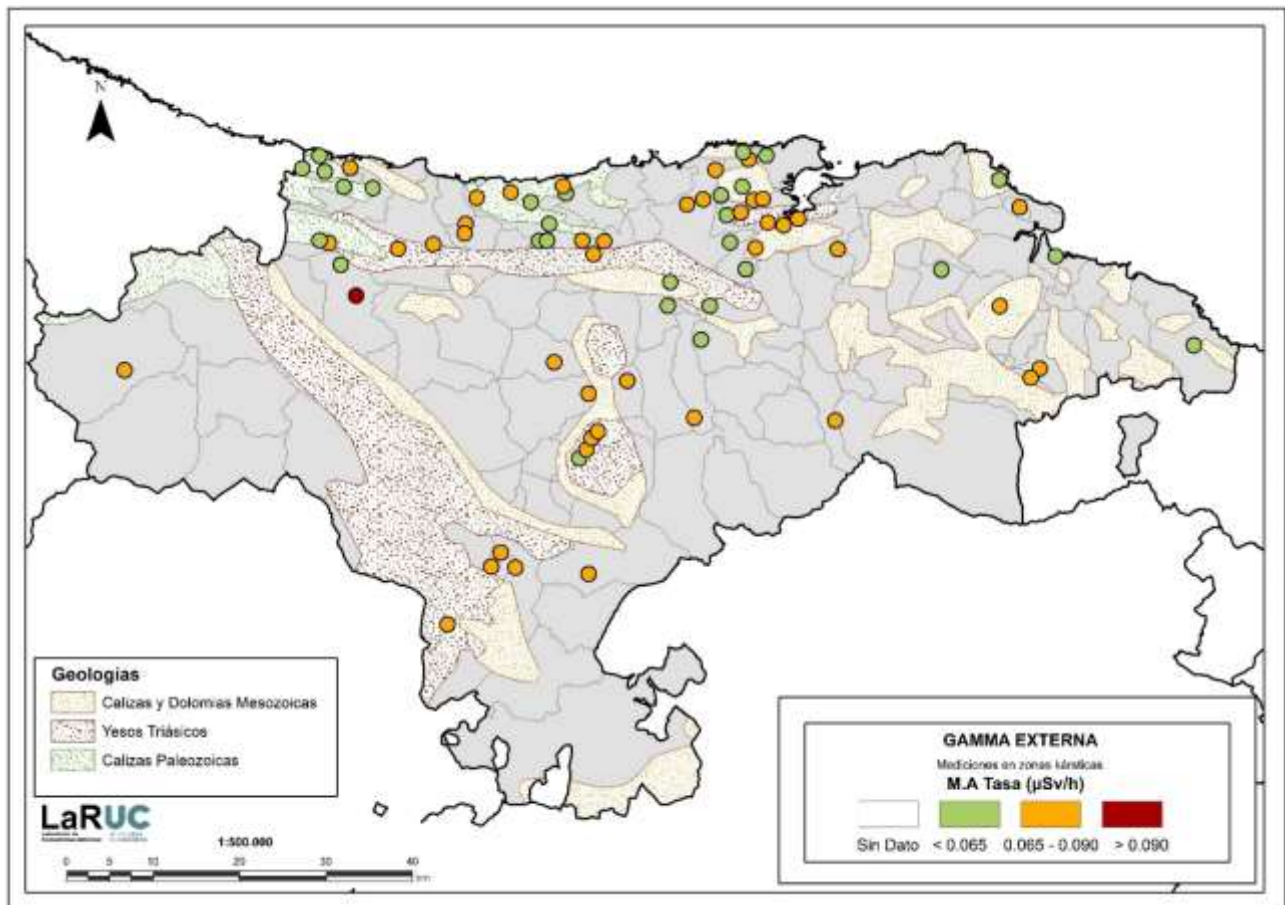
La Tabla 2 recoge las tasas de dosis obtenidas en cada punto de las 33 rutas que se siguieron. La geolocalización de los puntos aparece en el Mapa 1 y un resumen de los valores promedio, incertidumbres e intervalo se recoge en la Tabla 3.

Punto	Tasa (nSv/h)	Punto	Tasa (nSv/h)	Punto	Tasa (nSv/h)	Punto	Tasa (nSv/h)
R1-P1	70	R8-P2	65	R17-P2	85	R26-P1	62
R1-P2	41	R8-P3	68	R17-P3	58	R26-P2	72
R1-P3	67	R8-P4	61	R18-P1	110	R26-P3	67
R1-P4	68	R8-P5	85	R18-P2	87	R26-P4	80
R1-P5	71	R8-P6	62	R18-P3	106	R26-P5	68
R2-P1	53	R8-P7	69	R18-P4	100	R26-P6	65
R2-P2	60	R8-P8	68	R18-P5	99	R26-P7	75
R2-P3	76	R9-P1	45	R19-P1	60	R27-P1	60
R2-P4	62	R9-P2	65	R19-P2	50	R27-P2	67
R2-P5	63	R9-P3	72	R19-P3	56	R27-P3	52
R3-P1	58	R9-P4	76	R19-P4	56	R27-P4	55
R3-P2	71	R9-P5	66	R20-P1	40	R27-P5	63
R3-P3	68	R9-P6	65	R20-P2	46	R27-P6	46
R3-P4	72	R10-P1	60	R20-P3	41	R27-P7	58
R3-P5	67	R10-P2	72	R20-P4	45	R28-P1	77
R4-P1	52	R11-P1	40	R21-P1	75	R28-P2	43
R4-P2	69	R11-P2	87	R21-P2	71	R28-P3	75
R4-P3	75	R11-P3	88	R21-P3	65	R28-P4	75
R4-P4	76	R11-P4	72	R21-P4	56	R29-P1	68
R4-P5	80	R12-P1	65	R21-P5	55	R29-P2	64
R4-P6	70	R12-P2	55	R21-P6	64	R29-P3	106
R4-P7	71	R12-P3	60	R22-P1	85	R29-P4	64
R5-P1	75	R12-P4	69	R22-P2	78	R29-P5	76
R5-P2	64	R12-P5	64	R22-P3	88	R29-P6	75
R5-P3	60	R12-P6	60	R22-P4	92	R30-P1	70
R5-P4	87	R13-P1	60	R22-P5	75	R30-P2	72
R5-P5	82	R13-P2	40	R22-P6	84	R30-P3	58
R5-P6	63	R13-P3	72	R23-P1	66	R30-P4	78
R6-P1	63	R13-P4	67	R23-P2	41	R30-P5	70
R6-P2	66	R13-P5	60	R23-P3	57	R31-P1	76
R6-P3	55	R14-P1	81	R23-P4	57	R31-P2	68
R6-P4	62	R14-P2	71	R23-P5	53	R31-P3	76
R7-P1	70	R14-P3	76	R24-P1	90	R31-P4	74
R7-P2	65	R15-P1	65	R24-P2	101	R32-P1	73
R7-P3	90	R15-P2	80	R24-P3	78	R32-P2	66
R7-P4	92	R16-P1	60	R24-P4	88	R32-P3	86
R7-P5	88	R16-P2	40	R24-P5	92	R32-P4	82
R7-P6	75	R16-P3	45	R25-P1	43	R32-P5	77
R7-P7	86	R16-P4	55	R25-P2	44	R33-P1	56
R8-P1	60	R17-P1	50	R25-P3	59	R33-P2	45

Tabla 2. Tasa de dosis

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Radiación gamma externa (nSv/h)	68,0	14,3	40,0	110,0

Tabla 3. Valores estadísticos



Mapa 1. Puntos de muestreo

En relación al Mapa 1 y al resto de mapas que se presentan en esta memoria, conviene señalar que todos los puntos tomados se encuentran en zonas kársticas. Aquellos que a simple vista parecieran estar localizados en otras áreas geológicas, se debe a que los polígonos kársticos en esas zonas son de una menor superficie y no se aprecian a esa escala. Este hecho fue confirmado por el grupo de geólogos y así lo hicieron constar en el apartado 1.f de esta memoria.

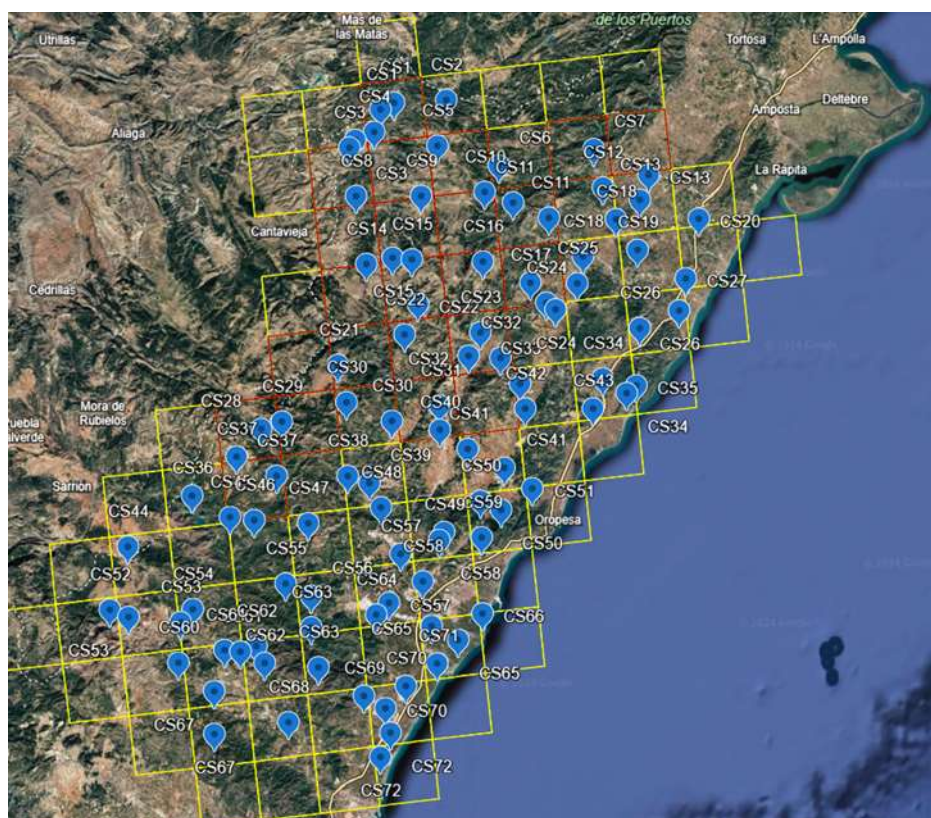
De igual modo, también es importante aclarar que no todas las zonas kársticas de la Comunidad son accesibles o están pobladas, por lo que en algunas de ellas no se han podido hacer medidas y así se refleja en el mapa de los puntos de muestro.

1.a.- Radiación gamma externa. Universidad Politécnica de Valencia

La medida de la radiación gamma externa en la zona de estudio de Castellón se ha realizado con un monitor de radiación FAG FH40F2 de la UPV calibrado en las instalaciones del INTE, Universitat Politècnica de Catalunya. Los valores de dosis se han medido a 1 metro del suelo y el resultado que se presenta es la media de 10 lecturas seguidas.

Se han tomado 97 medidas en cada una de las celdas kársticas que componen la provincia de Castellón. En la imagen del Mapa 2 se pueden observar los puntos exactos donde se midió en cada celda y en la Tabla 4 el nivel de tasa de dosis resultante en cada celda. Un resumen de los valores promedio, desviación e intervalo se recoge en la Tabla 5.

En el Mapa 2 se puede apreciar la ubicación de todos los puntos muestreados, y a la celda que pertenecen.



Mapa 2. Relación puntos de muestreo y celdas

Celda	Nº medida	Fecha de toma	Localidad	Coordenadas GPS	Radiación γ (μSv/h)	Desviación típica de las 10 medidas tomadas σ (μSv/h)
1	1	14/03/2024	Ortells	40°41'22.0"N 0°10'38.6"W	0.19	0.05
	2	14/03/2024	Villores	40°40'45.2"N 0°12'15.3"W	0.19	0.02
2	3	14/03/2024	Pobla d'Alcolea	40°41'34.4"N 0°04'28.2"W	0.18	0.02
3	4	13/03/2024	La Mata de Morella	40°37'18.6"N 0°15'56.4"W	0.16	0.01
	5	13/03/2024	Todolella	40°38'00.4"N 0°15'14.6"W	0.12	0.01
4	6	13/03/2024	Forcall	40°38'43.8"N 0°12'59.8"W	0.19	0.04
5	7	14/03/2024	Herbeser	40°37'27.6"N 0°05'31.4"W	0.13	0.01
6	8	19/04/2024	Vallibona	40°35'40.5"N 0°01'44.3"E	0.13	0.02
7	9	25/01/2024	Rossell	40°37'9.0" N 0°13'1.8" E	0.13	0.02
8	10	13/03/2024	Portell de Morella	40°32'55.7"N 0°15'08.9"W	0.23	0.02
9	11	18/04/2024	Campello	40°32'57.0"N 0°07'28.0"W	0.14	0.02
10	12	18/04/2024	Ermita de la Bota	40°33'18.0"N 0°00'03.3"E	0.16	0.02
11	13	18/04/2024	Anroig	40°30'58.7"N 0°07'40.1"E	0.12	0.03
	14	18/04/2024	Vallivana	40°32'20.6"N 0°03'25.5"E	0.18	0.03
12	15	25/01/2024	Canet lo Roig	40°33'41.3"N 0°14'05.9"E	0.14	0.02
13	16	25/01/2024	S. Rafael del Rio	40°34'48.8" N 0°19'32.9" E	0.19	0.03
	17	25/01/2024	Traiguera	40°32'34.1"N 0°18'29.0"E	0.17	0.03
14	18	15/02/2024	Villafranca del Cid	40°26'49.5"N 0°13'56.7"W	0.23	0.03
15	19	15/02/2024	Ares del Maestre	40°27'14.4"N 0°08'34.6"W	0.20	0.02
	20	15/02/2024	Ermita de Santa Elena	40°27'23.2"N 0°10'50.2"W	0.21	0.02
16	21	06/02/2024	Catí	40°27'02.6"N 0°00'11.0"W	0.11	0.02
17	22	21/02/2024	Tirig	40°25'07.9"N 0°05'26.5"E	0.19	0.02
18	23	19/04/2024	La Jana	40°30'49.4"N 0°15'37.8"E	0.13	0.03
	24	19/04/2024	San Mateo	40°27'29.3"N 0°11'41.2"E	0.08	0.03
19	25	19/04/2024	Cervera del Maestre	40°28'03.4"N 0°18'10.7"E	0.09	0.03
20	26	17/04/2024	Vinaròs	40°30'50.2"N 0°25'29.4"E	0.12	0.01
21	27	15/02/2024	Vistabella del Maestrazgo	40°17'45.8"N 0°17'18.4"W	0.17	0.02

22	28	06/02/2024	Benasal	40°23'13.8"N 0°07'51.7"W	0.21	0.01
	29	06/02/2024	Culla	40°20'29.8"N 0°09'26.6"W	0.15	0.03
23	30	06/02/2024	San Pau	40°20'40.6"N 0°00'29.8"W	0.12	0.01
24	31	21/02/2024	Mas dels Calduchs	40°23'19.5"N 0°07'19.2"E	0.16	0.04
	32	21/02/2024	Mas D'en Rieres	40°22'43.6"N 0°08'25.0"E	0.15	0.01
25	33	21/02/2024	Salsadella	40°25'03.7"N 0°10'59.2"E	0.21	0.03
26	34	17/04/2024	Santa Magdalena de Pulpis	40°20'59.9"N 0°18'21.8"E	0.13	0.02
	35	17/04/2024	Peñíscola	40°22'33.8"N 0°23'04.4"E	0.15	0.02
27	36	17/04/2024	Benicarló	40°25'27.4"N 0°23'53.4"E	0.20	0.02
28	37	30/01/2024	Villahermosa del Rio	40°12'00.8"N 0°26'19.2"W	0.16	0.03
29	38	30/01/2024	Mas del Borrás	40°12'40.5"N 0°23'52.8"W	0.16	0.02
30	39	24/01/2024	Adzaneta	40°12'43.4"N 0°10'56.2"W	0.10	0.01
	40	24/01/2024	Xodos	40°14'24.2"N 0°16'17.6"W	0.14	0.01
31	41	08/02/2024	Els Ibarsos	40°14'06.1"N 0°05'18.9"W	0.08	0.03
32	42	14/02/2024	Els Rosildos	40°18'33.5"N 0°01'53.6"W	0.11	0.01
32	43	14/02/2024	Sarratella	40°18'22.2"N 0°01'50.6"E	0.16	0.02
33	44	14/02/2024	Torre d'En Doménec	40°16'02.5"N 0°04'10.9"E	0.11	0.01
34	45	31/01/2024	Alcalá de Chivert	40°16'29.1"N 0°13'56.9"E	0.22	0.05
	46	31/01/2024	Alcocebre	40°15'08.8"N 0°16'47.1"E	0.11	0.01
35	47	31/01/2024	Parque Sierra Irta	40°15'50.1"N 0°17'56.3"E	0.14	0.02
36	48	18/01/2024	Puebla de Arenoso	40°05'59.6"N 0°34'24.8"W	0.16	0.02
37	49	30/01/2024	Zucaina	40°07'47.2"N 0°24'30.1"W	0.22	0.02
	50	30/01/2024	San Vicente de Piedrahita	40°09'31.2"N 0°29'12.0"W	0.17	0.03
38	51	24/01/2024	Lucena del Cid	40°07'46.4"N 0°16'08.5"W	0.16	0.01
39	52	24/01/2024	Figueroles	40°07'08.2"N 0°13'35.5"W	0.18	0.01
40	53	08/02/2024	Las Crevadas	40°11'55.4"N 0°05'17.6"W	0.04	0.02
41	54	08/02/2024	Vall d'Alba	40°10'11.0"N 0°02'01.4"W	0.08	0.01
41	55	08/02/2024	Cabanes	40°08'28.6"N 0°02'18.0"E	0.17	0.05
42	56	14/02/2024	Villanueva de Alcolea	40°13'47.8"N 0°04'46.8"E	0.15	0.02
43	57	31/01/2024	Torreblanca	40°13'46.7"N 0°12'47.8"E	0.11	0.02
44	58	14/12/2023	Barracas	40°01'24.4"N 0°41'54.4"W	0.26	0.03

45	59	18/01/2024	Montanejos	40°04'04.5"N 0°29'58.0"W	0.17	0.02
46	60	18/01/2024	Cirat	40°03'47.7"N 0°27'07.7"W	0.15	0.03
47	61	18/01/2024	Argelita	40°03'31.1"N 0°20'47.1"W	0.09	0.02
48	62	01/02/2024	Alcora	40°04'56.1"N 0°12'13.9"W	0.12	0.02
49	63	01/02/2024	Borriol	40°02'43.0"N 0°04'49.8"W	0.11	0.01
50	64	17/01/2024	Benicàssim	40°04'41.4"N 0°01'53.3"E	0.07	0.03
	65	17/01/2024	Pobla Tornesa	40°05'30.7"N 0°00'31.9"W	0.08	0.04
51	66	17/01/2024	Oropesa	40°06'36.4"N 0°05'34.5"E	0.09	0.03
52	67	14/12/2023	El Molinar	39°55'43.0"N 0°44'00.5"W	0.15	0.01
53	68	14/12/2023	Bejís	39°55'03.5"N 0°41'50.3"W	0.15	0.02
	69	14/12/2023	Viver	39°54'35.5"N 0°35'45.1"W	0.09	0.01
54	70	16/01/2024	Caudiel	39°55'45.9"N 0°34'18.6"W	0.17	0.02
55	71	24/11/2023	Villamalur	39°58'05.2"N 0°23'25.8"W	0.20	0.02
56	72	24/11/2023	Sueras	39°56'58.3"N 0°20'26.5"W	0.17	0.03
57	73	13/02/2024	Mas de Font	40°00'44.3"N 0°09'56.2"W	0.12	0.02
	74	13/02/2024	Apeadero de Bechí	39°56'19.9"N 0°11'18.2"W	0.24	0.02
58	75	01/02/2024	Vall d'Umbri	40°01'59.3"N 0°05'22.7"W	0.14	0.02
	76	01/02/2024	Almazora	39°58'15.3"N 0°07'19.3"W	0.13	0.02
59	77	17/01/2024	Grao Castellón	40°02'12.5"N 0°00'23.3"W	0.08	0.02
60	78	16/01/2024	Santuario Cueva Santa	39°50'57.1"N 0°35'58.9"W	0.07	0.02
61	79	19/06/2023	Peñalba	39°51'56.2"N 0°28'43.6"W	0.19	0.03
	80	19/06/2023	Navajas	39°52'05.3"N 0°30'35.5"W	0.18	0.03
62	81	19/06/2023	Castellnovo	39°52'26.4"N 0°26'50.7"W	0.11	0.02
	82	19/06/2023	Almedijar	39°50'55.2"N 0°25'53.2"W	0.14	0.03
63	83	24/11/2023	Ahín	39°54'08.7"N 0°20'25.4"W	0.18	0.03
	84	24/11/2023	Chóvar	39°50'32.6"N 0°19'35.7"W	0.19	0.03
64	85	20/02/2024	Bechí	39°55'16.0"N 0°12'48.3"W	0.22	0.01
65	86	07/02/2024	Burriana	39°52'57.7"N 0°03'10.8"W	0.17	0.01
	87	07/02/2024	Alquerías Niño Perdido	39°54'13.5"N 0°06'18.4"W	0.15	0.02
66	88	07/02/2024	Playa de la Torre	39°55'19.8"N 0°00'18.9"W	0.14	0.02
67	89	16/01/2024	Gátova	39°48'22.8"N 0°31'46.8"W	0.21	0.02
	90	16/01/2024	Marines Viejo	39°44'30.7"N 0°31'45.2"W	0.17	0.02

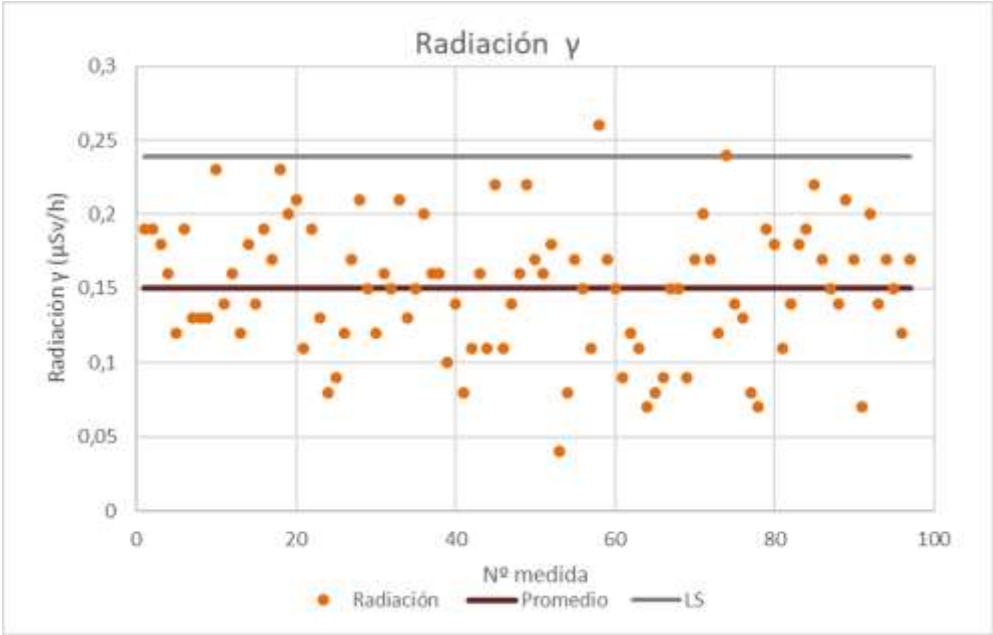
68	91	23/07/2024	La Ermita de los Caídos	39°45'33.5"N 0°23'05.5"W	0.07	0.02
69	92	20/02/2024	Vall d'Uixó	39°47'55.7"N 0°14'14.9"W	0.20	0.02
70	93	20/02/2024	Moncófar	39°48'48.1"N 0°09'19.3"W	0.14	0.01
	94	20/02/2024	Chilches	39°46'48.0"N 0°11'43.5"W	0.17	0.04
71	95	07/02/2024	Nules Playa	39°50'49.6"N 0°05'39.5"W	0.15	0.02
72	96	13/02/2024	Almardá	39°42'24.1"N 0°12'19.6"W	0.12	0.01
	97	13/02/2024	Casablanca	39°44'34.9"N 0°11'07.8"W	0.17	0.02

Tabla 4

	$\mu\text{Sv/h}$
Media	0.15
Desviación estándar	0.04
Límite superior (Media+2 σ)	0.24

Tabla 5. Análisis estadístico de los resultados de radiación gamma externa

En la Tabla 4 aparecen sombreados los 2 puntos más altos que igualan o superan el límite superior correspondientes a las celdas CS44 y CS57.



1.a.- Radiación gamma externa. Universidad de Málaga

Una vez limitado el área de estudio en función del mapa geológico de la provincia de Málaga, se seleccionaron 80 puntos para la toma de medidas para un total de 33 celdas de referencia. Las medidas de tasa de dosis equivalente ambiental (H^*10) se realizaron con un contador proporcional de la marca Berthold, modelo Umo LB123 con una sonda de radiación en geometría 4π LB1236, también se empleó como instrumento complementario una cámara ionización marca Fluke Biomedical, modelo 451P. Ambos equipos se encuentran verificados y calibrados (Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del CIEMAT), según el programa de verificación y calibración de la IRA-0940 de la Universidad de Málaga.

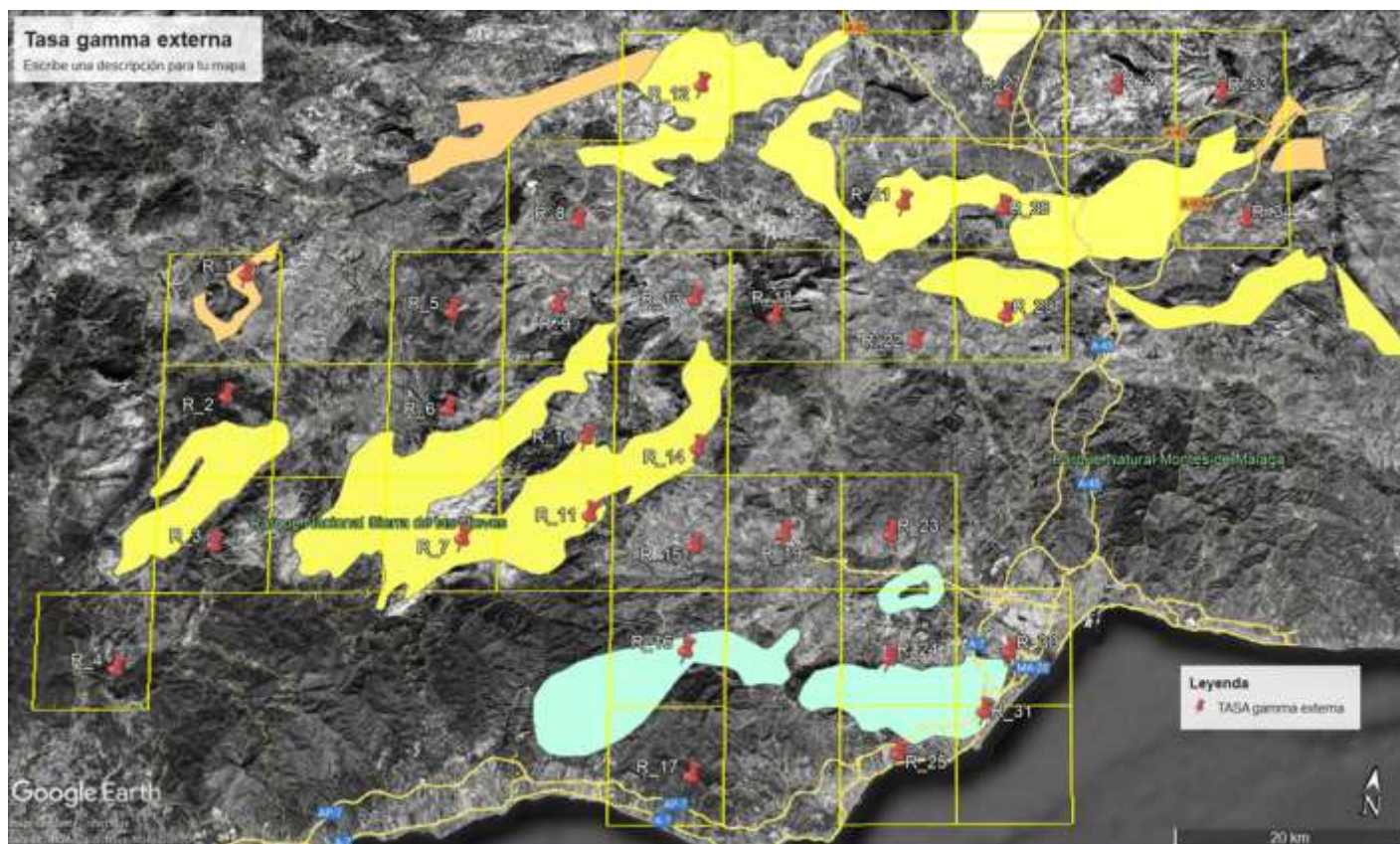
La Tabla 6 recoge las tasas de dosis obtenidas, en los puntos geolocalizados que aparecen en el Mapa 3. Un resumen de los valores promedio, incertidumbres e intervalo se recoge en la Tabla 7.

punto	Tasa (nSv/h)	punto	Tasa (nSv/h)	punto	Tasa (nSv/h)	punto	Tasa (nSv/h)
R1-P1	101	R10-P1	92	R19-P1	191	R28-P1	121
R1-P2	89	R10-P2	109	R19-P2	187	R28-P2	134
R2-P1	120	R11-P1	135	R20-P1	98	R28-P3	117
R2-P2	107	R11-P2	147	R20-P2	87	R29_P1	126
R3-P1	98	R12_P1	129	R21-P1	101	R29-P2	135
R3-P2	114	R12_P2	135	R21-P2	99	R29-P3	147
R4-P1	118	R12_P3	118	R22-P1	124	R30_P1	124
R4-P2	114	R13_P1	147	R22-P2	112	R30_P2	98
R5-P1	121	R13_P2	180	R22-P3	114	R30_P3	105
R5-P2	178	R13_P3	172	R23-P1	116	R31_P1	146
R6-P1	142	R14_P1	185	R23-P2	119	R31_P2	138
R6-P2	129	R14_P2	189	R23-P3	104	R32_P1	132
R6-P3	137	R15_P1	148	R24-P1	116	R32_P2	134
R7-P1	103	R15_P2	165	R24-P2	120	R32_P3	125
R7-P2	139	R16_P1	148	R25-P1	142	R33_P1	99
R8-P1	112	R16_P2	154	R25-P2	134	R33_P2	113
R8-P2	119	R17_P1	146	R26-P1	111	R33_P3	124
R9-P1	131	R17_P2	132	R26_P2	126	R34_P1	125
R9-P2	128	R18_P1	105	R27_P1	131	R34_P2	113
R9_P3	142	R18_P2	110	R27_P2	152	R34_P3	104

Tabla 6. Tasa de dosis

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Radiación gamma externa (nSv/h)	128	24	87	191

Tabla 7. Valores estadísticos



Mapa 3. Puntos de muestreo

1.b.- Espectrometría gamma de suelos. Universidad de Cantabria

La técnica de espectrometría gamma es un procedimiento empleado frecuentemente para la medida de materiales que potencialmente podrían ser fuente de radón en los edificios. En general, es una técnica muy desarrollada y utilizada para el análisis de elementos radiactivos en muy diferentes tipos de muestras. En este caso, se utilizó este ensayo para el análisis de muestras de suelo recogidas en las salidas a campo y así obtener una información más completa sobre los niveles de radiación en las zonas kársticas y también comprobar si en las tierras recogidas existen elementos que puedan ser precursores de radón.

Las muestras se analizaron en un equipo de espectrometría gamma con detector de semiconductor de germanio intrínseco HPGe marca Mirion modelo BE3820, refrigerado por nitrógeno líquido. Debido a la utilización de este equipo en múltiples ensayos e intercomparaciones y al contar el LaRUC con la acreditación UNE-EN ISO/IEC 17025 para esta técnica, la calidad de las medidas y la correcta calibración del equipo está garantizada.

La Tabla 8 recoge los valores de U-238, Ra-226, Th-232, K-40 y Cs-137 en las muestras de suelos recogidas en los mismos 160 puntos en los que se llevó a cabo la medida de la radiación gamma externa. Por otro lado, también se presenta una tabla con los valores más significativos del conjunto de datos y los mapas con la representación gráfica de los niveles de cada radionucleido estudiado.

Punto	²³⁸ U (²³⁴ Th)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	²³² Th (²²⁸ Ac)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	⁴⁰ K	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	¹³⁷ Cs	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)
R1-P1	24,5	6,5	8,8	27,7	3,0	5,6	30,2	6,4	5,6	343,0	35,0	20,0	< L.D.	-	1,6
R1-P2	17,7	5,8	9,0	27,8	3,0	5,5	32,4	6,9	6,0	309,0	32,0	21,0	2,8	0,9	1,6
R1-P3	18,6	6,2	9,5	33,2	3,4	5,5	36,7	7,2	5,1	355,0	36,0	19,0	2,7	0,9	1,6
R1-P4	19,4	6,4	9,8	38,5	3,8	5,5	40,4	7,8	5,2	286,0	30,0	19,0	< L.D.	-	1,7
R1-P5	26,3	6,9	8,7	27,7	3,1	6,1	31,8	6,5	5,2	239,0	26,0	21,0	9,9	1,1	1,6
R2-P1	23,3	6,5	8,8	23,3	2,8	6,0	39,3	7,5	4,5	248,0	28,0	23,0	7,0	1,0	1,6
R2-P2	30,2	7,6	9,1	32,8	3,4	6,0	42,9	8,5	6,0	221,0	25,0	22,0	6,5	1,0	1,6
R2-P3	26,7	7,2	9,3	28,0	3,1	6,1	56,0	10,0	4,0	464,0	47,0	23,0	4,6	1,0	1,8
R2-P4	31,1	7,5	8,9	24,5	2,8	5,9	34,2	6,8	5,0	338,0	35,0	21,0	5,6	1,0	1,7
R2-P5	27,3	7,1	9,0	25,5	2,9	6,0	41,7	8,0	6,0	290,0	30,0	23,0	6,0	1,0	1,6
R3-P1	28,4	7,4	9,3	35,7	3,7	6,1	44,9	8,5	4,6	434,0	44,0	21,0	< L.D.	-	2,0
R3-P2	45,3	9,4	8,9	47,0	4,5	5,6	30,0	6,5	5,9	226,0	26,0	22,0	< L.D.	-	1,7
R3-P3	47,0	10,0	10,0	68,8	6,3	5,7	35,1	7,2	5,7	228,0	26,0	23,0	7,3	1,3	2,0
R3-P4	22,7	6,9	9,4	51,6	5,0	6,5	49,4	9,4	5,7	286,0	32,0	26,0	< L.D.	-	1,8
R3-P5	30,0	7,6	9,5	50,0	4,8	5,9	40,3	8,2	4,2	294,6	33,0	27,0	< L.D.	-	1,8
R4-P1	38,4	8,1	8,6	39,1	3,8	5,4	32,5	6,6	5,0	184,0	22,0	22,0	< L.D.	-	1,8
R4-P2	33,4	7,8	9,4	39,1	3,8	5,3	29,5	6,3	5,5	252,0	27,0	20,0	3,2	0,9	1,6
R4-P3	25,4	6,9	9,2	31,8	3,3	5,8	53,0	10,0	6,0	425,0	43,0	23,0	5,7	1,0	1,6
R4-P4	39,0	8,9	9,2	36,1	3,8	6,1	55,0	10,0	5,0	464,0	47,0	24,0	< L.D.	-	1,7
R4-P5	25,4	7,3	9,4	37,9	3,9	6,4	51,0	10,0	8,0	510,0	51,0	23,0	< L.D.	-	2,0
R4-P6	31,4	7,6	9,2	35,1	3,6	6,0	44,2	9,2	5,8	416,0	42,0	23,0	< L.D.	-	1,7
R4-P7	33,6	7,9	9,2	39,0	3,8	5,4	46,0	9,4	6,0	231,2	26,0	21,0	4,4	1,0	1,6
R5-P1	26,8	6,9	9,2	30,8	3,3	5,5	39,8	7,6	4,5	326,0	33,0	17,0	3,9	1,0	1,7
R5-P2	31,8	7,8	9,5	46,5	4,4	5,6	37,9	7,8	6,2	229,0	26,0	24,0	10,1	1,1	1,7
R5-P3	43,4	9,1	9,7	26,8	2,8	4,9	44,3	8,2	4,3	313,0	32,0	17,0	3,6	0,8	1,5
R5-P4	36,1	8,8	8,9	44,6	4,5	6,5	28,5	6,5	6,6	369,0	39,0	23,0	3,6	0,9	1,7
R5-P5	30,3	7,6	9,2	35,1	3,6	5,4	27,8	6,4	6,5	305,8	30,0	17,0	5,0	1,0	1,7
R5-P6	38,8	8,9	9,1	39,6	4,0	5,6	47,5	8,6	4,4	310,2	31,0	17,0	5,5	1,0	1,7
R6-P1	24,6	7,0	10,1	47,9	4,5	5,2	42,9	8,3	5,6	182,0	22,0	21,0	2,9	1,0	1,7
R6-P2	38,5	8,3	9,1	39,2	3,8	5,2	28,7	6,1	5,4	206,0	22,0	16,0	4,2	0,9	1,5
R6-P3	26,4	6,6	8,9	29,2	3,0	5,0	23,6	5,1	4,7	183,0	21,0	18,0	6,2	0,9	1,4
R6-P4	29,8	6,7	9,0	38,1	3,8	5,2	30,0	6,0	5,2	190,3	21,0	19,0	4,2	0,9	1,6
R7-P1	23,1	6,3	8,9	32,9	3,3	5,4	27,2	6,0	5,9	257,0	28,0	22,0	5,0	0,9	1,5
R7-P2	46,0	11,0	10,0	74,9	7,0	6,5	39,2	7,8	5,8	332,0	36,0	24,0	9,2	1,3	2,1
R7-P3	14,7	5,4	8,5	26,5	3,1	6,4	32,4	6,7	5,6	394,0	41,0	24,0	2,6	0,9	1,7
R7-P4	22,9	6,9	9,3	31,3	3,5	6,5	41,3	8,4	6,6	500,0	51,0	27,0	6,4	1,1	1,8
R7-P5	28,7	7,3	9,3	34,2	3,6	5,8	44,4	8,5	5,1	521,0	51,0	21,0	5,8	1,0	1,6
R7-P6	23,2	6,3	8,7	35,4	3,7	5,9	40,2	8,2	6,5	399,9	42,0	24,0	6,0	1,0	1,7
R7-P7	25,8	7,0	9,1	32,4	3,3	5,4	38,1	7,7	5,8	502,3	51,0	27,0	4,8	0,9	1,5

Punto	²³⁸ U (²³⁴ Th)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	²³² Th (²²⁸ Ac)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	⁴⁰ K	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	¹³⁷ Cs	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)
R8-P1	32,4	7,9	8,8	57,6	5,5	6,2	27,7	5,9	5,1	271,0	30,0	24,0	< L.D.	-	1,9
R8-P2	31,3	7,5	8,7	37,7	3,8	5,9	27,7	6,0	5,5	277,0	30,0	21,0	4,1	1,1	1,9
R8-P3	31,8	8,0	10,3	34,5	3,5	5,3	40,2	8,0	6,1	581,0	56,0	20,0	< L.D.	-	1,5
R8-P4	23,0	6,4	9,0	33,2	3,4	5,6	33,1	6,7	5,0	209,0	23,0	19,0	< L.D.	-	1,6
R8-P5	30,2	7,8	9,5	38,1	3,9	6,1	33,2	7,2	6,5	353,0	37,0	22,0	3,1	1,0	1,9
R8-P6	30,6	7,9	9,6	35,0	3,6	5,3	30,0	6,3	5,0	270,0	30,0	22,0	< L.D.	-	1,5
R8-P7	30,2	7,7	9,5	35,2	3,7	5,3	28,2	6,1	5,1	349,8	35,0	21,0	< L.D.	-	1,5
R8-P8	33,0	8,0	8,8	38,0	3,9	6,0	32,9	7,0	6,3	573,5	55,0	19,0	4,0	1,0	1,9
R9-P1	26,2	6,9	8,9	29,9	3,3	6,0	40,3	7,8	5,0	275,0	29,0	20,0	< L.D.	-	1,6
R9-P2	29,4	7,1	9,0	27,5	3,0	5,6	38,3	7,3	4,4	294,0	31,0	19,0	5,1	1,0	1,6
R9-P3	19,1	5,8	8,6	29,9	3,2	5,9	36,2	7,1	4,9	285,0	31,0	21,0	< L.D.	-	1,8
R9-P4	22,0	6,8	8,0	24,7	3,2	7,3	29,1	6,4	5,9	168,0	22,0	26,0	< L.D.	-	1,9
R9-P5	25,6	7,1	9,6	29,9	3,2	5,8	39,8	7,8	5,1	256,0	28,0	21,0	< L.D.	-	1,7
R9-P6	25,0	7,0	9,4	26,3	3,2	5,5	35,3	7,0	4,8	261,0	28,0	21,0	< L.D.	-	1,9
R10-P1	28,6	7,2	8,9	38,1	3,9	6,0	32,8	6,7	5,1	265,0	29,0	21,0	< L.D.	-	1,8
R10-P2	42,1	9,7	10,3	49,4	4,8	6,1	54,0	10,0	5,0	344,0	36,0	21,0	6,8	1,2	2,0
R11-P1	< L.D.	-	6,9	7,6	1,6	5,4	11,2	3,0	4,0	158,0	19,0	20,0	< L.D.	-	1,3
R11-P2	43,8	9,3	9,7	42,5	4,1	5,4	43,2	8,2	4,7	524,0	51,0	20,0	4,0	1,1	1,8
R11-P3	19,0	6,3	9,7	31,8	3,3	5,5	38,7	7,5	4,7	498,0	49,0	19,0	9,0	1,1	1,8
R11-P4	41,6	9,0	9,7	20,2	2,4	5,3	25,7	5,2	4,5	239,1	23,0	20,0	7,0	1,1	1,8
R12-P1	28,0	6,7	8,5	38,6	3,8	5,4	28,8	5,9	4,8	150,0	18,0	18,0	3,4	0,9	1,6
R12-P2	16,3	5,6	8,8	28,3	3,0	5,6	29,1	6,1	5,3	182,0	20,0	18,0	10,1	1,1	1,7
R12-P3	< L.D.	-	9,4	31,8	3,3	5,3	26,1	5,5	4,8	140,0	18,0	20,0	12,1	1,1	1,6
R12-P4	35,8	7,8	8,7	31,0	3,2	5,4	34,0	6,5	4,0	147,0	18,0	20,0	8,0	0,9	1,4
R12-P5	29,4	6,8	8,7	33,5	3,5	5,3	32,0	6,3	5,0	147,0	18,0	20,0	6,1	1,0	1,5
R12-P6	30,1	7,0	8,7	37,7	3,6	5,4	35,1	6,6	4,2	152,0	18,0	18,0	8,7	1,0	1,6
R13-P1	< L.D.	-	8,3	31,3	3,2	5,2	13,6	3,9	5,1	170,2	19,8	19,0	10,0	1,1	1,6
R13-P2	< L.D.	-	6,3	< L.D.	-	4,0	< L.D.	-	3,8	46,4	8,9	15,8	< L.D.	-	1,0
R13-P3	34,1	7,9	9,2	40,8	4,0	5,6	36,6	7,0	4,3	186,4	22,3	22,3	8,1	1,0	1,6
R13-P4	31,5	7,7	9,2	48,0	4,6	5,9	41,8	7,9	4,3	291,9	31,7	23,7	4,2	1,1	2,0
R13-P5	< L.D.	-	8,1	40,3	4,0	5,5	26,7	6,3	3,8	171,8	20,0	19,1	8,1	1,0	1,5
R14-P1	37,2	8,2	9,5	36,5	3,5	4,9	38,9	7,5	4,9	164,0	20,0	21,0	5,2	0,9	1,6
R14-P2	28,0	7,6	10,5	36,0	3,6	5,4	53,0	10,0	6,0	559,0	54,0	20,0	5,5	1,1	1,8
R14-P3	28,8	7,7	10,5	36,4	3,5	5,0	42,6	8,0	5,5	203,7	23,0	20,0	5,4	1,0	1,6
R15-P1	32,4	7,9	9,6	39,1	3,9	5,8	39,9	7,7	5,1	220,0	25,0	21,0	7,0	1,1	1,8
R15-P2	32,6	7,7	9,2	32,7	3,4	5,6	39,0	7,6	5,1	188,0	22,0	22,0	3,1	1,1	1,9
R16-P1	< L.D.	-	7,8	15,1	2,0	5,0	11,2	3,5	4,8	149,0	18,0	18,0	3,6	0,6	1,2
R16-P2	17,4	5,3	8,2	17,9	2,2	5,1	26,8	5,7	5,0	221,0	24,0	19,0	3,0	0,7	1,3
R16-P3	10,1	4,6	7,9	16,2	2,0	5,2	15,4	4,0	4,8	222,0	23,0	19,0	3,0	0,5	1,2
R16-P4	15,3	5,0	8,0	16,7	2,1	5,1	22,7	5,2	4,9	173,1	19,0	18,0	3,2	0,7	1,2

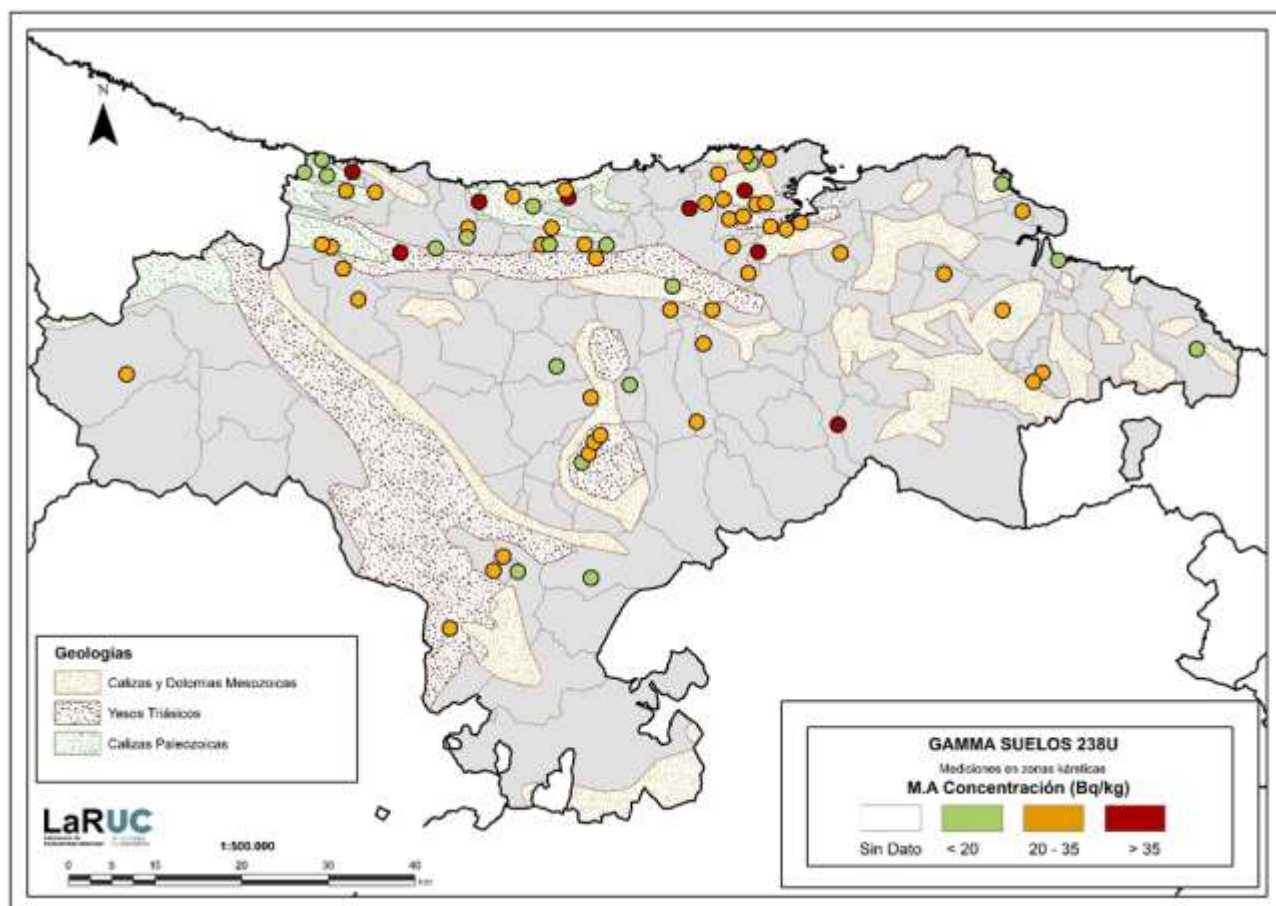
Punto	²³⁸ U (²³⁴ Th)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	²³² Th (²²⁸ Ac)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	⁴⁰ K	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	¹³⁷ Cs	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)
R17-P1	24,9	6,3	8,4	25,6	2,8	5,4	15,5	4,4	5,6	114,1	15,7	20,4	5,4	1,0	1,7
R17-P2	24,2	6,4	8,7	29,4	3,1	5,6	32,8	6,4	4,3	233,3	26,4	22,9	< L.D.	-	1,7
R17-P3	21,9	6,0	8,7	27,7	2,9	5,2	18,1	4,8	5,9	458,7	44,5	16,6	10,1	1,0	1,5
R18-P1	24,8	7,3	9,1	33,6	3,6	6,7	29,5	6,7	6,7	789,7	76,8	23,9	12,5	1,2	1,8
R18-P2	26,7	6,7	8,8	22,9	2,7	5,6	28,0	5,6	4,1	541,7	52,5	19,1	< L.D.	-	1,7
R18-P3	41,4	10,2	10,8	84,0	7,7	6,4	53,5	10,4	6,9	1302,0	122,4	25,6	< L.D.	-	2,3
R18-P4	25,1	6,6	9,2	77,8	7,0	6,0	39,2	7,2	7,0	894,5	80,1	22,7	< L.D.	-	2,0
R18-P5	40,3	10,0	10,6	30,2	3,1	6,5	46,1	8,3	7,0	631,1	77,5	21,6	< L.D.	-	2,1
R19-P1	< L.D.	-	9,0	25,5	2,7	5,2	29,0	5,9	4,7	184,2	22,8	24,2	< L.D.	-	1,6
R19-P2	22,5	6,0	8,4	24,4	2,7	5,2	24,7	5,3	4,8	270,9	28,4	19,0	2,5	0,7	1,4
R19-P3	26,2	6,3	8,3	24,4	2,6	5,0	17,8	4,4	5,0	256,0	26,6	17,3	< L.D.	-	1,5
R19-P4	20,5	5,6	8,0	25,0	2,6	5,0	20,1	5,0	4,7	192,2	25,3	23,1	< L.D.	-	1,5
R20-P1	17,4	4,9	7,5	17,9	2,2	5,2	19,2	4,2	4,1	86,9	11,6	16,8	5,2	0,7	1,2
R20-P2	13,6	4,4	7,3	15,9	2,2	5,9	19,4	4,2	3,9	86,3	14,1	22,2	6,0	0,9	1,5
R20-P3	17,8	5,2	8,0	13,4	1,9	4,8	15,4	3,9	4,5	133,0	16,1	17,5	6,6	0,8	1,2
R20-P4	15,9	4,9	7,8	16,5	2,1	5,2	21,4	4,3	3,3	134,8	16,2	17,6	7,8	0,8	1,3
R21-P1	36,7	8,0	9,2	39,3	3,8	5,1	33,0	6,4	4,4	156,9	18,7	19,0	4,9	1,0	1,7
R21-P2	37,9	8,4	9,5	38,0	3,7	5,3	28,2	6,0	5,4	137,4	17,5	20,2	7,2	0,9	1,4
R21-P3	38,6	8,5	9,8	45,3	4,2	5,0	26,1	5,6	5,0	160,4	18,5	17,7	7,0	0,9	1,5
R21-P4	30,2	7,5	9,4	36,9	3,7	5,7	31,2	6,6	5,6	200,9	22,5	19,3	11,6	1,0	1,5
R21-P5	23,7	6,4	9,0	27,4	3,0	5,4	27,8	6,0	5,6	273,0	29,1	20,7	8,8	1,1	1,8
R21-P6	35,8	8,2	9,5	32,1	3,7	5,5	27,9	6,2	5,6	180,3	20,0	19,2	9,0	1,0	1,5
R22-P1	40,3	8,7	8,7	31,1	3,3	5,8	29,3	6,0	4,8	232,6	26,0	21,6	8	1,0	1,6
R22-P2	33,9	8,1	9,2	38,0	3,8	5,9	38,3	7,5	5,2	185,6	22,7	23,6	4,6	1,2	2,0
R22-P3	28,0	7,3	9,5	31,3	3,4	5,9	47,0	9,0	5,6	512,0	50,4	21,0	4	1,2	2,0
R22-P4	20,8	6,9	9,5	30,8	3,4	6,7	55,3	10,3	5,0	527,7	53,4	25,8	9,8	1,2	1,9
R22-P5	< L.D.	-	9,4	24,6	2,8	5,4	35,7	7,1	5,2	265,1	28,6	21,4	7,7	1,0	1,5
R22-P6	30,1	7,5	9,6	32,3	3,6	5,9	35,9	7,2	5,2	201,4	23,0	22,2	6,8	1,0	1,6
R23-P1	17,3	4,4	6,8	15,4	1,8	4,0	7,5	2,1	3,0	39,2	8,8	16,4	< L.D.	-	1,1
R23-P2	25,3	6,2	8,1	24,4	2,7	5,5	28,8	5,8	4,4	111,0	16,0	21,0	9,8	1,1	1,6
R23-P3	16,4	5,3	8,4	22,7	2,5	5,0	24,0	5,0	4,2	103,0	14,0	19,0	10	0,9	1,2
R23-P4	18,1	5,0	7,0	18,7	2,0	4,6	25,0	5,2	4,2	115,9	16,6	22,0	< L.D.	-	1,1
R23-P5	23,8	5,6	7,8	19,1	2,1	4,9	29,6	6,0	4,5	40,3	9,0	17,0	8	1,0	1,4
R24-P1	36,7	8,1	9,5	39,0	3,7	5,0	32,4	6,5	5,0	226,0	24,0	17,0	7,4	1,0	1,5
R24-P2	26,6	7,4	10,4	38,4	3,8	5,3	53,2	9,9	5,3	404,0	41,0	22,0	9,7	1,2	1,9
R24-P3	18,1	6,5	10,0	34,8	3,6	5,8	58,0	11,0	6,0	329,0	34,0	21,0	9,5	1,1	1,8
R24-P4	20,6	6,8	10,0	35,7	3,7	5,0	57,4	10,0	5,4	401,1	40,0	22,0	9,6	1,1	1,9
R24-P5	21,4	7,0	10,1	37,3	3,8	5,4	32,2	6,5	5,0	252,7	27,0	19,0	7	1,0	1,4
R25-P1	25,4	6,4	8,7	23,5	2,6	5,0	27,8	5,4	3,6	113,4	15,8	20,5	4,9	0,9	1,4
R25-P2	22,5	6,1	8,6	25,6	2,7	5,2	26,1	5,5	4,6	134,0	16,7	19,1	5,8	0,9	1,4
R25-P3	< L.D.	-	8,3	24,0	2,9	6,5	22,0	5,3	5,9	314,2	33,2	20,8	7,3	1,1	1,8

Punto	²³⁸ U (²³⁴ Th)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	²³² Th (²²⁸ Ac)	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	⁴⁰ K	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)	¹³⁷ Cs	u(Bq/kg)	LD (Bq/kg)
R26-P1	21,1	6,0	8,3	22,1	2,7	6,1	32,0	6,4	4,7	237,0	26,4	21,6	3,6	1,0	1,7
R26-P2	< L.D.	-	8,0	20,2	2,7	6,8	24,2	5,6	5,9	192,5	23,7	24,9	3	1,0	1,8
R26-P3	25,0	6,6	9,1	29,2	3,0	5,2	32,2	6,7	5,7	274,5	29,0	20,3	< L.D.	-	1,5
R26-P4	16,6	5,7	8,8	23,2	2,8	6,1	37,1	7,4	5,5	395,2	40,2	20,9	5,5	1,0	1,7
R26-P5	23,5	7,0	8,4	39,0	4,1	6,9	31,9	6,8	5,9	250,5	29,0	26,0	10,7	1,3	2,1
R26-P6	25,0	6,4	9,0	26,1	3,0	6,2	31,8	6,8	5,8	200,1	24,0	24,2	6,1	1,2	1,8
R26-P7	17,0	6,2	9,1	21,3	2,8	5,8	35,5	7,2	5,1	234,6	26,2	22,0	7,8	1,2	1,9
R27-P1	27,4	6,6	8,4	31,0	3,2	5,4	30,0	6,0	4,5	231,0	25,0	20,0	3,3	0,9	1,6
R27-P2	19,8	5,8	8,7	28,0	3,0	5,4	34,7	6,8	4,8	228,0	25,0	19,0	5,7	1,0	1,7
R27-P3	18,4	5,5	8,3	22,2	2,6	5,3	28,3	5,6	3,9	169,0	20,0	19,0	7,7	1,0	1,5
R27-P4	18,7	5,5	8,3	20,6	2,5	5,6	23,4	5,1	4,7	370,0	37,0	20,0	2,7	0,9	1,6
R27-P5	25,5	6,3	8,2	22,2	2,6	5,6	22,1	5,1	5,2	349,0	36,0	22,0	2,6	0,9	1,6
R27-P6	17,0	5,5	8,7	18,5	2,2	5,0	27,5	5,3	3,4	173,0	20,0	20,0	4,9	0,8	1,4
R27-P7	17,5	5,5	8,6	21,1	2,2	5,0	28,2	5,5	4,1	238,0	27,0	19,0	5	1,0	1,6
R28-P1	27,4	7,5	9,8	30,2	3,3	6,0	58,0	10,9	6,2	707,2	68,0	19,9	< L.D.	-	1,7
R28-P2	21,1	6,6	9,8	28,9	3,0	5,2	36,3	7,3	5,8	453,9	44,6	19,8	5,1	0,9	1,6
R28-P3	37,1	8,4	9,2	45,6	4,4	5,7	40,2	7,6	4,1	263,4	28,1	19,7	4,6	1,1	1,8
R28-P4	48,5	9,9	9,6	40,2	3,9	5,3	41,4	7,8	4,3	330,4	33,6	18,9	< L.D.	-	1,6
R29-P1	21,9	6,1	8,4	26,0	2,9	6,0	24,5	5,7	6,0	355,1	37,0	22,6	2,8	0,9	1,7
R29-P2	18,8	5,6	8,5	27,7	3,0	5,4	34,2	6,5	3,8	382,2	38,1	18,0	4,2	0,9	1,6
R29-P3	17,4	5,3	8,2	21,9	2,5	5,3	20,8	4,6	4,6	222,4	24,6	20,3	2,3	0,8	1,4
R29-P4	15,3	5,4	8,4	24,0	2,8	6,1	15,8	4,6	6,0	208,7	24,6	23,6	4,2	0,8	1,4
R29-P5	20,0	5,9	8,0	23,3	2,7	6,1	16,0	5,0	6,1	210,3	25,0	24,6	4	0,8	1,5
R29-P6	22,3	6,4	8,5	28,0	3,1	6,0	31,2	6,3	4,0	301,8	32,4	21,0	2,3	0,9	1,5
R30-P1	21,1	5,8	8,1	24,7	2,8	5,9	17,1	4,9	6,4	311,6	33,1	22,3	7,1	1,1	1,8
R30-P2	25,3	7,3	8,6	34,3	3,8	6,9	37,1	8,1	7,6	705,3	69,5	24,9	< L.D.	-	2,1
R30-P3	17,4	5,5	8,3	20,0	2,5	6,0	27,9	5,7	4,5	241,8	26,0	18,8	7	1,0	1,6
R30-P4	21,2	5,8	8,2	23,2	2,7	5,5	12,6	3,9	5,4	335,8	34,6	21,0	12,5	1,0	1,3
R30-P5	20,3	5,7	8,2	30,0	3,6	6,5	28,7	6,0	4,7	345,5	35,0	23,0	< L.D.	-	2,0
R31-P1	22,9	6,5	8,6	20,0	2,7	6,4	33,1	6,7	5,1	436,9	44,4	22,2	< L.D.	-	1,8
R31-P2	35,5	8,6	8,7	38,1	3,9	6,3	29,5	6,8	7,1	523,8	51,9	20,1	< L.D.	-	2,0
R31-P3	25,6	6,9	8,5	30,7	3,4	6,4	30,7	6,5	5,7	411,8	41,8	20,1	3,4	1,0	1,9
R31-P4	23,1	6,8	8,5	35,2	3,0	6,2	34,0	7,0	7,1	428,8	45,0	22,8	< L.D.	-	2,0
R32-P1	22,2	6,7	10,0	29,1	3,0	4,8	38,8	7,6	5,4	520,8	49,8	18,5	< L.D.	-	1,6
R32-P2	< L.D.	-	8,8	21,6	2,8	6,6	38,9	7,7	5,5	564,7	56,3	23,6	8,3	1,0	1,7
R32-P3	< L.D.	-	9,3	24,7	2,7	5,1	27,0	6,1	6,0	671,8	63,8	21,2	< L.D.	-	1,5
R32-P4	35,7	8,6	10,6	42,8	4,1	5,3	39,5	8,2	6,9	854,4	79,9	21,0	< L.D.	-	1,6
R32-P5	< L.D.	-	9,0	40,4	4,0	4,9	26,1	6,2	6,0	570,6	57,0	23,8	< L.D.	-	1,6
R33-P1	23,8	6,3	8,1	21,9	2,7	6,2	28,3	5,7	4,4	200,0	23,0	22,0	< L.D.	-	1,8
R33-P2	< L.D.	-	8,5	16,2	2,2	5,2	23,9	5,1	4,6	170,0	20,0	19,0	4,6	0,9	1,5

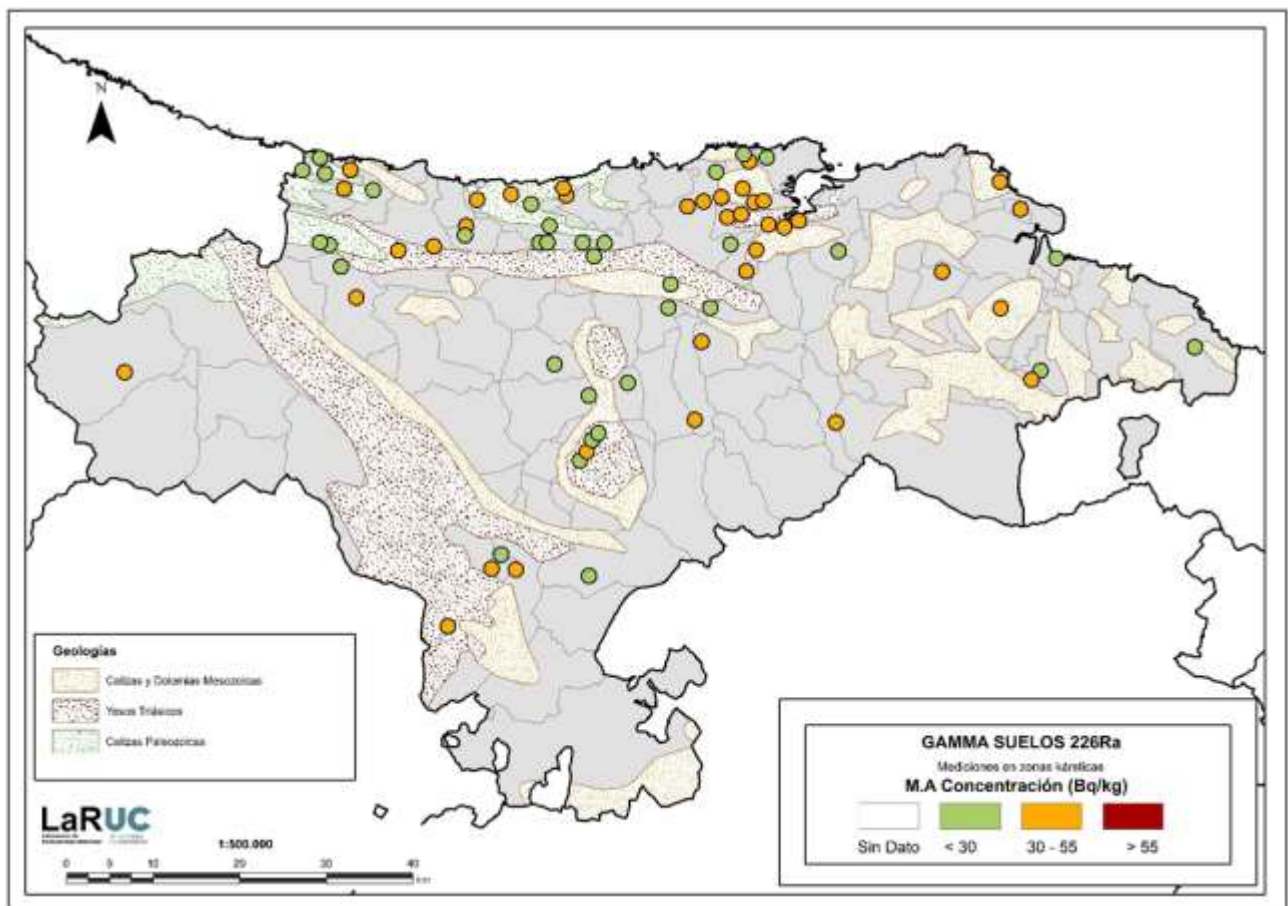
Tabla 8. Espectrometría gamma

Parámetro: Espectrometría gamma suelos (Bq/kg)	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
U-238	25,3	9,1	6,3	48,5
Ra-226	31,7	11,3	4,0	84,0
Th-232	32,9	10,4	3,8	58,0
K-40	306,9	176,0	39,2	1302,0
Cs-137	4,8	2,9	1,0	12,5

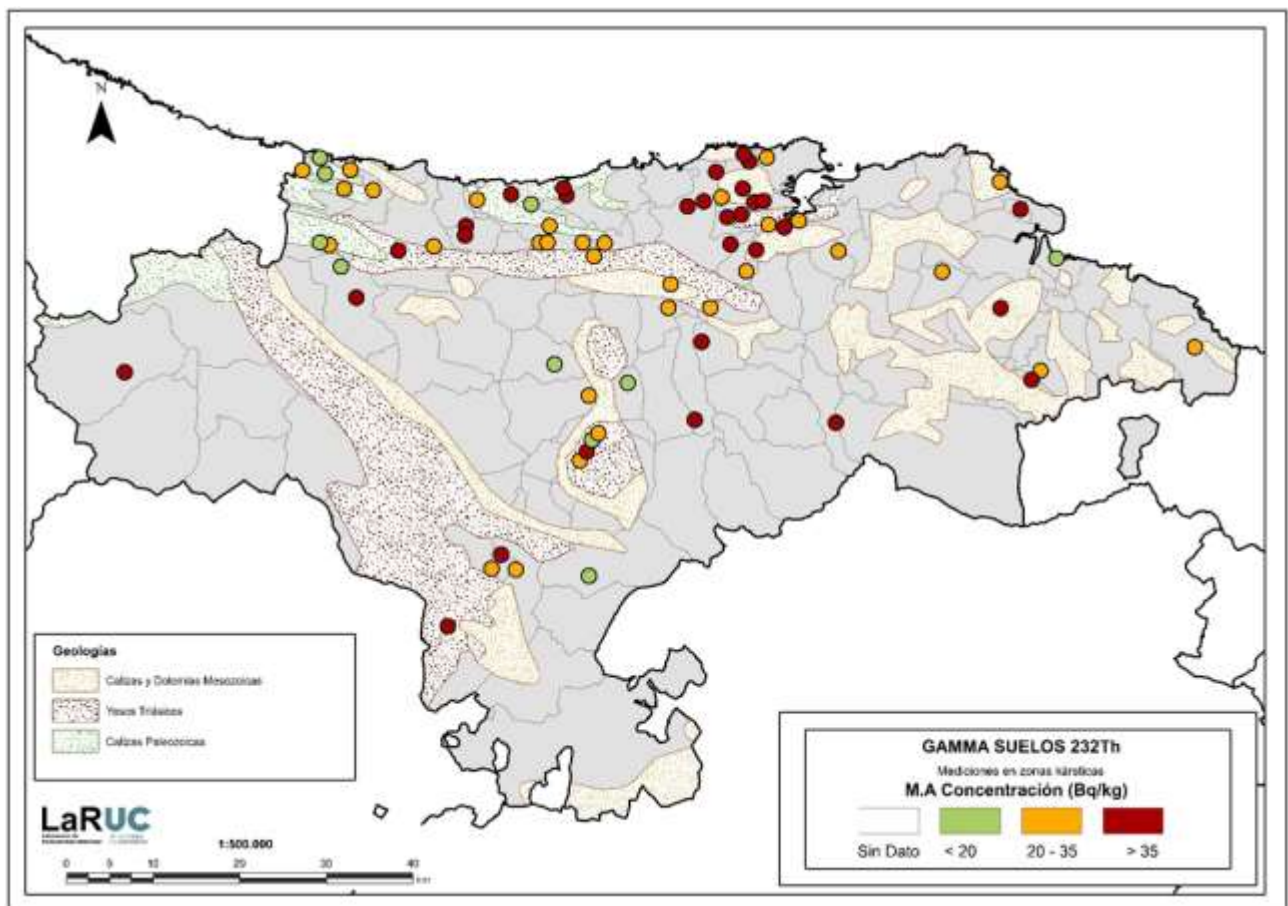
Tabla 9. Valores estadísticos



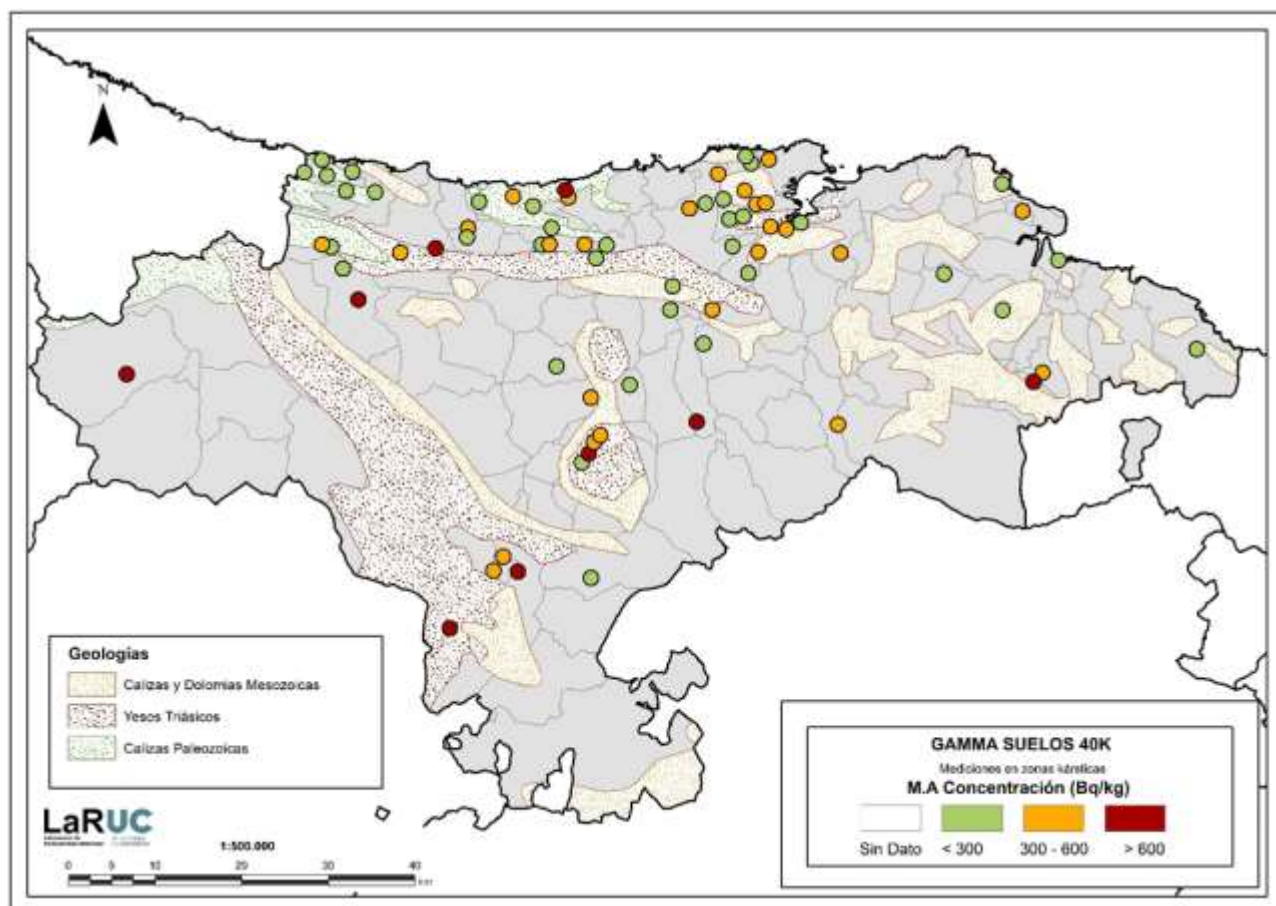
Mapa 4



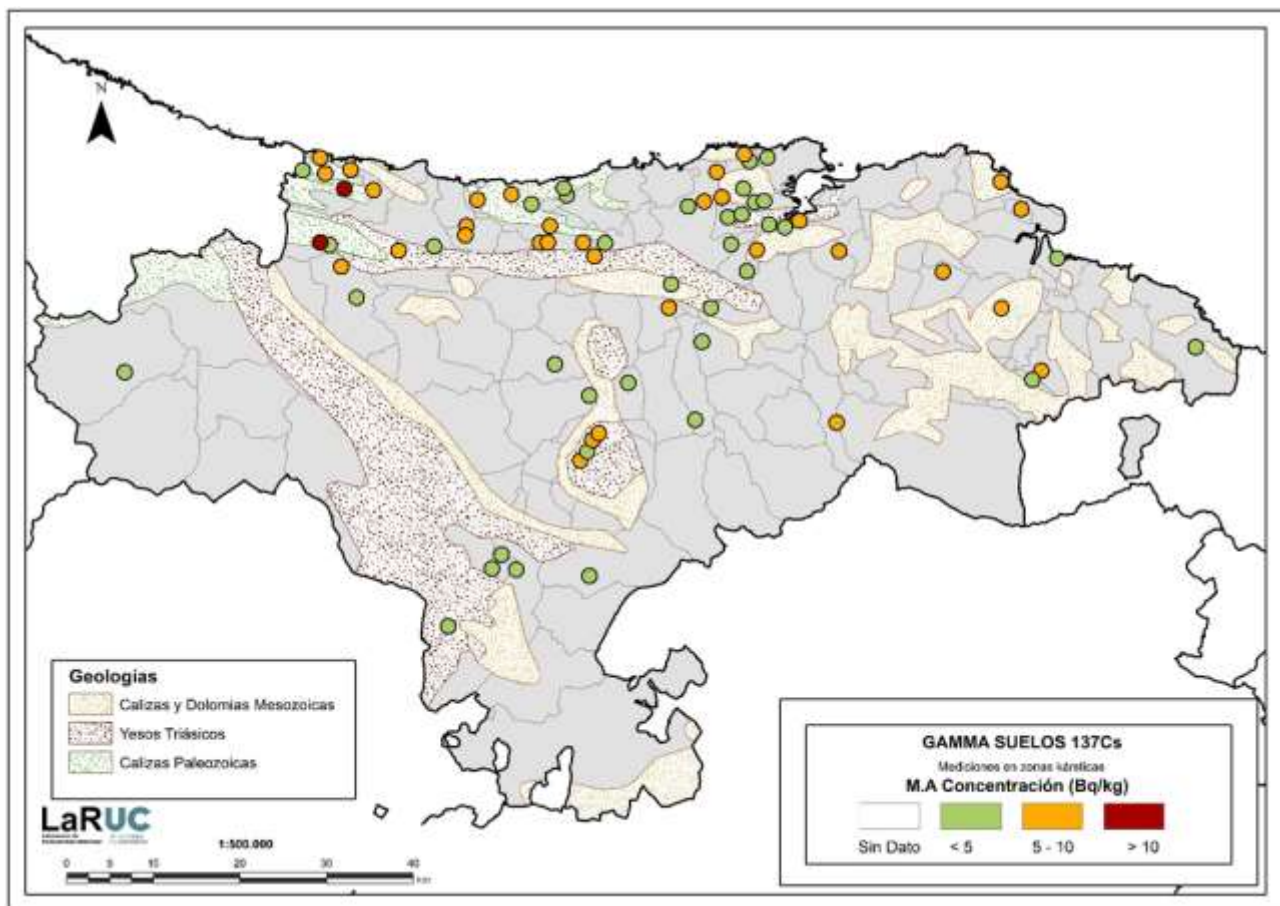
Mapa 5



Mapa 6



Mapa 7



Mapa 8

1.b.- Espectrometría gamma de suelos. Universidad Politécnica de Valencia

La siguiente tabla recoge los valores de actividad de isótopos naturales de Ra-226, Th-232 y K-40, y el isótopo artificial Cs-137 en muestras de suelos recogidas en los mismos puntos en los que se llevó a cabo la medida de la radiación gamma externa. El procedimiento seguido es el UPV/LRA/AC/G-3 de “Determinación de emisores gamma en suelos, sedimentos, materiales de construcción y minerales molturados de densidades comprendidas entre 0.7 y 2 g·cm⁻³ y silicato de circonio de 3.5 g·cm⁻³, mediante detector de semiconductor de Ge(HP)” acreditado según la UNE-EN ISO 17025 por la Agencia Nacional de Acreditación (ENAC) (nº 620/LE1050). En este procedimiento las actividades de Ra-226 y Th-232 se determinan a partir de sus descendientes Pb-214 y Ac-228, respectivamente. Las incertidumbres presentadas han sido calculadas con un coeficiente de cobertura de k=2, y los límites de detección según la ISO 11929.

Celda	Nº medida	Localidad	Fecha de toma	Coordenadas GPS	A _{Ra-226} ± U (Bq/kg)	LD _{Ra-226} (Bq/kg)	A _{Th-232} ± U (Bq/kg)	LD _{Th-232} (Bq/kg)	A _{K-40} ± U (Bq/kg)	LD _{K-40} (Bq/kg)	A _{Cs-137} ± U (Bq/kg)	LD _{Cs-137} (Bq/kg)
1	1	Ortells	14/03/2024	40°41'22.0"N 0°10'38.6"W	20.23±1.24	1.35	24.74±2.69	4.70	401.29±18.60	13.13	1.93±0.40	0.67
	2	Villores	14/03/2024	40°40'45.2"N 0°12'15.3"W	41.48±1.78	1.67	36.10±3.30	4.62	365.47±19.19	13.97	3.85±0.46	0.65
2	3	Pobla d'alcolea	14/03/2024	40°41'34.4"N 0°04'28.2"W	14.44±0.83	2.20	14.18±1.88	5.23	162.28±8.16	8.55	0.34±0.22	0.49
3	4	La Mata de Morella	13/03/2024	40°37'18.6"N 0°15'56.4"W	29.20±1.46	2.28	35.63±3.35	3.81	513.98±22.68	11.41	3.13±0.46	0.66
	5	Todolella	13/03/2024	40°38'00.4"N 0°15'14.6"W	25.97±1.36	2.31	33.08±2.84	3.13	385.68±18.20	10.66	14.13±0.72	0.56
4	6	Forcall	13/03/2024	40°38'43.8"N 0°12'59.8"W	23.27±1.31	2.30	36.71±4.28	7.70	495.81±22.98	21.95	2.04±0.60	0.94
5	7	Herbeser	14/03/2024	40°37'27.6"N 0°05'31.4"W	21.52±1.37	2.17	18.65±1.85	3.66	281.87±11.86	10.28	5.14±0.39	0.65
6	8	Vallibona	19/04/2024	40°35'40.5"N 0°01'44.3"E	47.07±3.15	3.51	58.66±5.12	5.51	889.33±51.14	20.24	<LD	0.67
7	9	Rossell	25/01/2024	40°37'9.0" N 0°13'1.8" E	18.65±1.0	1.90	12.09±1.33	3.06	188.53±9.15	7.183	7.85±0.43	0.66
8	10	Portell de Morella	13/03/2024	40°32'55.7"N 0°15'08.9"W	36.57±2.43	4.00	32.95±4.32	8.56	444.00±33.76	36.04	16.36±1.06	1.17
9	11	Campello	18/04/2024	40°32'57.0"N 0°07'28.0"W	33.64±1.91	2.19	38.36±3.71	4.93	567.92±29.59	9.93	25.85±1.33	0.64
10	12	Ermita de la Bota	18/04/2024	40°33'18.0"N 0°00'03.3"E	29.02±2.59	4.94	23.12±5.23	9.20	321.14±30.50	33.63	8.50±0.79	1.13
11	13	Anroig	18/04/2024	40°30'58.7"N 0°07'40.1"E	35.22±1.96	2.10	33.08±2.89	3.29	363.64±21.26	13.20	1.37±0.35	0.58
	14	Vallivana	18/04/2024	40°32'20.6"N 0°03'25.5"E	21.97±1.1	1.31	23.71±2.42	4.68	268.4±10.86	9.30	<LD	0.71
12	15	Canet lo Roig	25/01/2024	40°33'41.3"N 0°14'05.9"E	13.61±1.08	1.77	18.92±2.17	2.97	183.42±12.58	8.54	4.78±0.51	0.58
13	16	S. Rafael del Rio	25/01/2024	40°34'48.8" N 0°19'32.9" E	51.68±3.24	5.26	55.63±5.42	8.38	523.28±35.41	32.97	7.33±0.81	1.31
	17	Traiguera	25/01/2024	40°32'34.1"N 0°18'29.0"E	22.57±1.40	1.89	30.37±3.05	3.58	320.48±18.73	9.58	6.45±0.52	0.49

14	18	Villafranca del Cid	15/02/2024	40°26'49.5"N 0°13'56.7"W	30.33±1.44	1.61	26.10±2.10	2.71	490.20±20.81	7.51	1.10±0.21	0.41
15	19	Ares del Maestre	15/02/2024	40°27'14.4"N 0°08'34.6"W	21.26±1.24	1.46	18.06±1.94	3.72	431.68±16.43	7.98	3.18±0.31	0.75
	20	Hermita de Santa Elena	15/02/2024	40°27'23.2"N 0°10'50.2"W	24.90±1.16	2.29	32.26±2.90	5.67	552.86±20.05	8.94	2.26±0.31	0.64
16	21	Catí	06/02/2024	40°27'02.6"N 0°00'11.0"W	36.07±1.54	2.50	31.68±2.98	4.91	415.08±16.84	10.66	6.82±0.46	1.06
17	22	Tirig	21/02/2024	40°25'07.9"N 0°05'26.5"E	71.70±2.45	2.94	67.89±5.10	5.70	700.12±25.13	11.35	6.71±0.47	1.02
18	23	La Jana	19/04/2024	40°30'49.4"N 0°15'37.8"E	26.08±1.47	2.11	38.46±3.13	5.78	448.44±17.32	9.38	<LD	0.53
	24	San Mateo	19/04/2024	40°27'29.3"N 0°11'41.2"E	20.99±1.11	2.02	22.10±2.35	4.85	267.61±12.49	11.07	2.87±0.34	0.70
19	25	Cervera del Maestre	19/04/2024	40°28'03.4"N 0°18'10.7"E	24.16±1.15	2.09	27.75±2.28	3.27	217.32±10.44	9.57	2.91±0.30	0.74
20	26	Vinaròs	17/04/2024	40°30'50.2"N 0°25'29.4"E	48.39±2.51	2.32	49±4.28	4.16	422.52±23.48	11.50	2.66±0.41	0.59
21	27	Vistabella del Maestrazgo	15/02/2024	40°17'45.8"N 0°17'18.4"W	24.11±1.65	2.87	10.13±1.88	5.16	221.74±12.85	11.13	7.23±0.51	0.66
22	28	Benasal	06/02/2024	40°23'13.8"N 0°07'51.7"W	25.02±1.30	2.50	38.76±3.12	6.14	680.32±25.13	13.58	5.21±0.42	0.86
	29	Culla	06/02/2024	40°20'29.8"N 0°09'26.6"W	6.40±2.30	2.41	57.72±4.49	5.42	465.78±18.47	11.47	18.66±0.81	1.15
23	30	San Pau	06/02/2024	40°20'40.6"N 0°00'29.8"W	27.29±1.56	2.90	41.04±3.13	4.67	413.72±15.04	10.17	4.65±0.40	0.89
24	31	Mas dels Calduchs	21/02/2024	40°23'19.5"N 0°07'19.2"E	32.43±1.54	2.38	46.87±4.07	5.06	517.44±22.60	11.84	0.60±0.32	0.60
	32	Mas D'en Rieres	21/02/2024	40°22'43.6"N 0°08'25.0"E	28.98±1.35	1.52	45.35±3.54	4.84	433.45±15.55	10.34	5.63±0.42	0.86
25	33	Salsadella	21/02/2024	40°25'03.7"N 0°10'59.2"E	21.51±2.89	7.17	24.28±5.35	15.79	321.2±35.62	48.90	4.99±0.92	1.65
26	34	Santa Magdalena de Pulpis	17/04/2024	40°20'59.9"N 0°18'21.8"E	45.31±2.40	2.46	57.81±4.98	4.33	550.88±28.98	10.97	4.85±0.50	0.66
	35	Peñíscola	17/04/2024	40°22'33.8"N 0°23'04.4"E	58.53±2.42	2.34	66.40±5.07	6.17	597.58±22.52	12.28	11.65±0.62	0.96

27	36	Benicarló	17/04/2024	40°25'27.4"N 0°23'53.4"E	34.07±1.36	1.90	33.53±2.87	4.31	366.29±14.84	9.56	2.70±0.29	0.49
28	37	Villahermosa del Rio	30/01/2024	40°12'00.8"N 0°26'19.2"W	25.95±1.42	2.26	19.82±2.03	3.58	509.7±19.16	10.29	<LD	0.51
29	38	Mas del Borrás	30/01/2024	40°12'40.5"N 0°23'52.8"W	23.17±1.91	3.68	20.99±3.47	8.80	371.04±28.24	36.52	12.07±1.10	
30	39	Adzaneta	24/01/2024	40°12'43.4"N 0°10'56.2"W	13.78±1.01	1.39	12.65±1.94	3.23	291.13±17.17	7.98	10.10±0.74	0.57
	40	Xodos	24/01/2024	40°14'24.2"N 0°16'17.6"W	22.32±1.84	3.48	29.32±3.74	7.40	388.74±28.61	26.6	1.18±0.51	0.93
31	41	Els Ibarsos	08/02/2024	40°14'06.1"N 0°05'18.9"W	14.01±1.15	1.81	15.57±1.82	4.59	187.02±10.03	9.90	2.15±0.30	0.61
32	42	Els Rosildos	14/02/2024	40°18'33.5"N 0°01'53.6"W	34.74±1.25	2.57	36.51±2.96	4.08	436.06±15.16	8.36	0.93±0.26	0.75
32	43	Sarratella	14/02/2024	40°18'22.2"N 0°01'50.6"E	36.52±2.02	2.25	52.79±4.88	4.92	797.31±39.75	10.56	1.62±0.39	0.60
33	44	Torre d'En Doménec	14/02/2024	40°16'02.5"N 0°04'10.9"E	18.72±1.66	4.25	27.21±3.85	6.92	325.10±20.96	25.23	3.48±0.61	1.06
34	45	Alcalá de Chivert	31/01/2024	40°16'29.1"N 0°13'56.9"E	27.52±1.29	3.14	35.15±3.10	5.01	348.27±14.82	10.35	3.61±0.38	0.91
	46	Alcocebre	31/01/2024	40°15'08.8"N 0°16'47.1"E	24.57±1.24	1.75	31.457±2.46	3.97	348.54±12.83	8.63	<LD	0.62
35	47	Parque Sierra lrita	31/01/2024	40°15'50.1"N 0°17'56.3"E	37.30±2.07	2.25	42.46±3.52	3.36	410.48±22.63	9.45	10.20±0.70	0.63
36	48	Puebla de Arenoso	18/01/2024	40°05'59.6"N 0°34'24.8"W	23.16±1.55	3.04	35.53±3.27	5.04	583.94±27.48	14.53	<LD	0.95
37	49	Zucaina	30/01/2024	40°07'47.2"N 0°24'30.1"W	25.92±1.92	2.89	31.45±4.05	8.75	556.15±36.06	30.18	5.16±0.63	1.02
	50	San Vicente de Piedrahita	30/01/2024	40°09'31.2"N 0°29'12.0"W	18.78±1.93	2.45	18.39±2.45	5.34	318.24±24.77	24.40	11.10±0.96	0.97
38	51	Lucena del Cid	24/01/2024	40°07'46.4"N 0°16'08.5"W	28.82±1.54	1.41	37.44±3.53	5.29	680.03±29.34	14.13	7.95±0.58	0.60
39	52	Figueroles	24/01/2024	40°07'08.2"N 0°13'35.5"W	24.81±1.47	1.15	42.38±3.92	3.733	423.82±22.91	11.09	2.07±0.33	0.50
40	53	Las Crevadas	08/02/2024	40°11'55.4"N 0°05'17.6"W	23.27±1.1	1.75	29.76±2.54	4.10	426.04±16.60	9.25	4.52±0.36	0.92

41	54	Vall d'Alba	08/02/2024	40°10'11.0"N 0°02'01.4"W	23.39±1.35	1.61	29.41±2.64	5.18	438.3±16.77	8.93	3.02±0.32	0.60
41	55	Cabanes	08/02/2024	40°08'28.6"N 0°02'18.0"E	15.66±1.06	0.95	20.42±2.10	2.97	370.1±20.40	9.71	2.56±0.33	0.43
42	56	Villanueva de Alcolea	14/02/2024	40°13'47.8"N 0°04'46.8"E	27.40±1.51	1.81	29.38±2.80	4.22	346.22±14.79	10.59	4.52±0.42	1.13
43	57	Torreblanca	31/01/2024	40°13'46.7"N 0°12'47.8"E	59.19±2.17	2.92	66.54±5.10	6.47	555.52±21.10	9.62	6.28±0.49	0.79
44	58	Barracas	14/12/2023	40°01'24.4"N 0°41'54.4"W	25.65±1.4	2.60	39.90±3.60	4.99	890.75±34.95	13.01	1.97±0.38	0.64
45	59	Montanejos	18/01/2024	40°04'04.5"N 0°29'58.0"W	18.86±1.24	2.17	29.67±2.78	5.72	704.78±25.03	10.27	<LD	0.74
46	60	Cirat	18/01/2024	40°03'47.7"N 0°27'07.7"W	26.13±2.12	2.34	25.47±3.56	8.84	517.83±34.63	26.28	0.78±0.42	1.14
47	61	Argelita	18/01/2024	40°03'31.1"N 0°20'47.1"W	22.41±1.07	1.81	25.15±2.07	3.24	547.16±20.20	9.50	0.65±0.24	0.43
48	62	Alcora	01/02/2024	40°04'56.1"N 0°12'13.9"W	24.71±1.10	1.53	31.02±2.45	3.20	486.78±18.28	8.66	0.86±0.26	0.50
49	63	Borriol	01/02/2024	40°02'43.0"N 0°04'49.8"W	29.42±1.29	1.96	40.92±3.32	4.94	565.97±20.77	8.72	4.23±0.37	0.96
50	64	Benicàssim	17/01/2024	40°04'41.4"N 0°01'53.3"E	25.58±1.44	1.45	37.27±3.38	4.12	463.43±24.49	10.29	0.52±0.28	0.49
	65	Pobla Tornesa	17/01/2024	40°05'30.7"N 0°00'31.9"W	36.66±1.60	1.74	46.95±3.77	7.04	501.26±18.72	10.08	<LD	0.53
51	66	Oropesa	17/01/2024	40°06'36.4"N 0°05'34.5"E	29.65±1.67	1.93	35.87±3.34	3.60	455.37±23.90	8.08	1.54±0.32	0.50
52	67	El Molinar	14/12/2023	39°55'43.0"N 0°44'00.5"W	28.62±1.38	2.39	34.04±3.77	7.31	1019.9±33.17	16.15	19.66±0.88	0.99
53	68	Bejís	14/12/2023	39°55'03.5"N 0°41'50.3"W	12.65±1.03	0.96	15.71±1.89	5.16	379.68±19.90	24.72	47.02±1.78	0.76
	69	Viver	14/12/2023	39°54'35.5"N 0°35'45.1"W	27.61±2.30	3.67	38.61±4.90	11.07	695.06±34.93	33.04	14.18±0.93	1.58
54	70	Caudiel	16/01/2024	39°55'45.9"N 0°34'18.6"W	26.57±1.19	2.10	34.61±3.15	5.49	680.93±24.25	8.37	1.29±0.3	0.72
55	71	Villamalur	24/11/2023	39°58'05.2"N 0°23'25.8"W	45.93±1.77	2.26	44.27±3.65	6.16	610.39±22.76	12.91	8.21±0.51	0.79

56	72	Sueras	24/11/2023	39°56'58.3"N 0°20'26.5"W	27.04±2.22	6.14	30.61±4.36	11.16	711.87±32.73	38.35	9.74±1.05	1.59
57	73	Mas de Font	13/02/2024	40°00'44.3"N 0°09'56.2"W	21.46±1.14	1.29	29.23±2.68	5.52	501.3±18.61	10.81	<LD	0.66
	74	Apeadero de Bechí	13/02/2024	39°56'19.9"N 0°11'18.2"W	31.80±1.39	1.93	43.01±3.34	4.95	677.53±24.77	9.63	<LD	0.79
58	75	Vall d'Umbri	01/02/2024	40°01'59.3"N 0°05'22.7"W	23.30±1.14	2.40	30.42±2.68	4.71	265.99±11.95	10.10	6.61±0.40	0.83
	76	Almazora	01/02/2024	39°58'15.3"N 0°07'19.3"W	31.54±1.34	2.17	46.59±3.39	3.19	601.75±21.86	8.88	2.75±0.35	0.95
59	77	Grao Castellón	17/01/2024	40°02'12.5"N 0°00'23.3"W	32.24±1.37	2.09	43.24±3.50	5.40	633.75±22.97	10.08	1.08±0.29	0.56
60	78	Santuario Cueva Santa	16/01/2024	39°50'57.1"N 0°35'58.9"W	22.07±2.26	5.03	25.09±1.57	1.94	444.78±26.81	3.37	29.14±1.38	2.06
61	79	Peñalba	19/06/2023	39°51'56.2"N 0°28'43.6"W	24.86±1.05	1.78	19.15±1.96	4.26	677.75±23.53	8.16	0.66±0.22	0.43
	80	Navajas	19/06/2023	39°52'05.3"N 0°30'35.5"W	20.41±1.10	2.09	29.46±2.78	4.45	476.01±18.45	8.98	1.77±0.33	0.70
62	81	Castellnovo	19/06/2023	39°52'26.4"N 0°26'50.7"W	31.38±1.90	2.65	30.89±4.14	8.34	386.99±22.93	28.21	15.16±0.85	1.18
	82	Almedijar	19/06/2023	39°50'55.2"N 0°25'53.2"W	23.84±1.00	1.69	29.13±2.33	2.68	412.04±15.79	5.86	9.47±0.42	0.38
63	83	Ahín	24/11/2023	39°54'08.7"N 0°20'25.4"W	32.12±2.28	4.21	33.49±4.08	7.89	780.79±34.09	36.46	8.24±0.79	1.42
	84	Chóvar	24/11/2023	39°50'32.6"N 0°19'35.7"W	32.52±1.48	1.91	36.43±3.40	6.55	646.99±20.92	10.99	5.47±0.43	0.96
64	85	Bechí	20/02/2024	39°55'16.0"N 0°12'48.3"W	31.27±2.55	2.79	36.50±4.97	10.58	629.52±40	27.44	1.17±0.52	0.98
65	86	Burriana	07/02/2024	39°52'57.7"N 0°03'10.8"W	34.56±1.41	2.01	40.65±3.37	5.57	714.23±25.40	9.51	1.35±0.30	0.69
	87	Alquerías Niño Perdido	07/02/2024	39°54'13.5"N 0°06'18.4"W	33.01±1.37	2.08	29.69±2.61	5.41	557.40±20.46	9.17	2.93±0.33	0.60
66	88	Playa de la Torre	07/02/2024	39°55'19.8"N 0°00'18.9"W	25.26±1.58	1.99	26.28±2.97	3.77	437.15±23.86	9.92	1.8±0.34	0.52
67	89	Gátova	16/01/2024	39°48'22.8"N 0°31'46.8"W	31.11±1.67	2.81	48±3.60	4.37	1249.70±41.72	12.09	1.14±0.31	0.57

	90	Marines Viejo	16/01/2024	39°44'30.7"N 0°31'45.2"W	31.38±1.62	1.82	45.55±3.46	6.16	960.56±32.84	10.43	1.47±0.32	0.62
68	91	La Ermita de los Caídos	23/07/2024	39°45'33.5"N 0°23'05.5"W	25.43±1.17	1.92	31.70±2.83	3.91	577.08±21.1	8.88	0.80±0.26	0.53
69	92	Vall d'Uixó	20/02/2024	39°47'55.7"N 0°14'14.9"W	34.03±1.63	2.28	44.25±3.34	4.24	747.12±26.54	13.95		0.54
70	93	Moncófar	20/02/2024	39°48'48.1"N 0°09'19.3"W	35.80±1.44	2.05	41.24±3.34	5.01	684.98±24.02	9.30	1.06±0.29	0.59
	94	Chilches	20/02/2024	39°46'48.0"N 0°11'43.5"W	30.93±2.19	3.29	30.95±2.24	8.15	409.27±27.19	20.49	1.36±0.44	1.14
71	95	Nules Playa	07/02/2024	39°50'49.6"N 0°05'39.5"W	18.22±1.43	2.11	17.96±2.14	4.24	340.60±22.78	17.47	<LD	0.77
72	96	Almardá	13/02/2024	39°42'24.1"N 0°12'19.6"W	19.50±1.14	1.39	20.24±2.16	4.01	315.88±13.11	9.21	1.03±0.25	0.47
	97	Casablanca	13/02/2024	39°44'34.9"N 0°11'07.8"W	13.78±1.97	4.28	9.83±2.43	8.11	231.83±22.32	32.36	1.04±0.59	1.01

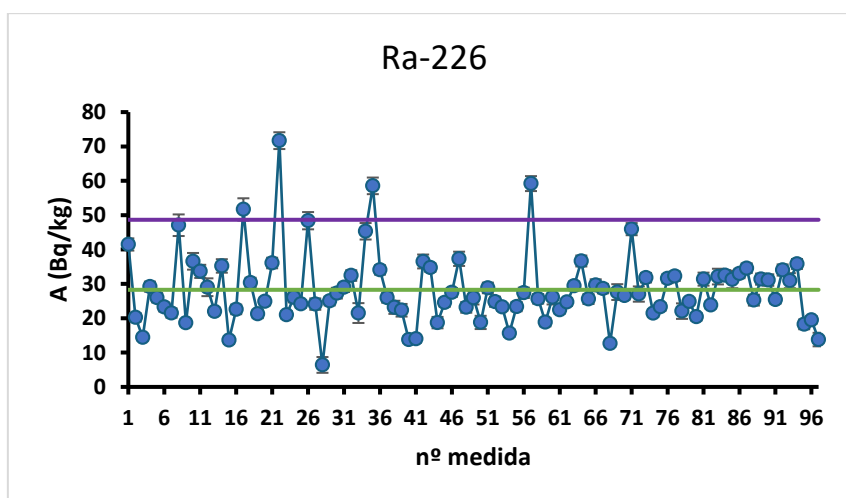
Tabla 10. Actividades, incertidumbres U (k=2) y límites de detección (LD) de Ra-226, Th-232, K-40 y Cs-137 en suelos de la provincia de Castellón

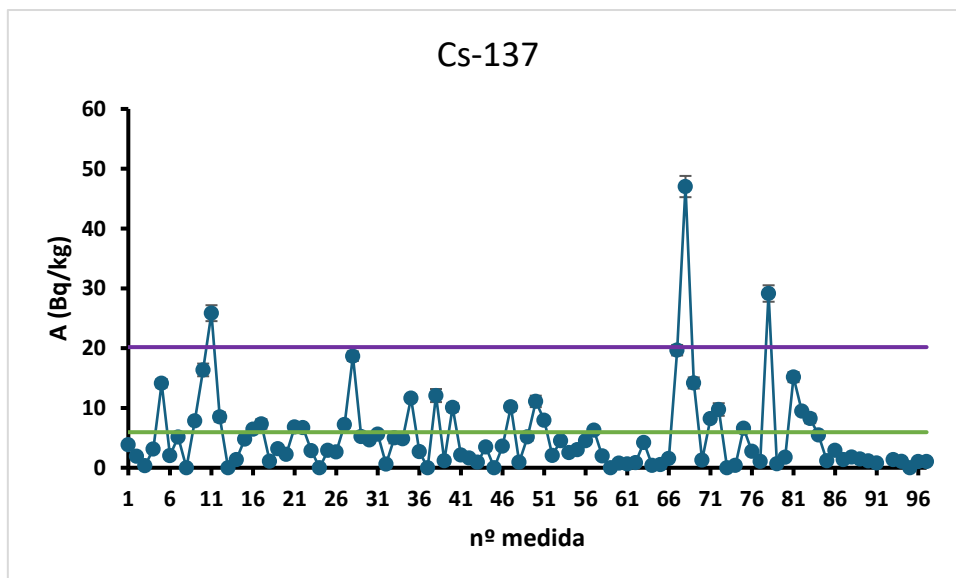
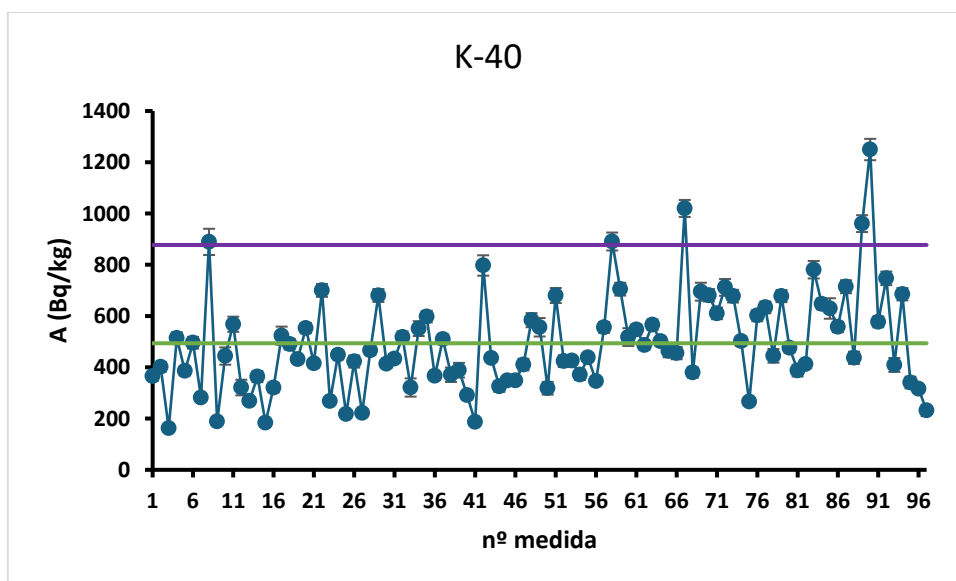
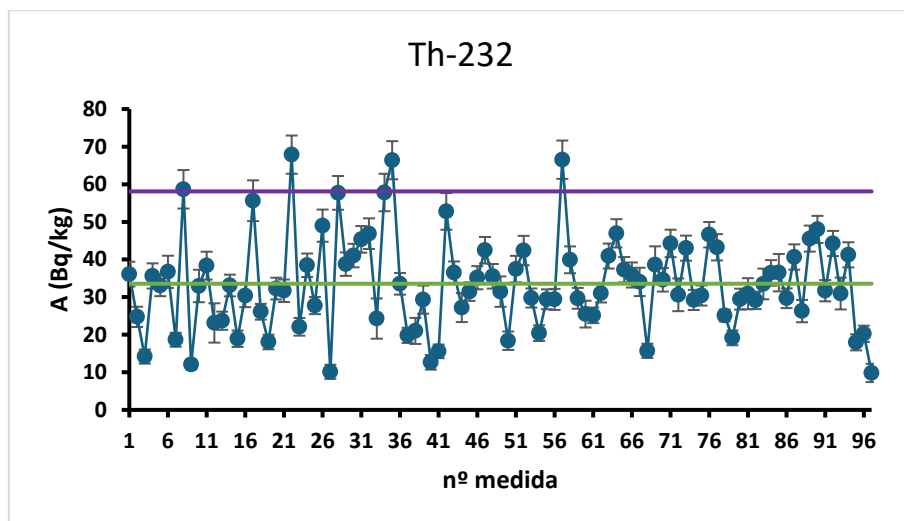
Los valores de la media de actividad para los distintos isótopos se muestran a continuación. Las actividades más altas de Ra-226 y Th-232 se han encontrado en Tírig (72 Bq/kg y 68 Bq/kg, respectivamente), Peñíscola (59 Bq/kg y 66 Bq/kg, respectivamente), Torreblanca (59 Bq/kg y 67 Bq/kg, respectivamente) y Vallibona (47 Bq/kg y 59 Bq/kg, respectivamente). En cuanto al resto de isótopos, destaca la actividad de K-40 de Gátova con 1250 Bq/kg y de Bejís con 47,02 Bq/kg de Cs-137.

Parámetro a analizar	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)
Media	28.27	33.55	493.78	5.95
Desviación estándar	10.19	12.28	191.76	7.11
Límite superior (Media+2σ)	48.65	58.11	877.30	20.17

Tabla 11. Análisis estadístico de los resultados

Las siguientes figuras muestran un resumen del valor promedio de actividad, límite máximo expresado como la media más dos veces la desviación estándar y los valores de actividad obtenidos de cada punto de muestreo para los isótopos de Ra-226, Th-232, K-40 y Cs-137.





1.b.- Espectrometría gamma de suelos. Universidad de Málaga

Las mediciones radiométricas se realizaron mediante espectrometría gamma de bajo fondo con un detector de germanio de tipo coaxial (Canberra Industries Inc., EE. UU.), con una eficiencia relativa del 20% que fue calibrado utilizando un patrón de referencia certificado con 8 radionucleidos emisores gamma abarcando, así, un rango de energías de 59,54 a 1836,05 KeV.

Cada muestra se midió durante 172.000 s y el análisis de espectros se realizó con el software de espectrometría Genie2K versión 2.0 (Canberra Industries Inc., EE. UU.)

La resolución del detector estaba en el rango de 1,7-1,8 keV a 1,33 MeV para ^{60}Co .

Las incertidumbres reportadas reflejan errores propagados que surgen del error de conteo correspondiente a 2σ , las calibraciones de eficiencia del detector y las correcciones de fondo.

Para validar los métodos, nuestro laboratorio participa habitualmente en ejercicios interlaboratorios para medir radionucleidos emisores de gamma, en diferentes tipos de muestras, organizadas por la Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA), el Centro Común de Investigación (JRC) y el Consejo Seguridad Nuclear (CSN).

La Tabla 12 recoge los valores de U-238, Ra-226, Th-232, K-40 y Cs-137 en las muestras de suelos recogidas en los mismos 80 puntos en los que se llevó a cabo la medida de la radiación gamma externa. Por otro lado, también se presenta una tabla con los valores más significativos del conjunto de datos.

Punto	²³⁸ U (²³⁴ Th)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	²³² Th (²²⁸ Ac)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	⁴⁰ K	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	¹³⁷ Cs	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)
R1-P1	11,2	4,3	6,1	15,5	1,6	3,1	21,5	5,4	5,6	189,8	11,4	3,4	0,9	0,1	0,6
R1-P2	15,3	5,1	7,2	17,1	2,7	5,4	33,3	8,3	5,4	196,4	11,8	3,9	1,2	0,1	0,6
R2-P1	<L.D.		7,6	24,7	3,2	5,9	42,6	9,9	5,7	321,4	19,3	4,1	3,9	0,4	0,5
R2-P2	11,2	4,4	6,8	16,3	3,1	6,2	35,3	8,8	5,6	345,8	20,7	4,5	0,6	0,1	0,8
R3-P1	24,6	6,1	8,4	8,5	0,8	1,7	26,9	6,7	6,1	489,6	29,4	4,2	1,9	0,2	0,5
R3-P2	31,4	8,9	8,2	9,8	1,0	2,0	41,9	10,5	5,9	478,4	28,7	4,5	2,1	0,2	0,6
R4-P1	12,1	5,4	7,9	13,5	2,6	5,2	22,9	5,7	5,7	365,5	20,4	4,9	3,1	0,3	0,5
R4-P2	9,8	4,9	8,1	13,7	3,4	6,8	29,4	7,4	5,8	247,4	14,8	5,1	<L.D.		0,4
R5-P1	24,6	6,4	8,2	18,7	1,9	3,7	31,8	8,0	6,2	501,1	28,8	6,5	3,4	0,3	0,4
R5-P2	29,4	7,2	8,3	13,2	4,2	7,1	39,4	9,9	4,9	523,4	29,5	6,9	2,1	0,2	0,4
R6-P1	18,1	5,9	7,6	16,5	4,0	6,1	19,4	4,9	4,9	201,4	12,1	5,5	0,9	0,1	0,6
R6-P2	20,6	6,2	7,4	18,1	1,8	6,2	41,2	10,3	5,1	324,5	19,5	6,7	0,7	0,1	0,5
R6-P3	22,7	5,9	7,5	26,9	2,7	6,1	38,6	9,7	4,8	489,5	29,4	6,9	0,9	0,1	0,9
R7-P1	34,8	5,8	7,9	20,4	2,0	5,9	24,8	6,2	4,9	659,9	39,6	5,9	1,6	0,1	0,8
R7-P2	42,6	6,1	7,4	69,8	7,3	6,5	33,1	8,3	5,2	563,2	30,4	5,5	0,9	0,1	0,6
R8-P1	10,6	4,5	6,9	13,4	1,3	6,9	26,9	6,7	5,1	401,2	24,1	5,5	2,1	0,2	0,9
R8-P2	12,4	5,3	6,8	11,7	2,9	5,8	30,5	7,6	4,7	432,9	26,0	6,1	2,2	0,2	0,8
R9-P1	27,9	6,3	7,1	18,8	1,9	3,8	37,5	9,4	5,6	501,7	30,1	5,5	1,9	0,2	0,7
R9-P2	24,3	5,8	8,8	31,5	3,2	5,9	39,9	9,7	5,1	563,9	33,8	5,4	<L.D.		0,6
R9_P3	18,1	4,4	5,9	15,1	2,4	4,8	24,1	6,0	5,2	154,6	9,3	5,3	2,5	0,2	0,5
R10-P1	42,1	8,9	6,1	52,4	5,2	5,5	29,8	7,5	5,7	726,3	43,6	5,3	2,9	0,3	0,5
R10-P2	28,6	3,9	6	15,1	1,5	6,2	31,2	7,8	4,9	756,1	45,4	6,1	3,4	0,3	0,6
R11-P1	<L.D.		7,1	16,4	2,9	5,8	22,9	5,7	6,1	325,6	19,5	5,8	2,9	0,3	0,5
R11-P2	11,2	4,2	6,2	15,1	1,5	3,0	19,2	4,8	5,3	364,3	21,9	5,6	3,8	0,3	0,5

Punto	²³⁸ U (²³⁴ Th)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	²³² Th (²²⁸ Ac)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	⁴⁰ K	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	¹³⁷ Cs	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)
R12_P1	24,6	5,8	5,9	24,7	2,5	4,9	21,9	5,5	5,1	468,7	28,1	5,2	3,4	0,3	0,6
R12_P2	31,4	6,9	5,4	24,6	3,1	6,2	22,2	5,6	5,2	634,1	38,0	5,1	1,8	0,2	0,8
R12_P3	18,9	6,4	6,1	16,3	2,9	5,8	31,5	7,9	5,5	532,3	31,9	5,9	<L.D.		0,7
R13_P1	27,8	6,9	6,3	34,9	3,5	6,4	29,3	7,3	5,7	401,1	24,1	5,8	2,5	0,2	0,5
R13_P2	32,4	8,1	6,4	41,9	4,2	5,9	30,1	7,5	5,6	723,4	39,4	5,5	3,4	0,3	0,6
R13_P3	22,1	7,2	7,1	34,2	3,4	6,1	34,2	8,6	5,2	624,1	31,2	5,4	3,6	0,3	0,5
R14_P1	18,4	6,2	6,2	22,1	2,2	4,4	22,2	5,6	5,3	514,4	30,9	5,1	<L.D.		0,6
R14_P2	12,4	6,1	6,7	19,3	1,9	3,9	26,7	6,7	5,1	328,9	19,7	5,9	1,4	0,1	0,6
R15_P1	24,2	6,8	6,3	31,4	4,1	8,2	31,1	7,8	5,2	514,4	30,9	5,9	2,1	0,2	0,5
R15_P2	21,9	6,1	6,7	24,1	2,4	4,8	46,2	9,9	5,4	588,3	35,3	5,6	2,9	0,3	0,7
R16_P1	30,1	6,8	6,9	18,1	3,2	6,4	18,5	4,6	5,6	622,1	37,3	5,6	3,1	0,3	0,5
R16_P2	27,6	7,1	6,3	24,1	2,4	4,8	22,2	5,6	5,3	509,8	30,6	5,3	2,9	0,3	0,6
R17_P1	11,4	5,2	5,9	23,5	2,4	4,7	26,5	6,6	5,2	536,4	32,2	5,3	1,8	0,2	0,7
R17_P2	18,9	4,9	5,8	15,8	1,6	3,2	31,4	7,9	5,0	411	24,7	5,7	1,8	0,2	0,6
R18_P1	<L.D.		6,1	14,6	2,4	4,8	24,8	5,9	4,9	389,7	23,4	5,8	2,9	0,3	0,7
R18_P2	11,4	5,2	7,8	17,9	1,8	3,6	31	7,4	6,1	158,9	9,5	5,4	4,2	0,4	0,6
R19-P1	36,4	6,8	8,1	48,9	4,9	5,9	31,1	7,1	5,4	742,2	44,5	5,9	2,5	0,2	0,6
R19-P2	20,4	5,4	6,2	26,4	2,6	5,3	34,9	8,1	5,3	369,9	22,2	5,6	2,4	0,2	0,5
R20-P1	15,7	4,6	5,9	23,4	2,3	4,7	29,5	7,6	5,7	477,9	28,7	5,3	<L.D.		0,6
R20-P2	22,6	5,1	6,4	19,3	1,9	3,9	30,4	7,6	5,6	478,6	28,7	5,5	2,6	0,2	0,7
R21-P1	<L.D.		6,5	17,0	1,7	3,4	28,4	7,1	5,2	522,1	31,3	5,7	2,7	0,2	0,6
R21-P2	11,6	4,9	6,3	36,9	3,7	7,4	26,6	6,7	5,1	389,4	23,4	5,8	5,6	0,5	0,7
R22-P1	26,7	6,9	5,9	35,9	3,6	7,2	25,8	6,5	5,7	529,9	31,8	5,5	2,1	0,2	0,8
R22-P2	24,7	6,4	6,4	33,3	4,6	6,2	24,7	6,2	5,5	541,1	32,5	6,1	1,9	0,2	0,5
R22-P3	13,9	6,4	7,1	26,9	2,7	5,4	22	5,5	5,3	199,9	12,0	6,2	1,6	0,1	0,5

Punto	²³⁸ U (²³⁴ Th)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	²³² Th (²²⁸ Ac)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	⁴⁰ K	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	¹³⁷ Cs	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)
R23-P1	38,9	9,9	6,2	48,4	4,8	5,9	41,1	9,8	5,5	789,2	39,4	5,9	3,4	0,3	0,5
R23-P2	42,4	11,9	6,1	61,4	6,4	5,8	38,9	9,7	5,7	699,3	29,9	5,7	4,6	0,4	0,6
R23-P3	21,7	8,1	6,4	26,8	3,9	5,9	26,9	6,7	5,9	514,2	31,2	5,5	<L.D.		0,5
R24-P1	26,1	6,4	6,4	23,5	2,4	4,7	31,4	7,9	4,0	563,1	29,8	5,6	1,8	0,2	0,5
R24-P2	18,4	5,9	5,9	24,9	3,1	6,2	34,8	8,7	4,0	325,4	19,5	5,8	1,9	0,2	0,6
R25-P1	12,9	4,9	8,2	26,6	2,7	5,3	29,8	7,5	5,8	289,8	17,4	5,1	5,1	0,5	0,7
R25-P2	<L.D.		6,4	36,8	3,7	5,9	22,9	5,7	5,9	302,2	18,1	5,5	3,8	0,3	0,5
R26-P1	31,4	8,2	7,2	23,4	2,3	4,7	46,9	8,9	4,5	685,6	41,1	4,9	3,1	0,3	0,5
R26_P2	18,9	4,9	6,2	23,9	2,4	4,8	31,4	7,9	4,8	263,6	15,8	6,1	2,1	0,2	0,6
R27_P1	7,9	4,2	5,9	34,5	3,5	6,1	30,9	7,7	5,3	462,3	27,7	5,3	1,9	0,2	0,6
R27_P2	<LD		7,1	21,6	2,9	5,8	22,4	5,6	5,7	469,4	28,2	5,8	4,8	0,4	0,7
R28-P1	22,1	6,9	6,2	38,9	3,9	5,9	28,8	7,2	5,8	501,2	30,1	5,9	2,6	0,2	0,5
R28-P2	29,8	7,1	6,3	51,2	5,1	5,4	41,1	9,6	4,9	475,3	28,5	5,6	2,7	0,2	0,5
R28-P3	14,6	6,9	5,9	39,5	4,0	5,9	23,3	5,8	4,6	399,7	24,0	5,6	5,8	0,5	0,5
R29_P1	<L.D.		6,9	24,8	2,5	5,0	19,8	5,0	4,8	269,9	16,2	5,6	3,1	0,3	0,5
R29-P2	12,4	4,9	5,9	31,4	3,1	5,9	10,4	2,6	5,1	415,8	24,9	5,7	1,6	0,1	0,6
R29-P3	14,3	5,1	6,1	35,1	3,5	6,1	11,9	3,0	5,2	504,5	30,3	5,5	4,6	0,4	0,6
R30_P1	25,6	7,9	6,3	39,9	4,0	6,1	29,9	7,5	5,3	745,6	44,7	5,7	3,6	0,3	0,5
R30_P2	31,9	8,8	6,4	38,4	3,8	6,1	26,7	6,7	5,7	638,7	38,3	6,1	3,4	0,3	0,6
R30_P3	24,5	8,4	6,2	41,2	4,1	5,9	23,4	5,9	4,9	568,2	34,1	6,2	2,9	0,3	0,6
R31_P1	23,8	8,2	6,1	39,9	4,0	5,9	38,8	9,7	6,1	542,2	32,5	5,8	2,5	0,2	0,7
R31_P2	16,9	3,9	5,9	18,7	3,6	6,1	34,4	8,6	5,6	369,7	22,2	5,4	2,4	0,2	0,6
R32_P1	14,3	4,3	6,9	16,5	2,9	5,8	33,2	8,3	5,4	348,9	20,9	6,7	3,4	0,3	0,5
R32_P2	12,4	4,3	7,4	38,9	3,9	6,3	29,8	7,5	5,7	399,8	24,0	6,5	3,4	0,3	0,5
R32_P3	<L.D.		7,9	17,1	2,8	5,9	24,1	6,0	4,9	401,8	24,1	5,3	3,1	0,3	0,5

Punto	²³⁸ U (²³⁴ Th)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	²³² Th (²²⁸ Ac)	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	⁴⁰ K	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)	¹³⁷ Cs	u (Bq/Kg)	LD (Bq/Kg)
R33_P1	14,4	5,2	6,4	7,8	0,8	1,6	26,3	6,6	6,0	498,7	29,9	5,5	3,4	0,3	0,6
R33_P2	<L.D.		6,9	10,6	1,1	6,5	21,4	5,4	6,4	415,2	24,9	5,7	2,4	0,2	0,5
R33_P3	16,9	4,3	8,6	10,8	1,1	2,2	19,8	5,0	5,7	532,9	32,0	5,8	3,8	0,3	0,6
R34_P1	22,1	5,1	7,8	13,1	1,3	5,9	14,2	3,6	5,3	601,2	36,1	6,1	2,1	0,2	0,5
R34_P2	14,9	4,9	6,4	12,4	1,2	2,5	29,9	7,5	6,2	398,9	23,9	5,8	1,4	0,1	0,5
R34_P3	26,9	6,1	6,3	9,9	1,0	5,8	30,4	7,6	5,4	692,1	41,5	5,9	2,9	0,3	0,5

Tabla 12. Espectrometría gamma

Elemento	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
U-238	21,8	8,5	7,9	40,0
Ra-226	25,4	12,6	7,8	69,8
Th-232	29,0	7,4	10,4	46,9
K-40	467,7	150,1	154,6	789,2
Cs-137	2,7	1,1	0,6	5,8

Tabla 13. Valores estadísticos

1.c.- Exhalación de radón de suelos. Universidad de Cantabria

Además de los resultados obtenidos por los parámetros de radiación gamma externa y espectrometría gamma, que nos dan información sobre los elementos radiactivos presentes en ese suelo y que pueden ser precursores de radón, es importante medir la exhalación de radón de ese mismo suelo.

La exhalación de radón es la liberación de gas radón al aire atmosférico y su medida resulta de vital importancia ya que unos valores altos de exhalación suponen un mayor riesgo de exposición a la radiación para los seres vivos.

La exhalación de radón depende de varios factores. Inicialmente tiene que haber emanación y transporte de radón desde las capas más profundas del suelo para que finalmente el gas exhale hacia la superficie. A parte de esto, el nivel de exhalación está muy influenciado por el contenido en humedad del suelo, la velocidad del viento, las variaciones diurnas y la presión. Con respecto a esta última, se ha observado que en periodos de bajas presiones atmosféricas la concentración de radón en el interior de las viviendas incrementa.

Por lo tanto, la medida de la exhalación de radón del suelo en el entorno kárstico nos va a proporcionar información sobre el riesgo en dichas zonas de que haya gas radón en las viviendas.

Para este proyecto, se marcó como objetivo la medida de la exhalación en 160 puntos de Cantabria. En total se cuenta con un número de 615 medidas, ya que se decidió hacer más de una medida por cada punto.

El ensayo se llevó a cabo empleando cartuchos de carbón activo, colocándose 5 por cada punto y durante una exposición de 24 horas. Tras su recogida, se analizaron en laboratorio a través de un detector de yoduro de sodio dopado con talio. El procedimiento seguido está acreditado por ENAC y forma parte del conjunto de actividades desarrolladas por LARUC en dicho marco.

En las siguientes tablas se muestran todos los resultados obtenidos, así como el mapa:

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R1- P1	< L.D.	-	40
R1- P1	< L.D.	-	40
R1- P1	< L.D.	-	40
R1- P1	142	96	40
R1- P1	< L.D.	-	40
R1- P2	< L.D.	-	40
R1- P2	< L.D.	-	40
R1- P2	< L.D.	-	40
R1- P2	< L.D.	-	40
R1- P2	< L.D.	-	40
R1- P3	< L.D.	-	40
R1- P3	176	97	40
R1- P3	< L.D.	-	40
R1- P3	140	95	40
R1- P3	< L.D.	-	40
R1- P4	< L.D.	-	40
R1- P4	161	96	40
R1- P4	< L.D.	-	40
R1- P4	< L.D.	-	40
R1- P4	139	95	40
R1- P5	216	100	40
R1- P5	< L.D.	-	40
R1- P5	< L.D.	-	40
R1- P5	< L.D.	-	40
R1- P5	150	96	40
R2- P1	< L.D.	-	40
R2- P1	< L.D.	-	41
R2- P1	151	92	40
R2- P1	< L.D.	-	40
R2- P1	< L.D.	-	41
R2- P2	< L.D.	-	40
R2- P2	< L.D.	-	40
R2- P2	< L.D.	-	40
R2- P2	< L.D.	-	40
R2- P2	< L.D.	-	40
R2- P3	< L.D.	-	40
R2- P3	< L.D.	-	40
R2- P3	< L.D.	-	40
R2- P3	< L.D.	-	40
R2- P3	< L.D.	-	40
R2- P4	< L.D.	-	40
R2- P4	< L.D.	-	40
R2- P4	< L.D.	-	40
R2- P4	< L.D.	-	40
R2- P4	< L.D.	-	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R3- P1	< L.D.	-	40
R3- P1	< L.D.	-	40
R3- P1	< L.D.	-	40
R3- P1	< L.D.	-	40
R3- P1	< L.D.	-	40
R3- P2	216	91	40
R3- P2	207	91	40
R3- P2	< L.D.	-	40
R3- P2	172	90	40
R3- P2	216	92	40
R3- P3	161	90	40
R3- P3	< L.D.	-	40
R3- P3	181	91	40
R3- P3	160	91	40
R3- P3	138	90	40
R3- P4	< L.D.	-	40
R3- P4	< L.D.	-	40
R3- P4	< L.D.	-	40
R3- P4	< L.D.	-	40
R3- P4	< L.D.	-	40
R4- P1	< L.D.	-	40
R4- P1	147	90	40
R4- P1	236	95	40
R4- P1	< L.D.	-	40
R4- P1	< L.D.	-	40
R4- P2	142	90	40
R4- P2	< L.D.	-	40
R4- P2	< L.D.	-	40
R4- P2	205	94	40
R4- P2	192	94	40
R4- P3	150	89	40
R4- P3	156	90	40
R4- P3	< L.D.	-	40
R4- P3	< L.D.	-	40
R4- P3	< L.D.	-	40
R4- P4	145	90	40
R4- P4	< L.D.	-	40
R4- P4	168	91	40
R4- P4	152	89	40
R4- P4	< L.D.	-	40
R4- P5	131	89	40
R4- P5	194	92	40
R4- P5	< L.D.	-	40
R4- P5	206	92	40
R4- P5	254	95	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R5- P1	100	90	40
R5- P1	127	90	40
R5- P1	86	70	40
R5- P1	131	91	40
R5- P1	197	92	40
R5- P2	161	88	40
R5- P2	237	92	40
R5- P2	280	94	40
R5- P2	< L.D.	-	40
R5- P2	219	91	40
R5- P3	239	92	40
R5- P3	223	91	40
R5- P3	267	94	40
R5- P3	166	88	40
R5- P3	< L.D.	-	40
R5- P4	121	90	40
R5- P4	< L.D.	-	40
R5- P4	164	92	40
R5- P4	256	92	40
R5- P4	120	90	40
R6- P1	< L.D.	-	40
R6- P1	< L.D.	-	40
R6- P1	< L.D.	-	40
R6- P1	< L.D.	-	40
R6- P1	< L.D.	-	40
R6- P2	< L.D.	-	40
R6- P2	< L.D.	-	40
R6- P2	< L.D.	-	40
R6- P2	< L.D.	-	40
R6- P2	< L.D.	-	40
R6- P3	< L.D.	-	40
R6- P3	< L.D.	-	40
R6- P3	< L.D.	-	40
R6- P3	< L.D.	-	40
R6- P3	< L.D.	-	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R7- P1	< L.D.	-	40
R7- P1	< L.D.	-	40
R7- P1	< L.D.	-	40
R7- P1	< L.D.	-	40
R7- P1	< L.D.	-	40
R7- P2	194	92	40
R7- P2	< L.D.	-	40
R7- P2	< L.D.	-	40
R7- P2	< L.D.	-	40
R7- P2	225	95	40
R7- P3	< L.D.	-	40
R7- P3	< L.D.	-	40
R7- P3	< L.D.	-	40
R7- P3	< L.D.	-	40
R7- P3	236	94	40
R7- P4	148	89	40
R7- P4	< L.D.	-	40
R7- P4	< L.D.	-	40
R7- P4	< L.D.	-	40
R7- P4	144	89	40
R7- P5	134	88	40
R7- P5	134	88	40
R7- P5	< L.D.	-	40
R7- P5	269	94	40
R7- P5	< L.D.	-	40
R8- P1	< L.D.	-	40
R8- P1	< L.D.	-	40
R8- P1	< L.D.	-	40
R8- P1	< L.D.	-	40
R8- P1	< L.D.	-	40
R8- P2	< L.D.	-	40
R8- P2	162	92	40
R8- P2	138	91	40
R8- P2	< L.D.	-	40
R8- P2	220	96	40
R8- P3	< L.D.	-	40
R8- P3	< L.D.	-	40
R8- P3	< L.D.	-	40
R8- P3	165	95	40
R8- P3	< L.D.	-	40
R8- P4	< L.D.	-	40
R8- P4	< L.D.	-	40
R8- P4	181	94	40
R8- P4	< L.D.	-	40
R8- P4	< L.D.	-	40
R8- P5	< L.D.	-	40
R8- P5	< L.D.	-	40
R8- P5	168	89	40
R8- P5	177	90	40
R8- P5	< L.D.	-	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R9-P1	290	98	40
R9-P1	244	96	40
R9-P1	< L.D.	-	40
R9-P1	269	97	40
R9-P1	< L.D.	-	40
R9-P2	< L.D.	-	40
R9-P2	< L.D.	-	40
R9-P2	< L.D.	-	40
R9-P2	< L.D.	-	40
R9-P2	132	90	40
R9-P3	< L.D.	-	40
R9-P3	183	92	40
R9-P3	< L.D.	-	40
R9-P3	< L.D.	-	40
R9-P3	< L.D.	-	40
R9-P4	273	100	40
R9-P4	< L.D.	-	40
R9-P4	203	91	40
R9-P4	< L.D.	-	40
R9-P4	161	91	40
R9-P5	< L.D.	-	40
R9-P5	< L.D.	-	40
R9-P5	198	91	40
R9-P5	< L.D.	-	40
R9-P5	152	89	40
R10-P1	< L.D.	-	40
R10-P1	< L.D.	-	40
R10-P1	< L.D.	-	40
R10-P1	< L.D.	-	40
R10-P1	206	90	40
R10-P2	< L.D.	-	40
R10-P2	< L.D.	-	40
R10-P2	< L.D.	-	40
R10-P2	< L.D.	-	40
R10-P2	< L.D.	-	40
R11-P1	< L.D.	-	40
R11-P1	< L.D.	-	40
R11-P1	< L.D.	-	40
R11-P1	< L.D.	-	40
R11-P1	< L.D.	-	40
R11-P2	< L.D.	-	40
R11-P2	144	90	40
R11-P2	100	90	40
R11-P2	107	91	40
R11-P2	128	90	40
R11-P3	< L.D.	-	40
R11-P3	< L.D.	-	40
R11-P3	< L.D.	-	40
R11-P3	< L.D.	-	40
R11-P3	< L.D.	-	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R12-P1	< L.D.	-	40
R12-P1	< L.D.	-	40
R12-P1	< L.D.	-	40
R12-P1	< L.D.	-	40
R12-P1	< L.D.	-	40
R12-P2	265	95	40
R12-P2	< L.D.	-	40
R12-P2	< L.D.	-	40
R12-P2	269	96	40
R12-P2	254	95	40
R12-P3	243	99	40
R12-P3	< L.D.	-	40
R12-P3	< L.D.	-	40
R12-P3	< L.D.	-	40
R12-P3	< L.D.	-	40
R12-P4	< L.D.	-	40
R12-P4	< L.D.	-	40
R12-P4	< L.D.	-	40
R12-P4	< L.D.	-	40
R12-P4	< L.D.	-	40
R13-P1	227	94	40
R13-P1	150	92	40
R13-P1	< L.D.	-	40
R13-P1	143	95	40
R13-P1	150	91	40
R13-P2	< L.D.	-	40
R13-P2	< L.D.	-	40
R13-P2	133	87	40
R13-P2	< L.D.	-	40
R13-P2	< L.D.	-	40
R13-P3	218	92	40
R13-P3	< L.D.	-	40
R13-P3	< L.D.	-	40
R13-P3	< L.D.	-	40
R13-P3	< L.D.	-	40
R13-P4	< L.D.	-	40
R13-P4	< L.D.	-	40
R13-P4	< L.D.	-	40
R13-P4	< L.D.	-	40
R13-P4	< L.D.	-	40
R14-P1	< L.D.	-	40
R14-P1	< L.D.	-	40
R14-P1	< L.D.	-	40
R14-P1	< L.D.	-	40
R14-P1	< L.D.	-	40
R14-P2	< L.D.	-	40
R14-P2	103	92	40
R14-P2	< L.D.	-	40
R14-P2	< L.D.	-	40
R14-P2	< L.D.	-	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R15-P1	< L.D.	-	40
R15-P1	< L.D.	-	40
R15-P1	< L.D.	-	40
R15-P1	< L.D.	-	40
R15-P1	< L.D.	-	40
R15-P2	< L.D.	-	40
R15-P2	< L.D.	-	40
R15-P2	< L.D.	-	40
R15-P2	< L.D.	-	40
R15-P2	< L.D.	-	40
R16-P1	< L.D.	-	40
R16-P1	< L.D.	-	40
R16-P1	< L.D.	-	40
R16-P1	< L.D.	-	40
R16-P1	< L.D.	-	40
R16-P2	< L.D.	-	40
R16-P2	< L.D.	-	40
R16-P2	< L.D.	-	40
R16-P2	< L.D.	-	40
R16-P2	< L.D.	-	40
R17-P1	< L.D.	-	40
R17-P1	< L.D.	-	40
R17-P1	< L.D.	-	40
R17-P1	< L.D.	-	40
R17-P1	< L.D.	-	40
R17-P2	< L.D.	-	40
R17-P2	< L.D.	-	40
R17-P2	< L.D.	-	40
R17-P2	129	86	40
R17-P2	< L.D.	-	40
R17-P3	< L.D.	-	40
R17-P3	< L.D.	-	40
R17-P3	< L.D.	-	40
R17-P3	< L.D.	-	40
R17-P3	< L.D.	-	40
R18-P1	< L.D.	-	40
R18-P1	< L.D.	-	40
R18-P1	< L.D.	-	40
R18-P1	< L.D.	-	40
R18-P1	< L.D.	-	40
R18-P2	< L.D.	-	40
R18-P2	< L.D.	-	40
R18-P2	< L.D.	-	40
R18-P2	< L.D.	-	40
R18-P2	157	88	40
R18-P3	< L.D.	-	40
R18-P3	< L.D.	-	40
R18-P3	< L.D.	-	40
R18-P3	< L.D.	-	40
R18-P3	< L.D.	-	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R19-P1	< L.D.	-	40
R19-P1	< L.D.	-	40
R19-P1	< L.D.	-	40
R19-P1	< L.D.	-	40
R19-P1	153	89	40
R19-P2	148	89	40
R19-P2	129	87	40
R19-P2	< L.D.	-	40
R19-P2	< L.D.	-	40
R19-P2	< L.D.	-	40
R19-P3	< L.D.	-	40
R19-P3	187	92	40
R19-P3	< L.D.	-	40
R19-P3	< L.D.	-	40
R19-P3	< L.D.	-	40
R20-P1	168	89	40
R20-P1	< L.D.	-	40
R20-P1	133	89	40
R20-P1	255	94	40
R20-P1	227	92	40
R20-P2	190	91	40
R20-P2	< L.D.	-	40
R20-P2	161	88	40
R20-P2	< L.D.	-	40
R20-P2	237	93	40
R20-P3	< L.D.	-	40
R20-P3	< L.D.	-	40
R20-P3	< L.D.	-	40
R20-P3	< L.D.	-	40
R20-P3	153	88	40
R20-P4	< L.D.	-	40
R20-P4	133	87	40
R20-P4	< L.D.	-	40
R20-P4	235	93	40
R20-P4	< L.D.	-	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R21-P1	195	92	40
R21-P1	< L.D.	-	40
R21-P1	149	88	40
R21-P1	184	89	40
R21-P1	< L.D.	-	40
R21-P2	< L.D.	-	40
R21-P2	< L.D.	-	40
R21-P2	< L.D.	-	40
R21-P2	< L.D.	-	40
R21-P2	< L.D.	-	40
R21-P3	< L.D.	-	40
R21-P3	231	93	40
R21-P3	< L.D.	-	40
R21-P3	< L.D.	-	40
R21-P3	< L.D.	-	40
R21-P4	< L.D.	-	40
R21-P4	157	90	40
R21-P4	< L.D.	-	40
R21-P4	< L.D.	-	40
R21-P4	< L.D.	-	40
R21-P5	< L.D.	-	40
R21-P5	< L.D.	-	40
R21-P5	< L.D.	-	40
R21-P5	< L.D.	-	40
R21-P5	< L.D.	-	40
R22-P1	< L.D.	-	40
R22-P1	< L.D.	-	40
R22-P1	< L.D.	-	40
R22-P1	< L.D.	-	40
R22-P1	187	86	40
R22-P2	271	89	40
R22-P2	194	85	40
R22-P2	< L.D.	-	40
R22-P2	< L.D.	-	40
R22-P2	< L.D.	-	40
R22-P3	< L.D.	-	40
R22-P3	< L.D.	-	40
R22-P3	217	90	40
R22-P3	< L.D.	-	40
R22-P3	< L.D.	-	40
R22-P4	189	87	40
R22-P4	< L.D.	-	40
R22-P4	149	85	40
R22-P4	140	86	40
R22-P4	< L.D.	-	40
R22-P5	145	88	40
R22-P5	194	90	40
R22-P5	171	89	40
R22-P5	< L.D.	-	40
R22-P5	249	92	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R23-P1	206	91	40
R23-P1	212	88	40
R23-P1	271	91	40
R23-P1	224	89	40
R23-P1	282	92	40
R23-P2	< L.D.	-	40
R23-P2	213	90	40
R23-P2	172	87	40
R23-P2	160	88	40
R23-P2	218	90	40
R23-P3	< L.D.	-	40
R23-P3	< L.D.	-	40
R23-P3	< L.D.	-	40
R23-P3	< L.D.	-	40
R23-P3	< L.D.	-	40
R24-P1	215	90	40
R24-P1	< L.D.	-	40
R24-P1	< L.D.	-	40
R24-P1	153	86	40
R24-P1	< L.D.	-	40
R24-P2	< L.D.	-	40
R24-P2	126	86	40
R24-P2	206	89	40
R24-P2	214	90	40
R24-P2	< L.D.	-	40
R24-P3	< L.D.	-	40
R24-P3	< L.D.	-	40
R24-P3	< L.D.	-	40
R24-P3	< L.D.	-	40
R24-P3	< L.D.	-	40
R25-P1	143	91	40
R25-P1	< L.D.	-	40
R25-P1	136	91	40
R25-P1	155	90	40
R25-P1	145	90	40
R25-P2	< L.D.	-	40
R25-P2	< L.D.	-	40
R25-P2	144	90	40
R25-P2	< L.D.	-	40
R25-P2	< L.D.	-	40
R25-P3	< L.D.	-	40
R25-P3	< L.D.	-	40
R25-P3	< L.D.	-	40
R25-P3	< L.D.	-	40
R25-P3	< L.D.	-	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R26-P1	157	92	40
R26-P1	138	92	40
R26-P1	< L.D.	-	40
R26-P1	< L.D.	-	40
R26-P1	< L.D.	-	40
R26-P2	263	99	40
R26-P2	210	95	40
R26-P2	250	103	41
R26-P2	263	99	40
R26-P2	< L.D.	-	40
R26-P3	< L.D.	-	40
R26-P3	< L.D.	-	40
R26-P3	< L.D.	-	40
R26-P3	199	96	40
R26-P3	< L.D.	-	40
R26-P4	< L.D.	-	41
R26-P4	228	98	40
R26-P4	< L.D.	-	40
R26-P4	< L.D.	-	40
R26-P4	< L.D.	-	40
R26-P5	< L.D.	-	40
R26-P5	< L.D.	-	40
R26-P5	< L.D.	-	40
R26-P5	< L.D.	-	40
R26-P5	< L.D.	-	40
R27-P1	< L.D.	-	40
R27-P1	172	90	40
R27-P1	< L.D.	-	40
R27-P1	227	91	40
R27-P1	< L.D.	-	40
R27-P2	199	92	40
R27-P2	156	90	40
R27-P2	135	89	40
R27-P2	< L.D.	-	40
R27-P2	< L.D.	-	40
R27-P3	174	89	40
R27-P3	< L.D.	-	40
R27-P3	< L.D.	-	40
R27-P3	< L.D.	-	40
R27-P3	< L.D.	-	40
R27-P4	197	91	40
R27-P4	< L.D.	-	40
R27-P4	147	88	40
R27-P4	217	92	40
R27-P4	< L.D.	-	40
R27-P5	< L.D.	-	40
R27-P5	155	93	40
R27-P5	< L.D.	-	40
R27-P5	166	89	40
R27-P5	284	95	40
R27-P6	< L.D.	-	40
R27-P6	< L.D.	-	40
R27-P6	< L.D.	-	40
R27-P6	185	92	40
R27-P6	< L.D.	-	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R28-P1	141	92	40
R28-P1	< L.D.	-	40
R28-P1	< L.D.	-	40
R28-P1	< L.D.	-	40
R28-P1	< L.D.	-	40
R28-P2	< L.D.	-	40
R28-P2	< L.D.	-	40
R28-P2	< L.D.	-	40
R28-P2	< L.D.	-	40
R28-P2	< L.D.	-	40
R28-P3	< L.D.	-	40
R28-P3	192	95	40
R28-P3	< L.D.	-	40
R28-P3	246	94	40
R28-P3	< L.D.	-	40
R28-P4	< L.D.	-	40
R28-P4	200	94	40
R28-P4	204	92	40
R28-P4	< L.D.	-	40
R28-P4	139	91	40
R29-P1	< L.D.	-	40
R29-P1	< L.D.	-	40
R29-P1	< L.D.	-	40
R29-P1	< L.D.	-	40
R29-P1	< L.D.	-	40
R29-P2	< L.D.	-	40
R29-P2	< L.D.	-	40
R29-P2	< L.D.	-	40
R29-P2	< L.D.	-	40
R29-P2	< L.D.	-	40
R29-P3	< L.D.	-	40
R29-P3	142	93	40
R29-P3	< L.D.	-	40
R29-P3	156	90	40
R29-P3	< L.D.	-	40
R29-P4	< L.D.	-	40
R29-P4	190	91	40
R29-P4	< L.D.	-	40
R29-P4	< L.D.	-	40
R29-P4	< L.D.	-	40

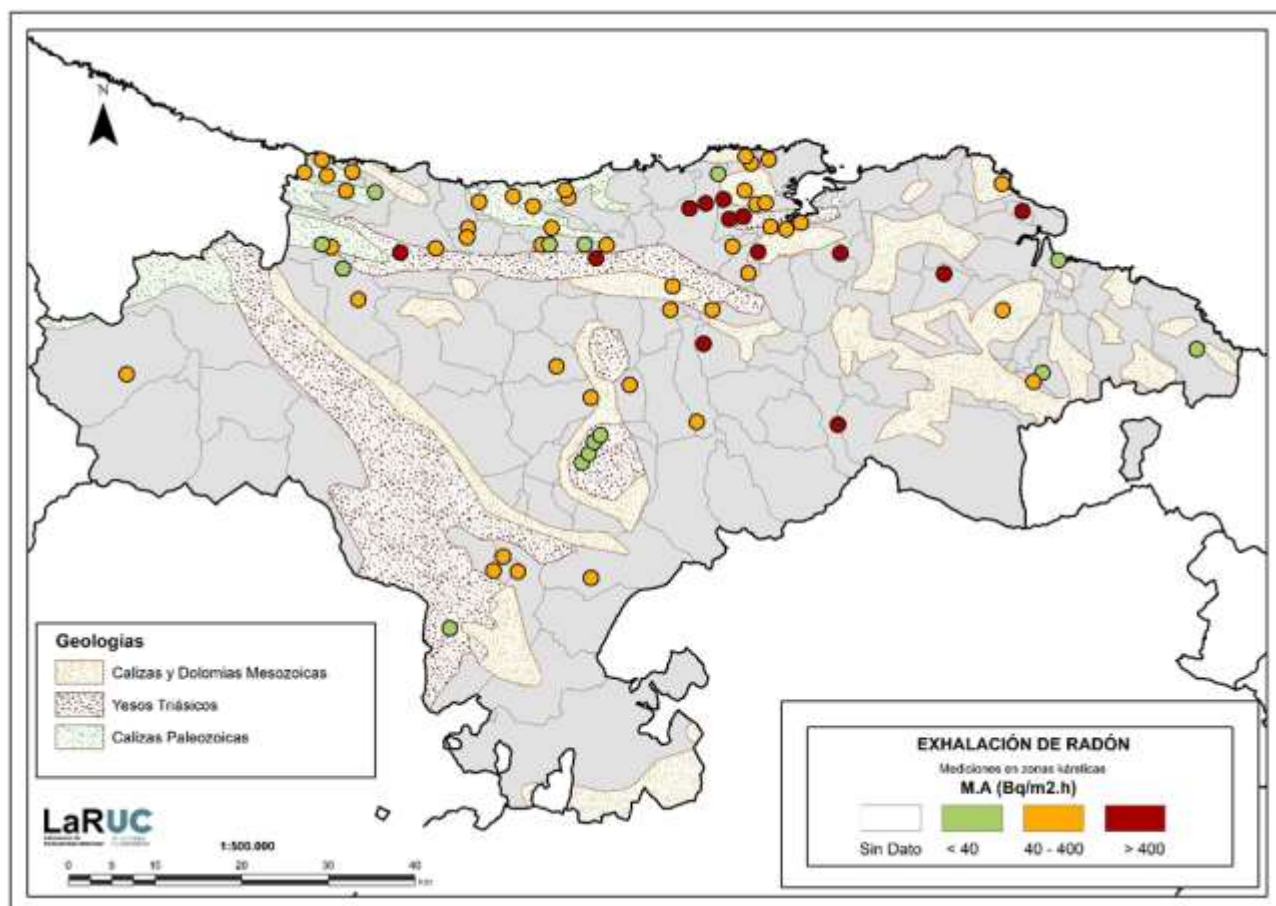
Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R30-P1	< L.D.	-	40
R30-P1	< L.D.	-	40
R30-P1	< L.D.	-	40
R30-P1	< L.D.	-	40
R30-P1	< L.D.	-	40
R30-P2	< L.D.	-	40
R30-P2	< L.D.	-	40
R30-P2	< L.D.	-	40
R30-P2	< L.D.	-	40
R30-P2	< L.D.	-	40
R30-P3	< L.D.	-	40
R30-P3	< L.D.	-	40
R30-P3	< L.D.	-	40
R30-P3	< L.D.	-	40
R30-P3	< L.D.	-	40
R30-P4	< L.D.	-	40
R30-P4	< L.D.	-	40
R30-P4	< L.D.	-	40
R30-P4	< L.D.	-	40
R30-P4	< L.D.	-	40
R31-P1	133	86	40
R31-P1	138	84	40
R31-P1	131	88	40
R31-P1	< L.D.	-	40
R31-P1	< L.D.	-	40
R31-P2	183	93	40
R31-P2	146	83	40
R31-P2	144	86	40
R31-P2	133	87	40
R31-P2	< L.D.	-	40
R31-P3	250	92	40
R31-P3	< L.D.	-	40
R31-P3	213	90	40
R31-P3	126	84	40
R31-P3	< L.D.	-	40

Punto	Resultado (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	L.D. (Bq/m ² .h)
R32-P1	< L.D.	-	40
R32-P1	224	92	40
R32-P1	< L.D.	-	40
R32-P1	< L.D.	-	40
R32-P1	< L.D.	-	40
R32-P2	152	88	40
R32-P2	< L.D.	-	40
R32-P2	127	86	40
R32-P2	< L.D.	-	40
R32-P2	< L.D.	-	40
R32-P3	< L.D.	-	40
R32-P3	< L.D.	-	40
R32-P3	< L.D.	-	40
R32-P3	< L.D.	-	40
R32-P3	< L.D.	-	40
R32-P4	< L.D.	-	40
R32-P4	< L.D.	-	40
R32-P4	< L.D.	-	40
R32-P4	171	90	40
R32-P4	< L.D.	-	40
R33-P1	< L.D.	-	40
R33-P1	< L.D.	-	40
R33-P1	< L.D.	-	40
R33-P1	< L.D.	-	40
R33-P1	< L.D.	-	40
R33-P2	< L.D.	-	40
R33-P2	< L.D.	-	40
R33-P2	< L.D.	-	40
R33-P2	< L.D.	-	40
R33-P2	< L.D.	-	40

Tabla 14. Exhalación

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Nº medidas
Exhalación (Bq/m ² .h)	82,3	69,7	40,0	290,0	615

Tabla 15. Valores estadísticos



Mapa 9

1.c.- Exhalación de radón de suelos. Universidad Politécnica de Valencia

Se han llevado a cabo medidas de la exhalación de radón en 97 puntos, los mismos que se eligieron para la radiación gamma externa y resto de análisis de suelos.

El equipo de medida del ISIRYM son electretes con la cámara H. La cámara H presenta una ventana de difusión grande que dispone de un collar de acero inoxidable que facilita la inserción de la cámara en la tierra evitando la dispersión del gas contenido medido. Se han realizado medidas de 5-6 horas en cada punto de muestreo.

Celda	Nº medida	Fecha de toma	Localidad	Coordenadas GPS	Tasa Exhalación (Bq/h·m²)	$u_{tasa\ exhalación}$ (Bq/h·m²) k=1
1	1	14/03/2024	Ortells	40°41'22.0"N 0°10'38.6"W	5.77	0.79
	2	14/03/2024	Villores	40°40'45.2"N 0°12'15.3"W	46.02	2.41
2	3	14/03/2024	Pobla d'alcolea	40°41'34.4"N 0°04'28.2"W	6.82	0.66
3	4	13/03/2024	La Mata de Morella	40°37'18.6"N 0°15'56.4"W	14.38	0.91

	5	13/03/2024	Todoella	40°38'00.4"N 0°15'14.6"W	15	0.99
4	6	13/03/2024	Forcall	40°38'43.8"N 0°12'59.8"W	21.97	1.36
5	7	14/03/2024	Herbeser	40°37'27.6"N 0°05'31.4"W	10.68	0.73
6	8	19/04/2024	Vallibona	40°35'40.5"N 0°01'44.3"E	20.61	1.3
7	9	25/01/2024	Rossell	40°37'9.0" N 0°13'1.8" E	15.11	0.79
8	10	13/03/2024	Portell de Morella	40°32'55.7"N 0°15'08.9"W	23.4	1.3
9	11	18/04/2024	Campello	40°32'57.0"N 0°07'28.0"W	102.18	5.23
10	12	18/04/2024	Ermita de la Bota	40°33'18.0"N 0°00'03.3"E	36.24	5.07
11	13	18/04/2024	Anroig	40°30'58.7"N 0°07'40.1"E	18.86	1.27
	14	18/04/2024	Vallivana	40°32'20.6"N 0°03'25.5"E	24.92	1.88
12	15	25/01/2024	Canet lo Roig	40°33'41.3"N 0°14'05.9"E	9.98	0.7
13	16	25/01/2024	S. Rafael del Rio	40°34'48.8" N 0°19'32.9" E	27.64	1.62
	17	25/01/2024	Traiguera	40°32'34.1"N 0°18'29.0"E	13.02	0.82
14	18	15/02/2024	Villafranca del Cid	40°26'49.5"N 0°13'56.7"W	11.29	0.93
15	19	15/02/2024	Ares del Maestre	40°27'14.4"N 0°08'34.6"W	217	30
	20	15/02/2024	Hermita de Santa Elena	40°27'23.2"N 0°10'50.2"W	5.09	0.69
16	21	06/02/2024	Catí	40°27'02.6"N 0°00'11.0"W	17.1	1.16
17	22	21/02/2024	Tirig	40°25'07.9"N 0°05'26.5"E	54.36	2.97
18	23	19/04/2024	La Jana	40°30'49.4"N 0°15'37.8"E	65.73	3.36
	24	19/04/2024	San Mateo	40°27'29.3"N 0°11'41.2"E	19.89	1.22
19	25	19/04/2024	Cervera del Maestre	40°28'03.4"N 0°18'10.7"E	4.12	0.85
20	26	17/04/2024	Vinaròs	40°30'50.2"N 0°25'29.4"E	25.35	1.43
21	27	15/02/2024	Vistabella del Maestrazgo	40°17'45.8"N 0°17'18.4"W	17.58	1.12
22	28	06/02/2024	Benasal	40°23'13.8"N 0°07'51.7"W	18.65	1.38
	29	06/02/2024	Culla	40°20'29.8"N 0°09'26.6"W	17.73	1.18
23	30	06/02/2024	San Pau	40°20'40.6"N 0°00'29.8"W	27.03	1.53
24	31	21/02/2024	Mas dels Calduchs	40°23'19.5"N 0°07'19.2"E	29.84	1.6
	32	21/02/2024	Mas D'en Rieres	40°22'43.6"N 0°08'25.0"E	16.26	1
25	33	21/02/2024	Salsadella	40°25'03.7"N 0°10'59.2"E	20.78	1.27
26	34	17/04/2024	Santa Magdalena de Pulpis	40°20'59.9"N 0°18'21.8"E	25.72	1.54
	35	17/04/2024	Peñíscola	40°22'33.8"N 0°23'04.4"E	58.28	3.013

27	36	17/04/2024	Benicarló	40°25'27.4"N 0°23'53.4"E	25.68	1.54
28	37	30/01/2024	Villahermosa del Rio	40°12'00.8"N 0°26'19.2"W	21.94	1.3
29	38	30/01/2024	Mas del Borras	40°12'40.5"N 0°23'52.8"W	12.76	0.92
30	39	24/01/2024	Adzaneta	40°12'43.4"N 0°10'56.2"W	6.82	0.86
	40	24/01/2024	Xodos	40°14'24.2"N 0°16'17.6"W	10.12	0.87
31	41	08/02/2024	Els Ibarsos	40°14'06.1"N 0°05'18.9"W	2.64	0.62
32	42	14/02/2024	Els Rosildos	40°18'33.5"N 0°01'53.6"W	26.28	1.57
32	43	14/02/2024	Sarratella	40°18'22.2"N 0°01'50.6"E	22.72	1.26
33	44	14/02/2024	Torre d'En Doménec	40°16'02.5"N 0°04'10.9"E	17.06	0.97
34	45	31/01/2024	Alcalá de Chivert	40°16'29.1"N 0°13'56.9"E	8.2	0.78
	46	31/01/2024	Alcocebre	40°15'08.8"N 0°16'47.1"E	5.89	0.75
35	47	31/01/2024	Parque Sierra Irta	40°15'50.1"N 0°17'56.3"E	16.82	1.15
36	48	18/01/2024	Puebla de Arenoso	40°05'59.6"N 0°34'24.8"W	8.89	0.73
37	49	30/01/2024	Zucaina	40°07'47.2"N 0°24'30.1"W	8.87	0.7
	50	30/01/2024	San Vicente de Piedrahita	40°09'31.2"N 0°29'12.0"W	10.13	0.81
38	51	24/01/2024	Lucena del Cid	40°07'46.4"N 0°16'08.5"W	28.75	1.59
39	52	24/01/2024	Figueroles	40°07'08.2"N 0°13'35.5"W	8.65	0.71
40	53	08/02/2024	Las Crevadas	40°11'55.4"N 0°05'17.6"W	21.16	1.39
41	54	08/02/2024	Vall d'Alba	40°10'11.0"N 0°02'01.4"W	15.47	1.21
41	55	08/02/2024	Cabanes	40°08'28.6"N 0°02'18.0"E	22.54	1.44
42	56	14/02/2024	Villanueva de Alcolea	40°13'47.8"N 0°04'46.8"E	3.98	0.45
43	57	31/01/2024	Torreblanca	40°13'46.7"N 0°12'47.8"E	56.11	2.92
44	58	14/12/2023	Barracas	40°01'24.4"N 0°41'54.4"W	13.26	0.93
45	59	18/01/2024	Montanejos	40°04'04.5"N 0°29'58.0"W	10.76	0.77
46	60	18/01/2024	Cirat	40°03'47.7"N 0°27'07.7"W	4.24	0.51
47	61	18/01/2024	Argelita	40°03'31.1"N 0°20'47.1"W	4.74	0.76
48	62	01/02/2024	Alcora	40°04'56.1"N 0°12'13.9"W	5	0.55
49	63	01/02/2024	Borriol	40°02'43.0"N 0°04'49.8"W	16.28	1.01
50	64	17/01/2024	Benicàssim	40°04'41.4"N 0°01'53.3"E	12.76	0.94
	65	17/01/2024	Pobla Tornesa	40°05'30.7"N 0°00'31.9"W	11.38	0.94
51	66	17/01/2024	Oropesa	40°06'36.4"N 0°05'34.5"E	18.87	1

52	67	14/12/2023	El Molinar	39°55'43.0"N 0°44'00.5"W	107	5.35
53	68	14/12/2023	Bejís	39°55'03.5"N 0°41'50.3"W	10.37	0.74
	69	14/12/2023	Viver	39°54'35.5"N 0°35'45.1"W	18	1
54	70	16/01/2024	Caudiel	39°55'45.9"N 0°34'18.6"W	2.99	0.49
55	71	24/11/2023	Villamalur	39°58'05.2"N 0°23'25.8"W	17.91	1.05
56	72	24/11/2023	Sueras	39°56'58.3"N 0°20'26.5"W	5.8	0.5
57	73	13/02/2024	Mas de Font	40°00'44.3"N 0°09'56.2"W	12.59	0.88
	74	13/02/2024	Apeadero de Bechí	39°56'19.9"N 0°11'18.2"W	20.42	1.39
58	75	01/02/2024	Vall d'Umbri	40°01'59.3"N 0°05'22.7"W	10.5	0.72
	76	01/02/2024	Almazora	39°58'15.3"N 0°07'19.3"W	17.83	1.01
59	77	17/01/2024	Grao Castellón	40°02'12.5"N 0°00'23.3"W	22.93	1.41
60	78	16/01/2024	Santuario Cueva Santa	39°50'57.1"N 0°35'58.9"W	26.86	1.57
61	79	19/06/2023	Peñalba	39°51'56.2"N 0°28'43.6"W	14.07	1.02
	80	19/06/2023	Navajas	39°52'05.3"N 0°30'35.5"W	20.75	1.28
62	81	19/06/2023	Castellnovo	39°52'26.4"N 0°26'50.7"W	4.26	0.68
	82	19/06/2023	Almedijar	39°50'55.2"N 0°25'53.2"W	9.52	0.84
63	83	24/11/2023	Ahín	39°54'08.7"N 0°20'25.4"W	9.23	0.57
	84	24/11/2023	Chóvar	39°50'32.6"N 0°19'35.7"W	15.18	0.8
64	85	20/02/2024	Bechí	39°55'16.0"N 0°12'48.3"W	17	1.09
65	86	07/02/2024	Burriana	39°52'57.7"N 0°03'10.8"W	18	1.07
	87	07/02/2024	Alquerías Niño Perdido	39°54'13.5"N 0°06'18.4"W	13.32	0.91
66	88	07/02/2024	Playa de la Torre	39°55'19.8"N 0°00'18.9"W	8.51	0.85
67	89	16/01/2024	Gátova	39°48'22.8"N 0°31'46.8"W	8	0.55
	90	16/01/2024	Marines Viejo	39°44'30.7"N 0°31'45.2"W	11.56	0.69
68	91	23/07/2024	La Ermita de los Caídos	39°45'33.5"N 0°23'05.5"W	8.64	0.7
69	92	20/02/2024	Vall d'Uixó	39°47'55.7"N 0°14'14.9"W	18.15	1.15
70	93	20/02/2024	Moncófar	39°48'48.1"N 0°09'19.3"W	23.82	1.37
	94	20/02/2024	Chilches	39°46'48.0"N 0°11'43.5"W	29.82	1.66
71	95	07/02/2024	Nules Playa	39°50'49.6"N 0°05'39.5"W	11.36	0.91
72	96	13/02/2024	Almardá	39°42'24.1"N 0°12'19.6"W	9.61	0.69
	97	13/02/2024	Casablanca	39°44'34.9"N 0°11'07.8"W	7.87	0.69

Tabla 16. Resultados de tasa de exhalación

Parámetro a analizar	Bq/h·m ²
Media	21.26
Desviación estándar	26.45
Límite superior (Media+2σ)	74.15

Tabla 17. Análisis estadístico de los resultados

El análisis de los resultados experimentales muestra cierta variabilidad en las tasas de exhalación de radón en la provincia de Castellón, con una media de 21.2 Bq/h·m² y una desviación estándar de 26.45 Bq/h·m². Tres puntos destacaron por superar ampliamente el límite superior: Ares del Maestre 217 Bq/h·m², Campello (102.18 ± 5.23) Bq/h·m² y El Molinar (107 ± 5.35) Bq/h·m², indicando zonas de mayor exhalación de radón. Estos valores extremos sugieren la influencia de factores geológicos locales y la importancia de identificar áreas prioritarias para estudios adicionales y posibles medidas de mitigación.

En la tabla 16 aparecen en negrita los 3 puntos más altos que superan el límite superior correspondientes a las celdas CS9, CS15 y CS52.

1.c.- Exhalación de radón de suelos. Universidad de Málaga

Para este proyecto, se marcó como objetivo la medida de la exhalación en 80 puntos de la zona de interés de la provincia de Málaga. En total se cuenta con un número de 240 medidas, ya que se decidió hacer tres réplicas por cada punto, mostrándose los valores promedios para cada referencia.

El ensayo se llevó a cabo empleando cartuchos de carbón activo colocados sobre unos soportes de metacrilatos que actúan de cámara de exhalación, colocándose 3 por cada punto y durante una exposición de 24 horas. Tras su recogida, se analizaron en laboratorio a través de un detector de yoduro de sodio dopado con talio.

En las siguientes tablas se muestran todos los resultados obtenidos:

Punto	Exhalación (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	LD (Bq/m ² .h)
R1-P1	<LD		
R1-P2	<LD		5
R2-P1	16,8	3,4	5
R2-P2	<LD		5
R3-P1	<LD		5
R3-P2	<LD		5
R4-P1	6,2	3,8	5
R4-P2	<LD		5
R5-P1	<LD		5

Punto	Exhalación (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	LD (Bq/m ² .h)
R5-P2	<LD		5
R6-P1	<LD		5
R6-P2	7,4	3,1	5
R6-P3	8,4	3,2	5
R7-P1	<LD		5
R7-P2	52,4	6,5	5
R8-P1	<LD		5
R8-P2	6,4	5,8	5
R9-P1	<LD		5
R9-P2	13,8	4,8	5
R9_P3	<LD		5
R10-P1	56,6	4,1	5
R10-P2	<LD		5
R11-P1	<LD		5
R11-P2	<LD		5
R12_P1	8,9	4,8	5
R12_P2	<LD		5
R12_P3	5,9	4,1	5
R13_P1	19,8	5,1	5
R13_P2	34,5	6,8	5
R13_P3	9,8	3,4	5
R14_P1	<LD		5
R14_P2	<LD		5
R15_P1	12,6	4,8	5
R15_P2	10,5	5,1	5
R16_P1	<LD		5
R16_P2	7,4	4,1	5
R17_P1	6,7	3,8	5
R17_P2	5,1	3,6	5
R18_P1	<LD		5
R18_P2	<LD		5
R19-P1	29,5	4,1	5
R19-P2	16,4	4,8	5
R20-P1	9,4	5,1	5
R20-P2	<LD		5
R21-P1	8,9	4,7	5
R21-P2	13,2	5,1	5
R22-P1	18,9	4,9	5
R22-P2	10,4	4,8	5
R22-P3	19,9	4,9	5
R23-P1	23,5	5,1	5
R23-P2	68,9	4,9	5
R23-P3	21,4	4,7	5
R24-P1	5,4	3,6	5
R24-P2	11,1	4,9	5
R25-P1	12,8	4,1	5
R25-P2	24,7	5,8	5
R26-P1	8,2	4,1	5

Punto	Exhalación (Bq/m ² .h)	Incertidumbre (Bq/m ² .h)	LD (Bq/m ² .h)
R26_P2	6,1	3,9	5
R27_P1	16,8	4,5	5
R27_P2	<LD		5
R28-P1	24,6	4,8	5
R28-P2	43,4	5,1	5
R28-P3	29,8	4,5	5
R29_P1	9,8	3,9	5
R29-P2	23,4	4,2	5
R29-P3	17,4	4,1	5
R30_P1	24,3	3,8	5
R30_P2	17,8	3,1	5
R30_P3	31,5	4,2	5
R31_P1	23,4	5,1	5
R31_P2	<LD		5
R32_P1	6,1	3,7	5
R32_P2	26,8	5,2	5
R32_P3	5,5	3,8	5
R33_P1	5,9	4,1	5
R33_P2	<LD		5
R33_P3	<LD		5
R34_P1	<LD		5
R34_P2	<LD		5
R34_P3	6,1	3,8	5

Tabla 18. Exhalación de radón

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Exhalación (Bq/m ² .h)	17,9	13,9	5,1	68,9

Tabla 19. Valores estadísticos

1.d.- Permeabilidad de suelos. Universidad de Cantabria

Otro de los factores que influyen en el transporte de radón en un suelo es la permeabilidad. Para determinar este parámetro se empleó un equipo diseñado por el grupo RADON v.o.s. El dispositivo va conectado al suelo a través de una sonda y el valor de permeabilidad se obtiene a partir del tiempo que tarda el equipo en succionar un volumen de dos litros de aire del suelo. Este equipo basa su medida en la aplicación de la ley de Darcy y fue desarrollado hace más de quince años, consolidándose en la actualidad como el método más empleado para la determinación de la permeabilidad de un suelo.

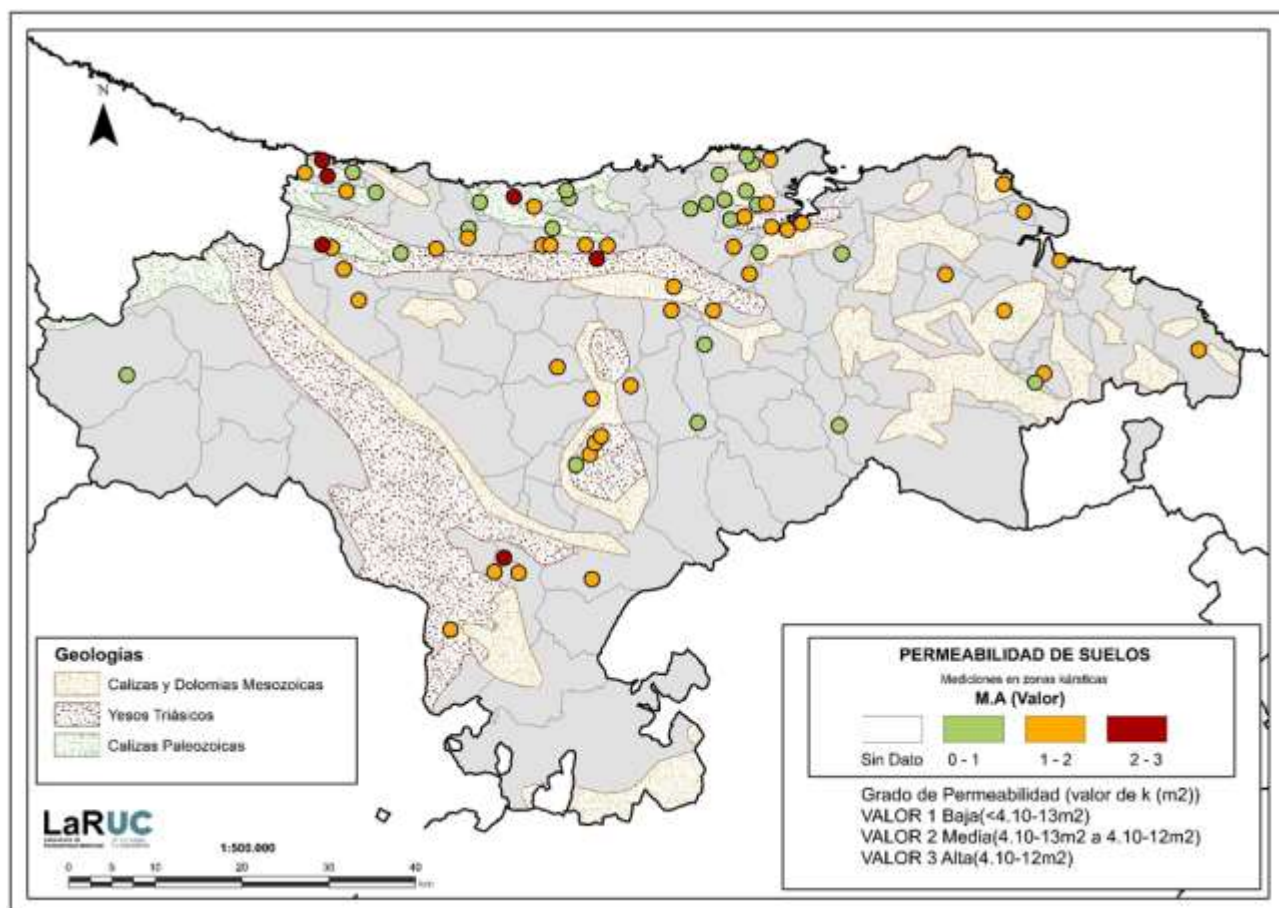
En este apartado se muestra la tabla de los 160 datos registrados, cumpliendo así el objetivo marcado inicialmente.

Punto	Valor k (m ²)	Punto	Valor k (m ²)	Punto	Valor k (m ²)	Punto	Valor k (m ²)
R1-P1	1,00E-11	R8-P2	2,00E-13	R17-P2	6,00E-13	R26-P1	3,00E-12
R1-P2	1,00E-13	R8-P3	2,00E-13	R17-P3	6,00E-12	R26-P2	1,00E-13
R1-P3	1,00E-13	R8-P4	7,00E-14	R18-P1	1,00E-13	R26-P3	5,00E-13
R1-P4	1,00E-13	R8-P5	2,00E-13	R18-P2	6,00E-12	R26-P4	6,00E-12
R1-P5	3,00E-13	R8-P6	1,00E-13	R18-P3	6,00E-12	R26-P5	6,00E-12
R2-P1	1,00E-13	R8-P7	1,00E-13	R18-P4	3,00E-13	R26-P6	1,00E-12
R2-P2	1,00E-13	R8-P8	4,00E-13	R18-P5	1,00E-13	R26-P7	2,00E-12
R2-P3	1,00E-13	R9-P1	4,00E-12	R19-P1	1,00E-13	R27-P1	4,00E-13
R2-P4	1,00E-13	R9-P2	3,00E-12	R19-P2	7,00E-13	R27-P2	6,00E-14
R2-P5	1,00E-13	R9-P3	2,00E-12	R19-P3	5,00E-13	R27-P3	2,00E-13
R3-P1	1,00E-13	R9-P4	1,00E-13	R19-P4	5,00E-13	R27-P4	5,00E-14
R3-P2	1,00E-13	R9-P5	1,00E-13	R20-P1	6,00E-12	R27-P5	4,00E-13
R3-P3	1,00E-13	R9-P6	1,00E-13	R20-P2	5,00E-13	R27-P6	1,00E-13
R3-P4	1,00E-11	R10-P1	1,00E-12	R20-P3	3,00E-12	R27-P7	1,00E-13
R3-P5	1,00E-12	R10-P2	1,00E-13	R20-P4	6,00E-12	R28-P1	1,00E-13
R4-P1	2,00E-12	R11-P1	2,00E-13	R21-P1	1,00E-13	R28-P2	1,00E-13
R4-P2	1,00E-13	R11-P2	1,00E-13	R21-P2	1,00E-13	R28-P3	1,00E-13
R4-P3	1,00E-13	R11-P3	1,00E-13	R21-P3	1,00E-13	R28-P4	1,00E-13
R4-P4	1,00E-13	R11-P4	2,00E-13	R21-P4	1,00E-12	R29-P1	7,00E-13
R4-P5	1,00E-13	R12-P1	3,00E-12	R21-P5	3,00E-13	R29-P2	1,00E-12
R4-P6	1,00E-12	R12-P2	1,00E-12	R21-P6	2,00E-13	R29-P3	1,00E-13
R4-P7	1,00E-13	R12-P3	1,00E-13	R22-P1	1,00E-13	R29-P4	1,00E-12
R5-P1	1,00E-13	R12-P4	2,00E-13	R22-P2	1,00E-13	R29-P5	2,00E-13
R5-P2	1,00E-13	R12-P5	1,00E-12	R22-P3	1,00E-13	R29-P6	5,00E-13
R5-P3	1,00E-13	R12-P6	8,00E-13	R22-P4	1,00E-13	R30-P1	4,00E-12
R5-P4	2,00E-13	R13-P1	1,00E-13	R22-P5	5,00E-13	R30-P2	3,00E-12
R5-P5	1,00E-13	R13-P2	1,00E-11	R22-P6	1,00E-13	R30-P3	2,00E-13
R5-P6	1,00E-13	R13-P3	2,00E-13	R23-P1	2,00E-13	R30-P4	3,00E-12
R6-P1	1,00E-13	R13-P4	4,00E-13	R23-P2	2,00E-13	R30-P5	6,00E-13
R6-P2	1,00E-13	R13-P5	1,00E-13	R23-P3	2,00E-13	R31-P1	6,00E-12
R6-P3	1,00E-13	R14-P1	2,00E-13	R23-P4	1,00E-12	R31-P2	5,00E-12
R6-P4	1,00E-13	R14-P2	4,00E-12	R23-P5	1,00E-13	R31-P3	7,00E-14
R7-P1	6,00E-13	R14-P3	1,00E-13	R24-P1	6,00E-12	R31-P4	3,00E-13
R7-P2	6,00E-13	R15-P1	2,00E-13	R24-P2	8,00E-13	R32-P1	5,00E-12
R7-P3	5,00E-13	R15-P2	4,00E-12	R24-P3	6,00E-12	R32-P2	9,00E-14
R7-P4	4,00E-13	R16-P1	3,00E-13	R24-P4	1,00E-12	R32-P3	3,00E-12
R7-P5	1,00E-13	R16-P2	1,00E-12	R24-P5	5,00E-13	R32-P4	1,00E-13
R7-P6	5,00E-13	R16-P3	2,00E-13	R25-P1	7,00E-13	R32-P5	2,00E-13
R7-P7	2,00E-13	R16-P4	4,00E-13	R25-P2	1,00E-13	R33-P1	3,00E-12
R8-P1	2,00E-13	R17-P1	3,00E-12	R25-P3	6,00E-13	R33-P2	1,00E-12

Tabla 20. Permeabilidad

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Nº medidas
Permeabilidad (m ²)	1.10 ⁻¹²	2.10 ⁻¹²	5.10 ⁻¹⁴	1.10 ⁻¹¹	160

Tabla 21. Valores estadísticos



Mapa 10

1.d.- Permeabilidad de suelos. Universidad Politécnica de Valencia

Se han llevado a cabo medidas de permeabilidad de radón en 97 puntos, los mismos que se eligieron para el resto de medidas en suelos. El dispositivo empleado para la medida de la permeabilidad del suelo al gas radón es el equipo del grupo checo de RADON v.o.s y su protocolo de medida.



Figura. Medida permeabilidad suelos

Celda	Nº medida	Fecha de toma	Localidad	Coordenadas GPS	Permeabilidad (m ²)
1	1	14/03/2024	Ortells	40°41'22.0"N 0°10'38.6"W	2.50E-13
	2	14/03/2024	Villores	40°40'45.2"N 0°12'15.3"W	3.80E-13
2	3	14/03/2024	Pobla d'alcolea	40°41'34.4"N 0°04'28.2"W	7.00E-14
3	4	13/03/2024	La Mata de Morella	40°37'18.6"N 0°15'56.4"W	2.00E-11
	5	13/03/2024	Todoella	40°38'00.4"N 0°15'14.6"W	2.00E-12
4	6	13/03/2024	Forcall	40°38'43.8"N 0°12'59.8"W	< 1E-14
5	7	14/03/2024	Herbeser	40°37'27.6"N 0°05'31.4"W	2.00E-13
6	8	19/04/2024	Vallibona	40°35'40.5"N 0°01'44.3"E	1.50E-13
7	9	25/01/2024	Rossell	40°37'9.0" N 0°13'1.8" E	>1E-11
8	10	13/03/2024	Portell de Morella	40°32'55.7"N 0°15'08.9"W	1.00E-11
9	11	18/04/2024	Campello	40°32'57.0"N 0°07'28.0"W	2.00E-13
10	12	18/04/2024	Ermita de la Bota	40°33'18.0"N 0°00'03.3"E	6.00E-12
11	13	18/04/2024	Anroig	40°30'58.7"N 0°07'40.1"E	2.00E-12
	14	18/04/2024	Vallivana	40°32'20.6"N 0°03'25.5"E	2.00E-12
12	15	25/01/2024	Canet lo Roig	40°33'41.3"N 0°14'05.9"E	4.00E-13
13	16	25/01/2024	S. Rafael del Rio	40°34'48.8" N 0°19'32.9" E	6.00E-13

	17	25/01/2024	Traiguera	40°32'34.1"N 0°18'29.0"E	1.50E-12
14	18	15/02/2024	Villafranca del Cid	40°26'49.5"N 0°13'56.7"W	>1E-11
15	19	15/02/2024	Ares del Maestre	40°27'14.4"N 0°08'34.6"W	2.00E-13
	20	15/02/2024	Hermita de Santa Elena	40°27'23.2"N 0°10'50.2"W	1.80E-13
16	21	06/02/2024	Catí	40°27'02.6"N 0°00'11.0"W	1.50E-12
17	22	21/02/2024	Tirig	40°25'07.9"N 0°05'26.5"E	4.00E-13
18	23	19/04/2024	La Jana	40°30'49.4"N 0°15'37.8"E	5.00E-14
	24	19/04/2024	San Mateo	40°27'29.3"N 0°11'41.2"E	7.00E-12
19	25	19/04/2024	Cervera del Maestre	40°28'03.4"N 0°18'10.7"E	4.00E-13
20	26	17/04/2024	Vinaròs	40°30'50.2"N 0°25'29.4"E	2.00E-13
21	27	15/02/2024	Vistabella del Maestrazgo	40°17'45.8"N 0°17'18.4"W	< 1E-14
22	28	06/02/2024	Benasal	40°23'13.8"N 0°07'51.7"W	>1E-11
	29	06/02/2024	Culla	40°20'29.8"N 0°09'26.6"W	4.00E-14
23	30	06/02/2024	San Pau	40°20'40.6"N 0°00'29.8"W	1.00E-14
24	31	21/02/2024	Mas dels Calduchs	40°23'19.5"N 0°07'19.2"E	3.00E-12
	32	21/02/2024	Mas D'en Rieres	40°22'43.6"N 0°08'25.0"E	8.00E-12
25	33	21/02/2024	Salsadella	40°25'03.7"N 0°10'59.2"E	8.00E-13
26	34	17/04/2024	Santa Magdalena de Pulpis	40°20'59.9"N 0°18'21.8"E	2.00E-13
	35	17/04/2024	Peñíscola	40°22'33.8"N 0°23'04.4"E	6.00E-13
27	36	17/04/2024	Benicarló	40°25'27.4"N 0°23'53.4"E	1.00E-13
28	37	30/01/2024	Villahermosa del Rio	40°12'00.8"N 0°26'19.2"W	6.00E-13
29	38	30/01/2024	Mas del Borràs	40°12'40.5"N 0°23'52.8"W	1.10E-11
30	39	24/01/2024	Adzaneta	40°12'43.4"N 0°10'56.2"W	2.00E-13
	40	24/01/2024	Xodos	40°14'24.2"N 0°16'17.6"W	4.00E-12
31	41	08/02/2024	Els Ibarsos	40°14'06.1"N 0°05'18.9"W	< 1E-14
32	42	14/02/2024	Els Rosildos	40°18'33.5"N 0°01'53.6"W	1.00E-11
32	43	14/02/2024	Sarratella	40°18'22.2"N 0°01'50.6"E	< 1E-14
33	44	14/02/2024	Torre d'En Doménec	40°16'02.5"N 0°04'10.9"E	4.00E-13

34	45	31/01/2024	Alcalá de Chivert	40°16'29.1"N 0°13'56.9"E	1.00E-14
	46	31/01/2024	Alcocebre	40°15'08.8"N 0°16'47.1"E	2.00E-13
35	47	31/01/2024	Parque Sierra Irta	40°15'50.1"N 0°17'56.3"E	8.00E-14
36	48	18/01/2024	Puebla de Arenoso	40°05'59.6"N 0°34'24.8"W	< 1E-14
37	49	30/01/2024	Zucaina	40°07'47.2"N 0°24'30.1"W	2.20E-13
	50	30/01/2024	San Vicente de Piedrahita	40°09'31.2"N 0°29'12.0"W	4.60E-13
38	51	24/01/2024	Lucena del Cid	40°07'46.4"N 0°16'08.5"W	4.00E-14
39	52	24/01/2024	Figueroles	40°07'08.2"N 0°13'35.5"W	1.00E-11
40	53	08/02/2024	Las Crevadas	40°11'55.4"N 0°05'17.6"W	2.22E-12
41	54	08/02/2024	Vall d'Alba	40°10'11.0"N 0°02'01.4"W	2.00E-12
41	55	08/02/2024	Cabanes	40°08'28.6"N 0°02'18.0"E	5.00E-14
42	56	14/02/2024	Villanueva de Alcolea	40°13'47.8"N 0°04'46.8"E	7.00E-13
43	57	31/01/2024	Torreblanca	40°13'46.7"N 0°12'47.8"E	1.50E-12
44	58	14/12/2023	Barracas	40°01'24.4"N 0°41'54.4"W	2.00E-13
45	59	18/01/2024	Montanejos	40°04'04.5"N 0°29'58.0"W	2.50E-13
46	60	18/01/2024	Cirat	40°03'47.7"N 0°27'07.7"W	7.00E-12
47	61	18/01/2024	Argelita	40°03'31.1"N 0°20'47.1"W	5.00E-14
48	62	01/02/2024	Alcora	40°04'56.1"N 0°12'13.9"W	4.00E-12
49	63	01/02/2024	Borriol	40°02'43.0"N 0°04'49.8"W	8.00E-14
50	64	17/01/2024	Benicàssim	40°04'41.4"N 0°01'53.3"E	1.00E-13
	65	17/01/2024	Pobla Tornesa	40°05'30.7"N 0°00'31.9"W	>1E-11
51	66	17/01/2024	Oropesa	40°06'36.4"N 0°05'34.5"E	4.00E-13
52	67	14/12/2023	El Molinar	39°55'43.0"N 0°44'00.5"W	1.50E-12
53	68	14/12/2023	Bejís	39°55'03.5"N 0°41'50.3"W	2.00E-13
	69	14/12/2023	Viver	39°54'35.5"N 0°35'45.1"W	>1E-11
54	70	16/01/2024	Caudiel	39°55'45.9"N 0°34'18.6"W	1.50E-12
55	71	24/11/2023	Villamalur	39°58'05.2"N 0°23'25.8"W	< 1E-14
56	72	24/11/2023	Sueras	39°56'58.3"N 0°20'26.5"W	8.00E-13

57	73	13/02/2024	Mas de Font	40°00'44.3"N 0°09'56.2"W	3.00E-13
	74	13/02/2024	Apeadero de Bechí	39°56'19.9"N 0°11'18.2"W	2.00E-12
58	75	01/02/2024	Vall d'Umbri	40°01'59.3"N 0°05'22.7"W	< 1E-14
	76	01/02/2024	Almazora	39°58'15.3"N 0°07'19.3"W	>1E-11
59	77	17/01/2024	Grao Castellón	40°02'12.5"N 0°00'23.3"W	5.00E-14
60	78	16/01/2024	Santuario Cueva Santa	39°50'57.1"N 0°35'58.9"W	2.00E-13
61	79	19/06/2023	Peñalba	39°51'56.2"N 0°28'43.6"W	>1E-11
	80	19/06/2023	Navajas	39°52'05.3"N 0°30'35.5"W	1.50E-12
62	81	19/06/2023	Castellnovo	39°52'26.4"N 0°26'50.7"W	5.00E-13
	82	19/06/2023	Almedijar	39°50'55.2"N 0°25'53.2"W	8.00E-13
63	83	24/11/2023	Ahín	39°54'08.7"N 0°20'25.4"W	< 1E-14
	84	24/11/2023	Chóvar	39°50'32.6"N 0°19'35.7"W	1.50E-12
64	85	20/02/2024	Bechí	39°55'16.0"N 0°12'48.3"W	1.80E-12
65	86	07/02/2024	Burriana	39°52'57.7"N 0°03'10.8"W	1.80E-12
	87	07/02/2024	Alquerías Niño Perdido	39°54'13.5"N 0°06'18.4"W	< 1E-14
66	88	07/02/2024	Playa de la Torre	39°55'19.8"N 0°00'18.9"W	1.80E-13
67	89	16/01/2024	Gátova	39°48'22.8"N 0°31'46.8"W	>1E-11
	90	16/01/2024	Marines Viejo	39°44'30.7"N 0°31'45.2"W	>1E-11
68	91	23/07/2024	La Ermita de los Caídos	39°45'33.5"N 0°23'05.5"W	1.00E-13
	92	20/02/2024	Vall d'Uixó	39°47'55.7"N 0°14'14.9"W	8.33E-13
70	93	20/02/2024	Moncófar	39°48'48.1"N 0°09'19.3"W	1.77E-12
	94	20/02/2024	Chilches	39°46'48.0"N 0°11'43.5"W	2.00E-12
71	95	07/02/2024	Nules Playa	39°50'49.6"N 0°05'39.5"W	5.50E-14
72	96	13/02/2024	Almardá	39°42'24.1"N 0°12'19.6"W	< 1E-14
	97	13/02/2024	Casablanca	39°44'34.9"N 0°11'07.8"W	3.00E-14

Tabla 22

	m ²
Media	1.91E-12
Desviación estándar	3.34E-12

Tabla 23. Análisis estadístico de los resultados de permeabilidad

1.d.- Permeabilidad de suelos. Universidad de Málaga

En este apartado se muestra la tabla de los 80 datos registrados, cumpliendo así el objetivo marcado inicialmente.

Punto	Valor k (m2)
R1-P1	2,00E-12
R1-P2	1,00E-12
R2-P1	6,00E-12
R2-P2	1,00E-12
R3-P1	5,00E-12
R3-P2	1,00E-13
R4-P1	8,00E-12
R4-P2	2,00E-12
R5-P1	1,00E-12
R5-P2	3,00E-12
R6-P1	7,00E-12
R6-P2	6,00E-12
R6-P3	4,00E-12
R7-P1	1,00E-13
R7-P2	9,00E-12
R8-P1	2,00E-12
R8-P2	6,00E-12
R9-P1	2,00E-13
R9-P2	3,00E-12
R9_P3	1,00E-12
R10-P1	4,00E-12
R10-P2	1,00E-13
R11-P1	2,00E-13
R11-P2	6,00E-13
R12_P1	3,00E-13
R12_P2	5,00E-12
R12_P3	6,00E-12
R13_P1	2,00E-13
R13_P2	4,00E-12
R13_P3	6,00E-12
R14_P1	2,00E-13
R14_P2	6,00E-12

Punto	Valor k (m2)
R15_P1	2,00E-13
R15_P2	6,00E-13
R16_P1	4,00E-13
R16_P2	5,00E-13
R17_P1	1,00E-13
R17_P2	1,00E-13
R18_P1	8,00E-13
R18_P2	6,00E-13
R19-P1	6,00E-12
R19-P2	8,00E-12
R20-P1	2,00E-13
R20-P2	4,00E-13
R21-P1	6,00E-12
R21-P2	1,00E-13
R22-P1	6,00E-12
R22-P2	5,00E-12
R22-P3	1,00E-12
R23-P1	5,00E-12
R23-P2	5,00E-12
R23-P3	4,00E-13
R24-P1	1,00E-13
R24-P2	4,00E-13
R25-P1	1,00E-13
R25-P2	2,00E-13
R26-P1	7,00E-13
R26_P2	1,00E-13
R27_P1	1,00E-13
R27_P2	6,00E-12
R28-P1	6,00E-12
R28-P2	6,00E-12
R28-P3	4,00E-13
R29_P1	1,00E-13
R29-P2	1,00E-13
R29-P3	5,00E-12
R30_P1	5,00E-12
R30_P2	2,00E-12
R30_P3	6,00E-12
R31_P1	5,00E-12
R31_P2	1,00E-12
R32_P1	5,00E-12
R32_P2	1,00E-13
R32_P3	2,00E-12
R33_P1	6,00E-12
R33_P2	2,00E-13
R33_P3	1,00E-13

Punto	Valor k (m2)
R34_P1	3,00E-12
R34_P2	1,00E-13
R34_P3	3,00E-12

Tabla 24. Permeabilidad

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Valor k (m ²)	2,63E-12	2,64E-12	1,00E-13	9,00E-12

Tabla 25. Valores estadísticos

1.e.- Radón en suelos. Universidad de Cantabria

El suelo constituye la principal fuente de radón en las viviendas, por ello, el conocimiento de la concentración de radón en suelo puede ser un indicador de la presencia de radón en interiores y es un parámetro de vital importancia para el presente estudio.

Para la medida de radón en suelo se utilizó un dispositivo diseñado también por el grupo RADON v.o.s que consiste en una barra metálica y un tubo para extraer una muestra de aire del suelo. Al introducir en el suelo la barra junto con una punta a una profundidad de 80 cm, se crea un “gap” del que obtendremos la muestra de aire en la que mediremos la concentración de radón. La muestra se puede medir en campo posteriormente mediante cámaras de ionización y un electrómetro, obteniendo así la concentración de radón en ese punto. El laboratorio LaRUC viene participando de manera habitual en el Ejercicio de Intercomparación que se realiza en Praga con resultados muy favorables y que se puede consultar en el Anexo I de este informe.

La tabla 26 recoge los resultados de las 246 medidas realizadas en los distintos puntos de Cantabria y la tabla 27 la información del conjunto de datos. Además, como en los apartados anteriores, al final se incluye también la representación gráfica de los valores.

Punto	Concentración Rn suelo (kBq/m ³)
R1-P1	16,7 < L.D.
R1-P2	3,1 2,0
R1-P3	2,1 7,1
R1-P4	54,0 147,0
R1-P5	88,1 83,3
R2-P1	4,9 < L.D.
R2-P2	1,7 162,0
R2-P3	< L.D. 1,4
R2-P4	32,3 82,3
R3-P1	< L.D. 0,9
R3-P2	2,7 0,5
R3-P3	12,1 3,4
R3-P4	137,5 220,5
R4-P1	54,4 79,3
R4-P2	1,4 1,8
R4-P3	< L.D. 1,2
R4-P4	269,5 0,6
R4-P5	3,7 1,2
R5-P1	< L.D. < L.D.
R5-P2	< L.D. < L.D.
R5-P3	< L.D. < L.D.
R5-P4	117,6 107,4

Punto	Concentración Rn suelo (kBq/m ³)
R6-P1	< L.D.
	< L.D.
R6-P2	10,6
	10,4
R6-P3	0,6
	13,1
R7-P1	38,0
	465,0
R7-P2	< L.D.
	9,6
R7-P3	133,0
	147,0
R7-P4	62,2
	40,0
R7-P5	19,3
	21,0
R8-P1	< L.D.
	< L.D.
R8-P2	81,6
	78,6
R8-P3	138,0
	131,0
R8-P4	< L.D.
	< L.D.
R8-P5	148,0
	100,0
R9-P1	90,1
	101,0
R9-P2	30,0
	34,5
R9-P3	< L.D.
	< L.D.
R9-P4	< L.D.
	< L.D.
R9-P5	< L.D.
	< L.D.
R10-P1	36,3
	37,8
R10-P2	< L.D.
	< L.D.

Punto	Concentración Rn suelo (kBq/m ³)
R11-P1	< L.D.
	9,8
R11-P2	< L.D.
	< L.D.
R11-P3	72,3
	78,7
R12-P1	82,0
	80,0
R12-P2	76,9
	90,7
R12-P3	41,2
	49,9
R12-P4	164,0
	134,0
R13-P1	< L.D.
	< L.D.
R13-P2	< L.D.
	< L.D.
R13-P3	< L.D.
	< L.D.
R13-P4	71,0
	45,3
R14-P1	5,7
	17,6
R14-P2	100,0
	61,8
R15-P1	20,5
	12,4
R15-P2	0,9
	1,1
R16-P1	< L.D.
	< L.D.
R16-P2	< L.D.
	< L.D.
R17-P1	238,0
	220,0
R17-P2	257,0
	253,0
R17-P3	207,0
	208,0

Punto	Concentración Rn suelo (kBq/m ³)
R18-P1	< L.D.
	< L.D.
R18-P2	212,0
	200,0
R18-P3	343,0
	356,0
R19-P1	57,7
	< L.D.
R19-P2	19,4
	17,1
R19-P3	33,5
	31,8
R20-P1	25,3
	27,1
R20-P2	41,8
	< L.D.
R20-P3	< L.D.
	18,3
R20-P4	26,9
	42,1
R21-P1	< L.D.
	< L.D.
R21-P2	< L.D.
	< L.D.
R21-P3	< L.D.
	< L.D.
R21-P4	265,0
	259,0
R21-P5	< L.D.
	< L.D.
R22-P1	< L.D.
	< L.D.
R22-P2	< L.D.
	< L.D.
R22-P3	< L.D.
	< L.D.
R22-P4	< L.D.
	< L.D.
R22-P5	< L.D.
	< L.D.

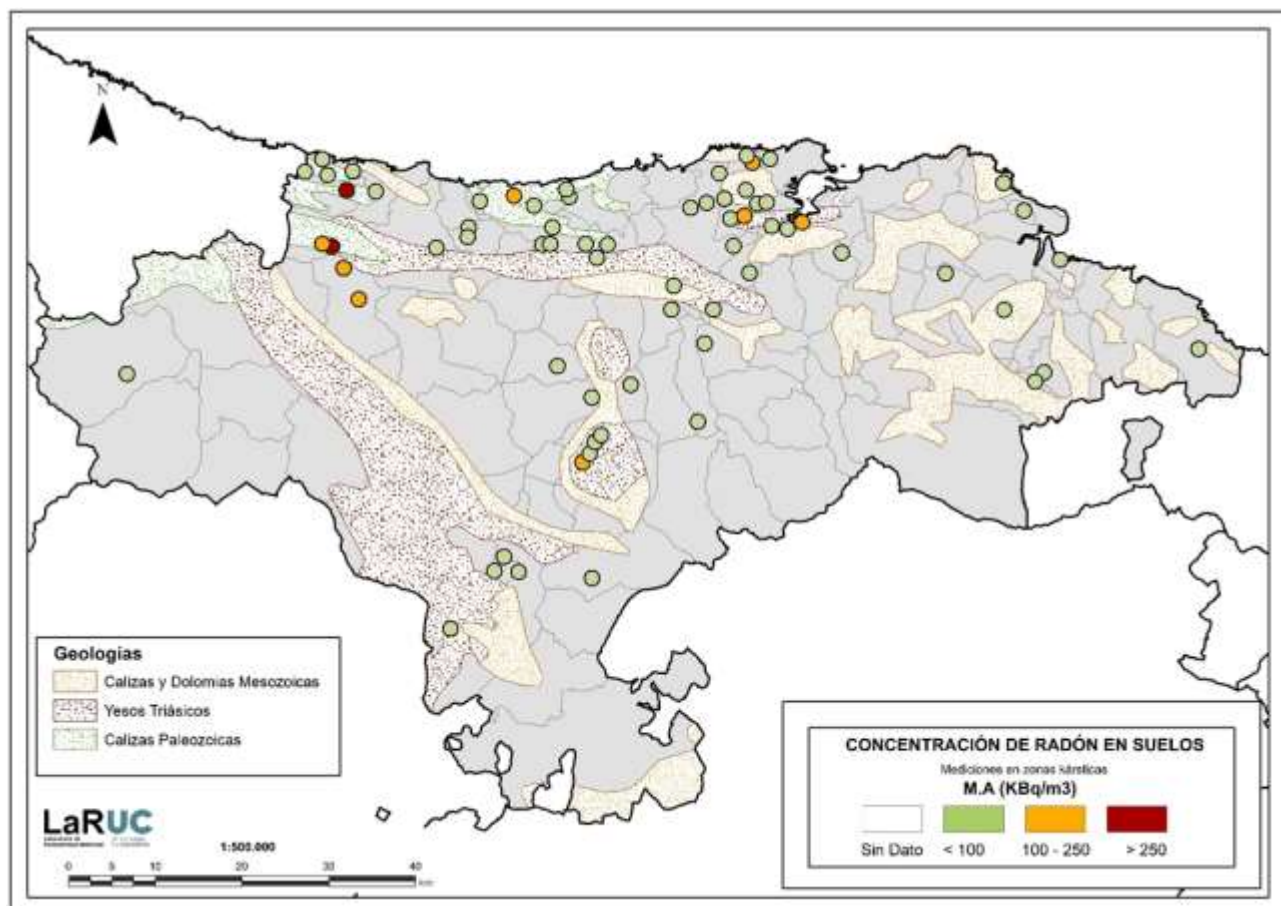
Punto	Concentración Rn suelo (kBq/m ³)
R23-P1	10,0
	18,1
R23-P2	78,1
	82,3
R23-P3	< L.D.
	23,9
R24-P1	392,0
	298,0
R24-P2	107,0
	76,0
R24-P3	113,0
	126,0
R25-P1	90,9
	66,9
R25-P2	< L.D.
	< L.D.
R25-P3	45,1
	30,0
R26-P1	50,2
	56,6
R26-P2	< L.D.
	< L.D.
R26-P3	< L.D.
	< L.D.
R26-P4	< L.D.
	1,2
R26-P5	75,1
	77,8
R27-P1	47,1
	< L.D.
R27-P2	< L.D.
	< L.D.
R27-P3	25,9
	22,8
R27-P4	< L.D.
	< L.D.
R27-P5	< L.D.
	13,4
R27-P6	8,1
	24,3

Punto	Concentración Rn suelo (kBq/m ³)
R28-P1	< L.D.
	< L.D.
R28-P2	< L.D.
	< L.D.
R28-P3	< L.D.
	< L.D.
R28-P4	< L.D.
	< L.D.
R29-P1	113,0
	100,0
R29-P2	7,5
	3,0
R29-P3	< L.D.
	< L.D.
R29-P4	16,5
	15,8
R30-P1	54,1
	53,4
R30-P2	40,3
	41,4
R30-P3	118,0
	121,0
R30-P4	14,3
	18,2
R31-P1	12,7
	< L.D.
R31-P2	12,1
	8,0
R31-P3	< L.D.
	< L.D.
R32-P1	26,0
	42,2
R32-P2	< L.D.
	< L.D.
R32-P3	10,6
	12,4
R32-P4	< L.D.
	< L.D.
R33-P1	< L.D.
	< L.D.
R33-P2	< L.D.
	< L.D.

Tabla 26. Radón en suelos

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Nº medidas
Contenido Rn en suelo (kBq/m ³)	44,9	76,5	0,5	465,0	246

Tabla 27. Valores estadísticos



Mapa 11

1.e.- Radón en suelos. Universidad Politécnica de Valencia

Para medir concentración de gas radón a diferentes profundidades del suelo (hasta 1 metro), el Instituto ISIRYM cuenta con la sonda de gas de acero inoxidable conectada al monitor RAD7 (Soil Gas Probe Manual. 2015). Este equipo permite determinar la emanación del suelo de forma rápida (alrededor de 30 minutos) y precisa.

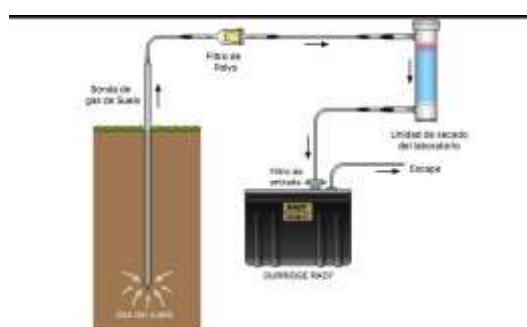


Figura. Medida radón en suelos

Celda	Nº medida	Fecha de toma	Localidad	Coordenadas GPS	Concentración de radón en suelo (Bq/m3)	Incertidumbre (Bq/m3) k=2
1	2	14/03/2024	Villores	40°40'45.2"N 0°12'15.3"W	1657.50	565.00
3	4	13/03/2024	La Mata de Morella	40°37'18.6"N 0°15'56.4"W	768.75	405.00
8	10	13/03/2024	Portell de Morella	40°32'55.7"N 0°15'08.9"W	830.25	430.00
9	11	18/04/2024	Campello	40°32'57.0"N 0°07'28.0"W	521.42	322.50
17	22	21/02/2024	Tirig	40°25'07.9"N 0°05'26.5"E	1747.50	557.50
19	25	19/04/2024	Cervera del Maestre	40°28'03.4"N 0°18'10.7"E	298.50	262.50
20	26	17/04/2024	Vinaròs	40°30'50.2"N 0°25'29.4"E	246.75	92.00
26	34	17/04/2024	Santa Magdalena de Pulpis	40°20'59.9"N 0°18'21.8"E	164.25	96.75
	35	17/04/2024	Peñíscola	40°22'33.8"N 0°23'04.4"E	5175.00	157.50
34	45	31/01/2024	Alcalá de Chivert	40°16'29.1"N 0°13'56.9"E	667.64	357.69
38	51	24/01/2024	Lucena del Cid	40°07'46.4"N 0°16'08.5"W	334.50	272.50
50	64	17/01/2024	Benicàssim	40°04'41.4"N 0°01'53.3"E	571.25	334.55
55	71	24/11/2023	Villamalur	39°58'05.2"N 0°23'25.8"W	363.00	312.50
	84	24/11/2023	Chóvar	39°50'32.6"N 0°19'35.7"W	349.75	322.50
69	92	20/02/2024	Vall d'Uixó	39°47'55.7"N 0°14'14.9"W	536.00	322.50

Tabla 28

1.e.- Radón en suelos. Universidad de Málaga

Aquí se muestran los resultados obtenidos en todas las medidas realizadas:

Punto	Concentración (kBq/m3)
R1-P1	<LD
R1-P2	<LD
R2-P1	2,10
R2-P2	<LD
R3-P1	0,61
R3-P2	<LD
R4-P1	0,56
R4-P2	<LD
R5-P1	0,49
R5-P2	<LD
R6-P1	<LD
R6-P2	0,78
R6-P3	1,10
R7-P1	9,20
R7-P2	16,80
R8-P1	<LD
R8-P2	<LD
R9-P1	<LD
R9-P2	1,65
R9_P3	<LD
R10-P1	11,20
R10-P2	5,64
R11-P1	<LD
R11-P2	<LD
R12_P1	1,89
R12_P2	1,25
R12_P3	<LD
R13_P1	3,07
R13_P2	5,98
R13_P3	1,89
R14_P1	0,89
R14_P2	<LD
R15_P1	2,01
R15_P2	1,01
R16_P1	4,52
R16_P2	3,94
R17_P1	1,23
R17_P2	0,65
R18_P1	<LD
R18_P2	<LD
R19-P1	4,58
R19-P2	1,97
R20-P1	1,01

Punto	Concentración (kBq/m3)
R20-P2	<LD
R21-P1	<LD
R21-P2	4,68
R22-P1	2,99
R22-P2	1,68
R22-P3	2,40
R23-P1	6,36
R23-P2	13,40
R23-P3	2,60
R24-P1	0,59
R24-P2	1,45
R25-P1	5,68
R25-P2	3,41
R26-P1	1,15
R26_P2	0,73
R27_P1	2,89
R27_P2	1,25
R28-P1	3,78
R28-P2	7,35
R28-P3	3,57
R29_P1	1,36
R29-P2	2,81
R29-P3	3,14
R30_P1	8,97
R30_P2	2,98
R30_P3	7,86
R31_P1	5,87
R31_P2	<LD
R32_P1	4,50
R32_P2	3,21
R32_P3	<LD
R33_P1	<LD
R33_P2	<LD
R33_P3	0,98
R34_P1	<LD
R34_P2	<LD
R34_P3	0,45

Tabla 29. Radón en suelo

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Concentración (kBq/m3)	3,53	3,37	0,45	16,80

Tabla 30. Valores estadísticos

1.f.- Caracterización geológica estructural. Universidad de Cantabria, Universidad Politécnica de Valencia y Universidad de Málaga

Aparecía reflejado en la solicitud del Proyecto. Estudios más detallados realizados por el Departamento de Geología de la Universidad de Cantabria han confirmado lo expresado en los mapas que se presentaron en la Memoria del Proyecto y localizado zonas de extensión más pequeña que también han sido incluidas en las campañas de medidas de las tres universidades.

1.g.- Radón en aguas. Universidad de Cantabria

Con el objetivo de obtener una información más completa sobre el radón en zonas kársticas, se ha estudiado también el contenido de radón en agua. Aunque no es la principal fuente responsable de la concentración de radón en las viviendas, el contenido en radón del agua de consumo en algunas ocasiones puede aportar información interesante sobre los niveles de este gas en las áreas que son objeto de estudio.

Para su determinación se ha empleado la técnica de centelleo líquido con un equipo Triathler 425-034 que permite detectar las emisiones alfa y beta por las interacciones con un líquido centelleador.

El número de medidas realizadas es 70, siendo este el objetivo planteado al inicio del proyecto. Los resultados obtenidos tras los análisis se muestran a continuación.

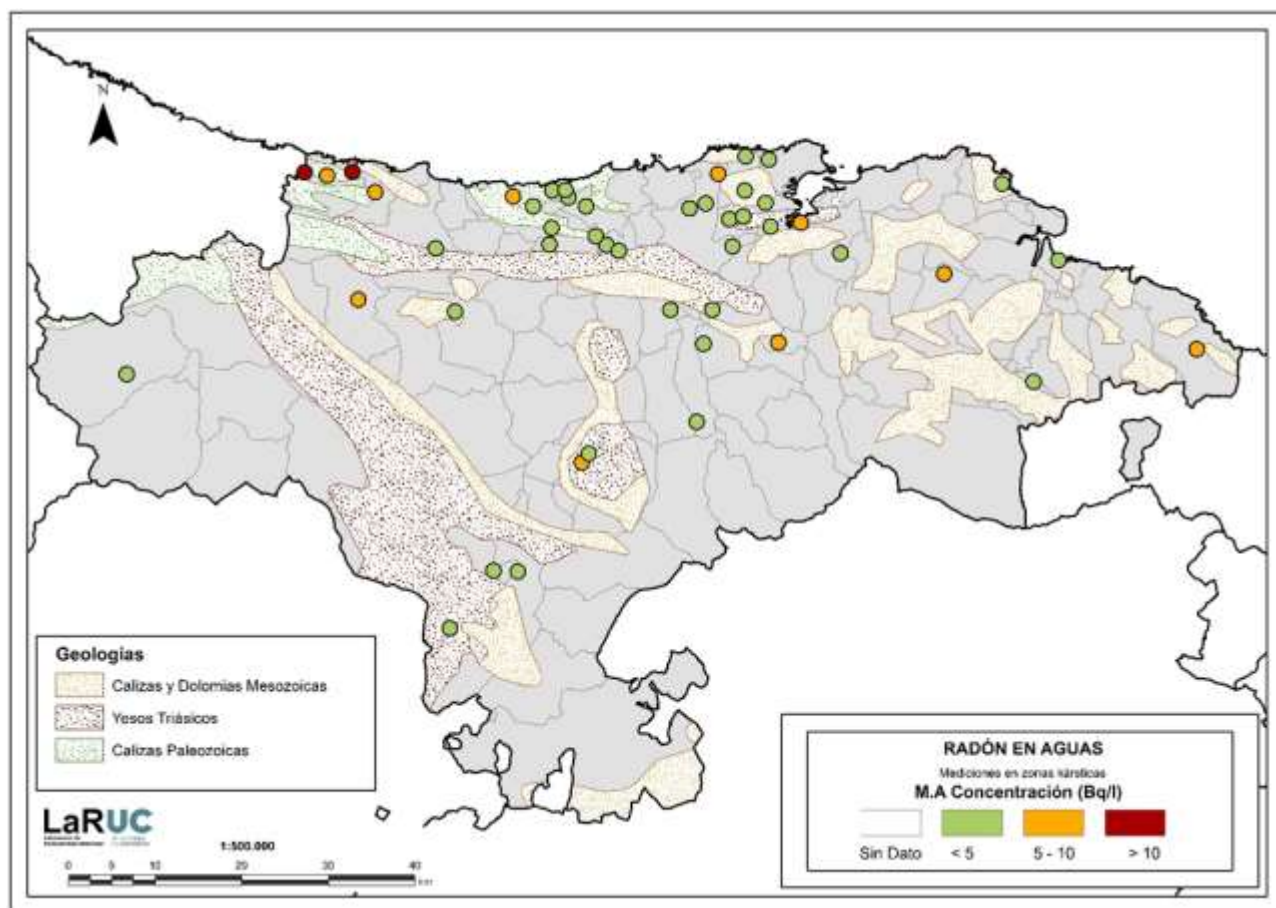
Punto	Cuentas	Concentración (Bq/l)	Incertidumbre (Bq/l)	L.D. (Bq/l)
R1-P1 A	1	<L.D.	-	1,4
R1-P2 A	1	<L.D.	-	1,4
R2-P1 A	7	7,4	2,1	1,4
R2-P2 A	1	<L.D.	-	1,4
R3-P1 A	2	<L.D.	-	1,4
R3-P2 A	1	<L.D.	-	1,4
R4-P1 A	1	<L.D.	-	1,4
R4-P2 A	1	<L.D.	-	1,4
R5-P1 A	2	<L.D.	-	1,4
R5-P2 A	3	2,9	1,5	1,4
R6-P1 A	2	<L.D.	-	1,4
R7-P1 A	9	9,6	2,5	1,4
R8-P1 A	2	1,8	1,3	1,4
R8-P2 A	3	2,9	1,5	1,4
R8-P3 A	4	4,0	1,7	1,4
R8-P4 A	3	2,9	1,5	1,4
R9-P1 A	4	4,0	1,6	1,4
R11-P1 A	3	2,9	1,5	1,4
R12-P1 A	5	5,2	1,9	1,4
R13-P1 A	4	5,5	2,3	1,4
R13-P2 A	2	2,5	1,7	1,4
R16-P1 A	3	3,4	1,8	1,4
R18-P1 A	6	7,4	2,4	1,4
R18-P2 A	7	8,8	2,6	1,4
R19-P1 A	5	5,9	2,2	1,4
R19-P2 A	12	15,2	3,3	1,4
R20-P1 A	5	6,0	2,2	1,4
R21-P1 A	84	224,5	19,3	1,4
R21-P2 A	3	6,7	3,5	1,4

Punto	Cuentas	Concentración (Bq/l)	Incertidumbre (Bq/l)	L.D. (Bq/l)
R22-P1 A	2	2,1	1,5	1,4
R22-P2 A	2	2,0	1,4	1,4
R22-P3 A	3	3,3	1,6	1,4
R22-P4 A	3	3,1	1,6	1,4
R22-P5 A	4	4,8	2,0	1,4
R22-P6 A	2	1,9	1,4	1,4
R22-P7 A	5	6,1	2,2	1,4
R22-P8 A	2	2,0	1,4	1,4
R22-P9 A	3	3,4	1,7	1,4
R22-P10 A	3	3,4	1,7	1,4
R23-P1 A	3	4,0	2,1	1,4
R23-P2 A	2	2,5	1,8	1,4
R23-P3 A	2	2,5	1,8	1,4
R24-P1 A	5	7,4	2,7	1,4
R25-P1 A	2	2,0	1,5	1,4
R25-P2 A	3	4,2	2,1	1,4
R26-P1 A	3	3,3	1,7	1,4
R26-P2 A	4	4,7	2,0	1,4
R26-P3 A	3	3,4	1,7	1,4
R26-P4 A	3	3,3	1,6	1,4
R26-P5 A	2	2,0	1,4	1,4
R26-P6 A	4	4,6	1,9	1,4
R26-P7 A	3	3,2	1,6	1,4
R27-P1 A	5	7,4	2,7	1,4
R27-P2 A	4	5,7	2,3	1,4
R27-P3 A	5	7,3	2,6	1,4
R27-P4 A	3	4,1	2,1	1,4
R27-P5 A	3	4,0	2,0	1,4
R28-P1 A	2	2,0	1,5	1,4
R28-P2 A	2	2,1	1,5	1,4
R28-P3 A	2	2,4	1,7	1,4
R28-P4 A	3	4,0	2,0	1,4
R28- P5 A	3	3,9	2,0	1,4
R30-P1 A	4	4,7	2,0	1,4
R30-P2 A	6	7,4	2,4	1,4
R31-P1 A	2	2,3	1,7	1,4
R31-P2 A	3	3,9	2,0	1,4
R31-P3 A	3	3,9	2,0	1,4
R32-P1 A	3	3,9	2,0	1,4
R32-P2 A	4	5,5	2,3	1,4
R33-P1 A	5	6,0	2,2	1,4

Tabla 31. Radón en aguas

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Contenido Rn en agua (Bq/l)	7,2	26,5	1,4	224,5

Tabla 32. Valores estadísticos



Mapa 12

1.g.- Radón en aguas. Universidad Politécnica de Valencia

La actividad de radón en muestras de aguas se ha determinado mediante centelleo líquido siguiendo el procedimiento UPV/LRA/AC/Rn-1 del LRA-UPV. El equipo de medida empleado es el espectrómetro de centelleo líquido de ultra bajo fondo Quantulus 1220 (PerkinElmer) y el protocolo de medida utilizado es el preestablecido para emisiones beta de baja energía (3H, low energy beta). En total, se han tomado y medido 77 muestras de diferentes localidades. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

Celda	Nº medid a	Localidad	Fecha TOMA	Fecha MEDIDA	A (Bq/L)	U _A (Bq/L)	LD (Bq/L)
1	1	Zorita del Maestrazgo	14-6-23 10:20	16-6-23 5:31	< LD	-	0.721
1	2	Ortells	14-3-24 13:34	15-3-24 12:46	< LD	-	0.585
1	3	Villores	14-3-24 9:30	15-3-24 14:51	< LD	-	0.613
3	4	Cinctorres	13-6-23 14:00	15-6-23 23:14	< LD	-	0.801
3	5	Olocau del rey	13-6-23 17:30	16-6-23 2:23	< LD	-	0.799
3	6	Tolodella	13-6-23 18:40	16-6-23 3:25	< LD	-	0.798
3	7	Mata de Morella	13-3-24 14:26	14-3-24 2:43	< LD	-	0.573
4	8	Forcall	13-3-24 9:23	14-3-24 1:40	0.607	0.315	0.590
5	9	Herberset	14-3-24 11:10	15-3-24 13:48	2.247	0.408	0.600
7	10	Rosell	25-1-24 9:45	26-1-24 6:31	1.968	0.386	0.585
8	11	Portell de Morella	13-3-24 15:03	14-3-24 3:46	< LD	-	0.575
9	12	Castellfort	13-6-23 12:40	15-6-23 22:11	< LD	-	0.803
11	13	Anroig	18-4-24 13:01	19-4-24 0:27	3.013	0.415	0.548
11	14	Vallivana	18-4-24 12:00	19-4-24 1:30	< LD	-	0.557
12	15	Canet lo Roig	25-1-24 10:20	26-1-24 4:26	7.988	0.624	0.574
13	16	San Rafael del Río	25-1-24 12:12	26-1-24 5:29	1.790	0.370	0.570
13	17	Traiguera	25-1-24 11:45	26-1-24 7:34	< LD	-	0.581
14	18	Villafranca del Cid	15-2-24 11:28	16-2-24 23:26	< LD	-	0.652
15	19	Ares del mestre	15-2-24 13:45	16-2-24 22:23	< LD	-	0.635
16	20	Catí	6-2-24 13:35	8-2-24 2:44	< LD	-	0.734
17	21	Tirig	21-2-24 14:26	23-2-24 7:16	0.843	0.369	0.676
18	22	San Mateu	19-4-24 15:18	20-4-24 1:39	2.701	0.406	0.568
18	23	La Jana	19-4-24 13:15	20-4-24 2:42	< LD	-	0.581
19	24	Cervera	19-4-24 10:50	20-4-24 3:45	2.222	0.399	0.597
21	25	Vistabella del Maestrazgo	15-2-24 9:11	17-2-24 0:29	9.444	0.755	0.668
22	26	Culla	6-2-24 10:50	8-2-24 0:38	< LD	-	0.737
22	27	Benasal	6-2-24 10:22	8-2-24 1:41	< LD	-	0.746
23	28	Albocacer	14-6-23 13:00	16-6-23 9:42	2.616	0.481	0.729
23	29	Sant Pau	6-2-24 13:56	8-2-24 3:46	< LD	-	0.737
24	30	Mas d'en rieres	21-2-24 11:04	23-2-24 6:13	< LD	-	0.688
25	31	Salsadella	21-2-24 9:04	23-2-24 5:11	2.592	0.466	0.693
26	32	Peñíscola	17-4-24 8:35	18-4-24 2:08	< LD	-	0.589
26	33	Santa Magdalena del Pulpis	17-4-24 11:10	18-4-24 3:11	4.835	0.506	0.582
27	34	Benicarló	17-4-24 13:55	18-4-24 1:05	0.728	0.308	0.561
28	35	Villahermosa del Río	30-1-24 12:30	31-1-24 2:51	2.688	0.401	0.557

Celda	Nº medida	Localidad	Fecha TOMA	Fecha MEDIDA	A (Bq/L)	U _A (Bq/L)	LD (Bq/L)
30	36	Xodos	24-1-24 13:58	26-1-24 2:20	< LD	-	0.659
30	37	Adzaneta	24-1-24 8:48	26-1-24 3:23	1.610	0.422	0.690
31	38	Els Ibarsos	8-2-24 10:02	9-2-24 1:46	7.002	0.587	0.591
32	39	Els Rosildos	14-2-24 12:00	16-2-24 1:22	< LD	-	0.677
32	40	Sarratella	14-2-24 13:24	16-2-24 5:33	2.760	0.640	0.689
33	41	Torre d'en Domenec	14-2-24 14:34	16-2-24 0:19	6.485	0.609	0.658
34	42	Alcocéber	31-1-24 12:23	2-2-24 0:41	< LD	-	0.683
34	43	Alcalá de Chivert	31-1-24 9:15	2-2-24 1:44	1.187	0.399	0.705
36	44	Puebla de Arenoso	18-1-24 14:25	19-1-24 23:13	2.195	0.411	0.618
37	45	Zucaina	30-1-24 10:00	31-1-24 1:48	1.383	0.342	0.564
40	46	Crevades	8-2-24 13:46	9-2-24 2:49	3.624	0.447	0.579
41	47	Vall d'Alba	8-2-24 11:40	9-2-24 3:52	< LD	-	0.593
41	48	Cabanes	8-2-24 11:05	9-2-24 4:55	3.354	0.447	0.600
42	49	Villanueva de Alcolea	14-2-24 10:51	15-2-24 23:16	1.446	0.397	0.672
43	50	Torreblanca	31-1-24 10:40	2-2-24 2:47	2.428	0.458	0.703
44	51	Barracas	14-12-23 11:33	16-12-23 2:31	1.693	0.446	0.670
45	52	Montanejos	18-1-24 10:43	19-1-24 21:07	1.480	0.379	0.625
46	53	Cirat	18-1-24 12:50	19-1-24 22:10	2.662	0.434	0.620
48	54	Alcora	1-2-24 8:20	2-2-24 3:50	2.800	0.424	0.602
49	55	Borriol	1-2-24 9:15	2-2-24 5:55	3.252	0.447	0.607
50	56	Pobla Tornesa	17-1-24 10:45	18-1-24 23:15	< LD	-	0.635
50	57	Benicassim	17-1-24 13:25	19-1-24 0:18	2.742	0.477	0.627
51	58	Oropesa	17-1-24 14:35	19-1-24 2:23	< LD	-	0.631
52	59	El Molinar	14-12-23 14:15	16-12-23 3:33	4.549	0.563	0.662
53	60	Bejís	14-12-23 13:20	16-12-23 0:25	< LD	-	0.651
53	61	Viver	14-12-23 13:00	16-12-23 1:28	17.08 8	1.007	0.658
54	62	Caudiel	16-1-24 8:10	17-1-24 2:51	9.366	0.672	0.566
57	63	Apeadero de Bechí	13-2-24 12:19	14-2-24 2:16	2.383	0.384	0.547
57	64	Mas de Font	13-2-24 14:00	14-2-24 3:19	1.080	0.319	0.545
58	65	Almazora	1-2-24 11:40	2-2-24 4:52	0.804	0.325	0.591
59	66	El Grao de Castelló	17-1-24 12:10	19-1-24 1:21	< LD	-	0.638
61	67	Segorbe	19-6-23 14:15	21-6-23 19:22	< LD	-	0.784
62	68	Almedijar	19-6-23 12:30	21-6-23 20:24	2.151	0.493	0.800
64	69	Bechí	20-2-24 12:15	23-2-24 2:02	1.089	0.438	0.792
65	70	Alquerías del Niño perdido	7-2-24 10:45	8-2-24 5:52	2.432	0.448	0.640
65	71	Burriana	7-2-24 8:30	8-2-24 6:55	2.879	0.475	0.656
67	72	Marines Viejo	16-1-24 11:10	17-1-24 3:54	1.992	0.371	0.558
67	73	Gátova	16-1-24 11:40	17-1-24 4:57	2.176	0.381	0.560
69	74	Vall d'Uixò	20-2-24 9:43	23-2-24 4:08	< LD	-	0.820
70	75	Chilches	20-2-24 10:01	23-2-24 0:59	< LD	-	0.799
70	76	Moncófar	20-2-24 11:20	23-2-24 3:05	1.290	0.455	0.803
71	77	Playa de Nules	7-2-24 9:30	8-2-24 4:49	< LD	-	0.641

Tabla 33. Actividades de radón obtenidas en Bq/L junto con su incertidumbre (k=2) y el límite de detección para las muestras de agua de la provincia de Castellón

Como se puede observar, aproximadamente el 40 % de los valores de actividad están por debajo del límite de detección (32 muestras de 77). Entre el resto de las muestras, estos valores de actividad varían entre 0.61 y 17.1 Bq/L, siendo la media 3.2 ± 3.0 Bq/L. La actividad más alta (17.1 Bq/L) se ha encontrado para la muestra tomada en Viver (Castellón, Comunidad Valenciana). Las otras dos muestras que superan el límite máximo son Vistabella del Maestrazgo con 9.44 Bq/L y Caudiel con 9.37 Bq/L. Otras localidades con valores de actividad cercanas al límite superior son Canet lo Roig, Els Ibarsos y Torre d'en Domenec con 7.99, 7.00 y 6.49 Bq/L, respectivamente. El resto de las localidades donde se han recogido muestras de agua tienen actividades cercanas a la media.

En la de resultados aparecen sombreados los 3 puntos más altos que superan el límite superior.

El siguiente gráfico muestra un resumen del valor promedio de actividad (3.2 Bq/L), el límite máximo expresado como la media más dos veces la desviación estándar (9.2 Bq/L) y los valores de actividad obtenidos de cada punto de muestreo. En cualquier caso, todos los resultados están muy alejados del valor paramétrico de 100 Bq/L establecido en el Real Decreto 3/2023, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro.

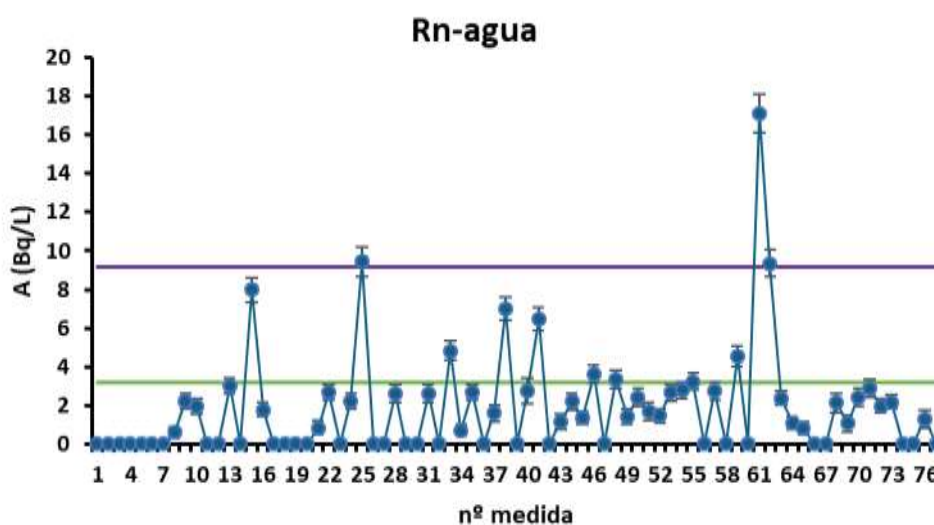


Gráfico del valor promedio de actividad (línea verde), el límite máximo de actividad (línea morada) y los valores de actividad obtenidos de cada punto de muestreo.

1.g.- Radón en aguas. Universidad de Málaga

Hidex 300 SL.

La aplicación de centelleo líquido para la determinación de radón en agua evita las etapas de separación como la emanación y la difusión y, en consecuencia, también las fuentes de errores alineadas con la preparación de la muestra [Passo y Floeckner 1989]; [Prichard et al. 1992]; [Prichard y Gesell 1997].

La distribución espectral y la cuantificación tanto en la región α como en la β permiten estimar el estado de equilibrio de la muestra de agua original. Además, se evita cualquier error de calibración, ya que la eficiencia de recuento debido a la ausencia de autoabsorción y geometría 4π es prácticamente del 100 % para los emisores de α . Este aspecto es de especial importancia ya que rara vez se dispone de estándares de radón calificados.

El radón en el agua se midió después de una extracción previa en un cóctel de centelleo orgánico inmiscible en agua como MaxiLight+. Este último método aplica el hecho de que el coeficiente de distribución del radón como gas entre disolventes orgánicos como el tolueno y el agua supera un valor de 15. Además, la mejor discriminación electrónica de α /pulso β en los cócteles orgánicos reduce las interferencias de los efectos de la radiación β y la luminiscencia y, por lo tanto, mejora el límite inferior de detección de manera integral. En el caso de las muestras de agua con alto contenido de sal, el uso de cócteles seguros que contienen DIN dificulta la separación de fases después de la etapa de extracción y, en ocasiones, permite una centrifuga.

La preparación de la muestra con el cóctel de centelleo se realizó directamente en el sitio de muestreo en ausencia de contacto con el aire con el fin de evitar la emanación de radón durante el muestreo.

Punto	Actividad Rn-222(Bq/l)	Incertidumbre Rn-222(Bq/l)	LD (Bq/l) Rn-222
R1	<LD		2,0
R2	3,4	0,9	2,00
R3	4,1	1,1	2,00
R4	3,9	1,0	2,00
R5	<LD		2,00
R6	7,5	2,1	2,00
R7	4,9	1,9	2,00
R8	6,9	2,2	2,00
R9	9,4	2,5	2,00
R10	<LD		2,00
R11	<LD		2,00
R12	<LD		2,00
R13	<LD		2,00
R14	4,9	2,9	2,00
R15	8,7	2,4	2,00
R16	<LD		2,00

R17	9,7	2,8	2,00
R18	<LD		2,00
R19	<LD		2,00
R20	3,4	1,9	2,00
R21	<LD		2,00
R22	14,2	3,5	2,00
R23	8,5	2,4	2,00
R24	9,5	3,1	2,00
R25	<LD		2,00
R26	<LD		2,00
R27	6,5	2,9	2,00
R28	4,5	2,8	2,00
R29	<LD		2,00
R30	<LD		2,00
R31	5,9	2,9	2,00
R32	<LD		2,00
R33	3,4	2,1	2,00
R34	<LD		2,00

Tabla 34. Radón en agua

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Actividad Rn-222(Bq/l)	6,63	2,95	3,40	14,20

Tabla 35. Valores estadísticos

OBJETIVO 2: Medidas de gas radón en viviendas y puestos de trabajo en zonas kársticas

2.a.- Selección de localizaciones para las medidas. Universidad de Cantabria, Universidad Politécnica de Valencia y Universidad de Málaga

La medida de radón en interiores es otro parámetro fundamental a la hora de evaluar la influencia de la geología en los niveles de este gas.

Sobre las áreas kársticas de cada una de las tres zonas a estudiar presentadas en la Memoria de solicitud, se han elegido, siguiendo criterios específicos, los puntos de medida en los pueblos más adecuados y que presentaban las condiciones más favorables para la realización del trabajo.

Universidad de Cantabria

En cuanto a la Universidad de Cantabria, para la determinación de este parámetro se emplearon detectores pasivos CR-39 que se colocaron en cada punto seleccionado durante un periodo de exposición de tres meses. Tras su recogida, se revelaron y se midieron empleando un equipo Radosys y siguiendo el ensayo acreditado en el LaRUC por la norma UNE-EN ISO/IEC 17025.

En Cantabria se marcó como objetivo la realización de medidas en un total de 150 puntos, abarcando las tres geologías kársticas presentes en la comunidad: calizas paleozoicas, calizas y dolomías mesozoicas y yesos triásicos. Finalmente, se han realizado 258 medidas, cumpliendo así ampliamente el objetivo programado para el proyecto. Las concentraciones obtenidas tras el análisis y revelado de cada uno de los detectores aparecen en las siguientes tablas expresadas en Bq/m³.

Localidad	Concentración (Bq/m ³)
Agüera	27
Agüera	118
Pechón	34
Pechón	51
Pechón	52
Pechón	63
Pechón	54
Pechón	33
Comillas	99
Comillas	62
La Concha	36
Canales	76
Liandres	65
Liandres	47
Liandres	63
Trasierra	76
Trasierra	151
Trasierra	34
Cigüenza	482
Bustablado	96
Ubiarco	74
Ubiarco	10
Mortera	22
Mortera	37
Mortera	22
Mortera	22
Muriedas	76
Muriedas	27
Muriedas	110
Bezana	77
Parbayón	103
Parbayón	57
Parbayón	230
Parbayón	61
Parbayón	68
Herrera	191
Herrera	78
Herrera	75
Herrera	34
Herrera	193
Herrera	1623
Igollo	39
Igollo	10

Localidad	Concentración (Bq/m ³)
Igollo	32
Igollo	10
Igollo	110
Pontejos	325
Pontejos	112
Pontejos	93
Pontejos	75
Solares	148
Solares	204
Solares	26
Solares	14
Solares	17
Solares	30
Solares	403
Solares	204
Solares	22
Solares	16
Solares	22
Solares	18
Solares	148
Solares	25
Solares	31
Solares	41
Solares	17
Solares	26
Solares	204
Solares	26
Solares	22
Solares	23
Solares	30
Solares	37
Solares	204
Solares	23
Solares	26
Solares	26
Solares	18
Solares	37
Solares	204
Solares	25
Solares	14
Solares	29
Solares	30
Solares	22

Localidad	Concentración (Bq/m ³)
Arnuero	28
Hazas de Cesto	163
Hazas de Cesto	77
Hazas de Cesto	529
Hazas de Cesto	148
Noja	26
Noja	68
Noja	49
Noja	48
Noja	37
Noja	21
Noja	166
Noja	128
Noja	142
Noja	91
Noja	159
Bejes	39
La Hermida	117
La Hermida	44
La Hermida	36
La Hermida	85
La Hermida	30
Linares	46
Linares	34
Linares	13
Piñeres	19
Piñeres	75
Puentenansa	206
Puentenansa	45
Puentenansa	523
Puentenansa	107
Puentenansa	47
Puentenansa	31
Puentenansa	59
Puentenansa	74
Puentenansa	45
Riclones	480
Mijarajos	21
Puente Viesgo	166
Escobedo	96
Escobedo	156
Esles	137
Somarriba	17

Localidad	Concentración (Bq/m ³)
Somarriba	52
Mirones	163
Solórzano	1311
Solórzano	255
Solórzano	34
Laredo	21
Laredo	30
Laredo	31
Laredo	33
Laredo	21
Badames	163
Badames	159
Badames	174
Rada	19
Islares	52
Islares	180
Islares	10
Islares	10
Islares	10
Islares	13
Sámano	141
Sámano	26
Sámano	25
Sámano	103
Sámano	67
Tudanca	66
La Lastra	65
Teran	176
Arenas de Iguña	92
Arenas de Iguña	94
Arenas de Iguña	34
Arenas de Iguña	20
Arenas de Iguña	38
Pedredo	207
Villafufre	30
Villafufre	28
La Concha	40
La Concha	108
La Concha	31
La Concha	52
La Concha	31
Arredondo	31
Arredondo	44

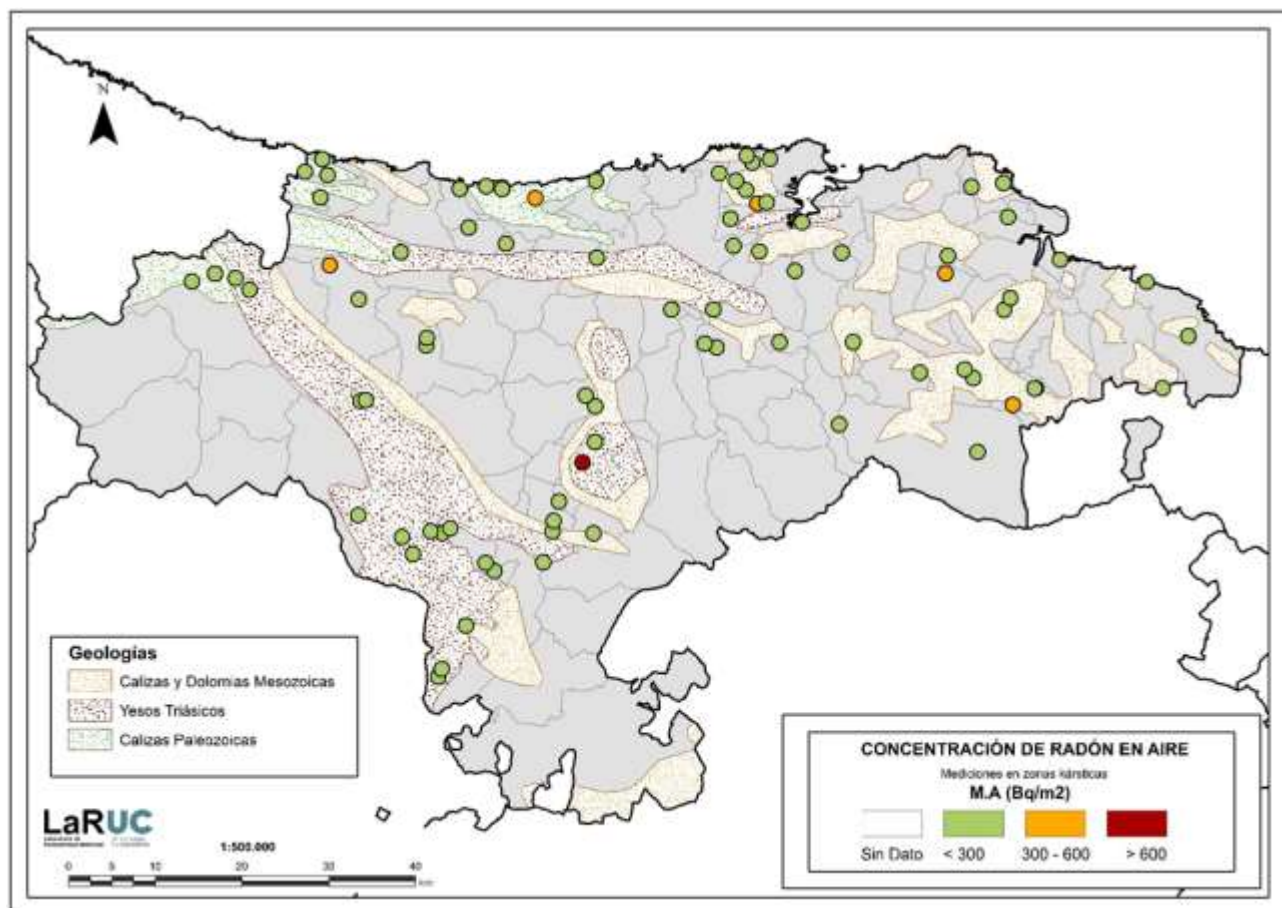
Localidad	Concentración (Bq/m ³)
Arredondo	16
Arredondo	27
Arredondo	66
Ogarrio	64
Ogarrio	41
Ogarrio	83
Valle	70
Valle	68
Valle	45
Valle	88
Valle	64
Valle	28
Valle	140
Valle	41
Valle	123
Ramales	105
Ramales	755
Ramales	667
Ramales	61
Ramales	44
Ramales	808
Ramales	1597
Ramales	2090
Ramales	1972
Ramales	84
Ramales	40
Ramales	42
Ramales	55
Ramales	78
Ramales	77
Ramales	81
Gibaja	82
Gibaja	29
Brañavieja	121
Pesquera	127
Barcena Pie de Concha	703
Molledo	29
Molledo	32
San Román	94
Soto de la Marina	47
Soto de la Marina	103
Sancibrian	356
Sancibrian	103

Localidad	Concentración (Bq/m ³)
Regules	45
Regules	120
Abiada	62
Soto	144
Soto	61
Soto	81
Soto	28
Soto	130
Soto	10
Mazandrero	112
Proaño	51
Proaño	32
Proaño	34
Ormas	13
Ormas	241
Nestares	148
Nestares	14
Nestares	191
Nestares	17
Nestares	10
Nestares	16
Nestares	10
Nestares	10
Nestares	10
Salces	72
Lantueno	76
Santiurde de Reinosa	12
Santiurde de Reinosa	17
Santiurde de Reinosa	228
Aldueso	43
San Miguel de Aguayo	329
San Miguel de Aguayo	22
San Miguel de Aguayo	33
Olea	46
Las Quintanillas	65
La Quintana	21
Unquera	32
Unquera	86
Unquera	132
Pesús	106
Pesús	54
Pesús	23
Luey	45

Tabla 36. Radón en aire

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	% medidas > 300 Bq/m ³
Contenido Rn en aire (Bq/m ³)	121,8	256,2	10,0	2090,0	6,5

Tabla 37. Valores estadísticos



Mapa 13

Universidad Politécnica de Valencia

La determinación de la exposición a radón en aire de los detectores a colocar por la UPV se ha realizado mediante el empleo de detectores electretes de largo término con cámaras L (E-PERM).



Figura. Electretes de largo término

La mayoría de las mediciones realizadas se basan en la colocación de detectores en puestos de trabajo estando estos últimos básicamente relacionados con edificios públicos: centros de salud y ayuntamientos principalmente.

Estos detectores integrados se han expuestos por un periodo de seis meses consecutivamente (enero-junio y junio-diciembre respectivamente) al objeto de observar la evolución anual de la concentración de radón en cada uno de ellos. No se han realizado medidas en continuo.

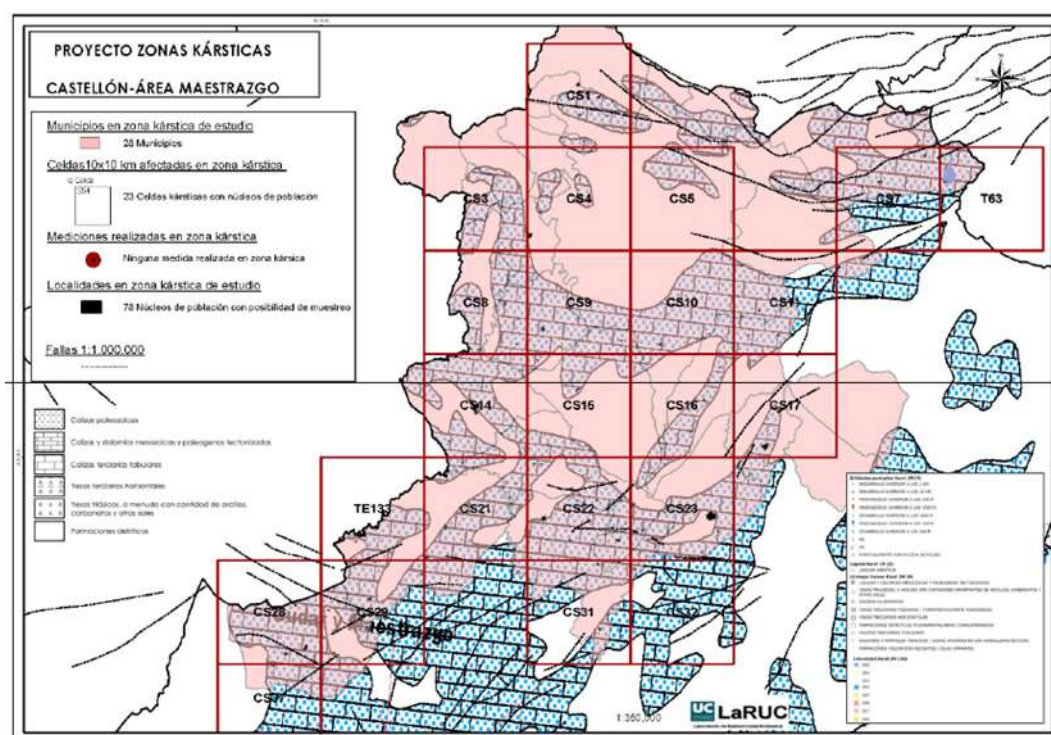
Se ha muestreado la zona norte de Castellón correspondiente la Comarca del Maestrazgo.

La selección del área de estudio de la Comarca del Maestrazgo comprende un total de 28 municipios, ajustándose a un total de 23 celdas de 10x10 km.

En el presente proyecto en Castellón se han realizado 150 mediciones.

-Mínimo 6 en cada una de estas celdas (CS1, CS3, CS4, CS5, CS7, T63, CS8, CS9, CS10, CS11, CS14, CS15, CS16, CS17, TE133, CS21, CS22, CS23, CS28, CS29, CS31, CS32, CS37).

La campaña de medida de radón en aire en la zona norte de Castelló, Comarca del Maestrat, se ha distribuido según se muestra en la siguiente imagen.



Mapa 14. Zonas kársticas en el Maestrat (Castellón)

Celda	Punto muestreo	Tipo de localización	Fecha inicio exp.	Fecha final exp.	Ubicación planta	SEMESTRE	CRn (Bq/m3)	u (C) (Bq/m3)	LD (Bq/m3)
CS1	Zorita	Casa Particular	02/12/2022	14/06/2023	Sótano	S1	295	15	18
			14/06/2023	14/12/2023		S2	188	13	27
	Villores	Consultorio médico	14/06/2023	14/12/2023	Planta baja	S2	119	11	27
		Casa particular	02/12/2022	14/06/2023	Planta baja	S1	94	10	28
CS3	Todoella	Consultorio médico	13/06/2023	14/12/2023	Planta baja	S2	54	11	36
		Consultorio médico	13/06/2023	14/12/2023	Planta baja	s2	74	9	27
	La Mata de Morella	Consultorio médico	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	s1	96	9	24
CS4	Xiva de Morella	Casa particular	02/12/2022	28/06/2023	Planta baja	S1	171	15	43
	Forcall	Ayuntamiento	14/06/2023	15/12/2023	Planta baja	S2	100	14	42
		Ayuntamiento	14/06/2023	15/12/2023	Planta baja	s2	69	13	42
CS5	Morella	Ayuntamiento	28/06/2023	19/01/2024	Planta baja	S2	284	17	28
		Local privado	28/06/2023	19/01/2024	Planta baja	S2	166	11	18
	Herbesset	Casa particular	28/06/2023	19/01/2024	Sótano	S2	389	21	27
		Casa particular	28/06/2023	19/01/2024	Sótano	S2	286	17	27

Celda	Punto muestreo	Tipo de localización	Fecha inicio exp.	Fecha final exp.	Ubicación planta	SEMESTRE	CRn (Bq/m3)	u (C) (Bq/m3)	LD (Bq/m3)
CS7	Rosell	Consultorio médico	01/12/2022	15/06/2023	Planta baja	S1	51	12	42
		Consultorio médico	01/12/2022	15/06/2023	Planta baja	S1	80	13	42
	Pobla de Benifassar	Consultorio médico	15/06/2023	30/05/2024	Planta baja	S2	<LD	9	55
		Consultorio médico	01/12/2022	15/06/2023	Sótano	S1	121	12	33
CS8	Portell de Morella	Ayuntamiento	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	316	20	39
CS9	Castellfort	Consultorio médico	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	33	10	33
		Consultorio médico	13/06/2023	14/12/2023	Planta baja	S2	131	13	25
		Consultorio médico	13/06/2023	14/12/2023	Planta baja	S2	85	12	35
		Consultorio médico	13/06/2023	14/12/2023	Planta baja	S2	46	11	35
		Local público	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	68	8	21
CS11	Anroig	Local privado	01/12/2022	15/06/2023	Planta baja	s1	<LD	9	32
		Local privado	01/12/2022	15/06/2023	Planta baja	s1	55	11	37
	Vallivana	Local privado	02/12/2022	28/06/2023	Primera planta	S1	179	12	24
		Local privado	02/12/2022	28/06/2023	Primera planta	S1	44	8	24
CS14	Villafranca del cid	Consultorio médico	13/06/2023	14/12/2023	Planta baja	S2	94	11	32

Celda	Punto muestreo	Tipo de localización	Fecha inicio exp.	Fecha final exp.	Ubicación planta	SEMESTRE	CRn (Bq/m3)	u (C) (Bq/m3)	LD (Bq/m3)
CS15	Ares del Maestre	Consultorio médico	13/06/2023	14/12/2023	Planta baja	S2	85	12	35
		Vivienda particular	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	s1	40	8	27
		Local privado	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	84	9	25
		Vivienda particular	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	221	14	25
CS16	Cati	Ayuntamiento 2	01/12/2022	15/06/2023	Planta baja	S1	182	12	22
		Consultorio médico	15/06/2023	15/12/2023	Planta baja	S2	154	12	25
		Consultorio médico	15/06/2023	15/12/2023	Planta baja	S2	69	9	26
		Consultorio médico	15/06/2023	15/12/2023	Planta baja	S2	221	14	26
CS17	Tirig	Consultorio médico	20/12/2022	14/06/2023	Planta baja	S1	322	18	25
		Edificio bomberos. Habitación	20/12/2022	14/06/2023	Planta baja	S1	161	13	33
		Edificio bomberos. Sala TCM	20/12/2022	14/06/2023	Planta baja	S1	217	15	33
CS22	Torre d'en Besora	Centro de salud 1. Consulta	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S2	262	15	21
CS23	Albocasser	Consultorio médico	14/06/2023	15/12/2023	Planta baja	S2	78	11	31
		Consultorio médico	14/06/2023	15/12/2023	Planta baja	S2	177	14	31
		Consultorio médico	14/06/2023	15/12/2023	Planta baja	S2	<LD	9	31
	Villar de canes	Consultorio médico	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	190	14	34

Celda	Punto muestreo	Tipo de localización	Fecha inicio exp.	Fecha final exp.	Ubicación planta	SEMESTRE	CRn (Bq/m3)	u (C) (Bq/m3)	LD (Bq/m3)
CS29	Xodos	Local público	06/10/2023	27/03/2024	Planta baja	S2	90	11	28
		Local público	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	279	20	43
CS31	Els ibarsos	Local comercial	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	415	22	25

Tabla 38

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	% medidas > 300 Bq/m ³
Contenido Rn en aire (Bq/m ³)	113	93	26	415	9,6

Tabla 39. Valores estadísticos

Universidad de Málaga

Se ha empleado, de forma general, el uso de detectores pasivos CR-39 que se colocaron en cada punto seleccionado durante un periodo de exposición de tres meses y, posteriormente, fueron remitidos al laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Cantabria donde se revelaron y se midieron empleando un equipo Radosys y siguiendo el ensayo acreditado en el LaRUC por la norma UNE-EN ISO/IEC 17025.

En Málaga se marcó como objetivo la realización de medidas en un total de 120 puntos, abarcando las tres geologías kársticas presentes en la zona elegida: calizas y dolomías mesozoicas, calizas tabulares, y en el núcleo de población sobre los yesos triásicos.

Las concentraciones obtenidas tras el análisis y revelado de cada uno de los detectores aparecen en las siguientes tablas expresadas en Bq/m³ agrupados por tipología de suelo:

yesos triásicos
calizas tabulares
calizas y dolomías mesozoicas

Los resultados aparecen recogidos a continuación:

Localidad	Concentración (Bq/m3)
Málaga (Teatinos)	75
	71
	87
	65
Málaga (Carretera de Cádiz)	31
	39
	67
	81
Málaga (Churriana)	75
	29
	167
	58

Localidad	Concentración (Bq/m3)
Mijas	74
	84
	325
	98
Fuengirola	62
	98
	42
	109
Alhaurín de la Torre	29
	214
	< LD
	87
	56
	42
Pinos de Alhaurín	49
	129
	101
	69
Carratraca	47
	156
	46
	40
Casarabonela	175
	84
	<LD
	57
Benalmádena Costa	54
	287

Localidad	Concentración (Bq/m3)
	425
	77
Yunquera	< LD
	32
	51
	38
	53
Tolox	49
	67
	97
	163
	38
	< LD
Cerralba	59
	43
El Burgo	41
	< LD
	47
	93
	42
	142
Cártama	86
	40
	135
	54
	66
Estación de Cártama	< LD

Localidad	Concentración (Bq/m3)
	65
	47
	62
Guaro	35
	<LD
	61
	58
Monda	69
	87
	287
Torremolinos	68
	33
	126
	< LD
Arroyo de la Miel	68
	240
	43
Ronda	101
	< LD
	87
	235
	74
	89
Arriate	64
	72
	< LD
Montecorto	32
	84

Localidad	Concentración (Bq/m3)
	57
	69
Zalea	104
	57
Alpandeire	68
	168
	54
Cartajima	< LD
	87
	61
Los Montero	189
	96
	165
Ojén	89
	168
	72
Lomas de Marbella	357
	869
	58
	134
El Gastor	238
	74
	68
	69

Tabla 40. Radón en aire

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	% medidas > 300 Bq/m ³
Contenido Rn en aire (Bq/m ³)	101	103	29	869	4

Tabla 41. Valores estadísticos

2.b.- Evolución temporal anual. Universidad de Cantabria, Universidad Politécnica de Valencia y Universidad de Málaga

Universidad de Cantabria

De los puntos seleccionados en Cantabria, se determinaron aquellos en los que llevar a cabo la evolución temporal, escogiendo tanto viviendas como puestos de trabajo.

En la tabla que se muestra a continuación aparecen las concentraciones obtenidas según las fechas en las que se realizó la exposición.

	VIVIENDAS				PUESTOS TRABAJOS				
LOCALIDAD	ENE-MAR	MAR-JUN	JUN-SEP	SEP-DIC	LOCALIDAD	ENE-MAR	MAR-JUN	JUN-SEP	SEP-DIC
Pechón	34	51	52	63					
Mortera	22	37	22	22					
Parbayón	103	57	230	61					
Herrera	191	78	75	34					
Igollo	39	10	32	10					
Pontejos	325	112	93	75					
Solares	26	14	17	30	Solares	148	204	148	25
Solares	22	16	31	41					
Solares	22	23	30	37					
Hazas de Cesto	163	77	529	148					
Noja	26	68	49	48	Noja	166	128	142	91
La Hermida	117	44	36	85					
Puentenansa	107	47	31	59	Puentenansa	206	45	74	45
Puentenansa	206	45	74	45					
Laredo	21	30	31	33					
Islares	52	180	10	10					
Sámano	141	26	25	103					
Arenas de Iguña	92	94	34	20					
La Concha	40	108	31	52					
Arredondo	31	44	27	66					
Valle	70	68	45	88					
Valle	64	28	140	41					
Ramales de la Victoria	61	44	42	55					
Ramales de la Victoria	105	755	667	808					
Soto	144	61	81	28					
Nestares	148	14	191	17					
Nestares	10	16	10	10					

Tabla 42. Evolución temporal anual

Celda	Punto muestreo	Tipo de localización	Fecha inicio exp.	Fecha final exp.	Ubicación planta	Evolución temporal	CRn (Bq/m3)	u (C) (Bq/m3)	LD (Bq/m3)
CS1	Zorita	Consultorio médico	02/12/2022	14/06/2023	Planta baja	S1	38	7	20
			14/06/2023	14/12/2023		S2	119	11	27
	Villores	Casa particular	02/12/2022	14/06/2023	Planta baja	S1	116	11	28
			14/06/2023	14/12/2023		S2	92	11	32
	Ortells	Local público	02/12/2022	28/06/2023	Planta baja	S1	51	8	27
			28/06/2023	19/01/2024		S2	192	13	29
CS3	Tolodella	Casa Particular	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	<LD	9	29
		Casa Particular	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S2	<LD	8	29
	La Mata de Morella	Casa Particular	02/12/2022	13/06/2023	Sótano	S1	105	9	23
			13/06/2023	14/12/2023		S2	199	14	29
	Cinctorres	Consultorio médico	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	62	10	29
			13/06/2023	14/12/2023		S2	72	12	37
CS4	Xiva de Morella	Consultorio	02/12/2022	28/06/2023	Planta baja	S1	55	7	22
			28/06/2023	19/01/2024		S2	87	9	27
		Casa particular	02/12/2022	28/06/2023	Sótano	S1	127	11	29
			28/06/2023	19/01/2024		S2	295	17	26
	Forcall	Local público	02/12/2022	14/06/2023	Planta baja	S1	37	9	31
			14/06/2023	15/12/2023		S2	42	9	30
		Centro de salud	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	46	10	33
			13/06/2023	15/12/2023		S2	44	10	33

Celda	Punto muestreo	Tipo de localización	Fecha inicio exp.	Fecha final exp.	Ubicación planta	Evolución temporal	CRn (Bq/m3)	u (C) (Bq/m3)	LD (Bq/m3)
CS5	Morella	Centro de salud	02/12/2022	28/06/2023	Planta baja	S1	<LD	7	26
			28/06/2023	19/01/2024		S2	31	7	24
		Centro de salud	02/12/2022	28/06/2023	Planta baja	S1	202	13	26
			28/06/2023	19/01/2024		S2	354	19	24
	Herbesset	Casa particular	02/12/2022	28/06/2023	Sótano	S1	<LD	8	28
			28/06/2023	19/01/2024		S2	64	9	28
		Casa particular	02/12/2022	28/06/2023	Sótano	S1	62	9	28
			28/06/2023	19/01/2024		S2	64	9	28
		Casa particular	02/12/2022	28/06/2023	Planta baja	S1	183	13	28
			02/12/2022	19/01/2024		S2	110	11	27
	Rosell	Consultorio médico	01/12/2022	15/06/2023	Planta baja	S1	<LD	11	42
			15/06/2023	15/12/2023		S2	<LD	11	38
CS8	Portell de Morella	Consultorio médico	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	97	10	27
			13/06/2023	14/12/2023		S2	<LD	11	37
		Consultorio médico	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	38	8	27
			13/06/2023	14/12/2023		S2	89	12	37
		Consultorio médico	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	82	10	27
			13/06/2023	14/12/2023		S2	88	12	37
		Local privado	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	53	9	27
			13/06/2023	14/12/2023		S2	<LD	11	37
		Local privado	02/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	<LD	8	27
			13/06/2023	14/12/2023		S2	42	11	37
		Ayuntamiento	02/12/2022	13/06/2023	Sótano	S1	389	22	37
			13/06/2023	14/12/2023		S2	297	20	43
CS9	Castellfort	Consultorio médico	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	65	11	33
			13/06/2023	14/12/2023		S2	47	10	35
		Local público	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	84	8	21
			13/06/2023	14/12/2023		S2	99	9	22
		Casa particular	20/12/2022	13/06/2023	Sótano	S1	<LD	9	29
			13/06/2023	14/12/2023		S2	83	10	29
		Casa particular	20/12/2022	13/06/2023	Sótano	S1	50	9	29
			13/06/2023	14/12/2023		S2	76	10	29
CS11	Vallivana	Local privado	02/12/2022	28/06/2023	Planta baja	S1	209	15	35
			28/06/2023	18/04/2024		S2	390	22	42

Celda	Punto muestreo	Tipo de localización	Fecha inicio exp.	Fecha final exp.	Ubicación planta	Evolución temporal	CRn (Bq/m3)	u (C) (Bq/m3)	LD (Bq/m3)
CS14	Vilafranca del Cid	Centro de Salud	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	52	9	28
			13/06/2023	14/12/2023		S2	<LD	9	30
		Centro de Salud	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	32	9	30
			13/06/2023	14/12/2023		S2	84	11	32
		Centro de Salud	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	50	9	29
			13/06/2023	14/12/2023		S2	<LD	9	31
		Centro de Salud	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	s1	34	9	29
			13/06/2023	14/12/2023		S2	40	9	31
		Ayuntamiento	20/12/2022	13/06/2023	Sótano	S1	106	11	29
			13/06/2023	14/12/2023		S2	89	10	27
		Ayuntamiento	20/12/2022	13/06/2023	Sótano	S1	180	13	29
			13/06/2023	14/12/2023		S2	112	10	27
CS15	Ares del Maestre	Consultorio	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	<LD	8	27
			13/06/2023	14/12/2023		S2	69	11	35
		Local privado	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	s1	36	9	28
			13/06/2023	14/12/2023		S2	71	11	34
		Local privado	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	s1	37	9	28
			13/06/2023	14/12/2023		S2	152	13	33
CS16	Catí	Ayuntamiento	01/12/2022	15/06/2023	Planta baja	S1	45	7	22
			15/06/2023	15/12/2023		S2	151	12	26
		Consultorio médico	01/12/2022	15/06/2023	Planta baja	S1	46	9	31
			15/06/2023	15/12/2023		S2	<LD	8	27

Celda	Punto muestreo	Tipo de localización	Fecha inicio exp.	Fecha final exp.	Ubicación planta	Evolución temporal	CRn (Bq/m3)	u (C) (Bq/m3)	LD (Bq/m3)
CS17	Tírig	Consultorio médico	20/12/2022	14/06/2023	Planta baja	S1	267	16	25
			14/06/2023	15/12/2023		S2	226	15	31
		Consultorio médico	20/12/2022	13/06/2023	Planta baja	S1	276	16	25
			13/06/2023	14/12/2023		S2	211	15	30
CS22	Benasal	Consultorio médico	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	99	15	56
			22/09/2023	23/02/2024		S2	206	17	40
		Consultorio médico	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	60	14	56
			22/09/2023	23/02/2024		S2	234	18	40
		Consultorio médico	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	<LD	9	36
			22/09/2023	23/02/2024		S2	<LD	10	32
		Consultorio médico	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	37	9	36
			22/09/2023	23/02/2024		S2	117	12	32
	Torre d'en Besora	Consultorio médico	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	295	16	24
			22/09/2023	23/02/2024		S2	234	14	21
	Culla	Consultorio médico	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	73	8	23
			22/09/2023	23/02/2024		S2	39	11	34
		Consultorio médico	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	50	7	23
			22/09/2023	23/02/2024		S2	<LD	11	34
CS23	ALBOCASSER	Centro de Salud.	20/12/2022	14/06/2023	Planta baja	S1	<LD	9	32
			14/06/2023	15/12/2023		S2	<LD	9	32
	Vilar de Canes	Centro de salud	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	79	10	35
			22/09/2023	23/02/2024		S2	162	13	28
		Centro de salud	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	127	11	34
			22/09/2023	23/02/2024		S2	121	12	30
CS27	San Vicente Piedrahita	Centrol de salud	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	<LD	9	30
			06/10/2023	27/03/2024		S2	50	10	28
		Ayuntamiento	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	64	13	43
			06/10/2023	27/03/2024		S2	110	13	37
	Zucaina	Ayuntamiento	30/03/2023	06/10/2023	Primera planta	S1	273	19	39
			06/10/2023	27/03/2024		S2	154	14	36
		Ayuntamiento	30/03/2023	06/10/2023	Primera planta	S1	43	11	39
			06/10/2023	27/03/2024		S2	81	12	36
		Ayuntamiento	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	<LD	11	38
			06/10/2023	27/03/2024		S2	104	12	33

Celda	Punto muestreo	Tipo de localización	Fecha inicio exp.	Fecha final exp.	Ubicación planta	Evolución temporal	CRn (Bq/m3)	u (C) (Bq/m3)	LD (Bq/m3)
CS28	Villahermosa del rio	Ayuntamiento	30/03/2023 12:40	06/10/2023 12:20	Planta baja	S1	44	12	42
			06/10/2023 12:20	27/03/2024 12:54		S2	89	12	36
		Ayuntamiento	30/03/2023 12:40	06/10/2023 12:20	Planta baja	S1	<LD	11	42
			06/10/2023 12:20	27/03/2024 12:54		S2	138	14	36
		Ayuntamiento	30/03/2023 12:40	06/10/2023 12:20	Planta baja	S1	<LD	12	42
			06/10/2023 12:20	27/03/2024 12:54		S2	56	11	36
		Consultorio médico	30/03/2023 12:55	06/10/2023 12:30	Planta baja	S1	99	14	44
			06/10/2023 12:30	27/03/2024 12:57		S2	63	13	44
		Consultorio médico	30/03/2023 12:55	06/10/2023 12:30	Planta baja	S1	<LD	12	43
			06/10/2023 12:30	27/03/2024 12:57		S2	63	13	43
		Consultorio médico	30/03/2023 12:55	06/10/2023 12:30	Planta baja	S1	84	13	44
			06/10/2023 12:30	27/03/2024 12:57		S2	104	14	43
		Consultorio médico	30/03/2023 12:55	06/10/2023 12:30	Planta baja	S1	<LD	11	41
			06/10/2023 12:30	27/03/2024 12:57		S2	175	14	34
		Consultorio médico	30/03/2023 12:55	06/10/2023 12:30	Planta baja	S1	172	15	41
			06/10/2023 12:30	27/03/2024 12:57		S2	101	12	34
CS29	Xodos	Ayuntamiento	30/03/2023 9:50	06/10/2023 9:30	Planta baja	S1	305	18	28
			06/10/2023 9:30	27/03/2024 10:04		S2	216	15	30
		Ayuntamiento	30/03/2023 9:50	06/10/2023 9:30	Planta baja	S1	312	18	28
			06/10/2023 9:30	27/03/2024 10:04		S2	245	15	30
		Ayuntamiento	30/03/2023 9:50	06/10/2023 9:30	Planta baja	S1	268	16	28
			06/10/2023 9:30	27/03/2024 10:04		S2	184	14	30
		Local público	30/03/2023 10:16	06/10/2023 9:50	Planta baja	S1	316	21	43
			06/10/2023 9:50	27/03/2024 9:58		S2	238	18	42
		Local público	30/03/2023 10:16	06/10/2023 9:50	Planta baja	S1	168	16	43
			06/10/2023 9:50	27/03/2024 9:58		S2	157	16	41

Celda	Punto muestreo	Tipo de localización	Fecha inicio exp.	Fecha final exp.	Ubicación planta	Evolución temporal	CRn (Bq/m3)	u (C) (Bq/m3)	LD (Bq/m3)
CS31	Els ibarsos	Centro de salud	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	74	11	35
			06/10/2023	27/03/2024		S2	238	16	31
		Centro de salud	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	378	22	35
			06/10/2023	27/03/2024		S2	450	25	31
		Local privado	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	96	10	25
			06/10/2023	27/03/2024		S2	102	9	19
		Local privado	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	238	17	38
			06/10/2023	27/03/2024		S2	152	14	37
		Local privado	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	112	13	38
			06/10/2023	27/03/2024		S2	103	13	37
		Local privado	30/03/2023	06/10/2023	Planta baja	S1	45	11	38
			06/10/2023	27/03/2024		S2	119	13	37
CS32	Torre d'en Domenech	Centro de salud	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	<LD	7	27
			22/09/2023	23/02/2024		S2	180	13	24
		Centro de salud	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	32	7	27
			22/09/2023	23/02/2024		S2	125	11	24
		Centro de salud	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	74	8	26
			22/09/2023	23/02/2024		S2	228	15	23
	Rosildos	Centro de salud	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	<LD	15	64
			22/09/2023	23/02/2024		S2	46	14	46
		Centro de salud	18/01/2023	22/09/2023	Planta baja	S1	<LD	15	64
			22/09/2023	23/02/2024		S2	120	16	46

Tabla 43

La práctica totalidad de los puntos analizados presentan resultados por debajo de 300 Bq/m³, a excepción de 6 celdas donde se han encontrado valores por encima y que se encuentran marcados en las tablas: CS31, CS29, CS11, CS17, CS8 y CS5.

En general hemos detectado un aumento significativo de las concentraciones de radón en aire durante el segundo semestre respecto al primero, asumimos que debido a cambios climatológicos principalmente.

Universidad de Málaga

La metodología seguida en Málaga ha sido similar a la desarrollada por la Universidad de Cantabria y a continuación se presentan los resultados alcanzados.

	VIVIENDAS				PUESTOS TRABAJOS				
LOCALIDAD	ENE-MAR	MAR-JUN	JUN-SEP	SEP-DIC	LOCALIDAD	ENE-MAR	MAR-JUN	JUN-SEP	SEP-DIC
Málaga	71	70	65	60					
Mijas	98	88	110	90					
Estación Cartama	66	50	78	66					
Ronda	74	70	56	55					
El Burgo	47	55	65	58					
El Burgo	42	35	39	48					
Lomas de Marbella	869	560	456	768	Lomas de Marbella	156	204	176	145
El Gastor	74	77	87	90					
Zalea	104	87	112	123					
Torremolinos	33	43	44	54					
Arroyo de la Miel	240	180	110	156					
Guaro	61	55	67	77	Guaro	156	124	122	156
Cerralba	59	64	78	66	Cerralba	106	145	94	85
Cerralba	43	45	55	45					
Tolox	49	40	41	43					
Tolox	67	55	64	70					
Yunquera	51	56	55	63	Yunquera	66	74	45	77
Yunquera	38	34	34	30					
Casarabonela	84	108	81	82					
Casarabonela	175	144	123	187					
Carratraca	156	168	145	188					
Carratraca	46	28	40	41					
Pinos de Alhaurin	101	144	142	155					
Pinos de Alhaurin	69	75	67	80					
Mijas	325	361	181	328					
Mijas	98	94	91	107					

	VIVIENDAS				PUESTOS TRABAJOS				
LOCALIDA D	ENE- MAR	MAR- JUN	JUN- SEP	SEP- DIC	LOCALIDA D	ENE- MAR	MAR- JUN	JUN- SEP	SEP- DIC
Málaga	71	66	60	50					
Málaga	87	70	65	70					
Fuengirola	98	88	110	90					
Fuengirola	42	50	48	56					

Tabla 44. Evolución temporal anual

2.c.- Intercomparación de métodos de medida de variables analizadas. Universidad de Cantabria, Universidad Politécnica de Valencia Universidad de Málaga

Una vez concedido el Proyecto por el CSN, se llevó a cabo una primera reunión presencial de coordinación en las instalaciones del Laboratorio de Radiación Natural, localizado en las instalaciones de ENUSA en Saelices el Chico (Salamanca). Aprovechando la reunión se llevó a cabo un primer ejercicio de intercomparación utilizando dichas instalaciones para la medida de gas radón, radiación gamma externa empleando los dos “greens”, certificados por el CIEMAT y que proporcionan tasas de exposición de 100 y 1000 nGy/h. Igualmente se llevaron a cabo medidas utilizando los diferentes métodos empleados por las tres universidades. Por falta de equipo, en alguna de las universidades no se pudieron realizar medidas conjuntas de radón a 0,8 m de profundidad ni la permeabilidad y exhalación de radón.

Durante el periodo de desarrollo del Proyecto se han realizado dos importantes intercomparaciones, una de radón en agua y otra de medida de radón y radiación gamma externa. En ambas participaron las tres universidades con resultados muy satisfactorios.

El Anexo II recoge la intercomparación de radón con detectores pasivos y monitores en continuo y el Anexo III la correspondiente a la de radón en agua.

OBJETIVO 3. Análisis de datos y correlación entre variables medidas y modelización

En cada uno de los apartados referidos en el Informe se puede observar las variaciones encontradas entre las tres localizaciones estudiadas. En el caso de la Comunidad de Cantabria se ha podido llevar a cabo un estudio específico-modelización, que compara zonas kársticas y no kársticas dado que disponemos de un número de medidas muy elevado, aspecto que no ha podido ser desarrollado en la zona de Castellón y Málaga por carecer de medidas en zonas no kársticas.

Por el interés del estudio realizado en Cantabria pasamos a comentar los resultados obtenidos ya que los mismos pueden ser contrastados en otras situaciones similares tanto en nuestro país como en otras zonas de Europa.

Comparativa zonas kársticas y no kársticas

Para comenzar con el análisis de los datos se muestran tablas con los valores promedio para cada parámetro estudiado y se comparan los datos obtenidos en las zonas kársticas (en cada una de las tres geologías kársticas presentes en Cantabria) con datos de zonas no kársticas resultantes de otros proyectos en los que ha trabajado el LaRUC.

Leyenda:

1001-Calizas Paleozoicas

2002-Calizas y Dolomías Mesozoicas y Paleógenas Tectonizadas

5004-Yesos Triásicos, a menudo en cantidades importantes de arcillas, carbonatos y otras sales

GAMMA EXTERNA Tasa ($\mu\text{Sv/h}$)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MEDICIONES	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	0.068	0.01	0.066	0.040	0.068	0.110	160	TOTAL	0.051	33
1001	0.066	0.01	0.065	0.040	0.067	0.106	52%			
2002	0.066	0.02	0.064	0.040	0.065	0.101	28%			
5004	0.075	0.01	0.074	0.045	0.073	0.110	20%			

Tabla 45

En la tabla 45 la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es de 0.068 $\mu\text{Sv/h}$, valor superior a los 0.051 $\mu\text{Sv/h}$ obtenidos en las áreas no kársticas. La geología Yesos Triásicos (5004) supera ese valor promedio, obteniéndose

en esta área una M.A de 0.075 $\mu\text{Sv/h}$ con el 20% de las mediciones realizadas en esta geología.

GAMMA SUELOS										
238U (Bq/kg)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MEDICIONES	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	25.3	9.2	23.4	6.3	25.1	48.5	160	TOTAL	15.7	33
1001	25.9	9.7	23.7	6.3	26.3	47.0	52%			
2002	24.1	9.1	22.3	8.0	23.5	48.5	28%			
5004	25.7	7.8	24.3	8.8	25.5	41.4	20%			

Tabla 46

En la tabla 46 la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es de 25.3 Bq/kg, valor superior a los 15.7 Bq/kg obtenidos en las áreas no kársticas. Las geologías Calizas Paleozoicas (1001) y Yesos Triásicos (5004) superan ese valor promedio, obteniéndose 25.9 Bq/kg con el 52% de las mediciones realizadas en la geología Caliza Paleozoica y 25.7 Bq/kg con el 20% de las mediciones realizadas en la geología Yesos Triásicos.

GAMMA SUELOS										
226Ra (Bq/kg)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MEDICIONES	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	31.7	11.4	29.8	4.0	30.9	84.0	160	TOTAL	26.5	33
1001	32.3	11.3	30.1	4.0	21.8	74.9	52%			
2002	28.5	8.3	27.2	13.4	26.1	45.6	28%			
5004	34.8	14.2	32.8	20.0	31.6	84.0	20%			

Tabla 47

En la tabla 47 la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es de 31.7 Bq/kg, valor superior a los 26.5 Bq/kg obtenidos en las áreas no kársticas. Las geologías Calizas Paleozoicas (1001) y Yesos Triásicos (5004) superan ese valor promedio, obteniéndose 34.8 Bq/kg con el 20% de las mediciones realizadas en la geología Yesos Triásicos y 32.3 Bq/kg con el 52% de las mediciones realizadas en la geología Caliza Paleozoica.

GAMMA SUELOS										
232Th (Bq/kg)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MEDICIONES	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	32.9	10.4	31.0	3.8	32.2	58.0	160	TOTAL	43.7	33
1001	33.0	10.9	30.8	3.8	32.4	56.0	52%			
2002	31.6	11.6	29.5	7.5	29.6	58.0	28%			
5004	34.4	7.0	33.7	18.1	33.6	53.5	20%			

Tabla 48

En la tabla 48 la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es de 32.9 Bq/kg, valor inferior a los 43.7 Bq/kg obtenidos en las áreas no kársticas. Las geologías Calizas Paleozoicas (1001) y Yesos Triásicos (5004) superan ese valor promedio, obteniéndose 31.4 Bq/kg con el 20% de las mediciones realizadas en la geología Yesos Triásicos y 33.0 Bq/kg con el 52% de las mediciones realizadas en la geología Caliza Paleozoica.

GAMMA SUELOS										
40K (Bq/kg)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MED	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	306.9	176.0	265.6	39.2	262.2	1302.0	160	TOTAL	473.7	33
1001	275.6	105.4	255.7	46.4	248.0	559.0	55%			
2002	253.6	135.7	200.5	39.2	201.4	707.2	30%			
5004	487.7	244.2	453.3	168.0	480.5	1320.0	15%			

Tabla 49

En la tabla 49, la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es de 306.9 Bq/kg, valor inferior a los 473.7 Bq/kg obtenidos en las áreas no kársticas. La geología Yesos Triásicos supera ese valor, obteniéndose 487.7 Bq/kg con el 15% de las mediciones realizadas.

GAMMA SUELOS										
137Cs (Bq/kg)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MEDICIONES	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	4.8	2.9	3.9	1.0	4.2	12.5	160	TOTAL	5.6	33
1001	4.8	2.7	4.0	1.0	4.2	12.5	55%			
2002	6.0	3.0	5.0	1.1	6.1	11.6	30%			
5004	3.3	2.7	2.6	1.5	2.0	12.5	15%			

Tabla 50

En la tabla 50 la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es de 4.8 Bq/kg, valor inferior a 5.6 Bq/kg obtenidos en las áreas no kársticas. La geología Calizas y Dolomías supera ese valor, obteniéndose 6.0 Bq/kg con el 30 % de las mediciones realizadas.

EXHALACIÓN DE RADÓN (Bq/m ² .h)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MEDICIONES	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	82	69.7	62	40	40	290	615	TOTAL	42	15
1001	83	70.4	63	40	40	282	52%			
2002	86	72.2	65	40	40	282	29%			
5004	73	64.9	56	40	40	290	19%			

Tabla 51

En la tabla 51 la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es de 82 Bq/m².h, valor superior a los 42 Bq/m².h obtenidos en las áreas no kársticas. Todas las geologías de estudio superan ese valor, La geología Calizas y Dolomías (2002) es la que presenta los valores más elevados (86 Bq/m².h), seguida por las Calizas Paleozoicas (83 Bq/m².h) y Yesos Triásicos (73 Bq/m².h)

PERMEABILIDAD										
Permeabilidad Suelos (valor de k (m2))										
Grado de Permeabilidad										
VALOR 1 Baja(<4.10-13m2)										
VALOR 2 Media (4.10-13m2 a 4.10-12m2)										
VALOR 3 Alta(4.10-12m2)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MEDICIONES	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	1.53	0.7	1.40	1	1	3	160	TOTAL	2.34	119
1001	1.42	0.6	1.33	1	1	3	46%			
2002	1.67	0.7	1.53	1	2	3	25%			
5004	1.59	0.8	1.43	1	1	3	29%			

Tabla 52

En la tabla 52 la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es del orden de magnitud de entre $<4.10^{-13}m^2$ y $4.10^{-13}m^2$ a $4.10^{-12}m^2$ (permeabilidad media- baja). La geología que presenta una permeabilidad más elevada es la correspondiente a las calizas y dolomías (2002).

RADÓN EN SUELOS Concentración (kBq/m3)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MEDICIONES	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	45	76.4	6	0	9	465	246	TOTAL	22	153
1001	38	64.0	6	1	7	465	51%			
2002	44	79.7	5	1	1	392	29%			
5004	67	96.3	9	0	16	356	20%			

Tabla 53

En la tabla 53 la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es de 45 kBq/m^3 , valor superior a los 22 kBq/m^3 obtenidos en las áreas no kársticas. La geología Yesos Triásicos (5004) supera ese valor promedio, obteniéndose en esta área una M.A de 67 kBq/m^3 con el 20% de las mediciones realizadas en esta geología.

RADÓN EN AGUAS Concentración (Bq/l)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MEDICIONES	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	7.2	26.5	3.64	1.40	3.44	224.46	70	TOTAL	-	0
1001	3.60	2.2	2.99	1.40	3.14	9.620	47%			
2002	13.90	46.0	4.48	1.99	3.91	224.46	33%			
5004	15.96	37.4	5.95	1.75	4.00	152.00	20%			

Tabla 54

En la tabla 54 la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es de 7.2 Bq/l no teniendo valor comparativo con las áreas no kársticas. La geología Yesos Triásicos (5004) supera ese valor promedio, obteniéndose en esta área una concentración de 15.96 Bq/l. Una segunda geología, la correspondiente a Calizas y Dolomías también supera ese valor, obteniéndose una media aritmética de 13.90 Bq/l.

RADÓN EN AIRE Concentración (Bq/m ³)										
GEOLOGIA	M.A	DS MA	MG	MIN	MEDIANA	MAX	Nº MEDICIONES	GEOLOGIA NO KARSTICA	M.A	Nº MED
TOTAL	122	256.2	59	10	52	2090	258	TOTAL	78	300
1001	142	306.0	63	10	54	2090	57%			
2002	78	95.2	56	10	54	482	11%			
5004	88	119.5	53	10	47	703	32%			

Tabla 55

En la tabla 55 la media aritmética obtenida del total de las mediciones realizadas en el área kárstica es de 122 Bq/m³, valor superior a los 78 Bq/m³ obtenidos en las áreas no kársticas. La geología Calizas Paleozoicas (1001) supera ese valor promedio, obteniéndose en esta área una M.A de 142 Bq/m³ con el 54% de las mediciones realizadas en esta geología.

Resumen global de resultados

Con el objetivo de resumir todos los datos recabados para este proyecto y centrarnos en las áreas kársticas, se presenta una tabla donde se encuentran conjuntamente los promedios (M.A) obtenidos en todos los parámetros estudiados y para cada una de las universidades participantes.

	ZONA KÁRSTICA PROMEDIO (M.A)		
VARIABLE	UC	UPV	UMA
RADÓN EN AIRE			
Concentración (Bq/m3)	122	113	101
RADÓN EN SUELOS			
Concentración (KBq/m3)	45.0	0.9	3.5
GAMMA EXTERNA			
Tasa (µSv/h)	0.068	0.15	0.12
GAMMA SUELOS			
²³⁸ U (Bq/kg)	25.3	-	21.8
GAMMA SUELOS			
²²⁶ Ra (Bq/kg)	31.7	28.2	25.4
GAMMA SUELOS			
²³² Th (Bq/kg)	32.9	33.5	29.0
GAMMA SUELOS			
⁴⁰ K (Bq/kg)	306.9	493.7	467.7
GAMMA SUELOS			
¹³⁷ Cs (Bq/kg)	4.8	5.9	2.7
EXHALACIÓN DE RADÓN			
(Bq/m2.h)	82	21	18
RADÓN EN AGUAS			
Concentración (Bq/l)	7.2	3.2	6.6
PERMEABILIDAD			
Permeabilidad Suelos (valor de k (m2))			
Grado de Permeabilidad			
VALOR 1 Baja(<4.10-13m2)	1.5	2.0	2.0
VALOR 2 Media (4.10-13m2 a 4.10-12m2)			
VALOR 3 Alta(4.10-12m2)			

Tabla 56. Resumen global de resultados

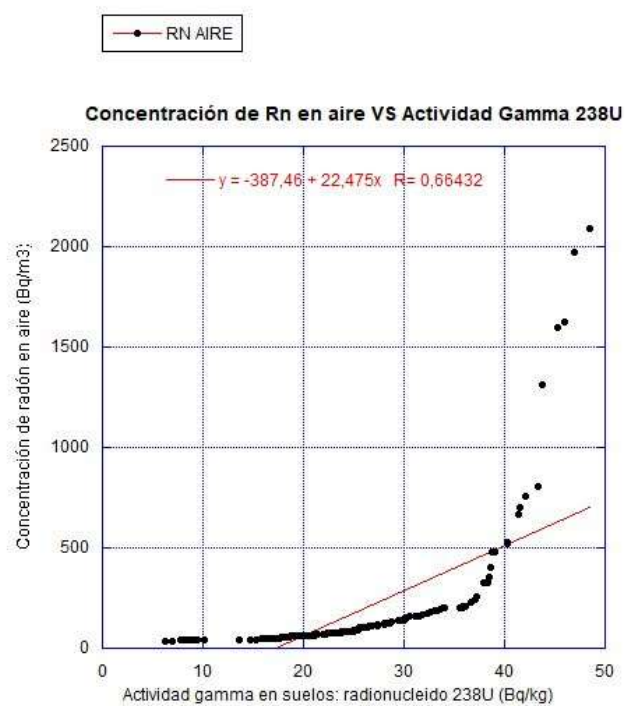
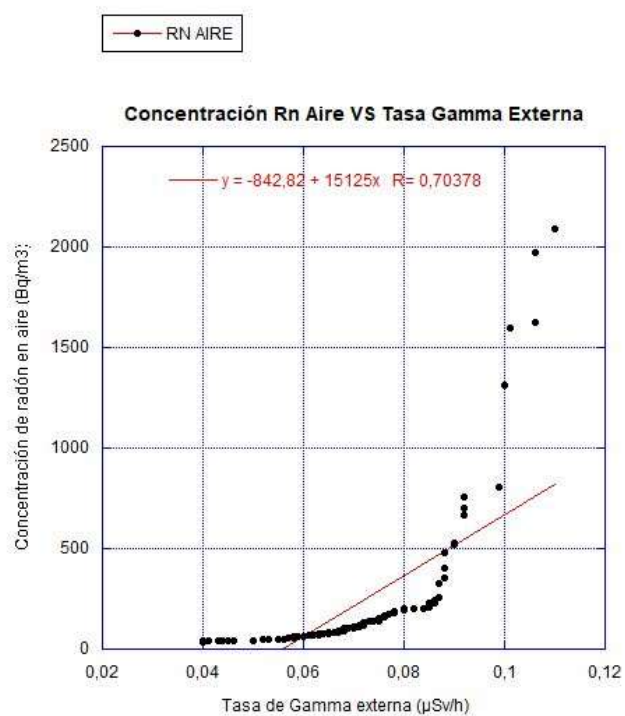
Estudio de correlación entre variables

Por otro lado, con los resultados obtenidos por la Universidad de Cantabria se han comparado las distintas variables encontrando las correlaciones que aparecen a continuación.

	RADON AIRE	RADON SUELOS	GAMMA EXTERNA	EXHALACION REAL	RADON AGUAS	PERMEA BILIDAD	URANIO SUELOS	RADIO SUELOS	TORIO SUELOS	POTASIO SUELOS	CESIO SUELOS
RADON AIRE	1										
RADON SUELOS	0,89	1,00									
GAMMA EXTERNA	0,70	0,90	1,00								
EXHALA CION	0,87	0,99	0,90	1,00							
RADON AGUAS	0,57	0,52	0,45	0,45	1,00						
PERMEAB ILIDAD	0,68	0,89	0,85	0,89	0,29	1,00					
URANIO SUELOS	0,66	0,89	1,00	0,89	0,40	0,85	1,00				
RADIO SUELOS	0,85	0,94	0,96	0,93	0,58	0,84	0,94	1,00			
TORIO SUELOS	0,68	0,89	0,99	0,89	0,36	0,86	0,99	0,95	1,00		
POTASIO SUELOS	0,86	0,98	0,94	0,97	0,67	0,86	0,93	0,97	0,93	1,00	
CESIO SUELOS	0,70	0,94	0,96	0,93	0,38	0,92	0,96	0,93	0,95	0,94	1

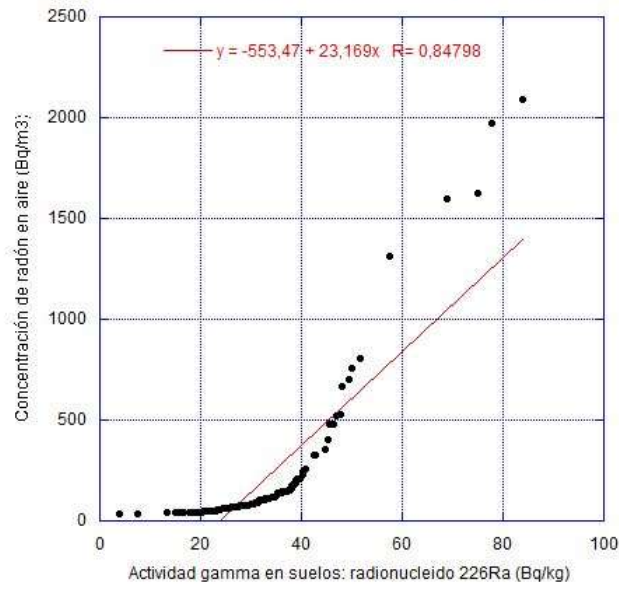
Tabla 57

Además, se presentan una serie de gráficas comparando la variable radón en aire con el resto de parámetros. Se ha seleccionado el radón en aire ya que esta variable es la principal fuente de exposición a radón para las personas.



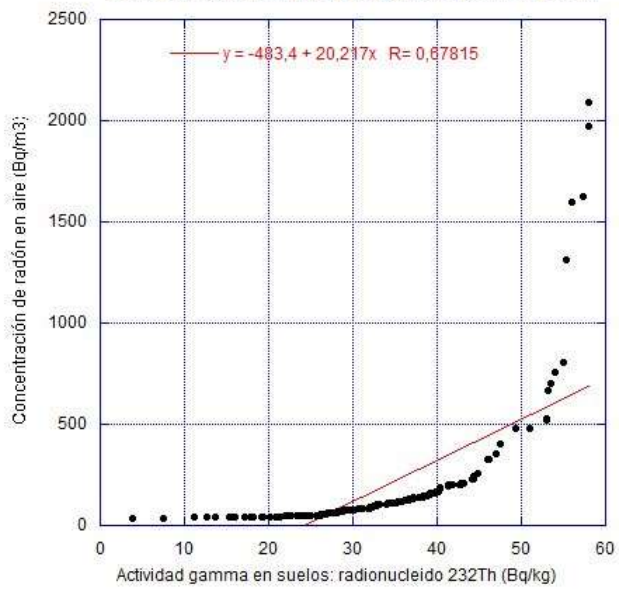
● RN AIRE

Concentración Rn Aire VS Actividad Gamma 226Ra



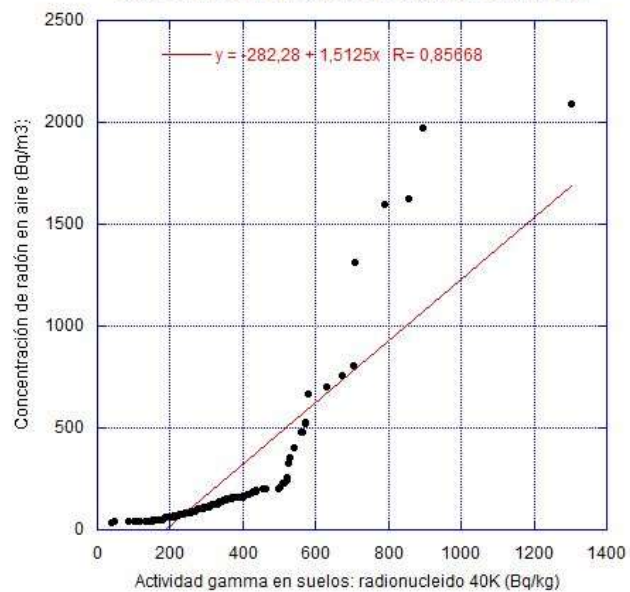
● RN AIRE

Concentración Rn Aire VS Actividad Gamma 232Th



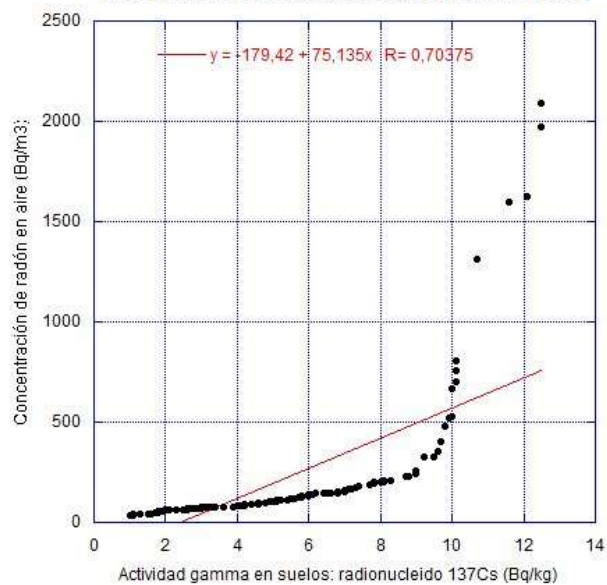
—●— RN AIRE

Concentración Rn Aire VS Actividad Gamma 40K



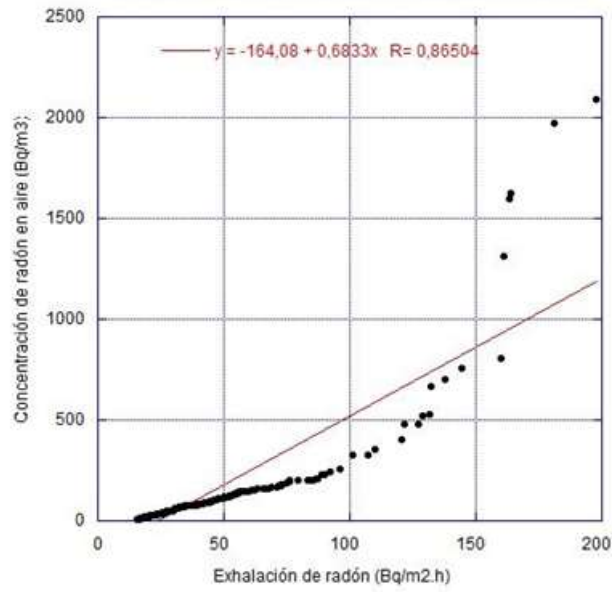
—●— RN AIRE

Concentracion Rn Aire VS Actividad Gamma 137Cs



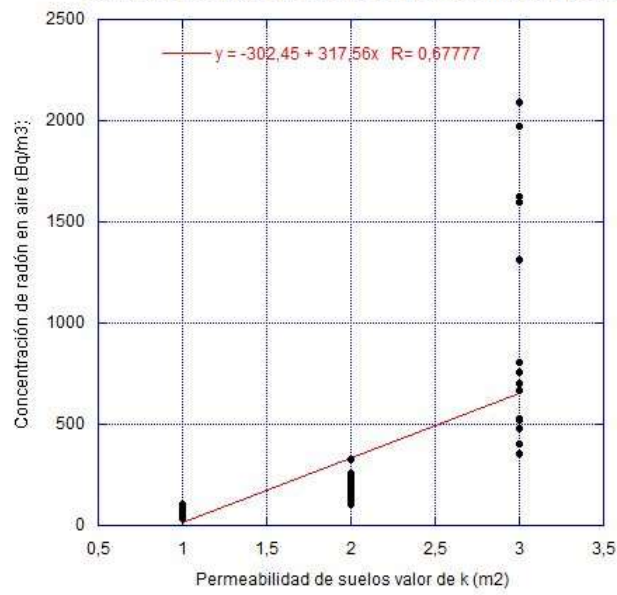
—●— A

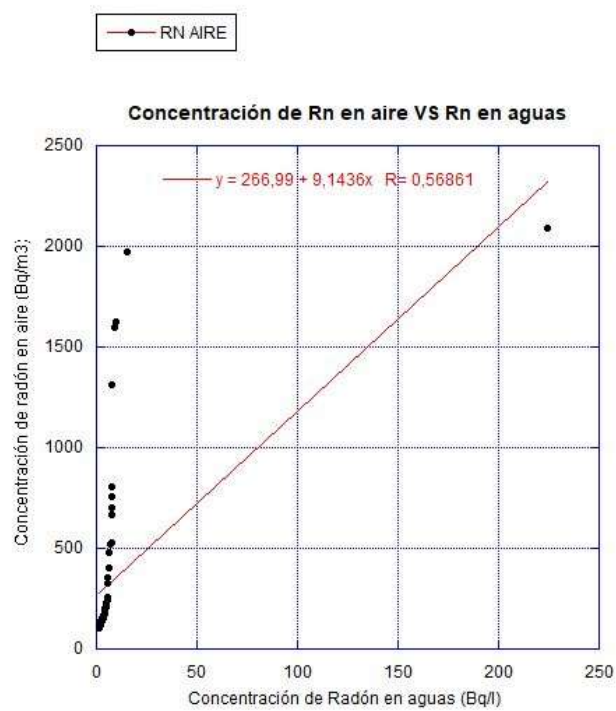
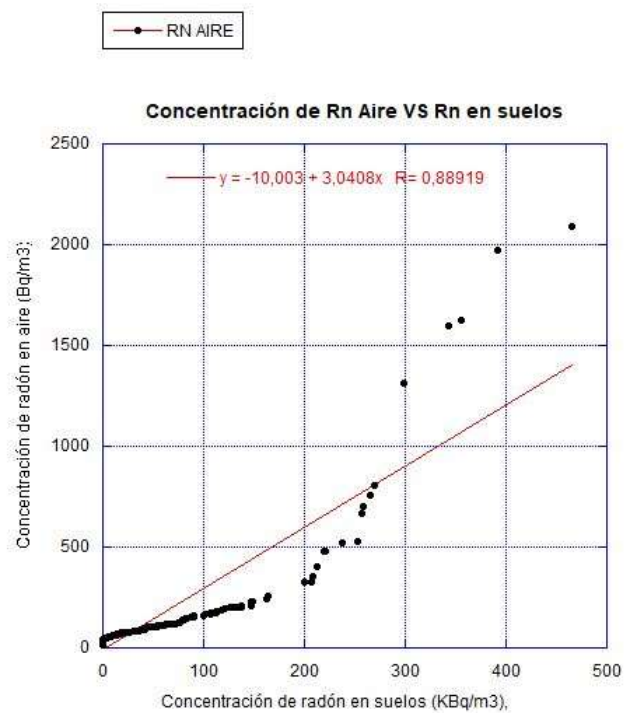
Concentración Rn Aire VS Exhalación Rn Suelos



—●— RN AIRE

Concentración de Rn en aire VS Permeabilidad Suelos

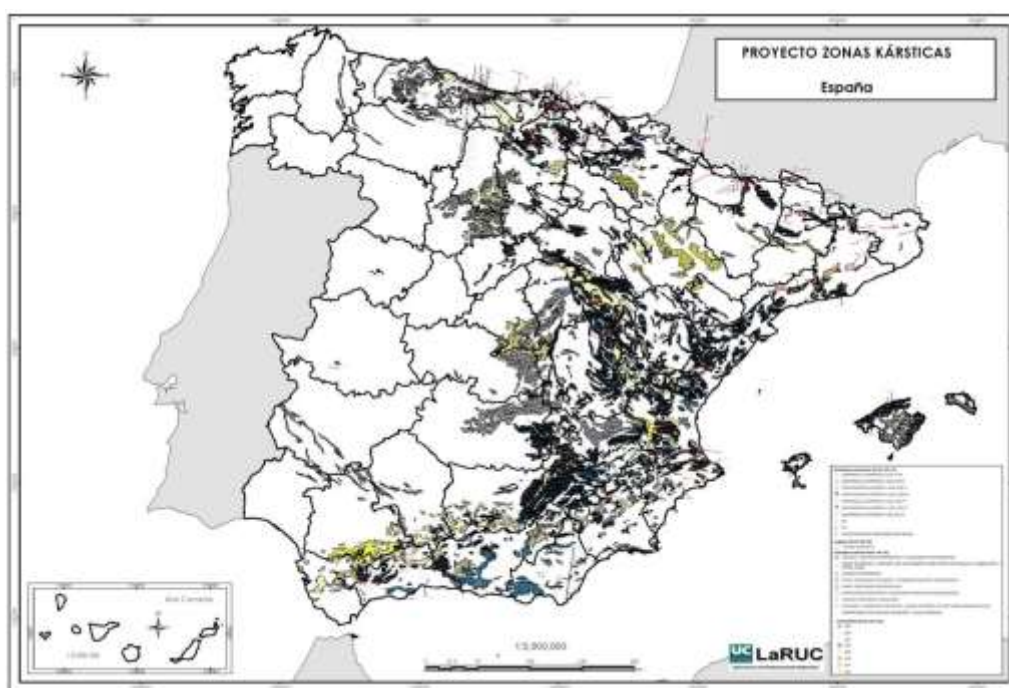




Conclusiones

Tras todo el trabajo desarrollado durante este proyecto y a partir de los resultados obtenidos, podemos establecer las siguientes conclusiones:

- Por primera vez se dispone de una base de datos de caracterización de zonas kársticas desde un punto de vista integral, seleccionando zonas de Cantabria, Málaga y Castellón. Para ello se han realizado medidas de radiación gamma externa, concentración de elementos radiactivos en los suelos, contenido de radón en el interior del suelo, permeabilidad, radón en aire y radón en aguas de fuentes y consumo. Un total de más de 3000 medidas se han llevado a cabo.
- Se ha puesto de manifiesto para cada uno de los parámetros analizados la diferencia sustancial que presentan si los comparamos con los que aparecen recogidos en el mapa potencial de radón.
- El Proyecto aporta resultados sobre parámetros que no han sido incluidos en el mencionado mapa potencial de radón y que muestran el interés de llevar a cabo este tipo de estudios a nivel local.
- Los resultados encontrados para la concentración de radón en viviendas muestran que el porcentaje de las mismas que superan los 300 Bq/m³ es del mismo orden que el recogido a nivel nacional y no muy distinto del correspondiente a zonas enmarcadas en el mapa de potencial de radón, razón por la que sería conveniente ampliar campañas de medida a zonas kársticas como las marcadas en el mapa que se indica.



Mapa 15. Zonas kársticas en España

ANEXO I

SUMMARY REPORT

RIM 2023

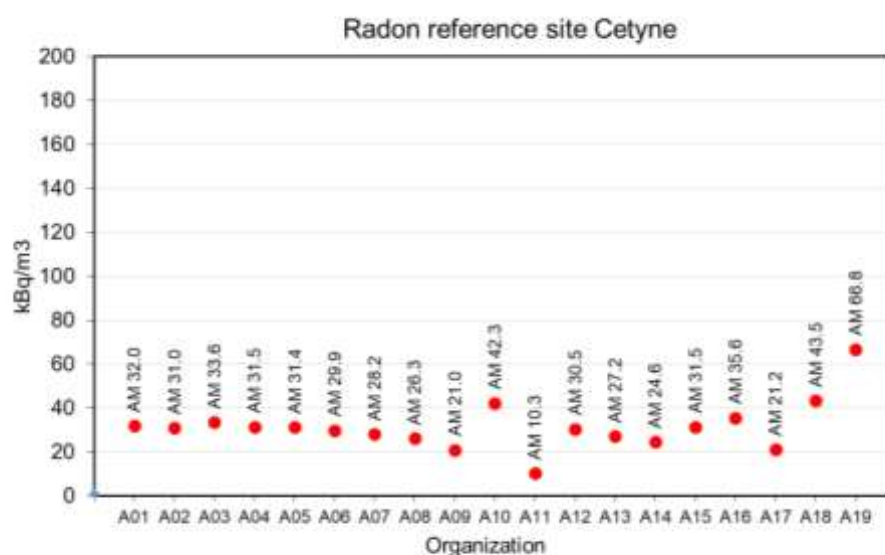
International comparison measurement of radon in soil gas at radon reference sites Cetyne and Buk in the Czech Republic, September 18th, 2023

19 participating organizations from 13 countries (Australia, Croatia, Czech Republic, Estonia, Germany, Italy, Poland, Portugal, Romania, Slovenia, Serbia, Spain, United Kingdom) are marked by codes A01 – A23. Your code is in your Protocol.

AXX – codes of organizations, A03 is the administrator, N – number of measured stations at a reference site, AM – arithmetical mean of reported radon activity concentration in soil gas (c_A , kBq/m³) at a reference site by a single organization, SD – standard deviation of reported radon activity concentration in soil gas at a reference site is influenced by the local heterogeneity of geological basement, reliability of radon measurement and by the number of measured stations (N). Uniform depth of soil gas sampling was 0.8 m. AM1 – overall mean of radon activity concentration in soil gas (c_A , kBq/m³) calculated from means of 19 participating organizations.

(contact E-mail: matolin@natur.cuni.cz)

RIM 2023 was organized in the frame of the 16th International workshop on the geological aspects of radon risk mapping, Prague, September 18th – 22nd, 2023



Arithmetical means of radon activity concentration in soil gas (c_A) at the reference site Cetyne reported by 19 organizations



Charles University, Faculty of Science

Institute of Hydrogeology, Engineering Geology and Applied Geophysics
Department of Applied Geophysics
128 43 Praha 2, Albertov 6, Czech Republic

Protocol on the assessment of comparison measurement of radon (^{222}Rn) activity concentration in soil gas at reference sites Cetyne and Buk, Czech Republic, 2023

Organization : University of Cantabria (LaRUC)
Cardenal Herrera Oria, S/N,
39011, Santander, Cantabria, Spain.

Code: A06 Instrument: RM-2 , Serial No. 01/2010

Date: 18.9.2023

Denotation : c_A – radon activity concentration, expressed in kBq/m^3
t – argument of Student distribution

Test 1 - Test of differences in c_A determined by the organization and the group at single stations of two reference sites

A difference between c_A -data reported by the organization and medians of c_A -data reported by all organizations in the group, including the administrator, is tested at each station. The difference is significant, if the computed interval of confidence does not include zero. Level of significance $\alpha = 1\%$.

Reference site	Interval of confidence	Quotient of data outside the interval of conf
Cetyne	$< -6.509 ; 5.679 >$	3 / 10
Buk	$< -26.560 ; 29.460 >$	2 / 10

Test 2 – Linear regression and correlation of c_A data determined by organization and the group at single stations of two reference sites

Linear regression $y = a + bx$ defines the dependence between c_A -data reported by the organization, (y), and medians of c_A -data, (x), reported by all organizations in the group at single stations. An ideal case of data agreement is $a = 0$, and $b = 1$. This presumption is rejected if computed t-value is larger than critical t-value. Level of significance $\alpha = 1\%$.

Parameter	Computed t-value	Critical t-value	Coefficient of correlation
a = 6.983	0.884	2.878	0.914
b = 0.907	0.976		

Test 3 – Test of differences between mean of c_A -data reported by the organization at the reference site and means of c_A -data in the database of respective reference site

Means of c_A -data from single reference sites are tested by test criterion $R1/R2$. $R1$ is a ratio of a mean of c_A -data estimated by the organization to a mean of c_A -data estimated by the administrator at given reference site on the same day. $R2$ is an arithmetical average of $R1$ values computed from measurements of all successful organizations since the beginning of measurements at given reference site (the year 2000). Computation of the ratio $R1$ eliminates temporal climatic variations of c_A at the reference site. Ratio $R1/R2$ is independent of absolute c_A -values estimated by the administrator. A relative deviation $\pm 30\%$ is admissible for the test criterion $R1/R2$ from the ideal value equal to one. Thus, admissible $R1/R2$ values for each reference site are within the interval $< 0.7; 1.3 >$.

<i>Reference site</i>	<i>Ratio R1</i>	<i>Ratio R1 / R2</i>
Cetyne	0.889	0.970
Buk	0.989	1.056
<i>Average value</i>		1.018

Conclusions

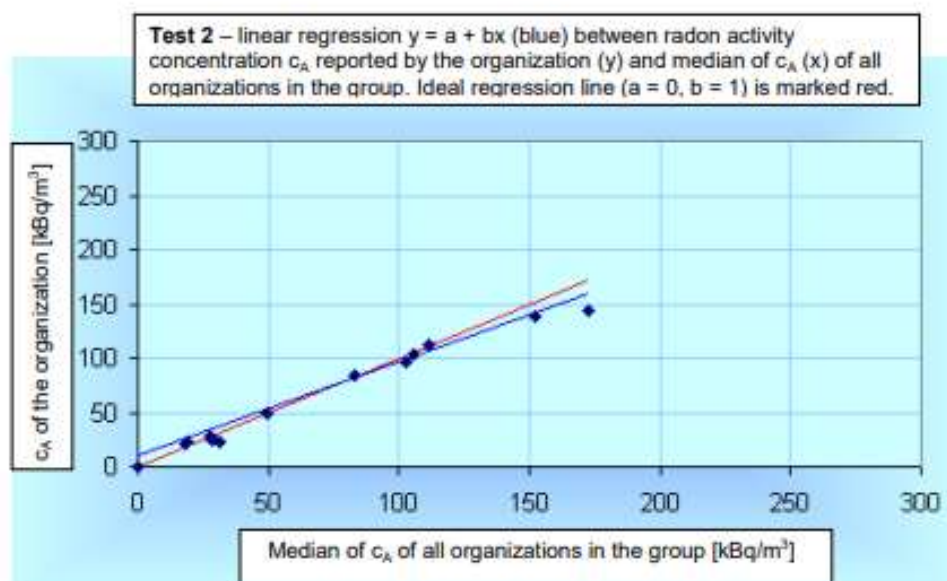
Test No.1 and test No. 2 (approximate tests based on the comparison with the group) show for the level of significance $\alpha = 1\%$ a very good agreement of your c_A -data to c_A -data of the group of 19 organizations participating in comparison measurement on the same day. Test No. 3 (the decisive test based on comparison with the databases of radon reference sites) shows very good agreement of your resultant means of radon data at each reference site in comparison with means of radon data of all ($N = 334$) successful organizations which measured at radon reference sites since the year 2000 and form radon databases. After the decisive test No. 3, resultant $R1/R2$ data fulfil the test criteria and your estimates of radon in soil gas are very well acceptable for radon risk mapping.

Date: November 28th, 2023

Evaluated by

Prof. RNDr. M. Matolin, DrSc.
Charles University, Faculty of Science

The international radon comparison measurement at radon reference sites in the Czech Republic has been performed in the frame of the 16th Workshop on Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Prague, September 18th – 21st, 2023.



Parameter	Computed <i>t</i> -value	Critical <i>t</i> -value	Coefficient of correlation
$a = 6.983$	0.884	2.878	0.914
$b = 0.907$	0.976		

A06 Spain

RIM 2023, September 18th, 2023, Czech Republic

Linear regression of radon activity concentration in soil gas c_A reported by the organization and median of c_A —data of the group of 19 organizations at identical stations at radon reference sites Cetyne and Buk. Tested by a computer programme TestMOAR.

ANEXO II

- Results Report -

INTERNATIONAL INTERCOMPARISON EXERCISE ON NATURAL
RADIATION MEASUREMENTS

UNDER FIELD CONDITIONS 2024

- Radon Measurements-

Report No: C-24052

Version: *Draft_2*

Prepared by: *Daniel Rábago*

Reviewed by: *Luis S. Quindós*

Approved by: *Carlos Sainz*

Date: 22 November 2024



LISTA DE PARTICIPANTES

Acronym	Institution	Country
CIEMAT SPR	CIEMAT SPR	Spain
AGQ LABS	AGQ LABS & TECHNOLOGICAL SERVICES	Spain
BBU	Babes - Bolyai University, "Constantin Cosma" Radon Laboratory	Romania
BM	BragaMetro, Lda.	Portugal
CRSL	CALIDAD RADIOLOGICA S.L.	Spain
CLOR	Central Laboratory for Radiological Protection	Poland
LMRn	CIEMAT Laboratorio de Medidas de Radón	Spain
CSN - ARAN	Consejo Seguridad Nuclear (Área de Radiación Natural)	Spain
CSN - AVRA	Consejo Seguridad Nuclear (Área de Vigilancia Radiológica Ambiental)	Spain
CyE	CYE CONTROL Y ESTUDIOS S.L.	Spain
DIRAD/IRD	Divisão de Radioproteção Ambiental do Instituto De Radioproteção e Dosimetria	Brazil
EDM (TD)	EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A. (Technical Dept.)	Portugal
EDM (ERD)	EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A. (Environmental Remediation Dept.)	Portugal
Eurofins	Eurofins Radon Testing Sweden AB	Sweden
IMROH	Institute for Medical Research and Occupational Health - Division of Radiation Protection	Croatia
INTA	Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales	Spain
ISIRYM	Instituto Universitario de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental	Spain
ISS	Italian National Institute of Health	Italy
LanfrancoCicala Lab	LANFRANCO CICALA Radon Measurements Laboratory	Italy
LRA-UPV	LABORATORIO DE RADIATIVIDAD AMBIENTAL- UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA	Spain
LRA-UDC	Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidade da Coruña	Spain
LRN	Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra	Portugal
LRAB	Laboratorio Radiactividad Ambiental Badajoz - Universidad de Extremadura	Spain
LaRUC	Laboratory of Environmental Radioactivity, University of Cantabria	Spain

LARUEX	LARUEX, University of Extremadura	Spain
NORM Consulting	NORM Technology Consulting S.L.	Spain
POLIMI	Politecnico di Milano	Italy
Radiansa	Radiansa Consulting S.L.	Spain
Radolab	Radolab OU	Estonia
RADONOVA	RADONOVA LABORATORIES AB	Sweden
RSP	RADONSPAIN	Spain
Radosys	Radosys	Hungary
LABOF-TF	Servicio de Laboratorios y Calidad de la Construcción. Gobierno de Canarias	Spain
SXXI	SIGLO XXI CONSULTORES SL	Spain
ULPGC	UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA	Spain
US	Universidad de Sevilla (CITIUS)	Spain
LARAM-UV	UNIVERSITAT DE VALÈNCIA	Spain

SISTEMAS ACTIVOS PARTICIPANTES

Table 3. Active monitor features used in the intercomparison.

Monitor	Detection technology	Sensitivity (cpm at 1 kBq m ⁻³)
AlphaGUARD	Ionisation chamber	50
AlphaE	Silicon diode	0.5
RadonEye	Ionisation chamber	14
Tesys MR-1	Lucas Cell	40
Rad7	Silicon detector	14
RTM 1688-2	Silicon detector	3
SPIRIT	Semiconductor detector	40
RPP-U	Semiconductor photodetector	4
Radon Scout	Silicon detector	1.8
Radon Scout Home	PIN photo diode	0.1
Interface Radon	Ionisation chamber	28

VALOR DE REFERENCIA

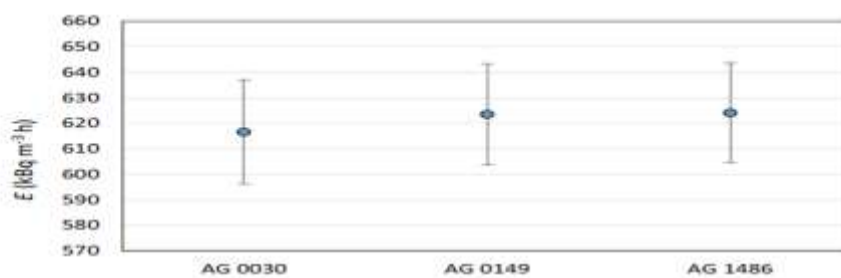


Figure 3. Radon exposure obtained by each of the reference devices with its uncertainty ($k=1$).

Table 4. Dates, duration (t) and reference exposure value (E_{ref}) with its uncertainty $u(E_{ref})$ ($k=1$).

Dates	t (h)	E_{ref} (kBq h m ⁻³)	$u(E_{ref})$ (kBq h m ⁻³)
20/05/2024 13:00 - 23/05/2024 8:30	67,5	621	35

EVOLUCIÓN DEL RADÓN EN LA INTERCOMPARACIÓN

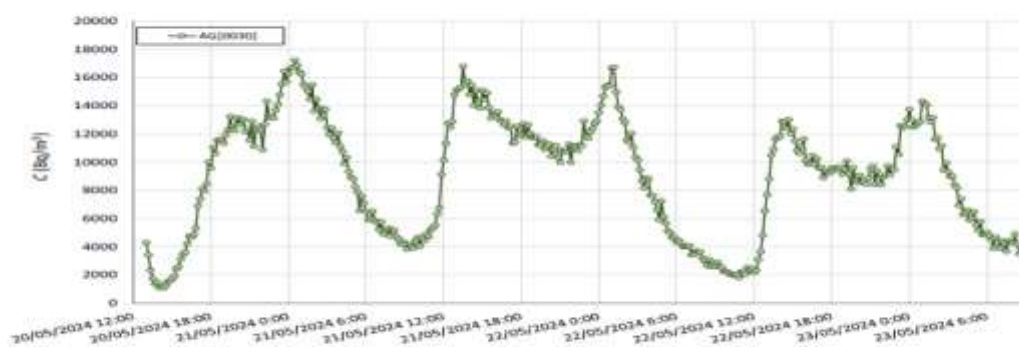


Figure 4. Radon concentration in Room1 during the intercomparison exercise according to the AlphaGUARD [0030] reference monitor.

RESULTADOS PARA DETECTORES PASIVOS

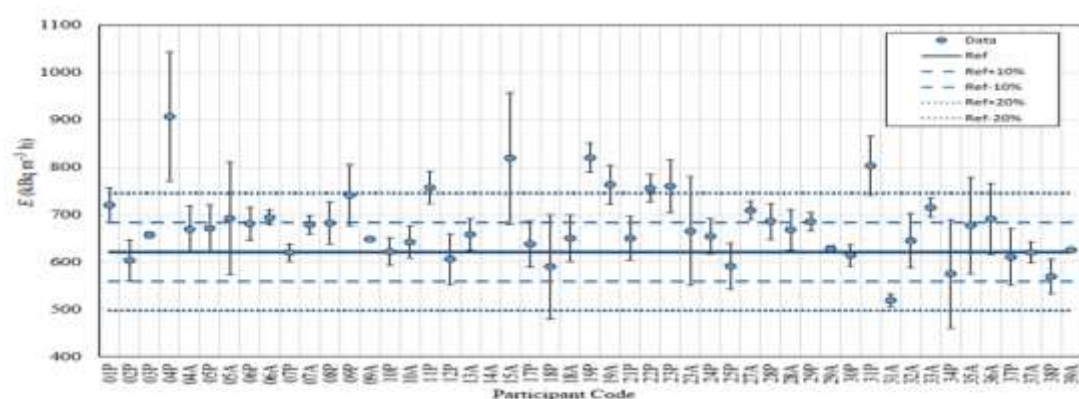


Figure 5. Radon exposure with associated uncertainty ($k=1$) for passive detectors. The reference value is shown with a solid line and the range $\pm 10\%$ and $\pm 20\%$ with dashed lines.

Z-SCORE PARA DETECTORES PASIVOS

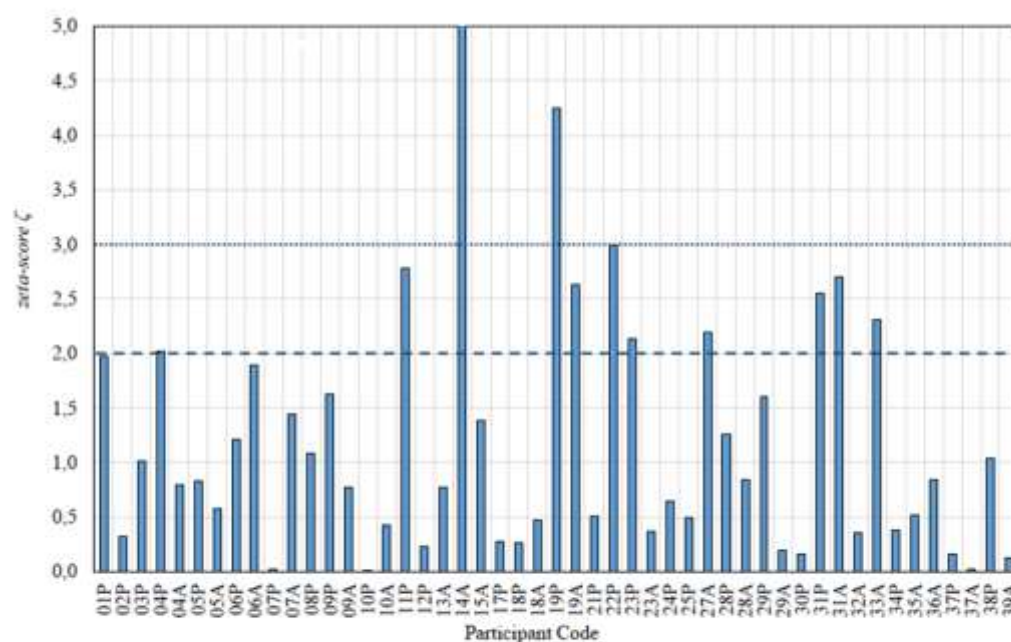


Figure 7. Zeta-score ζ parameter of the passive detectors. A dotted line shows the value $\zeta = 3$ and a dashed line shows the value $\zeta = 2$.

4. Conclusions

An intercomparison campaign of radon gas measurement systems under field conditions has been carried out at the Laboratory of Natural Radiation (LNR) between 20 and 23 May 2024. Thirty-nine institutions/laboratories participated with 28 sets of passive detectors (CR-39 and electret) and 25 continuous monitors (11 types). The reference radon exposure value was obtained from 3 AlphaGUARD monitors calibrated in LaRUC's radon chamber accredited according to the UNE-EN ISO/IEC 17025 standard.

The criteria used to analyse the exposure results reported by the participants are the percentage difference D (%) and the zeta-score (ζ).

The results (49 data) show that, overall, participants have performed satisfactorily in both the percentage difference from reference exposure and the statistical parameter zeta-score. When analysing the $D(\%)$ results, 61% of the results fall within the range $D(\%) < \pm 10\%$, while 82% fall within the range $D(\%) < \pm 20\%$. The results for criterion ζ indicate that 96% of the participants meet $\zeta \leq 3$.

ANEXO III

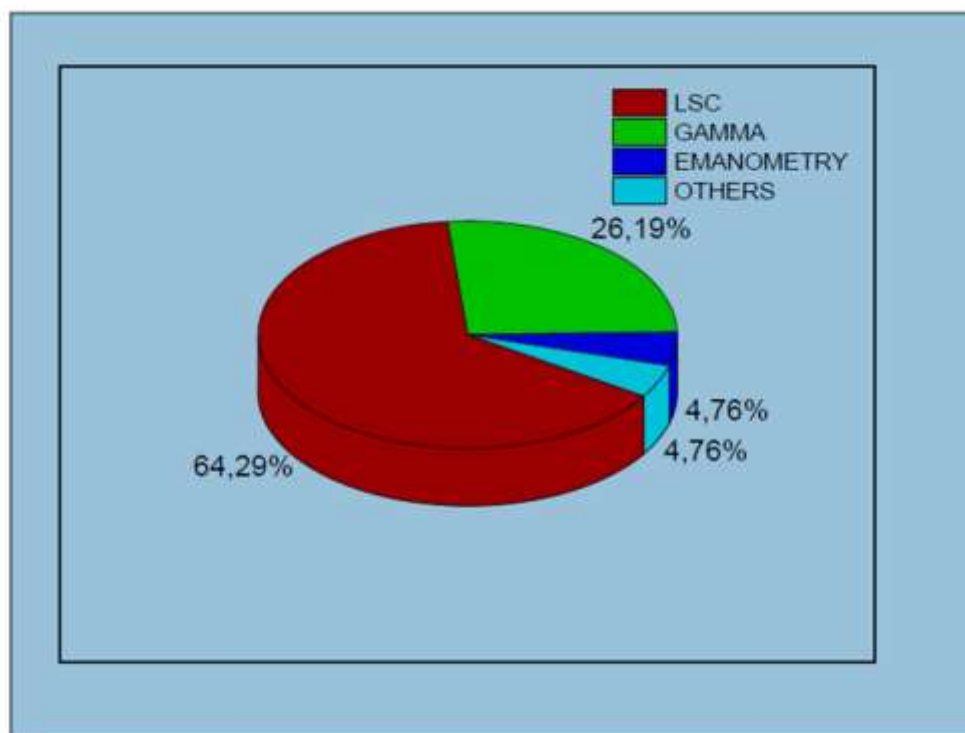


RADON INTERCOMPARISON IN WATER 2024

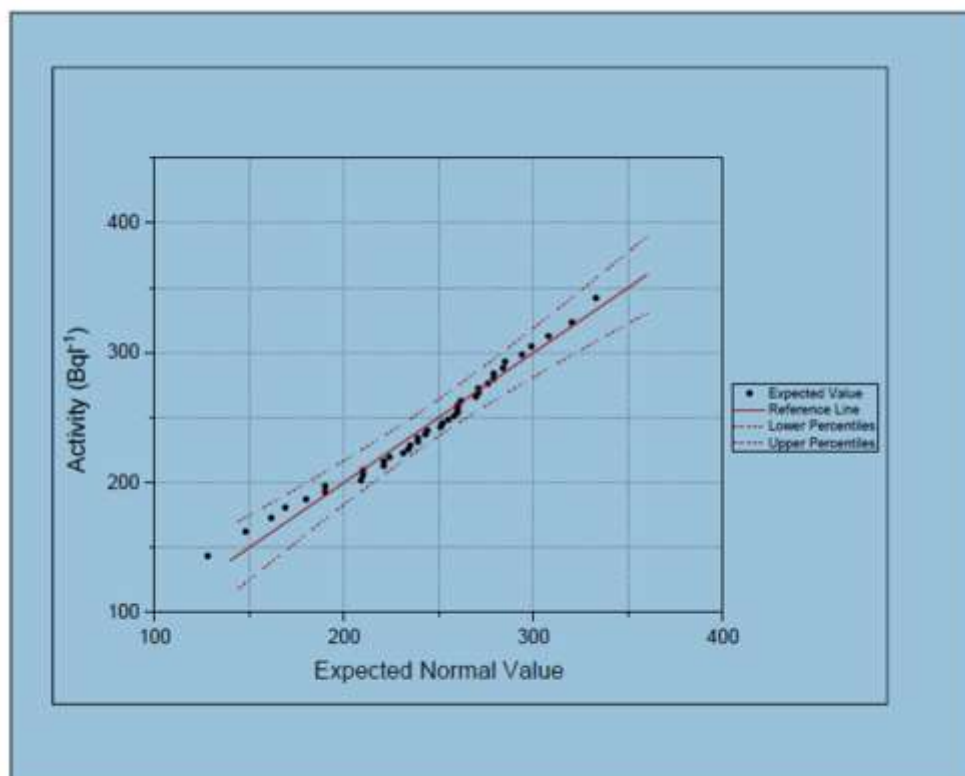
REPORT OF THE RADON INTERCOMPARISON IN WATER 2024

MAY 2024

Técnicas empleadas por los laboratorios participantes (36)



Estadística básica de resultados



Z-score results



IPROMA



RADON INTERCOMPARISON IN WATER

9. CONCLUSIONS

The completion of the fifth intercomparison exercise, by EUROFINS-IPROMA and LaRUC, shows the considerable interest in measuring ^{222}Rn in waters. The results of this exercise, as in previous years, show that laboratories mostly use the LSC technique, again obtaining results that in general, demonstrate the good competence of national and international laboratories for the measurement of ^{222}Rn in water.

From the organization EUROFINS-IPROMA and LaRUC, we would like to thank all the participating laboratories, looking forward to your participation in the next intercomparison exercise scheduled for May 2026.

A Greetings,

EUROFINS-IPROMA-LaRUC

ANEXO IV

A continuación, se recoge algunas aclaraciones, programas y presentaciones/publicaciones que se han realizado durante el desarrollo del proyecto con relación directa al mismo:

- No se han enviado todavía artículos relacionados con la temática del proyecto, estando en preparación.
- Se llevo a cabo una presentación oficial en el congreso de Praga que se adjunta.
- Se hizo en el Congreso de Canfranc, 11-13 noviembre de 2024, una presentación específica del proyecto.
- En las Conferencias tenidas especialmente en los Colegios de Aparejadores de Cantabria, Madrid y Guadalajara impartidas a lo largo de 2024, se ha hecho constar la existencia del Proyecto y los logros provisionales alcanzados.
- La página web del Grupo **www.elradon.com** recoge los avances del proyecto desde su aprobación.

Programme of the 16th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping- GARRM, Prague, September 2023

Registration:

Monday, September 18th, 18,00 – 21,00 ... workshop venue

Tuesday, September 19th, 8,00 – 9,30 ... workshop venue

(registration for RIM + PIM will be also on Monday morning at the reference areas)

Tuesday, September 19th

9,30 Opening of the Workshop, Welcome, Introduction

Morning session (chairing – Zornitza Daraktchieva, José Luis Gutiérrez-Villanueva)

9,40 – 10,00

A. Ferreira, Z. Daraktchieva, R. Lawley, D. Rees

The New GB Radon Map. The Geology perspective.

10,00 – 10,20

Z. Daraktchieva, A. Ferreira, D. Rees, R. Lawley

Updated Radon Map of Great Britain- the UKHSA input

10,20 – 10,35

J. L. Gutierrez-Villanueva, T. Rönnqvist, Z. Podgórska

Current state of radon action plans in the EU

Coffee break 10*35 – 11*00

Morning session (chairing – Sofija Forkapić, Peter Bossew) 11,00 – 11,20

A. Yule

Geological aspects of radon management in Australia

11,20 – 11,40

A. Brandýsová, K. Holý, M. Bulko, M. Müllerová, J. Masarik

Prediction of the radon-prone areas in the Slovak Republic and its experimental verification 11,40 – 12,00

P. Vukotic, V. Radolic, R. Svrkota, D. Stanic, T. Andjelic, R. Mrdak, B. Fustic, M. Bensic

Radon in a high karst area of Montenegro – a case study

12,00 – 12,20

S. Forkapić, M. Zečević, J. Knežević Radić, D. Velimirović, J. Hansman, R. Lakatoš, S. Samardžić, K. Kalkan

Geogenic radon mapping and detailed analysis of indicative parameters for radon risk assessment in Niška Banja as a potential RPA in Serbia

Lunch break 12*20 – 14*00

Afternoon session (chairing – Janja Vaupotič, Lluís Font) 14,00 – 14,20

S. Celaya, D. Rábago, C. Sainz, L. Quindós, I. Fuente

Two ongoing projects on radon sponsored by the Spanish Nuclear Safety Council

14,20 – 14,40

J. G. Rubiano, H. Alonso, Ll. Font, B. Frutos, M. García-Talavera, P. Martel, V. Moreno, L. Quindós, C. Sainz, J.T. Santana, D. Rábago, I. Sicilia, A. Tejera.

Overview and new advances of RADSIM, a research project for the generation and validation of numerical models for the prediction of radon entry into buildings based on a characterization of the terrain and a typological definition of construction in Spain

14,40 – 15,00

Ll. Font, B. Frutos, I. Sicilia, H. Alonso, M. García-Talavera, P. Martel, V. Moreno, J. G. Rubiano, L. Quindós, C. Sainz, J.T. Santana, D. Rábago, A. Tejera

Comparison of a lumped-parameter and a distributed-parameter radon transport models adapted to an experimental radon accumulation chamber within the frame of the Spanish RADSIM project

15,00 – 15,20

C. Briones, H. Alonso, A. Arriola-Velásquez, N. Miquel, A. Tejera, P. Martel, J. Olaiz, J.T. Santana, N. Rodríguez-Brito, J. Jubera, E. González-Díaz, J. G. Rubiano

Identification of radon risk areas based on geological data and terrestrial gamma radiation maps on the island of Tenerife

15,20 – 15,40

N. Kapanadze, G. Melikadze, A. Tchankvetadze, M. Todadze, T. Jimsheladze, E. Chikviladze, Sh. Gogichaishvili, L. Chelidze, J. Vaupotič

Radon in soil gas in crystalline shales and volcanic grounds in selected regions of Georgia

Coffee break 15*40 – 16*05

Afternoon session (chairing – Alexandra Cucos, Eric Petermann) 16,05 – 16,25

E. Petermann, P. Bossew, N. Suhr, B. Hoffmann

A new high-resolution residential radon map for Germany using a machine learning based probabilistic exposure model

16,25 – 16,45

Ş. Grecu, T. Dicu, A. Cucos, M. Botoş, G. Dobrei

Anomaly detection using time series analysis in the variation of radon concentration

16,45 – 17,05

P. Bossew, G. Cinelli, E. Petermann, P. Kuča, J. Helebrant

Relationship between Safecast ambient dose rate and indoor radon concentration

17,05

Presentations by exhibitors

Wednesday, September 20th

Referencias

CSN (2000). *Proyecto Marna. Mapa de radiación gamma natural. Colección informes técnicos 5.2000*. CSN, Madrid.

CSN (2014). *Estudio de la problemática existente en la determinación del índice de actividad alfa total en aguas potables. Colección Informes Técnicos 37.2014*. CSN, Madrid.

Directiva 2013/59/Euratom, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. *Diario Oficial de la Unión Europea*, de 17 de enero de 2014.

European Commission (1977) *Radiation Protection 88, Recommendation for the implementation of title VII of the European BSS Directiva concerning significant increase in exposure due to natural radioactive sources*. European Commission, Luxembourg.

IAEA (1996) *Safety Series 115. International Basic Safety Standards for the protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources*. IAEA, Vienna.

Quindós, L.S., Fernández, P.L., Ródenas, C., Gómez-Arozamena, J. & Arteché, J. (2004). Conversion factors for external gamma dose derived from natural radionuclides in soils. *Journal of Environmental Radioactivity*, 71, 139-145.

Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes. *BOE*, de 21 de diciembre de 2022.