

Medidas de radón en viviendas españolas

Caracterización de sus fuentes

CSN

Colección
Otros Documentos
6.1998

Medidas de radón en viviendas españolas

Caracterización de sus fuentes

Colección
Otros Documentos CSN
Referencia: ODE-04.02

© Copyright 1998, Consejo de Seguridad Nuclear

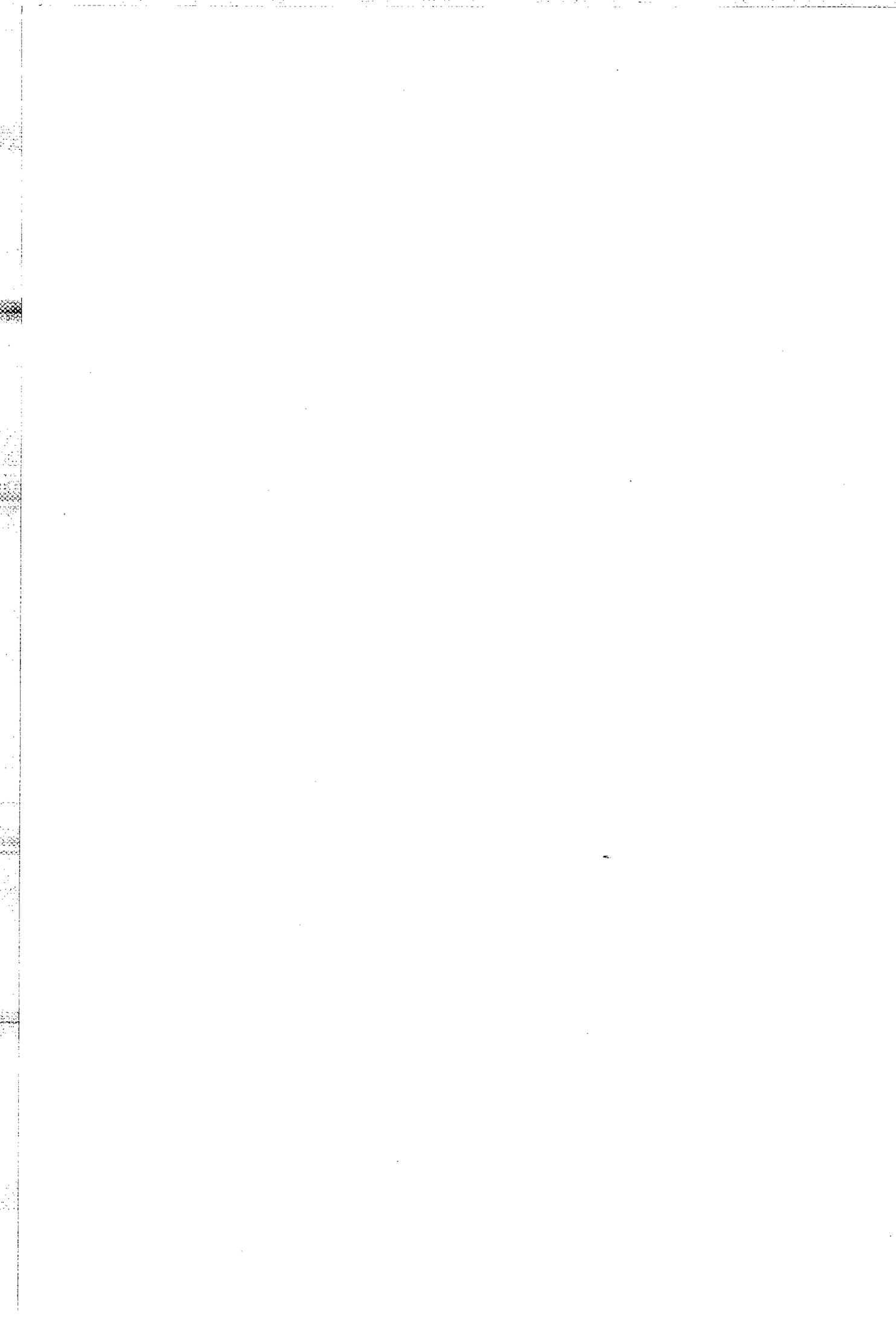
Publicado y distribuido por:
Consejo de Seguridad Nuclear
Justo Dorado, 11. 28040-Madrid
<http://www.csn.es>
Peticones@csn.es

Imprime: **grafoffset sl**

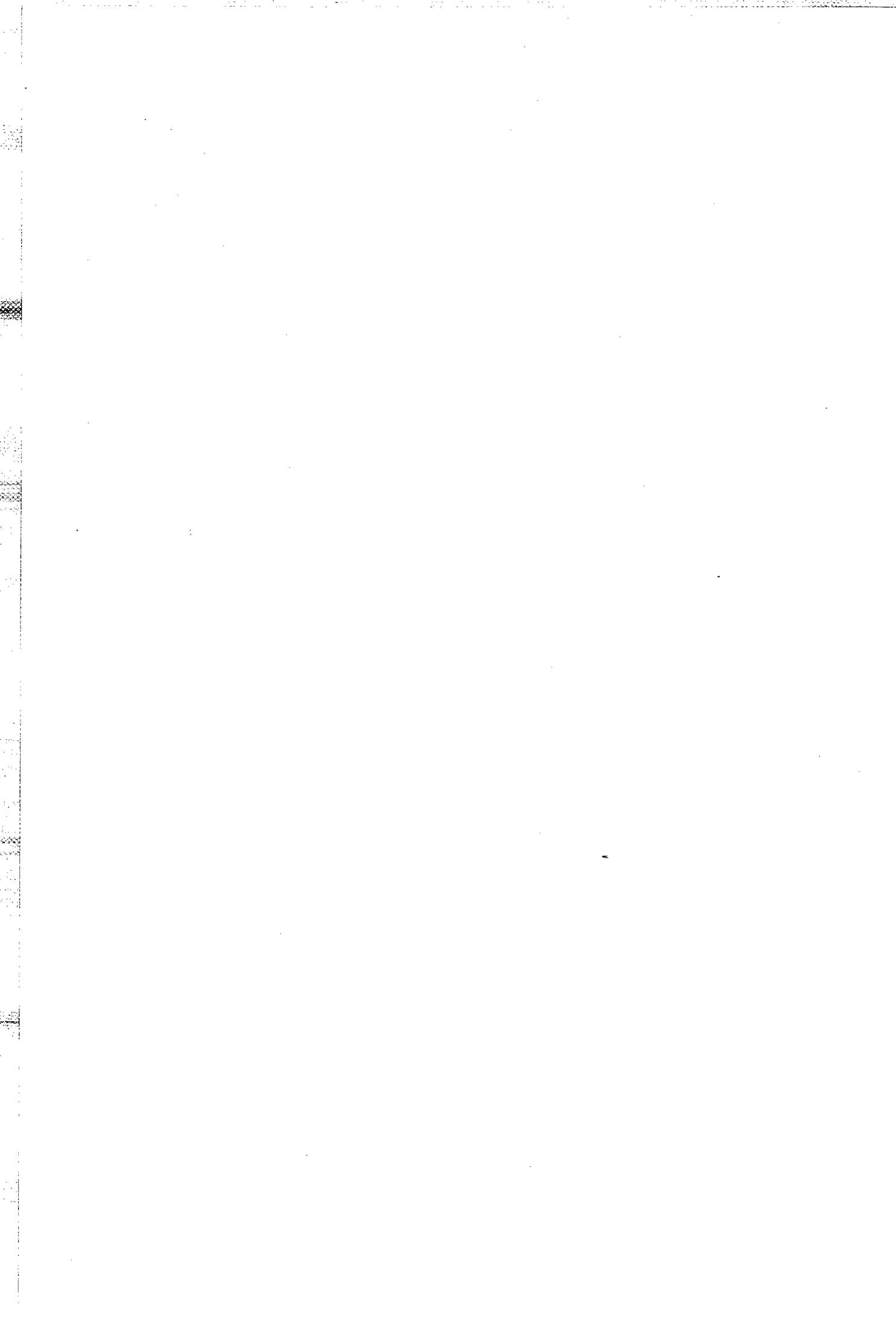
ISBN: 84-87275-76-1
Depósito Legal: M. 4.828-1998

Indice

Introducción	5
I. Programa realizado por la Universidad de Cantabria	9
I.1. Determinación de concentraciones de radón	12
I.2. Caracterización de las fuentes de radón	20
I.3. Acuerdos específicos CSN-Universidad de Cantabria ..	31
II. Programa realizado por el Instituto de Física Corpuscular de la Universidad de Valencia	33
II.1. Desarrollo de la primera fase	35
II.2. Desarrollo de la segunda fase	36
II.3. Acuerdos específicos CSN-Universidad de Valencia ..	41
III. Programa realizado por el CIEMAT y la Universidad Autónoma de Barcelona	43
III.1. Determinación de concentraciones de radón en Madrid y Barcelona	45
III.2. Estudio del impacto radiológico ambiental producido por el gas radón en el interior de edificios	50
IV. Programa realizado por la Universidad de La Laguna	55
IV.1. Determinación de las concentraciones de radón en el interior de viviendas	57
IV.2. Determinación de las concentraciones de radón en el interior de cuevas	67
IV.3. Caracterización de las fuentes de radón	70
IV.4. Acuerdos específicos CSN-Universidad de La Laguna	70
V. Conclusiones	73
Referencias bibliográficas	77
Índice de tablas	85



Introducción



Introducción

En 1898 Pierre, Marie Curie y Gustave Bémont descubrieron el radio y observaron que emitía un elemento gaseoso radiactivo que fué denominado inicialmente emanación del radio, antes de ser reconocido por Dorn en 1901 como el más pesado de los gases nobles y al que se denominó radón.

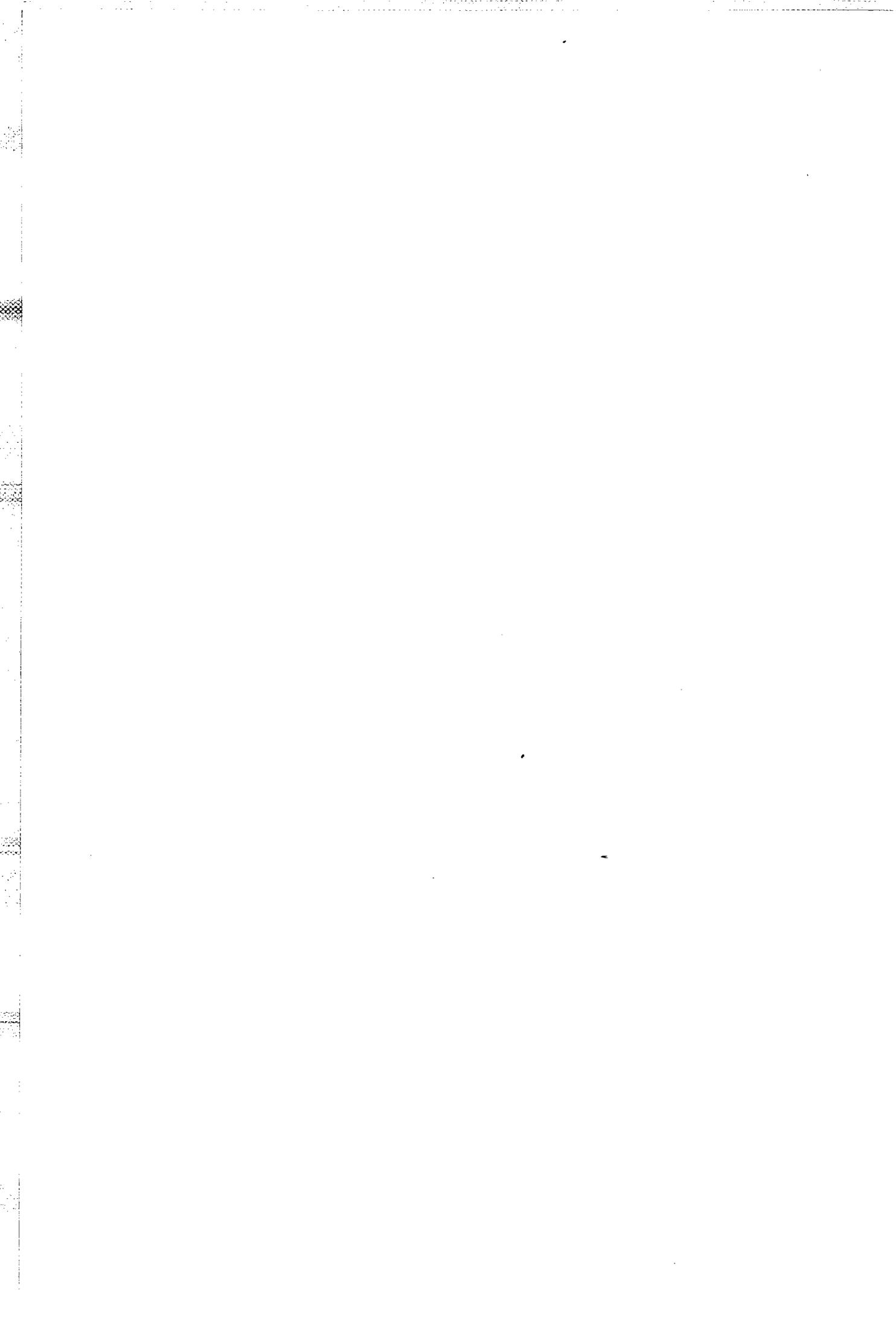
En la naturaleza existen tres isótopos del gas noble radón, el Rn-219 isótopo producido en la cadena de desintegración del actinio y al que se denomina actinón, el Rn-220 producido en la serie de desintegración del torio y al que se denomina genéricamente torón y el Rn-222, constituyente de la cadena de desintegración del uranio y al que se denomina radón. Este último isótopo es el que se encuentra en mayor proporción en el medio terrestre y mientras en espacios abiertos su concentración en el aire no suele ser elevada, salvo en lugares específicos, en espacios cerrados como pueden ser viviendas y lugares de trabajo, principalmente subterráneos, pueden detectarse concentraciones elevadas que impliquen un riesgo potencial para la salud. La existencia de este riesgo potencial, ha llevado a los distintos países a desarrollar programas de vigilancia radiológica con el objeto de conocer las concentraciones existentes en los interiores de las edificaciones.

Este informe presenta las actividades realizadas y los resultados obtenidos, hasta el mes de marzo de 1996, por los diferentes grupos que participan en el *Proyecto Radón del CSN*, en la determinación de las concentraciones de radón en el interior de viviendas de nuestro país, en la caracterización radiológica de los suelos y materiales de construcción, así como en el estudio de los parámetros que condicionan la presencia de este isótopo en las viviendas.

En este informe se actualizan los anteriores de fechas 19 de diciembre de 1991⁽¹⁾ y 20 de junio de 1995⁽²⁾.

Las campañas de medida de radón en interiores han sido llevadas a cabo por las siguientes instituciones u organismos:

- Departamento de Física Médica de la Facultad de Medicina de Santander. Universidad de Cantabria
- Laboratorio de Radiactividad Ambiental del Instituto de Física Corpuscular. Universidad de Valencia
- Instituto de Protección Radiológica y Medio Ambiente (PRYMA) del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)
- Servicio de Física de las Radiaciones. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Laboratorio de Física Médica y Radiactividad Ambiental. Universidad de La Laguna.



**I. Programa realizado
por la Universidad
de Cantabria**



I. Programa realizado por la Universidad de Cantabria

Con fecha 13 de noviembre de 1988, se promovió por parte del Consejo de Seguridad Nuclear⁽³⁾, una reunión con diferentes grupos pertenecientes a universidades y organismos, que pudieran colaborar en la determinación de las concentraciones de radón y descendientes en el interior de los edificios del país.

A la reunión asistieron las universidades de Cantabria, Oviedo, Valencia (IFIC) y Autónoma de Barcelona y los organismos CIEMAT, ENUSA, ENRESA y Ministerio de Sanidad y Consumo.

Uno de los grupos interesados en dicha colaboración fue el Departamento de Física Médica de la Facultad de Medicina de Santander, perteneciente a la Universidad de Cantabria, que estaba comenzando en esas fechas un programa de determinación de concentraciones de radón en el interior de viviendas del país y cuyos objetivos, en general, coincidían con el objeto del acuerdo específico firmado el 26 de diciembre de 1990 entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de Cantabria, para la determinación de niveles de radón en España⁽⁴⁾.

El programa de la Universidad de Cantabria constaba de dos fases, y sus principales objetivos eran los siguientes⁽⁵⁾:

Primera Fase

- Determinación de concentraciones de radón en viviendas e identificación de zonas de mayor riesgo
- Determinación de concentraciones de Ra-226, Th-232 y K-40 en suelos, con objeto de relacionar los valores de Ra-226 en suelos, con los de radón en casas y de evaluar la irradiación a que estuvieran sometidos los habitantes de cada región.

Segunda Fase

- Realización de estudios más detallados en las zonas donde se detectaron los valores más elevados de concentración de radón. Estos estudios incluían los siguientes aspectos:
 - Repetición de las medidas realizadas en la primera fase, empleando adicionalmente en un número apropiado de viviendas la técnica de medida con detectores pasivos de trazas, al objeto de proceder a realizar una intercomparación de resultados.
 - Medida del grado de equilibrio entre el radón y sus descendientes en el interior de las viviendas.

- Caracterización de las fuentes que dan lugar a los niveles de radón en las viviendas (suelos, materiales de construcción y aguas).
- Determinación de la exhalación de radón procedente de suelos y materiales de construcción.

I. 1. Determinación de concentraciones de radón

Como se ha indicado anteriormente, el programa de vigilancia de las concentraciones de radón en interiores se llevó a cabo en dos fases; la primera en el periodo noviembre 1988 - marzo 1989, y la segunda en el periodo noviembre 1989-marzo 1990.

I. 1.1. Desarrollo de la primera fase

La primera fase dió comienzo en el mes de noviembre de 1988 y finalizó en el mes de marzo de 1989. Se realizaron las medidas en 55 localidades del país y en un total de 1.555 casas^(5,6 y 7).

La elección de los puntos de muestreo para llevar a cabo las medidas se realizó de forma que cubriesen lo más homogéneamente posible toda la geografía nacional y, por otra parte, que fueran representativos de las distintas áreas geológicas. Se consideró adecuada una separación de aproximadamente 100 km entre cada par de puntos de medida.

Elegidos los puntos de medida, la selección de casas se realizó de manera aleatoria, con la idea de que fueran representativas del tipo de viviendas de la zona, tratando de abarcar los modelos de viviendas rurales existentes en España^(5 y 6).

I. 1.1.1. Condiciones y métodos de muestreo y medida

Las condiciones en las que se recogieron las muestras pueden calificarse de conservadoras, pero apropiadas para conseguir el objetivo marcado, esto es, conocer en el más corto espacio de tiempo posible los niveles existentes, de forma que éstos diesen idea de los valores promedio. Dichas condiciones fueron las siguientes⁽⁸⁾:

- Periodo invernal
- Primeras horas de la mañana
- Muestreo en habitación cerrada con anterioridad durante al menos diez horas.

El método de muestreo y medida fue desarrollado en el laboratorio de la Cátedra de Radiología y Física Médica de la Universidad de Cantabria.

Este método consistía básicamente en recoger la muestra de aire en una célula de metacrilato de 1 litro de volumen, en la que previamente se había realizado el vacío y cuyo interior estaba cubierto de una capa de $SZn(Ag)$.

La fluorescencia que se produce mediante la radiación α que emite el radón y sus descendientes de periodo de semidesintegración corto en equilibrio, tres horas después de ser tomada la muestra, es detectada por un fotomultiplicador y contada mediante un sistema de amplificador y contador.

La célula empleada es un diseño modificado de la célula de Lucas original, siendo las principales variaciones introducidas las siguientes:

- Normalización del volumen a 1 litro
- Extracción de la base de la célula
- Sustitución de la capa fluorescente por una lámina plástica renovable en la que está depositada la sustancia fluorescente^(6 y 7).

Mediante las modificaciones introducidas, es posible la fabricación suficiente de células para recoger un gran número de muestras a la vez que se facilita su limpieza para ser reutilizadas.

Las células fueron calibradas en el Lovelace Inhalation Toxicology Research Institute, de Albuquerque (New Mexico-EE.UU.) y comparadas en los laboratorios del National Radiological Protection Board en Chilton (Reino Unido)⁽⁹⁾.

I. 1.1.2. Resultados obtenidos

En la tabla 1, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en todo el país, según las diferentes comunidades autónomas⁽¹⁰⁾.

A través de la revisión de los datos expuestos, puede verse que los valores medios más elevados se obtuvieron en las siguientes comunidades autónomas:

Galicia	118 Bq/m ³
Madrid (Sierra Guadarrama)	95 “
Extremadura	90 “
Castilla y León	68 “
Canarias	64 “

Los valores medios más bajos en las siguientes:

Comunidad Valenciana	18 Bq/m ³
La Rioja	19 “
Navarra	20 “
Cataluña	23 “
Baleares	27 “

Tabla 1. Valores de las concentraciones de radón obtenidos en las diferentes comunidades autónomas

Comunidad autónoma	Número de medidas	Valor medio* Bq/m ³	Rango de valores
Andalucía	278	31	LID* - 848,4
Aragón	130	39	LID - 921,3
Asturias	54	43	18,5 - 947,2
Baleares •	27	27	LID - 160,6
Canarias □	60	64	14,8 - 1.875,8
Cantabria	103	40	LID - 1.972,4
Castilla-La Mancha	168	43	LID - 395,9
Castilla y León	309	68	LID - 15.402,7
Cataluña	78	23	LID - 1.775,9
Extremadura	111	90	LID - 1.258
Galicia	112	118	18,5 - 2.068,3
Madrid (Guadarrama)‡	29	95	28,1 - 492,1
Murcia	59	25	LID - 104,7
Navarra	49	20	LID - 95,8
La Rioja	26	19	LID - 1.072,9
País Vasco	79	28	LID - 303,8
Comunidad Valenciana	124	18	LID - 214,2
España	1796	43	LID - 15402,7

*Media geométrica

□ Datos de Tenerife

‡ Datos de la población de Hoyo de Manzanares

• Datos de Mallorca

En la documentación consultada se asocian en líneas generales, los valores encontrados con las características geológicas de las diferentes zonas. Específicamente en el documento⁽¹¹⁾ se indica que España, desde el punto de vista geológico, puede considerarse dividida en tres grandes regiones:

Primera. Formada por rocas paleozoicas con formaciones metamórficas graníticas y pizarrosas, asociadas con rocas filonianas como las cuarcitas. Ocupa la parte occidental de la península ibérica incluyendo Galicia, partes de Zamora y Salamanca, buena parte de Avila, Segovia, Madrid, Extremadura y la región oeste de Castilla-La Mancha, prolongándose hacia el sur hasta el valle del Guadalquivir.

Segunda. Formada por sedimentos de origen marino, principalmente calizas, margas y arcillas. Se sitúa a lo largo de la cordillera pirenaica, sur del valle del Ebro y toda la región costera mediterránea, incluyendo la parte de Andalucía situada al sur del Guadalquivir.

Tercera. Formada por rocas sedimentarias de origen continental más modernas como arcillas, areniscas, margas y formaciones yesíferas y calcáreas. Ocupa buena parte de Castilla y León, el valle del Ebro y la región oriental de Castilla-La Mancha.

En el documento elaborado por Carmen Ródenas⁽¹⁰⁾, se incluye adicionalmente una **cuarta** región geológica asociada a las islas Canarias, que al tener las mismas un origen volcánico, presentan un gran número de formaciones basálticas y de rocas piroclásticas y volcánicas.

De forma simplificada, se puede decir que existen, si se exceptúa Canarias, tres grandes regiones con diferentes tipos de suelos:

- Tipo silíceo correspondiente al dominio herciniano
- Tipo calcáreo correspondiente al dominio alpino
- Tipo arcilloso correspondiente a las depresiones terciarias.

Luis Quindós (1992)⁽¹¹⁾, indica que, cuando se comparan las concentraciones de radón encontradas en el interior de las viviendas con la descripción geológica general expuesta, se encuentra una notable correspondencia entre ambas.

Los valores promedio de la concentración de radón obtenidos en viviendas situadas en los suelos de naturaleza silícea (Galicia, sierra de Guadarrama en Madrid y Extremadura), son significativamente mayores que el valor medio nacional, mientras que los valores obtenidos en viviendas situadas en suelos de naturaleza calcárea (Comunidad Valenciana, La Rioja, Navarra, Cataluña, Baleares y Murcia) son inferiores al valor medio nacional.

Los puntos situados en regiones arcillosas como Aragón o Castilla-La Mancha, aunque también Asturias y Cantabria, dan valores próximos a la media nacional.

Castilla y León y Canarias, adicionalmente, son ejemplos claros de la existencia de suelos de naturaleza diversa, estando afectados los valores medios encontrados por la elección de puntos de muestreo situados en suelos de muy distinta caracterización geológica, reflejo de la geología propia de esas zonas, silíceos y arcillosos en el primer caso y mantos de lava en el segundo, por lo que sus valores resultan más difíciles de interpretar y se requerirá de un mayor número de medidas.

En relación con los datos relativos a Madrid (sierra de Guadarrama), contenidos en la tabla 1, hay que señalar que corresponden a una única población, Hoyo de Manzanares, según ha podido deducirse de la información contenida en el documento elaborado por Luis Quindós (1993)⁽¹²⁾. No obstante, se realizaron medidas de concentraciones de radón en el interior de viviendas de otras siete poblaciones de la sierra⁽¹³⁾, denominadas en este documento como zona 1, zona 2, zona 3, zona 4, zona 6, zona 7 y zona 8 y que se corresponden, según el estudio realizado por la Universidad de Cantabria⁽¹⁴⁾ respectivamente, con las siguientes poblaciones: La Cabrera, Miraflores de la Sierra, Manzanares el Real, El Escorial, Navas del Rey, San Martín de Valdeiglesias y Navacerrada.

En la tabla 2 se han recopilado los resultados obtenidos en las poblaciones indicadas anteriormente, incluyendo adicionalmente la población de Hoyo de Manzanares.

Tabla 2. Valores de concentración de radón en poblaciones de la sierra de Madrid

Población	Número de casas	Valor medio (Rango) Bq/m ³
La Cabrera	11	146,20 (52 - 269)
El Escorial	19	247,80 (23 - 1573)
Hoyo de Manzanares	29	94,90 (28 - 492)
Manzanares el Real	9	321,60 (69 - 1221)
Miraflores de la Sierra	18	185,90 (34 - 1325)
Navacerrada	8	118,30 (32 - 762)
Navas del Rey	3	557,8 (175 - 1202)
San Martín de Valdeiglesias	10	126,30 (65 - 284)

En el estudio de Luis Quindrós (1990)⁽⁵⁾, se señala que en un 13% de las casas donde se tomaron muestras, se encontraron valores superiores a 148 Bq/m³ (4 pCi/l), valor al que la EPA⁽¹⁵⁾, basándose en la información disponible, cree que puede llegarse en la reducción de los niveles de radón de la mayoría de las casas. No obstante, a través del análisis de los resultados individuales correspondientes a 1.873 casas, remitidos por la Universidad de Cantabria⁽¹⁴⁾, se ha obtenido un porcentaje de un 17% de casas que han superado dicho valor.

Únicamente un 4% de las casas superó el nivel de referencia de 400 Bq/m³, valor recomendado por la U.E. a sus Estados Miembros para iniciar acciones de remedio en casas ya edificadas⁽¹⁶⁾.

Tabla 3. Porcentaje de casas en cada comunidad autónoma con valores superiores a 400 Bq/m³

Comunidad autónoma	Porcentaje de casas > 400 Bq/m ³
Andalucía	4
Aragón	3
Asturias	2
Baleares	0
Canarias	4
Cantabria	3
Castilla - La Mancha	0
Castilla y León	30
Cataluña	1
Extremadura	4
Galicia	11
Madrid (Sierra de Guadarrama)	17
Murcia	0
Navarra	0
La Rioja	1
Pais Valenciano	0
País Vasco	0

En la tabla 3, se expone por comunidades autónomas, el porcentaje de casas que superó el nivel de 400 Bq/m³, porcentaje que se ha obtenido a través del análisis de los resultados contenidos en el informe de la Universidad de Cantabria⁽¹⁴⁾ y que, según lo indicado por dicha universidad, son los más completos y representativos de la vigilancia realizada.

A la vez que se realizaban las medidas en el interior de las viviendas, se recogieron una serie de datos relativos a sus características con objeto de realizar un estudio que relacionase dichas características con los niveles de radón detectados. Los datos que se recogieron fueron los siguientes: tipo de vivienda, combustible empleado, antigüedad, lugar donde se realizó el muestreo en la casa y materiales de construcción.

De todos los parámetros analizados, el más importante en su relación con los niveles de radón, es el referido a los materiales de construcción de las viviendas⁽¹⁷⁾, ya que el valor medio de la muestra total, resultó ser de aproximadamente 1,5 veces superior para las casas de piedra que para las construídas con ladrillo, aunque no se indica si para el mismo tipo de terreno.

En la tabla 4, se presentan los valores obtenidos de concentración de actividad de radón en relación con el material de construcción.

Tabla 4. Relación de las concentraciones de radón con los materiales de construcción

Material	Número de medidas	Valor medio Bq/m ³	Rango de valores
Piedra	809	49,6	LD - 15402,7
Ladrillo	607	33,9	LD - 5676,0
Adobe - Piedra	70	48,6	LD - 848,4
Otros	69	18,5	LD - 232,4

I. 1.2. Desarrollo de la segunda fase

La segunda fase se llevó a cabo entre noviembre de 1989 y marzo de 1990, con el fin de:

- Efectuar una segunda campaña de medidas, para confirmar los resultados obtenidos en la primera fase.

- Colocar en algunas de las viviendas detectores pasivos de trazas que permitieran efectuar una intercomparación de los métodos de medida, así como una evaluación de las concentraciones integradas de radón.

Confirmación de los resultados obtenidos

En la primera fase, se seleccionaron 307 casas en las denominadas zonas de interés (zonas con elevados niveles de radón), y se realizaron medidas nuevamente en 228 casas. El valor medio de concentración estimado a partir de los resultados obtenidos en la primera fase en las 307 casas, fué de 125 Bq/m³, con una desviación estándar de 3,0. En la segunda fase el valor medio estimado a partir de los resultados obtenidos en las 228 viviendas, fué de 115,7 Bq/m³, con una desviación estándar de 3,2.

Estos resultados según indica Luis Quindós (1990)⁽⁹⁾, ponen de manifiesto la reproductividad de las medidas realizadas con las células de centelleo.

Intercomparación de métodos de medida

Se realizaron medidas con detectores pasivos de trazas en 448 viviendas⁽¹⁷⁾, 250 en viviendas donde las concentraciones de radón fueron bajas y 198 en viviendas donde se habían detectado niveles elevados. Adicionalmente, se realizaron medidas puntuales con el método de células de centelleo.

En las 198 viviendas donde se detectaron valores más altos, se colocaron detectores de trazas procedentes de la compañía Tech/OPS Landauer Terradex EE.UU. y en 94 de ellas, adicionalmente detectores pasivos de trazas del National Radiological Protection Board (NRPB) del Reino Unido.

Los detectores fueron colocados en noviembre de 1989 y retirados tres meses más tarde. Tanto el día de su colocación como el de su retirada, se efectuaron medidas instantáneas con las células de centelleo^(5 y 18).

En la tabla 5 se presenta un resumen de los resultados obtenidos con los diferentes métodos de medida, considerando diferentes intervalos de concentración en los 94 lugares en los que se emplearon los tres métodos.

La revisión de los resultados indica que si bien existe una mayor concordancia entre los resultados obtenidos en las medidas realizadas empleando los dos tipos de detectores de trazas, las tres medias geométricas no son significativamente diferentes.

• Valor medio células	140,9 Bq/m ³
• Valor medio Terradex	107,3 “
• Valor medio NRPB	114,7 “

Comparando los valores obtenidos para los diferentes intervalos de concentración, se observó que las diferencias entre los respectivos resultados, aunque pequeñas, se presentaban esencialmente para los niveles más bajos de concentración, hecho relacionado según indica Luis Quindós^(5 y 18) con el valor del límite de detección asociado a la medida con células de centelleo, 10 Bq/m³, superior al obtenido por el método de trazas, que proporciona una mayor sensibilidad y una mayor fiabilidad en la medida de concentraciones muy bajas.

Tabla 5. Comparación de resultados con diferentes métodos de medida

Rango de concentración Bq/m ³	Células de centelleo		Detectores trazas (Terradex)		Detectores trazas (NRPB)	
	nº de medidas	valor* medio	nº de medidas	valor* medio	nº de medidas	valor* medio
<37	11	26,3	15	29,6	12	29,6
37 - 75	17	44,4	44	44,4	26	44,4
75 - 150	25	107,3	15	103,6	19	103,6
150 - 200	10	173,9	12	166,5	12	170,2
200 - 400	16	281,2	12	281,2	14	270,1
>400	15	869,5	11	806,6	11	782,9
Total	94	140,9	94	107,3	94	114,7

*Media geométrica

I. 2. Caracterización de las fuentes de radón

En el documento de Luis Quindós (1990)⁽⁵⁾ se exponen, adicionalmente a los resultados de las concentraciones de radón obtenidos a través de las medidas realizadas en el interior de las viviendas, las actividades realizadas en relación con la caracterización de las fuentes de radón, aspecto que se desarrolla más ampliamente en el informe de Quindós y Soto⁽¹⁷⁾. Este tipo de fuentes han sido las siguientes:

- El terreno sobre el que se asienta la vivienda.
- Los materiales de construcción que integran la estructura de la vivienda.
- Las aguas de consumo doméstico.

1. 2.1. Suelos

El programa de muestreo de suelos se realizó durante el periodo 1989-1992, con objeto de determinar las concentraciones de los radionúcleos primordiales K-40, Ra-226 y Th-232.

Se recogieron una serie de muestras en 952 lugares a lo largo del país, en cada lugar se recogieron cinco muestras en una superficie de 1.000 m² a una profundidad de 5 cm^(19 y 20).

Las muestras correspondientes a cada localización de muestreo se mezclaron en el laboratorio y fueron sometidas a un proceso de preparación que llevaba implícita la desecación de la muestra, primero dejándolas expuestas al aire y posteriormente introduciéndolas en una estufa a una temperatura de 100°C durante un periodo aproximado de 24 horas, mediante una nueva pesada se determinó el contenido en agua de las muestras, que posteriormente fueron tamizadas para que la granulometría fuera uniforme.

Las muestras se situaron en un contenedor herméticamente cerrado durante un periodo de cuatro semanas, con objeto de permitir el equilibrio entre el Rn-222, Rn-220 y sus correspondientes descendientes. La determinación de los correspondientes radionúclidos se realizó mediante espectrometría gamma.

En la tabla 6 se presentan, por comunidad autónoma y en la totalidad del país, los valores obtenidos de las concentraciones de actividad de los isótopos indicados⁽²⁰⁾.

También fueron realizadas medidas de la exhalación de radón en suelos, mediante la técnica denominada de acumulación⁽²¹⁾. Los valores obtenidos están referidos a las zonas con altos niveles de radón en casas. Las medidas se realizaron a primeras horas de la mañana durante el mes de noviembre de 1989 y se repitieron en los mismos puntos en febrero de 1990.

Los valores de exhalación de radón obtenidos durante la primera campaña de medidas, mostraron un amplio grado de variación comprendido entre valores de 43 Bq/m².h⁻¹ a 940 Bq/m².h⁻¹.

Los resultados encontrados durante el segundo periodo de medidas, presentaron una gran variabilidad, aunque los valores medios fueron notablemente inferiores con un rango entre los 12 y 190 Bq/m².h⁻¹. La explicación de los valores más bajos obtenidos se relacionó con el mayor contenido de humedad del suelo.

Tabla 6. Concentraciones de Ra-226, Th-232 y K-40 en suelos

Comunidad autónoma	Número de medidas	Ra-226 Bq/Kg		Th-232 Bq/Kg		K-40 Bq/Kg	
		Valor medio	Rango	Valor medio	Rango	Valor medio	Rango
Andalucía	126	29,0	8-82	30,0	5-79	426	46-1660
Aragón	44	35,8	48-72	34,7	16-77	485	141-1120
Asturias	17	43,7	20-167	44,5	21-81	410	64-800
Baleares	11	34,5	23-70	31,2	10-58	367	153-600
Canarias	30	51,2	21-136	64,7	32-169	832	270-1990
Cantabria	94	44,3	10-141	45,8	8-87	565	107-1560
C.- La Mancha	119	29,4	9-65	42,4	9-108	526	93-1390
C. y León	144	38,8	9-300	41,4	8-128	674	87-1710
Cataluña	45	39,5	13-138	38,4	7-96	598	33-1200
Extremadura	73	49,5	11-240	56,8	9-258	712	118-1840
Galicia	71	93,9	18-310	68,4	10-215	999	280-2040
Madrid	37	48,6	12-158	57,7	7-139	1113	113-1720
Murcia	16	31,5	18-63	24,6	11-45	424	240-700
Navarra	15	33,5	19-80	28,6	16-39	410	230-670
La Rioja	12	42,2	16-69	50,4	27-85	653	360-1060
País Vasco	45	45,1	9-93	46,5	8-92	516	31-1380
C. Valenciana	32	28,1	8-61	29,4	10-66	382	78-910
España	952	38,9	8-310	41,0	5-258	578	31-2040

I. 2.2. Materiales de construcción

Las actividades llevadas a cabo por este grupo de trabajo se pueden dividir en dos apartados, un primer grupo de medidas realizadas en una serie de muestras que se recogieron aleatoriamente ^(17 y 22), y un segundo grupo de muestras recogidas de manera sistemática (granito y cemento).

La técnica de preparación y análisis aplicada a las muestras fué análoga a la indicada anteriormente para suelos.

Para la realización del primer grupo de medidas se recogieron y analizaron muestras de arena de playa, arena, ladrillos, cemento, hormigón, estuco, yeso y suelo, determinándose el contenido de K-40, Ra-226 y Th-232. En la tabla 7 se exponen los resultados obtenidos de las medidas realizadas.

La conclusión de este primer estudio⁽²²⁾, fue que los materiales de construcción analizados están dentro de los intervalos aceptados para las normas adoptadas en relación con la exposición en interiores por la República Federal de Alemania y los criterios establecidos en un informe de la OECD/NEA del año 1979⁽²³⁾, siendo la excepción un tipo de cemento, el denominado en la tabla 7

Tabla 7. Concentraciones de Ra-226, Th-232 y K-40 en materiales de construcción

Tipo de material	Número de muestras	Concentración de actividad Bq / Kg		
		Ra-226	Th-232	K-40
Arena de playa	6	5,9	3,7	55,5
Arena I	4	30,3	27,7	30,7
Arena II	7	7,0	2,9	11,5
Ladrillo I	3	55,1	43,6	747,4
Ladrillo II	8	73,2	59,9	292,3
Cemento I	3	25,1	19,6	59,2
Cemento II	7	421,8	266,4	599,4
Cemento III	5	94,7	66,6	44,1
Cemento IV	4	23,3	18,5	85,1
Cemento V	5	51,8	40,7	403,3
Cemento VI	6	35,5	29,6	203,5
Cemento VII	7	53,6	37,7	274,9
Yeso I	3	9,6	4,4	55,5
Yeso II	5	35,9	26,3	155,4
Yeso III	7	50,7	34,0	166,5
Yeso IV	5	11,1	7,4	70,3
Estuco	4	8,1	4,8	74,0
Hormigón	24	29,9	31,8	203,5
Suelo	12	14,8	11,8	214,6

como "Cemento II", que mostraba los valores mas elevados 421,8 Bq/kg (Ra-226), 266,4 Bq/kg (Th-232) y 599,4 Bq/kg (K-40).

Posteriormente y según lo indicado en las referencias 19, 24 y 25, se realizó un estudio a nivel nacional del contenido de isótopos naturales en dos materiales de construcción utilizados comúnmente en nuestro país, granito y cemento.

Se recogieron un total de 134 muestras de granito, 87 de granitos nacionales y 47 muestras de granitos de importación, representando los nacionales el 98% de los empleados en la construcción en nuestro país. En las muestras se determinó el contenido de Ra-226 mediante espectrometría gamma⁽²⁵⁾.

Los resultados de las medidas de la concentración de Ra-226 fueron los que se exponen en la tabla 8 para los granitos españoles y en la tabla 9 para los granitos extranjeros⁽²⁵⁾.

Tabla 8. Contenido de Ra-226 en muestras de granitos nacionales

Provincia	Número de casas	Valor medio Bq/Kg (Rango)
Ávila	2	86,1 (59,7 - 112,6)
Badajoz	23	66,3 (7,1 - 143,7)
Cáceres	10	78,2 (37,4 - 103,6)
La Coruña	3	92 (78,0 - 114,0)
Huelva	1	32,6
Huesca	1	282,1
Lugo	6	93,1 (42,3 - 168,9)
Madrid	13	90,9 (44 - 171,9)
Orense	5	78,4 (43,1 - 98,1)
Pontevedra	12	112,0 (36,4 - 197,5)
Salamanca	3	61,3 (43,8 - 81,8)
Segovia	3	126,7 (90 - 165,8)
Sevilla	1	30,3
Toledo	1	191,2
Zamora	3	73,9 (58,8 - 94,5)

Tabla 9. Contenido de Ra-226 en muestras de granitos extranjeros

País	Número de muestras	Valor medio Bq/Kg (rango)
Argentina	1	98,1
Brasil	11	102,0 (9,8 - 191,5)
Finlandia	3	54,4 (16,1 - 90,2)
Francia	2	15,6 (6,9 - 24,4)
India	7	129,3 (6,1 - 672)
Noruega	7	101,7 (13 - 218,7)
Portugal	1	31,6
Suecia	1	60,7
Suráfrica	8	43,4 (3,7 - 157,0)
Tanzania	1	20,3
Venezuela	5	50,2 (23,5 - 122,0)

En relación con los cementos, se recogieron un total de 132 muestras procedentes de los distintos productores del país y adicionalmente siete muestras de cementos de importación procedentes de Turquía y Suráfrica. En todas las muestras se determinaron las concentraciones de Ra-226, Th-232 y K-40.

Los valores medios de los resultados obtenidos en los cementos producidos en España, según la provincia de origen, se exponen en la tabla 10.

Tabla 10. Concentraciones de Ra-226, Th-232 y K-40 en cementos españoles Bq/Kg

Provincia	Número de muestras	Ra-226	Th-232	K-40
Albacete	1	32	31	315
Alicante	8	30,7	22,9	244,6
Almería	3	72,7	45,3	287,0
Asturias	5	60,2	30,2	408,2
Barcelona	18	46,3	36,7	273,0

Tabla 10. Concentraciones de Ra-226, Th-232 y K-40 en cementos españoles Bq/Kg (cont.)

Provincia	Número de muestras	Ra-226	Th-232	K-40
Cantabria	5	56,4	30,2	377,8
Córdoba	1	74,0	19,0	341,0
Guipúzcoa	6	55,7	30,8	315,3
Huelva	3	27,6	26,6	233,6
Huesca	3	92,3	40,7	330,0
Jaén	5	43,8	35,2	381,8
León	3	93,0	41,6	509,0
Lugo	2	28,5	45,0	438,5
Málaga	6	55,7	47,3	357,0
Mallorca	1	29,0	43,0	302,0
Madrid	9	38,6	25,7	330,1
Murcia	8	57,4	34,8	304,5
Navarra	6	42,6	31	350,2
Sevilla	2	23,5	15,5	169,5
Tarragona	4	33,0	14,7	290,0
Toledo	8	42,5	30,5	337,8
Valencia	11	31,7	22,8	284,8
Vizcaya	10	54,3	39,6	271,5
Zaragoza	4	74,5	32,5	387

El laboratorio del Departamento de Física Médica de la Universidad de Cantabria, con el objeto de validar sus resultados y establecer un control de calidad de las medidas, ha coordinado y participado junto con otros laboratorios pertenecientes a Bélgica, Dinamarca, Grecia, Holanda, Hungría, Irlanda, Italia, Japón, Portugal, Suecia y Reino Unido en dos ejercicios de medida de isótopos emisores gamma en muestras de suelos y materiales de construcción^(26 y 27).

1. 2.3. Agua

Para la medida de la concentración de gas radón (Rn-222) disuelto en agua, las muestras se recogieron en un portamuestras de metacrilato con geometría Marinelli y se midieron en un detector de INa(Tl), determinándose la concentración de Rn-222 a través de los fotopicos de 0,61 MeV y 1,76 MeV del Bi-214. El límite de detección del método empleado fue de 2 Bq/l^(28 y 29).

La medida de la concentración de Ra-226 disuelto en agua, se realizó mediante un proceso de separación radioquímica⁽³⁰⁾, midiéndose la plancheta con el precipitado en un detector de SZn(Ag). El límite de detección para el método empleado fue de 4 mBq/l⁽³¹⁾.

En relación con los estudios realizados, la medida de los contenidos de Ra-226 y Rn-222 se ha llevado a cabo tanto en las aguas de consumo público como en las de los balnearios, siendo estas últimas las que presentan unos niveles de Rn-222 disuelto notablemente más elevados⁽¹⁷⁾. Soto (1990)⁽²⁹⁾ presenta los resultados de las medidas realizadas en diferentes balnearios de las comunidades de Cantabria, Galicia, Extremadura y Castilla y León, resultados que se han recopilado en la tabla 11.

Dentro de los balnearios donde se tomaron muestras en la Comunidad de Cantabria, se destaca⁽³²⁾ como de especial interés al balneario de Las Caldas de Besaya, donde se encontraron valores relativamente elevados de Rn-222 (824 Bq/l) y de Ra-226 (0,84 Bq/l) en sus aguas.

Adicionalmente, en este balneario, se realizaron medidas de concentración de Rn-222 en su interior en diferentes áreas (cercanas al manantial, en los baños y zonas de duchas y en la sala de inhalación), así como en el vestíbulo de entrada.

En los aerosoles inhalados por los pacientes, se midieron concentraciones de radón comprendidas entre 99.400 y 102.700 Bq/m³, siendo los valores obtenidos en el vestíbulo de entrada mucho más bajos (580 Bq/m³ valor medio).

Los valores encontrados en las zonas de baños, estuvieron comprendidos entre 3.560 y 6.650 Bq/m³, indicándose adicionalmente que estos valores podrían implicar un riesgo radiológico para los trabajadores del balneario⁽³²⁾.

La CIPR en su publicación nº 65⁽³³⁾, sugiere que el nivel de acción en lugares de trabajo sea considerado entre 500 y 1.500 Bq/m³.

Tabla 11. Concentración de Rn-222 y Ra-226 en aguas de diferentes balnearios

Balnearios	Concentración de actividad Bq/l	
	Rn-222	Ra-226
Cantabria		
Alceda	2	0,064
Las Caldas de Besaya	824	0,840
Lierganes	6	0,020
Puente Viesgo	34	0,510
Aldea de Ebro	5	0,018
Fontibre	2	n.d.
La Hermida	840	0,120
Hoznayo	19	0,016
Puente Nansa	4	n.d.
Galicia		
Acuña	104	0,006
Arteixo	181	--
Caldas de Molgas	355	0,226
Caldelas de Tuy	112	--
Davila	29	n.d.
La Toja	266	3,66
Extremadura y Castilla y León (Salamanca)		
Alange	112	--
Baños de Montemayor	13	0,043
El Raposo	6	n.d.
Ledesma	35	0,016
Retortillo	147	0,087

n.d.= no detectado

En relación a las aguas de consumo público⁽⁵⁾, los estudios se comenzaron a partir de la segunda campaña de medidas de radón, recogiendo muestras en casas y fuentes públicas de once pueblos elegidos, con el fin de medir la concentración de Rn-222 disuelto y la concentración de Ra-226 para correlacionar dichas medidas.

Los pueblos elegidos, situados en la zona oeste de la provincia de Salamanca, fueron los siguientes⁽³⁴⁾:

Alameda del Gardón
Barquilla
Castillejo de Martín Viejo
Ciudad Rodrigo
Fuentes de Oñoro
Gallegos de Argañán
Saelices el Chico
Serranillo
Villar de Argañán
Villar del Ciervo
Villar de la Yegua

Las muestras se recogieron durante el año 1991 y comienzos de 1992 en un total de 33 fuentes, pozos y viviendas de dichos pueblos.

Los resultados obtenidos presentan una gran disparidad en los valores de concentración de Rn-222, estando comprendidos entre $LID \approx 10$ Bq/l y 16.000 Bq/l, destacándose las poblaciones de Villar de la Yegua y Villar del Ciervo.

El agua de abastecimiento municipal en ambas poblaciones, se recoge de pozos procedentes de antiguas prospecciones mineras no explotadas. En Villar del Ciervo en el agua de pozo se detectaron valores de 1.100 Bq/l mientras en las casas los valores fueron más bajos: del orden de 400 Bq/l. En cambio en Villar de la Yegua, las concentraciones fueron más elevadas, tanto en el depósito como en las viviendas midiéndose en estas últimas concentraciones de 16.000 Bq/l.

Las concentraciones de Ra-226 medidas fueron generalmente inferiores a 0,05 Bq/l, siendo únicamente las aguas de la población de Villar de la Yegua donde se detectaron valores relativamente elevados de dicho isótopo: del orden de 0,9 Bq/l, valor próximo al correspondiente al nivel de notificación (1 Bq/l) indicado en la Guía de Seguridad GSG-07.07 del CSN⁽³⁵⁾.

En esta población se han medido también valores elevados de actividad α y β total⁽³⁶⁾, estando en los meses lluviosos (marzo) los valores de actividad α -total comprendidos entre 0,24 y 6,9 Bq/l y los de actividad β -total entre el LID y 7,2 Bq/l, mientras que en los meses secos (septiembre), los valores encontrados fueron más elevados, estando los valores de actividad α -total comprendidos entre 9,9 y 13,6 Bq/l y los de actividad β -total entre 7,2 y 12 Bq/l.

Estos valores⁽³⁶⁾, se encuentran entre los más altos que aparecen recogidos en la bibliografía de medidas realizadas en distintos países citando las dos siguientes referencias bibliográficas^(37 y 38).

Todo lo indicado, junto con el hecho de que Villar de la Yegua es la población donde se han medido las concentraciones más elevadas de radón en un número mayor de casas^(39 y 40), hacen de esta población un caso singular en el país que debería estudiarse con más detalle tanto esa población, como otras próximas de las que hasta el momento no se tiene información.

Actualmente la Universidad de Cantabria está llevando a cabo un programa de muestreo y análisis de las aguas que se utilizan para consumo humano en las siguientes poblaciones próximas a Villar de la Yegua y que podrían tener las mismas características radiológicas que ésta^(39 y 40).

San Felices de los Gallegos	Olmedo de Comaces
Aldea del Obispo	Villar del Ciervo
Castillejo de dos Casas	Fuencaliente
Barquilla	Villavieja de Yeltes
Villar de Argañan	Bogajo
Sexmiro	Cerralbo
Martillan	Bermellar
Castillejo de Martín Viejo	Hinojosa de Duero
Saelices el Chico	La Fregeneda
La Bouza	San Martín
Puerto Seguro	Saucelle
Aigal de los Aceiteros	Lumbrales
Bañobarez	Sobradillo
La Redonda	Vilvestre

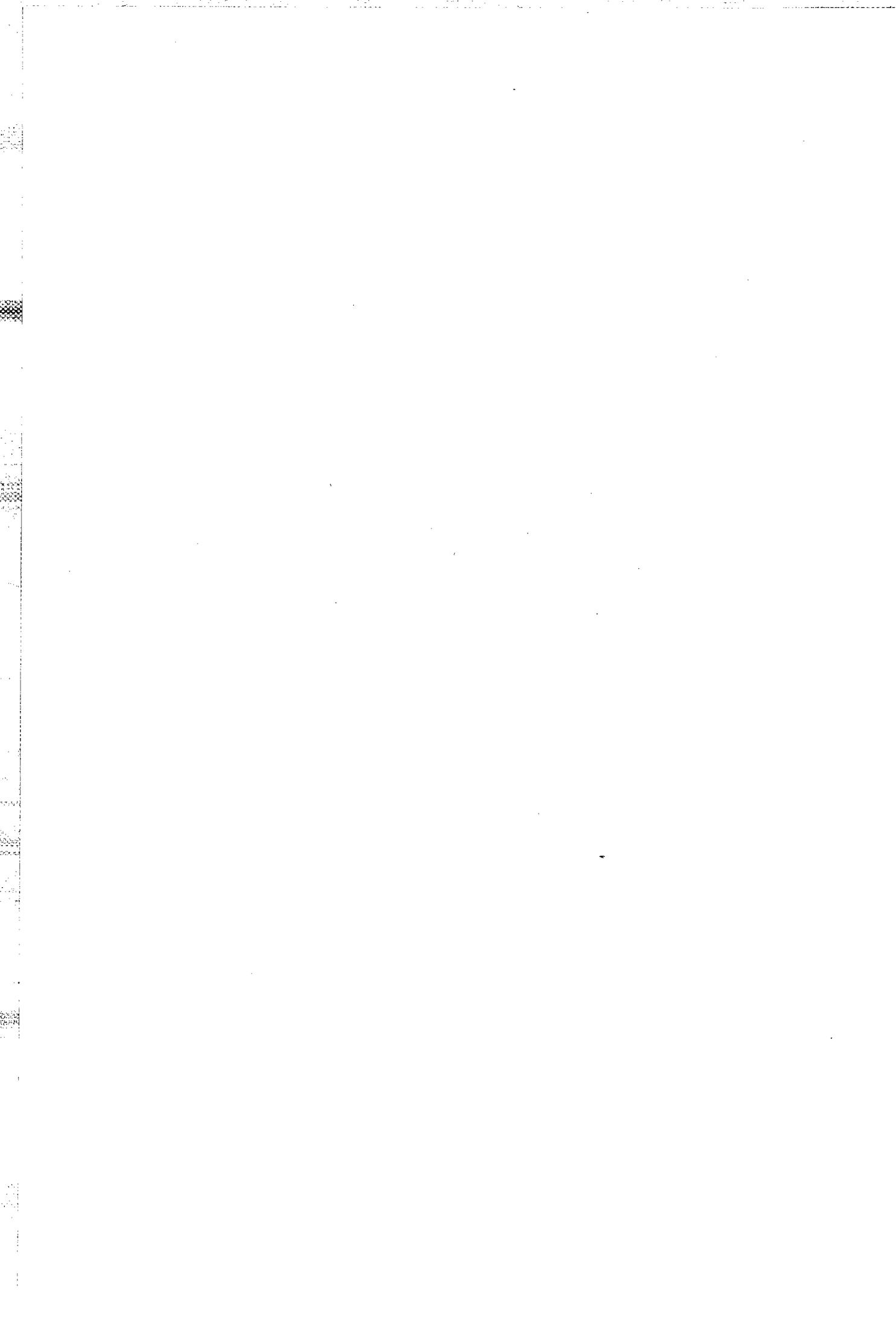
Asimismo, durante el año 1995, se inició una campaña de medidas de concentraciones de radón en el interior de viviendas de esas poblaciones.

I. 3. Acuerdos específicos CSN-Universidad de Cantabria

La información expuesta anteriormente ha sido remitida al CSN por la Universidad de Cantabria, dentro de los acuerdos específicos firmados por dichos organismos^(4, 41 y 42).

El último acuerdo⁽⁴²⁾, finalizó el 17 de octubre de 1995, estando prevista la firma de una prórroga para la continuación del estudio de los materiales de construcción como fuentes de radón, específicamente pizarras, y de las técnicas de mitigación, así como un estudio para evaluar la dosis a la población de la zona de los Arribes del Duero en la provincia de Salamanca, zona en la que se encuentra la población de Villar de la Yegua.

Este estudio considera la medida de isótopos naturales en suelos y aguas de consumo, la medida de los niveles de radón en el interior de las casas de diferentes poblaciones, así como la medida de los niveles de radiación tanto en el interior como en el exterior



**II. Programa realizado
por el Instituto
de Física Corpuscular
de la Universidad
de Valencia**



II. Programa realizado por el Instituto de Física Corpuscular de la Universidad de Valencia

Otro de los grupos interesados en la colaboración con el CSN en la determinación de concentraciones de radón en el interior de viviendas fué el Laboratorio de Radioactividad Ambiental del Instituto de Física Corpuscular (IFIC) de la Universidad de Valencia, que ya había realizado una serie de muestreos mediante la utilización de cartuchos de carbón activo.

La campaña de medidas de nivel de radón prevista por dicho grupo en el interior de los edificios de la Comunidad Valenciana, comprendía dos fases⁽⁴³⁾:

- En la primera, el objetivo de las medidas, se centraba fundamentalmente en edificios públicos.
- En la segunda fase, y a la vista de los resultados obtenidos en la fase precedente, el objetivo se centraba en viviendas privadas, con especial incidencia en aquellas zonas de mayor riesgo.

II. 1. Desarrollo de la primera fase

Durante la fase inicial, noviembre de 1988 a mayo de 1989, se efectuaron un total de 72 medidas en 64 edificios correspondientes a 32 poblaciones de la Comunidad Valenciana. Los edificios seleccionados fueron institutos de bachillerato⁽⁴⁴⁾.

II. 1.1. Condiciones y método de muestreo y medida

El muestreo se realizó mediante la utilización de cartuchos de carbón activo, consistentes en cajitas de aluminio, de 10 cm de diámetro por 2,8 cm de altura, con un contenido de 70 gr de carbón activo, construidas por una empresa especializada (Núcleus) y homologadas por la EPA.

La toma de muestras se llevó a cabo siguiendo las directrices dadas por la EPA⁽⁴⁵⁾. Se colocaron las trampas de carbón, en las plantas bajas de los edificios, a una altura del suelo superior a 25 cm, en locales cerrados durante al menos 12 horas antes de la toma de muestras y durante el periodo de muestreo (salvo las entradas y salidas normales).

El periodo de exposición de los cartuchos fue de aproximadamente 2 días, determinándose la concentración de radón mediante la identificación por espectrometría gamma de los descendientes Pb-214 y Bi-214. Con un tiempo de medida de 10 minutos, el LID obtenido fue de 18,5 Bq/m³.

Adicionalmente se cumplimentaron unos cuestionarios en los que se requería información sobre el tipo de edificación, lugar de muestreo, tipo de habitación, dimensiones, materiales de construcción y hábitos de ventilación.

II. 1.2. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos⁽⁴⁴⁾, estuvieron comprendidos entre 18,5 Bq/m³ y 314 Bq/m³, con un valor medio estimado para toda la Comunidad de 27,4 Bq/m³.

Como puede verse en la tabla 1 del presente informe, la Universidad de Cantabria obtuvo, para la Comunidad Valenciana, un valor medio de 18 Bq/m³, con un rango comprendido entre el LID (10 Bq/m³) y 214,2 Bq/m³.

II. 2. Desarrollo de la segunda fase

En la segunda fase se realizaron campañas de medida de radón en el interior de edificios de las tres provincias: Valencia⁽⁴⁶⁾, Castellón⁽⁴⁷⁾ y Alicante⁽⁴⁸⁾, con lo cual se tiene actualmente una visión detallada de las concentraciones existentes en toda la Comunidad Valenciana.

II. 2.1. Concentraciones de radón en la provincia de Valencia

Durante la campaña realizada 1990-91, se procedió a la determinación de las concentraciones de radón en 437 edificios distribuidos entre 52 municipios de la provincia.

Para cubrir todo el área geográfica se utilizó su división comarcal, eligiendo el número de municipios dentro de cada comarca, según el número total de habitantes de la misma, y considerando adicionalmente para la elección de los municipios las peculiaridades geológicas de cada comarca⁽⁴⁶⁾.

Dentro de cada municipio se escogieron entre 6 y 10 puntos de muestreo, duplicando las medidas en un 15% de las casas, con objeto de asegurar la fiabilidad del método, encontrándose siempre resultados concordantes.

Las condiciones y método de muestreo así como el de medida, fueron los mismos que se han indicado en el apartado II.1.1 del presente informe.

En la tabla 12 se reflejan los valores medios comarcales de las concentraciones de radón medidas en los diferentes municipios, así como el valor medio obtenido para la provincia de Valencia⁽⁴⁶⁾.

Tabla 12. Concentración de radón en la provincia de Valencia

Comarca	Poblaciones	Valor medio* comarcal (Bq/m ³)
El Rincón de Ademuz	Casas Bajas Castell Fabib	48,1
Los Serranos	Aras de Alpuente Tuejar Higueruelas Gestalgar	39,6
Camp del Turia	Villamarchante Serra Olocau Casinos	68,8
El Camp de Morvedre	Sagunto Gilet Algar Torres-Torres	44,8
Valencia y L'Horta	Valencia Burjassot Puzol Torrente Chirivella Silla	30,7
La Plana de Utiel-Requena	Venta del Moro Villagordo Camporrobles Sinarcas	37,7
La Hoya de Buñol	Dos Aguas Yátova Siete Aguas	32,5
El Valle de Cofrentes	Cofrentes Teresa Ayora	35,5
La Ribera Alta	Carcer Montroy Turis Carlet	34,8
La Ribera Baixa	Sollana Albalat Favara Corbera	37,4
La Canal de Navarres	Chella Navarres	28,9
La Costera	Canals Játiva Mogente Fuente de Higuera Vallada	36,6

Tabla 12. Concentración de radón en la provincia de Valencia (continuación)

Comarca	Poblaciones	Valor medio* comarcal (Bq/m ³)
La Vall D'Albaida	Ayelo de Rugat	23,7
	Rafol	
	Ayelo de Malferit	
	Olleria	
La Safor	Simat	39,6
	Gandia	
	Oliva	
	Tavernes	
Provincia de Valencia		37,0

* Media geométrica

Los valores obtenidos han sido bajos, no mostrando una especial problemática en relación con las concentraciones encontradas. No obstante, han aparecido valores esporádicos elevados en algunos edificios de algunas de las poblaciones. Los valores más elevados superiores a 400 Bq/m³ se obtuvieron en las siguientes poblaciones:

Casinos	1.630 Bq/m ³
Siete Aguas	9.618 "
Favara	2.658 "
Higueruelas	763 "
Fuente la Higuera	1.948 "

Los valores detectados en Favara y en Higueruelas corresponden a casas particulares, y en el caso de las poblaciones de Casinos, Siete Aguas y Fuente la Higuera, a muestras tomadas en la iglesia, la piscina municipal y el depósito de agua respectivamente.

II. 2.2. Concentraciones de radón en la provincia de Castellón.

Las medidas de las concentraciones de radón en la provincia de Castellón se realizaron durante el periodo 1992-93, determinándose dichas concentraciones en 195 edificios distribuidos entre 27 municipios de las ocho comarcas que constituyen el área geográfica de la provincia⁽⁴⁷⁾.

La metodología de selección de los municipios y de su número dentro de cada comarca, se realizó de forma análoga a lo indicado para la provincia de Valencia⁽⁴⁶⁾, así como las condiciones y método de muestreo y medida.

En la tabla 13 se exponen los valores medios obtenidos en cada municipio así como los valores medios de cada comarca y el valor medio estimado para la provincia de Castellón.

Tabla 13. Concentración de radón en la provincia de Castellón

Comarca	Poblaciones	Valor medio* población (Bq/m ³)	Valor medio* comarcal (Bq/m ³)
Els Ports	Cintorres	68,8	53
	Morella	46,3	
Alt Maestrat	Cati	122,5	98,5
	Culla	72,6	
	Villafranca del Cid	100,0	
Baix Maestrat	Alcalá de Xivert	53,7	35,2
	Chert	29,3	
	Rosell	28,9	
	Traiguera	39,6	
L'Alcalaten	Adzaneta	66,3	68,8
	Lucena del Cid	81,1	
	Vistabella del Maestrazgo	60,7	
La Plana Alta	Borriol	51,1	45,9
	Cuevas de Vinromá	46,3	
	Sierra Engarcerán	21,5	
	Vilafamés	127,0	
La Plana Baixa	Artana	53,3	72,9
	Betxi	82,6	
	Ribesalbes	83,7	
Alt Palancia	Algimia de Almo nacid.	69,2	43
	Barracas	71,9	
	Begís	71,1	
	Gatova	15,9	
Alt Millares	Cirat	26,3	37,7
	Cortes de Arenoso	44,4	
	Montanejos	35,2	
	Villahermosa del Cid	54,8	
Provincia Castellón		52,2	

Análogamente a lo indicado anteriormente en relación con los valores obtenidos en la provincia de Valencia, éstos han sido bajos, apareciendo en algunos edificios de algunas poblaciones, esporádicamente, valores elevados. Los valores más elevados, superiores a 400 Bq/m³, se obtuvieron en las siguientes poblaciones:

Cincotorres	559 Bq/m ³
Villafranca del Cid	1.081 “
Adzaneta	1.166 “
Betxi	1.255 “
Algimia de Almonacid	767 “

Los valores detectados en Cincotorres y Algimia de Almonacid, corresponden a casas particulares y en el caso de las poblaciones de Villafranca del Cid, Adzaneta y Betxi, a muestras tomadas en un almacén municipal, un colegio público y en el ayuntamiento, respectivamente.

II. 2.3. Concentraciones de radón en la provincia de Alicante

Las medidas de las concentraciones de radón en el interior de edificios, en la provincia de Alicante, se llevaron a cabo durante el periodo 1994-95, en 244 edificios de 32 municipios de las nueve comarcas que constituyen la provincia⁽⁴⁸⁾.

La selección de los lugares de muestreo, así como las condiciones y el método de muestreo y medida, fueron análogos a los indicados para las provincias de Valencia y Castellón.

En la tabla 14, se presentan los valores medios de concentración de radón obtenidos en cada uno de los 32 municipios, en cada una de las comarcas, así como el valor medio estimado para la provincia.

Tabla 14. Concentración de radón en la provincia de Alicante

Comarca	Poblaciones	Valor medio* población (Bq/m ³)	Valor medio* comarcal (Bq/m ³)
El Comptat	Agres	57,6	60,1
	Alcolecha	63,1	
L'Alcoia	Bañeres	118,3	104,1
	Castalla	149,7	
	Onil	73,5	
	Tibi	87,6	

Tabla 14. Concentración de radón en la provincia de Alicante (continuación)

Comarca	Poblaciones	Valor medio* población (Bq/m ³)	Valor medio* comarcal (Bq/m ³)
Alto Vinalopo	Benejama	39,2	35,8
	Biar	60,2	
	Salinas	21,0	
	Sax	45,5	
Medio Vinalopo	Aspe	22,1	36,5
	Aondon	29,2	
	Monforte	30,9	
	Petrer	46,4	
	Pinoso	34,2	
	Monovar	63,7	
La Marina Alta	Benitachell	21,5	36,6
	Castell	39,7	
	Vall de Gallinera	43,3	
	Vall de Laguart	67,3	
La Marina Baja	Benimantell	53,3	55,0
	Altea	48,3	
	Relleu	69,5	
L'Alacanti	Busot	29,7	50,7
	Jijona	28,0	
	Torremanzanas	228,1	
Bajo Vinalopo	Santa Pola	11,1	19,1
	Guardamar	35,9	
La Vega Baja	Albatera	24,3	17,6
	Redovan	16,5	
	San Fulgencio	13,0	
	San Miguel	16,0	
Provincia de Alicante			40,9

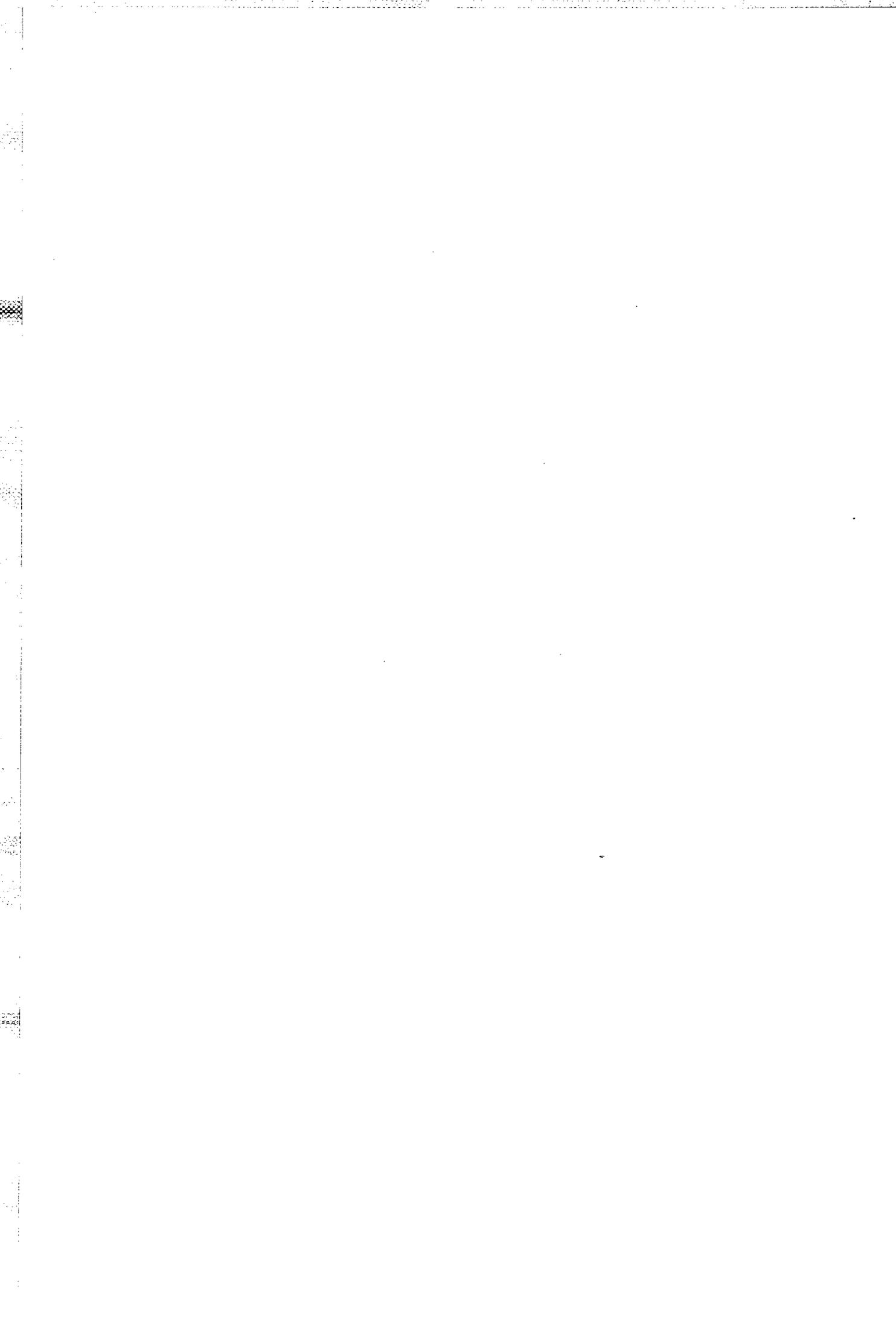
II. 3. Acuerdos específicos CSN-Universidad de Valencia

Los acuerdos específicos firmados hasta la fecha entre el CSN y la Universidad de Valencia, para el estudio de las concentraciones de radón existentes en el interior de los edificios de la Comunidad Valenciana, han sido los siguientes: un primer acuerdo de fecha 1 de diciembre de 1989⁽⁴⁹⁾, para la medida de dichas concentraciones en la provincia de Valencia, un segundo acuerdo de fecha 18 de junio de 1992, para la medida en edificios de la provincia de Castellón⁽⁵⁰⁾, y un tercer acuerdo que finalizó el 17 de octubre de 1995, para la medida de las concentraciones de radón en edificios de la provincia de Alicante⁽⁵¹⁾.

Las actividades realizadas por este grupo de trabajo pueden dividirse en dos apartados generales:

- Un primer apartado correspondiente a las medidas de radón realizadas en las viviendas de Madrid y Barcelona (Acuerdo CSN-CIEMAT).
- Un segundo apartado relacionado con el estudio del impacto radiológico producido por el gas radón en el interior de edificios (Acuerdo CSN- Universidad Autónoma de Barcelona).

**III. Programa realizado
por el CIEMAT
y la Universidad
Autónoma de Barcelona**



III. Programa realizado por el CIEMAT y la Universidad Autónoma de Barcelona

Las actividades realizadas por este grupo de trabajo pueden dividirse en dos apartados generales:

- Un primer apartado correspondiente a las medidas de radón realizadas en las viviendas de Madrid y Barcelona (Acuerdo CSN-CIEMAT).
- Un segundo apartado relacionado con el estudio del impacto radiológico producido por el gas radón en el interior de edificios (Acuerdo CSN-Universidad Autónoma de Barcelona).

III. 1. Determinación de concentraciones de radón en Madrid y Barcelona

La determinación de las concentraciones de radón en el interior de viviendas de Madrid y Barcelona se realizó mediante dos campañas de medida.

III. 1.1. Primera campaña

El programa partía de la selección, puesta a punto y calibración de un sistema de medida de radón, basado en la técnica de detección de trazas⁽⁵²⁾. El detector elegido fue el policarbonato de bifenol, comercializado como Makrofol ED, recubierto con una capa de Mylar aluminizado, trabajo realizado en el marco de un Acuerdo CIEMAT-Universidad Autónoma de Barcelona. Posteriormente, y una vez conseguido el tipo de detector deseado, se comenzó la fase de medidas.

Con carácter preliminar se realizaron en ambas ciudades dos series de medidas en diferentes épocas del año: abril-julio 1990 y noviembre 90-febrero 91.

Se colocaron un total de 337 dosímetros con la siguiente distribución⁽⁵³⁾.

	abril-julio 1990	noviembre 90-febrero 91
Madrid	90	88
Barcelona	86	73

III. 1.1.1. Condiciones y método de medida

El tipo de dosímetros utilizados fue el descrito anteriormente. Para la colocación de dichos dosímetros, en el caso de Madrid, se siguieron criterios de tipo de suelo (arcósico o formado por un sustrato de arcilla con un contenido variable de yeso y arena) y tipo de casa (unifamiliares o bloques de pisos). En el caso de Barcelona, la distribución de dosímetros fue aleatoria.

En general, se colocó un dosímetro por vivienda, pero en algunos casos, en viviendas unifamiliares con diferentes plantas, se situó un dosímetro en cada planta.

Junto con los dosímetros se repartió un cuestionario con objeto de obtener información de las características de la vivienda y de los hábitos de los ocupantes.

III. 1.1.2. Resultados obtenidos

A continuación, en la tabla 15, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las dos ciudades^(52 y 53).

Tabla 15. Concentraciones de radón en Madrid y Barcelona. Primera Campaña

Concentraciones radón Bq/m ³	Madrid			Barcelona		
	1ª fase	2ª fase	Global	1ª fase	2ª fase	Global
Valor medio						
Aritmético	57,8	79,2	68	30,8	49,6	40
Geométrico	45	56,8	50,9	23,9	40,1	32
Valor máximo	293	527	527	135	232	232
Valor mínimo	15	12	12	5	17	5

A través de los resultados obtenidos al situar los dosímetros en las viviendas unifamiliares en diferentes lugares (sótano, planta baja y otras plantas), se vió que las concentraciones de radón decrecían con la altura, por lo que se confirmaba que la fuente principal de radón provenía del suelo.

En el caso de Madrid, se observó la influencia del suelo arcósico, siendo en las viviendas situadas sobre este tipo de suelos, donde se obtuvieron los valores más elevados. Este aspecto no se observó en Barcelona, debido a la homogeneidad del suelo sedimentario.

Además, en los resultados obtenidos en las dos ciudades, se vió que las concentraciones se incrementaban en invierno en un rango comprendido entre el 40% y el 60%.

Como complemento de la vigilancia radiológica realizada y durante la primera fase, abril-julio 1990, se colocaron de manera aleatoria en 75 viviendas de Madrid, dosímetros de termoluminiscencia, con objeto de determinar los niveles de exposición a la radiación gamma. Se obtuvo un valor medio de 146 nGy/h, con un rango de valores comprendidos entre 91 nGy/h y 242 nGy/h.

La correlación entre los niveles de dosis y las concentraciones de radón no pudo establecerse fácilmente, con excepción del valor más elevado, que se corresponde con una localización donde se determinaron niveles más elevados de radón⁽⁵³⁾.

III. 1.2. Segunda campaña

La campaña se llevó a cabo a lo largo de un año, dividido en dos periodos de seis meses: junio 1991-enero 1992 y enero 1992-junio de 1992, distribuyéndose un total de 2.000 dosímetros, 1.000 en cada ciudad (500 en cada periodo)⁽⁵⁴⁾.

III. 1.2.1. Condiciones y método de medida

El tipo de dosímetro utilizado fue el indicado anteriormente. Para la distribución de los mismos y con objeto de minimizar las pérdidas, se siguió el criterio de repartirlos entre personal del CIEMAT y del CSN en el caso de Madrid y entre el personal de la Universidad Autónoma de Barcelona en el caso de esta ciudad. Dada la amplitud de los diferentes colectivos y la selección aleatoria de los colaboradores, se consideró que los resultados serían representativos de las dos poblaciones.

III. 1.2.2. Resultados obtenidos

El número de dosímetros que se midieron fueron en total 1.530 (correspondiendo 859 a Madrid y 671 a Barcelona). En este cómputo están descontadas las pérdidas producidas en la recuperación y en el proceso de revelado y medida que pueden cuantificarse en un 23%.

A continuación, en la tabla 16 se presenta un resumen de los valores obtenidos en las dos ciudades⁽⁵⁴⁾, y en la tabla 17, la distribución de las viviendas según distintos intervalos de concentración.

De la distribución presentada⁽⁵⁴⁾, se indica que en dieciséis de las viviendas, un 1,8%, en las que se han realizado medidas, se han encontrado valores superiores a 400 Bq/m³, mientras en Barcelona ese nivel se superó en una única vivienda, representando un 0,1 % de ellas.

El valor de 400 Bq/m³ es el recomendado por la Unión Europea a sus Estados Miembros, para iniciar acciones de remedio en casas ya construidas⁽¹⁶⁾.

Tabla 16. Concentraciones de radón en Madrid y Barcelona. Segunda Campaña

Concentraciones radón Bq/m ³	Madrid			Barcelona		
	1ª fase	2ª fase	Global	1ª fase	2ª fase	Global
Valor medio						
Aritmético	53	73	63	33	36	34
Geométrico	39	52	45	27	30	28
Valor máximo	1538	1670	1670	622	346	622
Valor mínimo	2	7	2	1	1	1

Tabla 17. Distribución de las viviendas en función de distintos intervalos de concentración

Concentración Bq/m ³	Madrid		Barcelona	
	Número	%	Número	%
(0-100)	787	91,6	656	97,8
(100-200)	46	5,4	12	1,8
(200-400)	10	1,2	2	0,3
(400-1000)	14	1,6	1	0,1
>1000	2	0,2	0	0

En relación con el análisis de los resultados obtenidos⁽⁵⁴⁾, según:

- Tipo de vivienda (unifamiliar y bloques de apartamentos).
- Piso donde se realizó la medida.
- Lugar de ubicación del detector en la vivienda (sala de estar, dormitorio y otros), en el caso de Barcelona.
- Tipo de suelo en el caso de Madrid.

se destacan las siguientes conclusiones:

- Los valores de la concentración de radón decrecen con la altura de la vivienda respecto al suelo, tanto para Madrid como para Barcelona.
- Las viviendas de tipo unifamiliar presentan valores más elevados en ambas ciudades.
- En Madrid, las viviendas situadas sobre suelos arcósicos, presentan valores superiores a las situadas sobre suelo de tipo arcilloso. El valor máximo obtenido en viviendas edificadas sobre suelo arcósico fué de 1.670 Bq/m³, mientras que en el caso de las viviendas edificadas sobre suelo de tipo arcilloso dicho valor fué de 184 Bq/m³.
- En Barcelona no se encontraron diferencias entre los valores medidos en los cuartos de estar (26 Bq/m³ valor medio) y los dormitorios (28 Bq/m³ valor medio). Los valores encontrados en las habitaciones englobadas bajo la denominación de "otras" (garajes, despensas, trasteros, despachos, etc.) fueron algo más elevados (43 Bq/m³), pero dada su diversidad, no es posible sacar ninguna conclusión fiable.

III. 1.2.3. Estimación de dosis

En el documento 54, se presenta adicionalmente una estimación de las dosis efectivas que podrían recibir por término medio los habitantes de Madrid y Barcelona, debido a su exposición al radón y sus descendientes. Para la estimación de las dosis se han considerado las siguientes hipótesis:

- Un factor de conversión concentración-dosis de 3,6 nSv/h por Bq/m³ (55).
- Una permanencia de los individuos en el interior de las viviendas del 80%.

Con estas hipótesis y según los valores medios determinados en las dos ciudades, se han estimado las dosis que se incluyen en la tabla 18.

Tabla 18. Valores de dosis efectivas en Madrid y Barcelona

Media	Madrid		Barcelona	
	Conc. Bq/m ³	Dosis mSv	Conc. Bq/m ³	Dosis mSv
Aritmética	63	1,6	34	0,9
Geométrica	45	1,1	28	0,8

El estudio indicado de determinación de concentraciones de radón en las ciudades de Madrid y Barcelona, se realizó dentro del Acuerdo que con fecha 11 de octubre de 1990, se firmó entre el Consejo de Seguridad Nuclear y el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)⁽⁵⁶⁾, con una duración de dos años. El objetivo general del acuerdo era el siguiente:

“Medida de niveles de radón en los interiores de viviendas de Madrid y Barcelona, eligiéndose estas ciudades por su alta demografía y por la ausencia de datos existentes respecto de las mismas”.

III. 2. Estudio del impacto radiológico ambiental producido por el gas radón en el interior de edificios.

Con fecha 7 de octubre de 1993, se firmó entre el CSN y la Universidad Autónoma de Barcelona un Acuerdo de Colaboración⁽⁵⁷⁾, con una duración de tres años, para el estudio del impacto radiológico ambiental producido por el gas radón en el interior de edificios⁽⁵⁸⁾, representando el proyecto una continuación de los trabajos de investigación llevados a cabo en colaboración con el CIEMAT y el KfK de Karlsruhe, parcialmente subvencionados por el CSN.

El objetivo principal del proyecto es la modelización de los mecanismos de entrada del radón al interior de recintos cerrados, a partir de su transporte e incorporación al aire interior de distintos tipos de viviendas de Cataluña, siendo los objetivos parciales los siguientes:

- Estudio de la variación temporal de la concentración de radón en los cuatro tipos de viviendas seleccionados.
- Determinación de la concentración de radón mediante cuatro tipos de detectores pasivos: de carbón activo, de plástico de centelleo y de trazas (LR-115 y Makrofol).
- Estudio del transporte del radón en suelos y materiales de construcción y de los mecanismos de entrada a recintos cerrados, con el fin de poder predecir, dados los parámetros adecuados, la concentración de radón en el interior de dichos recintos.
- Estudio del impacto radiológico ambiental a través de la determinación de la dosis efectiva asociada al radón.

III. 2.1. Actividades realizadas

A continuación se describen brevemente las actividades realizadas por este grupo de trabajo^(59 y 60), según los objetivos indicados anteriormente.

III. 2.1.1. Determinación de radón con distintos detectores pasivos

Para la realización del estudio sistemático de las variaciones temporales de la concentración de radón, es necesaria la utilización de diferentes tipos de dosímetros que permitan medir la variación de las concentraciones de radón en distintos intervalos de tiempo. Los distintos tipos de dosímetros utilizados en el proyecto son los siguientes:

Detector Meltilex. Este tipo de detector se utiliza para tomar muestras puntuales y consta de un vial de polietileno de baja difusión de 20 ml, recubierto internamente con un plástico de centelleo (Meltilex). El periodo de exposición es de 1 a 4 horas, transcurrido el periodo de exposición mínimo de 1 hora y dejando que el radón llegue al equilibrio con sus descendientes (4 horas como mínimo), se mide la actividad α y β , mediante un espectrómetro de centelleo líquido de bajo fondo.

Detector Picorad. Consta de un cartucho que contiene carbón activo y gel de sílice como agente desecante, situado en la parte superior de un vial plástico de centelleo líquido de 20 ml, después de la exposición y de añadir un líquido de centelleo apropiado que produce una desabsorción de los descendientes atrapados en el carbón activo, se mide en un espectrómetro de centelleo líquido. La duración de la exposición de estos detectores es de 24 a 48 horas.

Detector LR-115. Este detector se expone durante periodos de tiempo comprendidos entre una y dos semanas. El detector está formado por una película de nitrato de celulosa de 12 mm de espesor, colocada sobre una base de poliéster de 100 mm. Después de la exposición al radón, se "revela" la película con una solución de NaOH 2,5 N a 60° durante 100 minutos. Utilizando esas condiciones de "revelado" es posible registrar las trazas dejadas por las partículas alfa con energías de 1 a 4 MeV⁽⁶¹⁾. Las trazas registradas se cuentan mediante un lector de chispas⁽⁶²⁾.

Detector de Makrofol. El detector de Makrofol, del tipo Karlsruhe, consta de una cámara de difusión de 4 cm de diámetro y 2 cm de altura, que contiene como material de detección una lámina de 300 mm de grosor de Makrofol ED (Policarbonato), cubierta con un mylar aluminizado. La cámara se encuentra cerrada mediante un filtro de fibra de vidrio donde se depositan los descendientes del radón existentes en el aire, por lo tanto es sólo el gas radón el que pasa al interior de la cámara. Después de la exposición al radón, las películas son reveladas químicamente durante un periodo de 4 horas y electroquímicamente (1.000 V y 3.000 Hz) durante 1,5 horas, en células múltiples a 40° C, utilizando una mezcla al 50% de KOH 6N y etanol. Con dichas condiciones de revelado es posible registrar partículas alfa con energías de 3 a 5 MeV. La densidad de trazas se mide posteriormente mediante un analizador de imágenes⁽⁶¹⁾.

Una de las actividades realizadas por este grupo de trabajo ha sido la puesta a punto de los distintos detectores, mediante su calibración y el estudio de su respuesta.

El estudio de la respuesta se llevó a cabo en un refugio antiaéreo construido durante la guerra civil española en una zona sedimentaria a unos 35 km de Barcelona donde la concentración de radón se mantiene a un nivel del orden de 4 kBq/m³. Los cuatro tipos de dosímetros se expusieron durante un periodo de tres días en el interior del refugio de la siguiente forma:

- Los detectores de Makrofol, diez, fueron expuestos durante tres días.
- Los detectores LR-115 fueron expuestos, diez, durante el periodo total y diez cada día.
- Los viales Picorad fueron expuestos de la siguiente forma: tres cada día y dos durante dos y tres días.
- Con los viales Meltilex se tomaron muestras puntuales cada tres horas, durante tres días.

Los resultados, como conclusión, han mostrado que los diferentes métodos son compatibles, no existiendo discrepancias significativas entre los valores diarios obtenidos con los detectores LR-115, Picorad y Meltilex y el valor medio obtenido con el detector de Makrofol⁽⁶¹⁾.

Se señala adicionalmente que el Makrofol es el detector más fiable para determinar la concentración media anual. El LR-115 y el Picorad, son útiles para seleccionar las viviendas con niveles altos de radón de forma más rápida y el Meltilex permite estudiar la evolución temporal de la concentración de radón⁽⁵⁹⁾.

Los dosímetros Meltilex, Makrofol y LR-511 fueron calibrados en la cámara ambiental de radón del National Radiological Protection Board (NRPB)^(59 y 60). En julio de 1991 ya se había participado con el detector de Makrofol en una campaña de intercomparación, realizada por la CEC, para detectores pasivos de radón⁽⁶³⁾.

III. 2.1.2. Variación temporal de concentraciones de radón en viviendas

Este estudio se está llevando a cabo en colaboración con el Instituto de Técnicas Energéticas (INTE) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), dentro de un proyecto parcialmente subvencionado por la CICYT en el marco del Plan Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Para cada tipo de viviendas se está realizando un estudio sistemático de las variaciones temporales de la concentración de radón y de los mecanismos de entrada. Se han seleccionado 61 viviendas en Cataluña, agrupadas en cuatro tipos: piso, casa de pueblo, vivienda unifamiliar adosada y vivienda unifamiliar aislada. El estudio abarca dos periodos de tres meses, en invierno y verano, perio-

dos durante los cuales se exponen los dosímetros de Makrofol, midiéndose adicionalmente las concentraciones de radón, durante periodos más cortos de aproximadamente una semana al inicio y al final de los periodos de 3 meses con los dosímetros LR-115 y de carbón activo⁽⁵⁹⁾.

De acuerdo con la documentación recibida, se ha realizado la primera campaña de medidas correspondiente al primer periodo indicado en un número total de 61 viviendas, midiéndose las concentraciones de radón con dosímetros de Makrofol y adicionalmente durante dos periodos de 10 días, al inicio y al final de la campaña, con dosímetros LR-115.

En total se distribuyeron un total de 132 dosímetros de Makrofol y 264 de LR-115, recuperándose un 90,9% y un 95,45%, respectivamente⁽⁶⁰⁾.

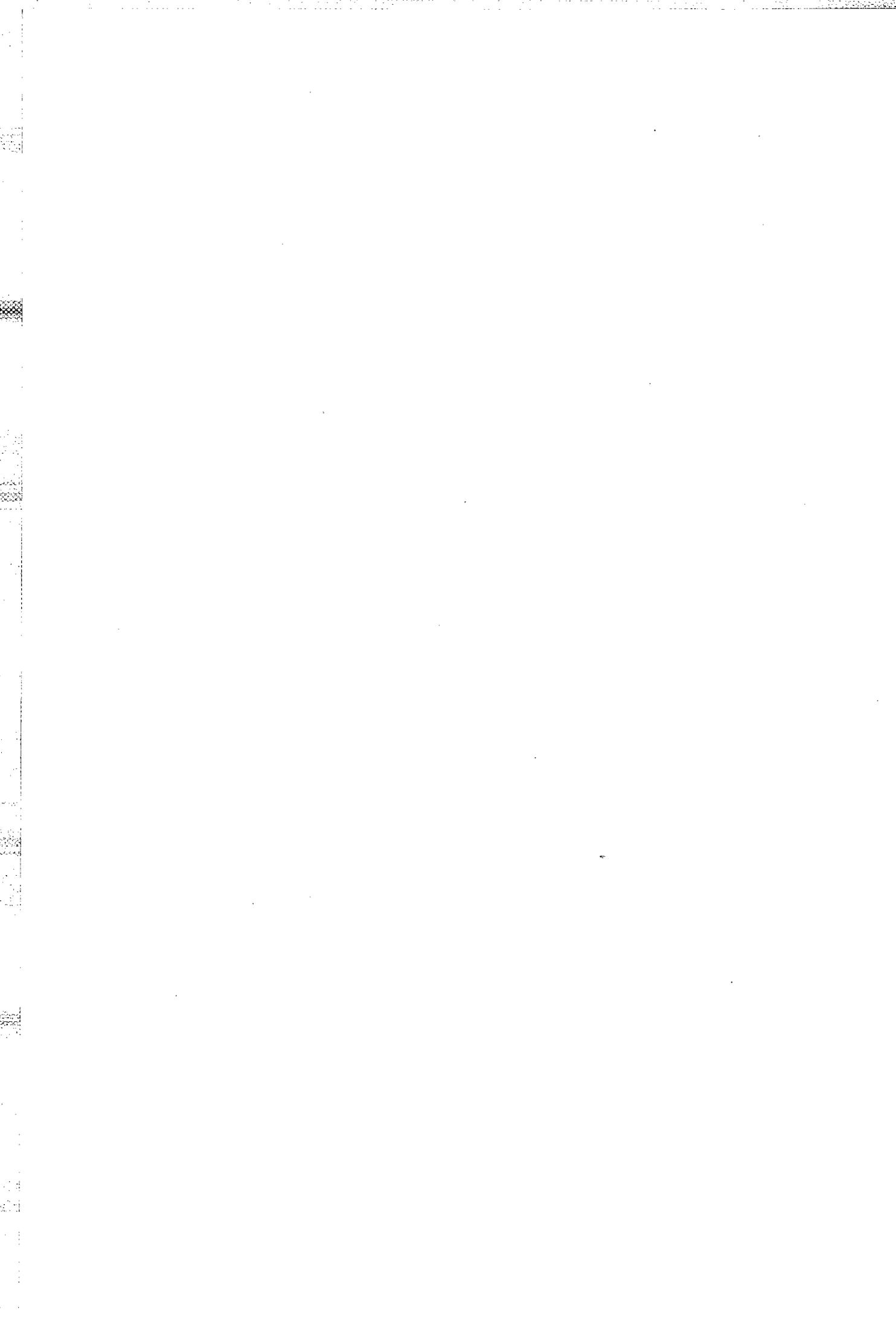
III. 2.1.3. Estudio del transporte y de los mecanismos de entrada

Dentro de este apartado, se ha iniciado el estudio teórico del transporte del radón y de los mecanismos de entrada en recintos cerrados mediante dos vías:

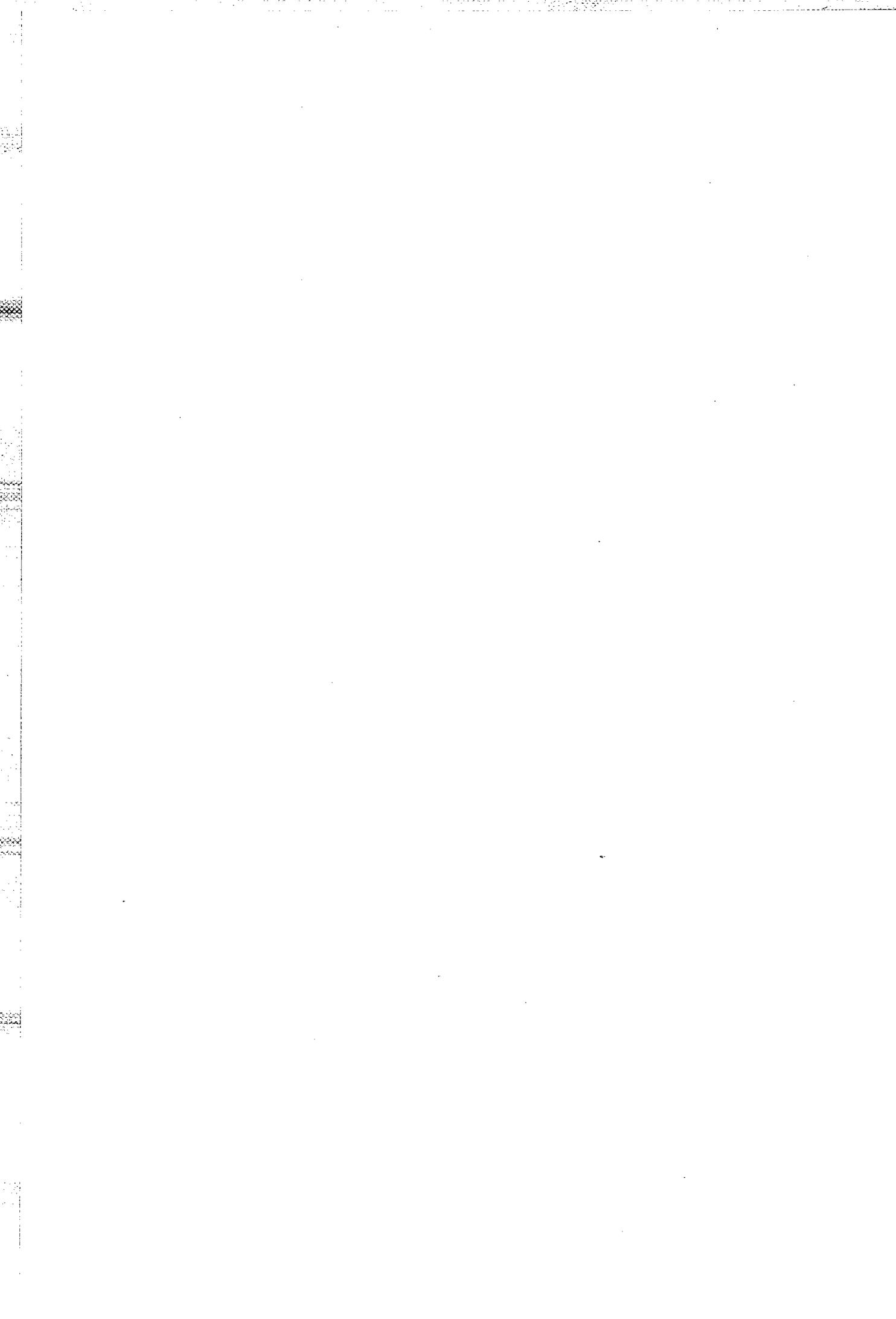
- Estudio de la ecuación de transporte y de su resolución mediante métodos numéricos iterativos en un estudio de dos dimensiones que considera la entrada de radón en las viviendas a través de una grieta longitudinal de pequeñas dimensiones.
- Estudio de la evolución temporal de la concentración de radón en el interior de las viviendas mediante el software de modelización de sistemas dinámicos STELLA IITM⁽⁵⁹⁾.

El modelo utilizado para el estudio de la ecuación de transporte considera dos procesos: la difusión debida a la existencia de un gradiente de concentración de radón y la convección debida al gradiente de presión existente entre el interior de la habitación y la atmósfera⁽⁶⁰⁾.

Para la resolución de la ecuación, por el método de diferencias finitas, se ha desarrollado un programa de cálculo en lenguaje C para PC y se está desarrollando en VAXC para el VAX 6410 del Centro de Cálculo de la UAB.



**IV. Programa realizado
por la Universidad
de La Laguna**



IV. Programa realizado por la Universidad de La Laguna

El programa realizado por la Universidad de La Laguna, dentro de los acuerdos firmados con el CSN^(64 y 65), se ha centrado en la determinación de concentraciones de radón en el interior de viviendas y cuevas de las Islas Canarias. Adicionalmente se han realizado medidas de concentración de actividad de isótopos naturales en suelos.

IV. 1. Determinación de las concentraciones de radón en interiores de viviendas

Hasta el momento de finalizar este documento, 26 de marzo de 1996, se han recibido resultados de medidas de las concentraciones de radón en el interior de viviendas de las islas de Tenerife, Fuerteventura, El Hierro, La Gomera, La Palma y Lanzarote.

IV. 1.1. Resultados obtenidos en la isla de Tenerife

Los resultados de que se dispone en el CSN relativos a esta isla, se corresponden con una primera campaña realizada entre los meses de enero y abril de 1990⁽⁶⁶⁾ y durante el año 1991⁽⁶⁷⁾.

En cada una de las casas se situaron muestreadores pasivos de carbón activo, del tipo de los utilizados por la EPA, siguiendo la metodología indicada por dicho organismo⁽⁴⁵⁾.

Los muestreadores se situaron en la planta baja de las viviendas durante un periodo de tres días colocándose en siete de las casas simultáneamente dos cartuchos de carbón activo con objeto de comprobar la reproductibilidad de los resultados⁽⁶⁸⁾. Los cartuchos se midieron mediante un detector de INa(Tl), determinando la concentración de radón mediante la identificación de los correspondientes picos del Pb-214 y del Bi-214. Con un tiempo de medida de 10 minutos el LID obtenido fué de 11 Bq/m³.

Adicionalmente, en 16 casas de Tenerife se colocaron detectores de trazas durante un periodo de tres meses, en los mismos lugares donde fueron situados los muestreadores de carbón activo^(66 y 68). El detector utilizado fué de Makrofol tipo Karlsruhe.

En la tabla 19 se presentan los resultados obtenidos en las diferentes poblaciones de la isla^(66, 67 y 69).

Los resultados obtenidos⁽⁶⁶⁾ a través de la medida de los cartuchos de carbón activo, señalan que los valores más elevados se encontraron en 5 casas de la isla y que estuvieron comprendidos entre 258,3 y 869,5 Bq/m³. Estos valores coincidieron con casas poco ventiladas. Consultada la informa-

ción más detallada, en cuanto a los núcleos de población en los que fueron realizadas las medidas⁽⁶⁹⁾, se han identificado únicamente 4 casas correspondientes a las poblaciones de San Isidro (258,3 Bq/m³), Santiago del Teide (430,3 y 869,5 Bq/m³) y La Esperanza, donde en la única casa donde se muestreó se obtuvo un valor de 853,2 Bq/m³.

Tabla 19. Concentración de radón en viviendas de la isla de Tenerife

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
Santa Cruz de Tenerife	9	29,12 (9,2 - 59,2)
Bajamar	2	28,50 (20 - 37)
Candelaria	1	13,0
Granadilla	1	9,6
Adeje	2	33,80 (15,2 - 52,5)
Puerto de Guimar	1	35,5
La Orotava	3	115 (37 - 243)
Santa Úrsula	1	42,9
Los Realejos	1	172,4
Icod	2	94,4 (75,6 - 113,2)
Guimar	1	28,9
San Isidro	2	134,9 (11,5 - 258,3)
Taco	1	52,4
Tegueste	2	51,3 (14,2 - 88,4)
Tacoronte	2	25,3 (18,1 - 32,6)
San Miguel	2	54,4 (52,9 - 55,9)
La Laguna	5	227,6 (29,4 - 612,7)
Santiago del Teide	4	354,7 (27,4 - 869,5)
Gumasa	2	47,3 (34,4 - 60,3)
Las Mercedes	1	82,3
La Esperanza	1	853,2
Las Lagunetas	1	15,5

Adicionalmente, en la publicación 66, y en relación con las casas ventiladas, se indica que los valores generalmente estuvieron comprendidos entre el LID (11 Bq/m^3) y 172 Bq/m^3 , existiendo dos excepciones, donde los valores fueron de $242,7 \text{ Bq/m}^3$ y 612 Bq/m^3 y que, según la información contenida en 69, se corresponden respectivamente con casas de las poblaciones de La Orotava y La Laguna.

Los valores elevados medidos en casas poco ventiladas se obtuvieron en viviendas ubicadas en zonas basálticas. En cambio, en las casas ventiladas, no se encontró una relación clara entre los valores y las características geológicas.

Tampoco el tipo de material utilizado en la construcción de las casas, marcó una diferencia entre los valores encontrados.

El valor medio de concentración de radón obtenido utilizando detectores de trazas, fue de 58 Bq/m^3 , mientras que el obtenido a través de los muestreadores de carbón activo fue de 37 Bq/m^3 ⁽⁶⁸⁾.

IV. 1.2. Resultados obtenidos en la isla de Fuerteventura

Los resultados correspondientes a esta isla están divididos en dos campañas, la primera de ellas realizada en el mismo periodo que la indicada anteriormente para la isla de Tenerife y en la que se utilizaron muestreadores de carbón activo ^(66 y 67), considerándose en total 10 casas de nueve núcleos de población ⁽⁶⁹⁾. Una segunda campaña comenzó en noviembre de 1993; se midieron los niveles de radón en un total de 75 viviendas de 31 núcleos de población.

En esta segunda campaña se utilizaron detectores de trazas que estuvieron expuestos durante 3 meses, distribuyéndose dos detectores por vivienda en diferentes habitaciones ⁽⁷⁰⁾. Los resultados obtenidos en ambas campañas se presentan respectivamente en las tablas 20 y 21.

IV. 1.3. Resultados obtenidos en la isla de El Hierro

La única campaña realizada en la isla de El Hierro se comenzó en mayo de 1994. Se utilizaron detectores pasivos de trazas que estuvieron expuestos durante un periodo de tres meses, en un total de 10 viviendas de 8 poblaciones de la isla. En cada una de las viviendas se colocaron dos detectores en dos habitaciones distintas. El valor promedio estimado para el conjunto de viviendas de la isla fué de $45,4 \text{ Bq/m}^3$ ⁽⁷⁰⁾.

En la tabla 22 se detallan los resultados obtenidos en cada una de las poblaciones.

Tabla 20. Concentración de radón en viviendas de la isla de Fuerteventura. Primera Campaña

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
Puerto del Rosario	2	44,0 (L.D - 44,0)
Casillas del Angel	1	42,6
Tetir	1	40,3
Pájara	1	24,8
Antigua	1	L.D
Tuineje	1	14,8
Corralejo	1	9,0
Vega del Rio	1	L.D
Panorama	1	93,4

L.D= Límite de detección

Tabla 21. Concentración de radón en viviendas de la isla de Fuerteventura. Segunda Campaña

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
Puerto del Rosario	25	56,4 (21 - 135)
Buenavista	1	99
Tamogán	1	43
Casillas del Angel	1	75
Murillo	1	52
Las Parcelas	1	80
El Matorral	1	64
Llanos de la Concepción	1	50
Tetir	1	132
El Charco	1	40
Pájara	2	48 (46 - 50)
Costa Calma	1	37

Tabla 21. Concentración de radón en viviendas de la isla de Fuerteventura. Segunda Campaña (continuación)

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
Morrojable	5	48,4 (31 - 78)
Toto	1	72
La Lajita	1	64
Antigua	2	57,5 (50 - 65)
Valles Ortega	1	51
Cortijo	1	49
Agua de Bueyes	1	60
Tuineje	2	193,5 (73 - 314)
Taralejo	1	212
Tesejerague	2	77,5 (55 - 100)
Gran Tarajal	8	55,8 (44 - 107)
Tiscamanita	1	66
La Oliva	1	40
Corralejo	4	49,5 (36 - 82)
Cotillo	1	52
Lajares	2	59 (48 - 70)
Villaverde	2	76 (68 - 84)
Betancuria	1	55
Vega del Rio	1	61

Tabla 22. Concentración de radón en viviendas de la isla de El Hierro

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
El Golfo	2	44,1 (30,8-57,5)
El Pinar	2	32,7 (30,0-35,4)
San Andrés	1	78,6
Sabinosa	1	28,9
Guarazoca	1	44,4
Isora	1	50,0
Mocanal	1	52,4
Valverde	1	46,7

IV. 1.4. Resultados obtenidos en la isla de La Gomera

En el reparto de detectores de la isla de La Gomera, se siguió el procedimiento de tratar de cubrir el mayor número de núcleos habitados existentes. La campaña realizada en esta isla se comenzó el 30 de abril de 1994 y se utilizaron detectores pasivos de trazas que estuvieron expuestos durante un periodo de tres meses en un total de 17 viviendas de 11 poblaciones. En cada una de las viviendas se colocaron dos detectores en dos habitaciones distintas y adicionalmente en cinco habitaciones de cinco viviendas se hicieron dos medidas simultáneas. El valor promedio estimado para el conjunto de viviendas de la isla fué de 44,8 Bq/m³ (70).

En la tabla 23, se exponen los resultados obtenidos en cada una de las poblaciones.

Tabla 23. Concentración de radón en viviendas de la isla de La Gomera

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
San Sebastián	5	17,8 (8,1-26,6)
Valle Hermoso	1	47,3
La Dama	2	74,1 (56,3-91,9)
La Calera	1	36,1

Tabla 23. Concentración de radón en viviendas de la isla de La Gomera (continuación)

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
El Agulo	1	34,5
Hermigua	2	41,2 (31,8-50,7)
Vueltas	1	31,0
Arure	1	26,2
Alojera	1	148,4
Valle Abajo	1	47,2
Playa Santiago	1	54,1

IV. 1.5. Resultados obtenidos en la isla de La Palma

La información recibida en el CSN sobre las concentraciones de radón medidas en el interior de viviendas de esta isla, está contenida en el documento 71, en el que se indica que en julio del 1993 se repartieron 179 detectores en 79 viviendas de la isla. El reparto se hizo proporcional al número de habitantes (2 detectores por cada 500 habitantes) y los detectores se recogieron el mes de octubre del mismo año.

Los resultados obtenidos en las diferentes poblaciones de la isla se exponen en la tabla 24:

Tabla 24. Concentración de radón en viviendas de la isla de La Palma

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
Barlovento	2	35,5 (26,5-44,6)
La Cuesta	1	19,6
Las Cabezas	1	32,0
Botazo	1	99,0
Breña	1	23,0
El Llanito	1	37,2

Tabla 24. Concentración de radón en viviendas de la isla de La Palma (continuación)

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
Miranda (Breña Alta)	1	25,2
San Pedro	1	20,0
La Polvacera	1	25,7
San Antonio	1	11,2
San José	1	21,5
El Paso	4	58,2 (24,9 - 138,8)
La Rosa	1	37,1
Las Manchas (El Paso)	1	22,4
Paso de Abajo	1	137,6
Tacande	1	5,5
Tajuya	1	51,4
Las Indias	1	12,5
Los Canarios	1	24,0
Los Quemados	1	12,6
Franceses	1	16,0
Santo Domingo	1	14,4
Argual	2	7,85 (7,5 - 8,2)
La Laguna	1	25,9
Las Manchas	1	9,4
Los Llanos de Aridane	3	43,8 (22,9 - 84,6)
Montaña Tenisca	2	9,65 (6,5 - 12,8)
Retamar	1	13,0
Tajuya (Los Llanos)	1	7,2
Todoque	1	47,0
Triana	1	27,7 (26,6 - 28,8)
El Pinar	1	69,8
Puntagorda	1	15,1

Tabla 24. Concentración de radón en viviendas de la isla de La Palma (continuación)

Población	Número de viviendas	concentración (rango) Bq/m ³
El Granel	1	26,0
La Galga	1	19,6
Los Sauces (Casco)	2	23,2 (19,8-26,7)
San Andrés de Los Sauces	1	14,9
Verada de Las Lomas	1	25,0
Cuesta del Llano de La Cruz	1	19,1
Juan Mayor	1	22,3
Miranda	1	30,8
Sta. Cruz de La Palma	12	27,6 (19,8-35,6)
La Costa	1	16,6
Puerto de Tzacorte	1	19,1
San Borondón	1	22,5
Tzacorte	3	31,6 (23,7 - 40,4)
La Punta de Tijarafe	1	13,5
Tijarafe	1	15,1
El Pueblo	1	20,8
La Sabina	1	26,3
Malpaises de Abajo	1	15,3
Monte de Breña	1	15,3
Monte de Luna	1	15,8
Tigalate	1	16,3

A través de los datos obtenidos en las diferentes poblaciones, se ha estimado un valor medio para la isla de 28,4 Bq/m³.

IV. 1.6. Resultados obtenidos en la isla de Lanzarote

La única campaña realizada en la isla de Lanzarote, se comenzó en abril de 1994. Se utilizaron detectores pasivos de trazas que estuvieron expuestos durante un periodo de tres meses, en un total de 63 viviendas de 33 poblaciones de la isla. En cada una de las viviendas se colocaron dos detectores en dos habitaciones distintas. El valor promedio estimado para el conjunto de viviendas de la isla fue de 49,7 Bq/m³ (70).

En la tabla 25 se presentan los valores obtenidos en las diferentes poblaciones de la isla.

Tabla 25. Concentración de radón en viviendas de la isla de Lanzarote

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
Arrecife	10	(28,0-63,0)
Arganda Alta	2	57,5 (57,0-58,0)
Maneje	2	47,0 (44,0-50,0)
El Cable	1	93,0
Haria	2	52,0 (38,0-66,0)
Punta Mujeres	1	44,0
Mala	1	31,0
Maguez	1	46,0
Ye	1	37,0
San Bartolomé	5	55,4 (35,0-68,0)
Guame	1	53,0
Playa Honda	3	31,0 (21,0-41,0)
Teguise	2	55,0 (45,0-65,0)
Tahiche	3	54,0 (33,0-92,0)
Guatiza	3	65,0 (37,0-93,0)
Caleta Famara	1	26,0
Los Valles	1	104,0
Costa Teguise	2	43,0 (37,0-49,0)

Tabla 25. Concentración de radón en viviendas de la isla de Lanzarote (continuación)

Población	Número de viviendas	Concentración (rango) Bq/m ³
Tao	1	54,0
Tias	2	57,5 (50,0-65,0)
La Asomada	1	25,0
Macher	1	55,0
Puerto del Carmen	1	25,0
Tinajo	4	51,5 (45,0-60,0)
La Santa	1	26,0
Mancha Blanca	1	56,0
La Vegueta	1	58,0
Yaiza	2	34,5 (24,0-45,0)
Femez	1	42,0
Las Casitas	1	49,0
Playa Blanca	2	45,0 (33,0-57,0)
Las Brañas	1	65,0
Uga	1	51,0

IV. 2. Determinación de concentraciones de radón en el interior de cuevas

Las medidas de concentraciones de radón en el interior de cuevas se han llevado a cabo en las islas de Lanzarote y Tenerife⁽⁷¹⁾.

IV. 2.1. Isla de Lanzarote

En la isla de Lanzarote se realizaron las medidas de concentraciones de radón en el interior de las dos cuevas volcánicas mas importantes de la isla: Los Jameos del Agua y la Cueva de los Verdes, cuevas que, aparte de tener un gran interés desde el punto de vista geológico, lo tienen por ser un foco de atracción turística.

Las cuevas, situadas en Haría, el municipio más septentrional de la isla, fueron originadas por la erupción del volcán "La Corona", que dió origen al gran tubo volcánico de Los Jameos, de una longitud de 6.100 metros.

Las cuevas donde se han medido las concentraciones de radón son los tramos más característicos de este tubo volcánico.

El tramo conocido como Jameos del Agua, muy cercano a la costa y que está parcialmente inundado por agua salada formando lagunas, presenta una altura de 25 m, siendo frecuentes la existencia de grandes salas de hasta 15 m de anchura, como la denominada "Salón de Conferencias", donde sería posible colocar hasta 500 butacas. En este "Salón" existe una ventilación suave y una temperatura uniforme aproximada de 19°C.

Se colocaron dos detectores que estuvieron expuestos durante un periodo de 30 días, uno situado en el "Salón de Conferencias" y otro en una zona más abierta y ventilada cercana a la entrada, donde los valores medidos fueron respectivamente de 151 Bq/m³ y 54 Bq/m³.

En el tramo conocido como La Cueva de los Verdes, que ocupa alrededor de un km, se colocaron dos detectores a una profundidad de 500 m y a una distancia de la pared de 30 cm, también durante un periodo de 30 días, obteniéndose unos valores de 226 y 151 Bq/m³.

IV. 2.2. Isla de Tenerife

Las medidas realizadas en cuevas de esta isla se realizaron dentro de las actividades llevadas a cabo para la determinación del factor de calibración del equipo de medida, que comprendía adicionalmente la intercomparación con el laboratorio de la Universidad de Gante y la exposición de los detectores en los laboratorios del NRPB.

Las cuevas en las que se realizaron las medidas fueron las llamadas "Los Beltranes" y "San Andrés".

La cueva de "Los Beltranes" es una galería de aprovechamiento de agua subterránea ubicada en el municipio del Puerto de la Cruz, donde se situaron el 24 de febrero de 1993, durante un mes, diez detectores en un punto de la galería situado a una distancia de la entrada de 2 km⁽⁷¹⁾. El revelado electroquímico se realizó en la Universidad de Gante por personal del Radon Research Group, cuyo responsable es el Doctor André Poffijn, y la lectura de las trazas en la Universidad de La Laguna.

También se colocaron, junto con los diez detectores indicados, cinco detectores de trazas proporcionados por la Universidad de Cantabria que fueron leídos en EE.UU.

Adicionalmente, miembros de la Facultad de Geológicas de la Universidad de La Laguna, interesados en conocer la concentración de radón en dicha galería, colocaron otros 5 detectores que fueron enviados a EE.UU. para su lectura.

El valor medio obtenido mediante los detectores de la Universidad de Cantabria fue de 20.300 Bq/m³, mientras que dicho valor con los detectores de la Facultad de Geológicas fue de 24.000 Bq/m³.

Los dosímetros de la Universidad de La Laguna no pudieron leerse con la fiabilidad suficiente, debido a las altas concentraciones de radón, que dieron lugar a una saturación de la zona sensible del detector.

Pese a no poder obtener un factor de calibración con estos resultados, el trabajo permitió determinar un valor representativo de la concentración de radón existente en una galería excavada en una zona del norte de la isla, con un substrato geológico típicamente volcánico⁽⁷¹⁾.

En el caso de la galería de "San Andrés", ubicada en el municipio de Santa Cruz de Tenerife, se realizaron dos campañas de medidas, una que comenzó el 13 de diciembre de 1993 y otra el 24 de enero de 1994.

En la primera campaña se expusieron un total de 90 detectores de trazas (18 cada día durante cinco días) a 500 m de la entrada de la galería, profundidad en la que se había estimado previamente con detectores de carbón activo que se podría tener una concentración de radón adecuada (200-400 traz./cm²) y constante. Algunos de estos detectores se leyeron en la Universidad de Gante.

Al mismo tiempo se colocaron diez detectores tipo "pico-rad", suministrados por la Universidad de Gante, que fueron expuestos durante periodos de dos días y que fueron medidos en dicha Universidad. También se colocaron detectores de carbón activo durante tres días siendo medidos por el Instituto Vulcanológico de Tenerife.

El rango de valores de concentración de radón obtenidos con los diferentes métodos fué el siguiente:

Detector	Rango Bq/m ³
Trazas	4.000 - 5.000
Pico-rad	4.200 - 4.900
Carbón activo	4.003 - 5.288

En la segunda campaña se colocaron, también a una distancia de 500m de la entrada, 60 detectores de trazas, que fueron expuestos durante un periodo de seis días y cinco detectores de carbón activo (Instituto Vulcanológico de Tenerife), que fueron expuestos durante tres días.

El valor medio de concentración de actividad obtenido con los detectores de trazas fue de 3.800 Bq/m³ ($\pm 13\%$) mientras con los de carbón activo se obtuvo un valor medio de 5.330 Bq/m³ ⁽⁷¹⁾.

IV. 3. Caracterización de las fuentes de radón

Adicionalmente a las medidas de concentraciones de radón realizadas en la isla de Tenerife, se tomaron muestras de suelos en 103 puntos de dicha isla. Estos puntos eran representativos de áreas de 5 km² en las que fue dividida la isla. Las muestras se tomaron a una profundidad de 5 cm, realizándose en las mismas después del tratamiento adecuado, la determinación de las concentraciones de Ra-226, Th-232 y K-40 por espectrometría gamma. En la tabla 26 se presentan los valores obtenidos en Bq/kg(s)⁽⁶⁸⁾.

Tabla 26. Concentraciones de Ra-226 y K-40 en suelos de la Isla de Tenerife

Valor	Isótopo		
	Ra-226	Th-232	K-40
Valor medio	43,57	53,82	665,27
Valor mínimo	7,30	11,60	141,60
Valor máximo	104,0	110,50	1.488,60

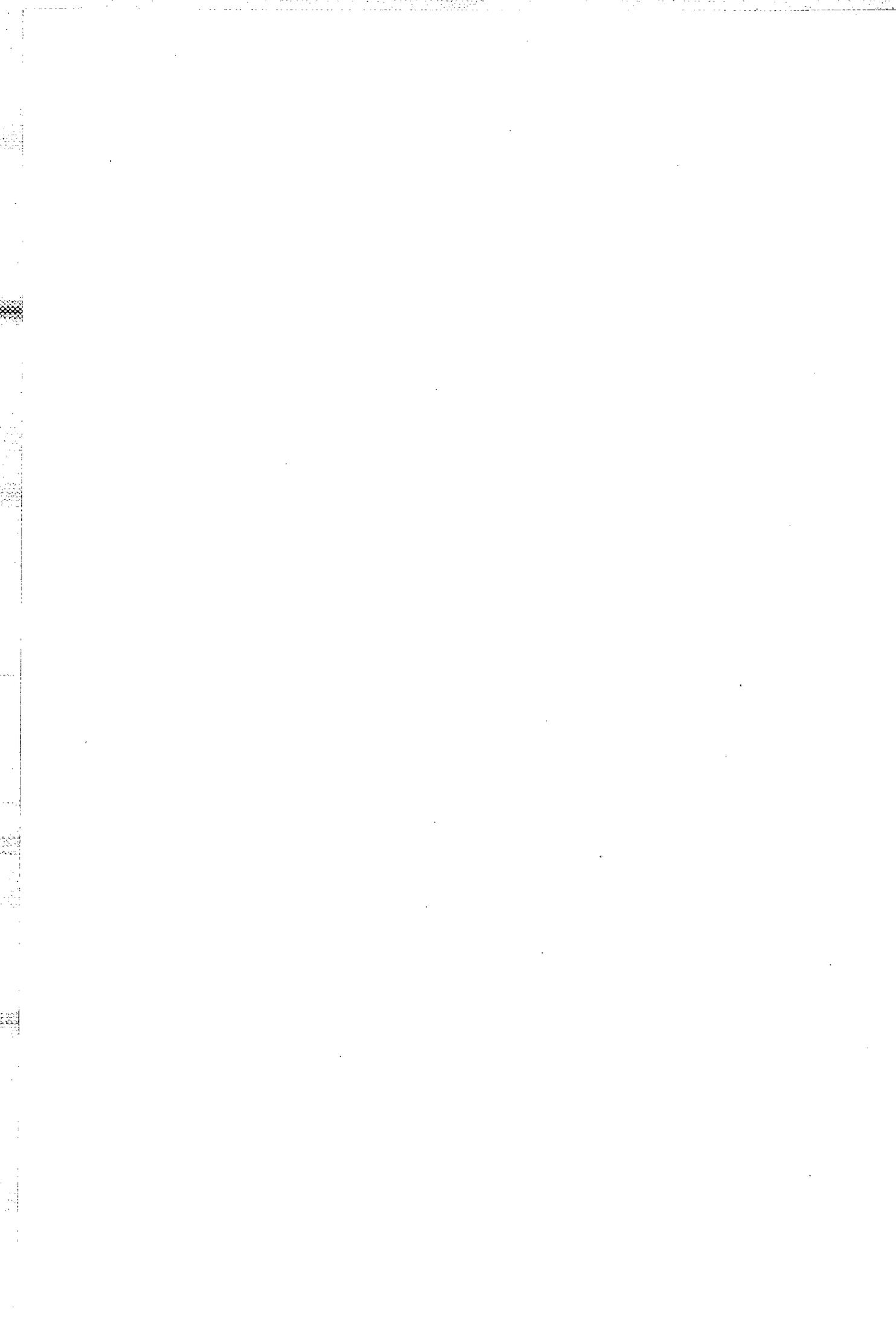
IV. 4. Acuerdos CSN-Universidad de La Laguna

Como se ha expuesto anteriormente, hasta el momento se han firmado dos acuerdos^(64 y 65) entre el CSN y la Universidad de La Laguna.

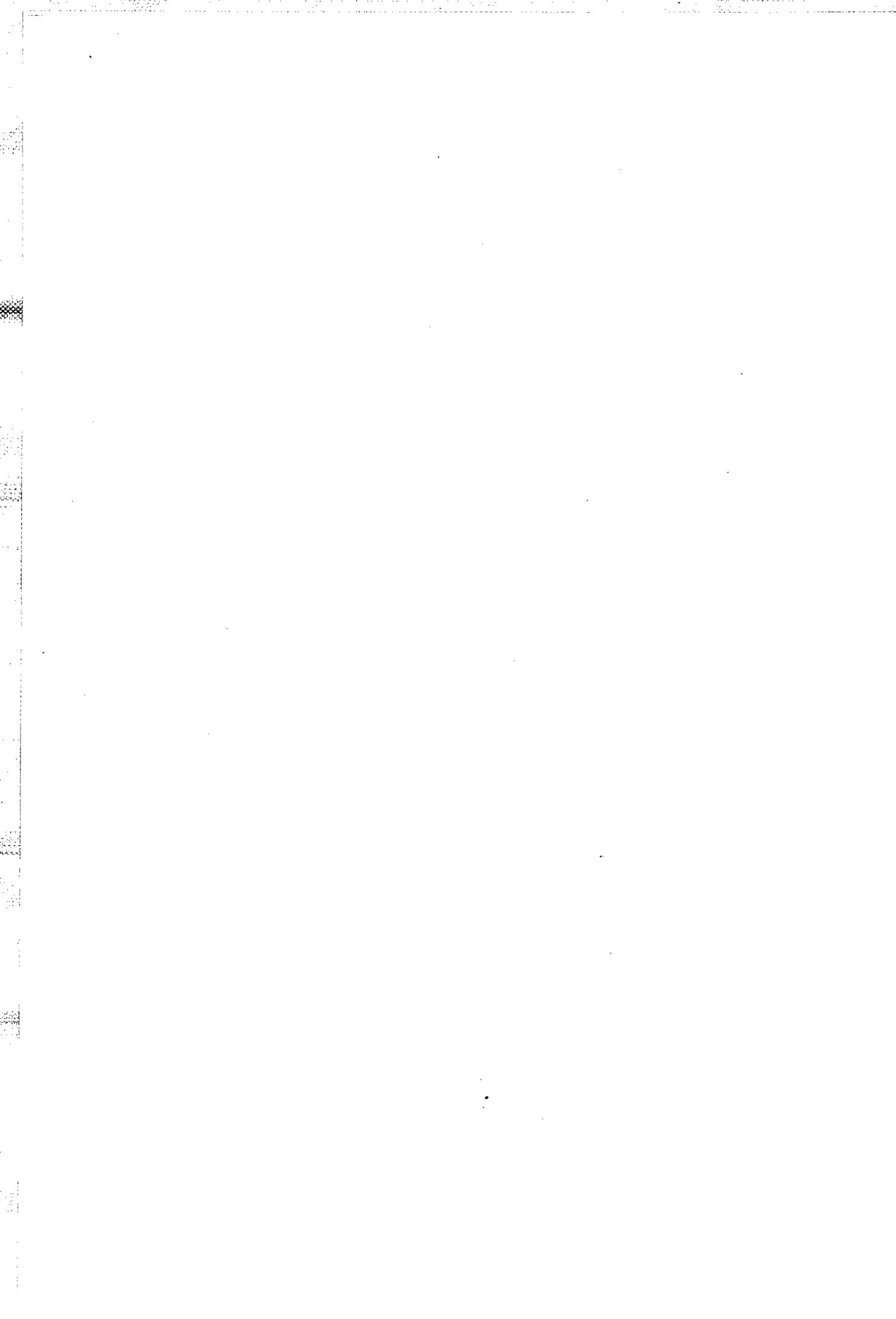
Con fecha 17 de enero de 1995, se presentó por parte de la Universidad de La Laguna, una nueva propuesta para la realización de medidas de radón en viviendas de las Islas, con objeto de completar el programa iniciado⁽⁷⁰⁾. Esta propuesta está en estudio dentro del Plan de I+D del CSN.

Se considera que si se firma un nuevo acuerdo, éste debería ir dirigido a la realización de medidas en:

- Viviendas de la isla de Gran Canaria, dado que hasta la fecha no se tiene de esta isla ningún resultado
- Viviendas de poblaciones del resto de las islas, no consideradas en campañas anteriores y que geológicamente se consideren de interés, y de poblaciones en las que se han obtenido valores relativamente elevados (isla de Tenerife), con objeto de tener una mejor caracterización radiológica
- Cuevas de interés turístico, actual o potencial, de las diferentes islas, y aquellas otras, como pueden ser las galerías de aprovechamiento de agua subterránea con especial incidencia en aquellas a las que pudieran acceder trabajadores.



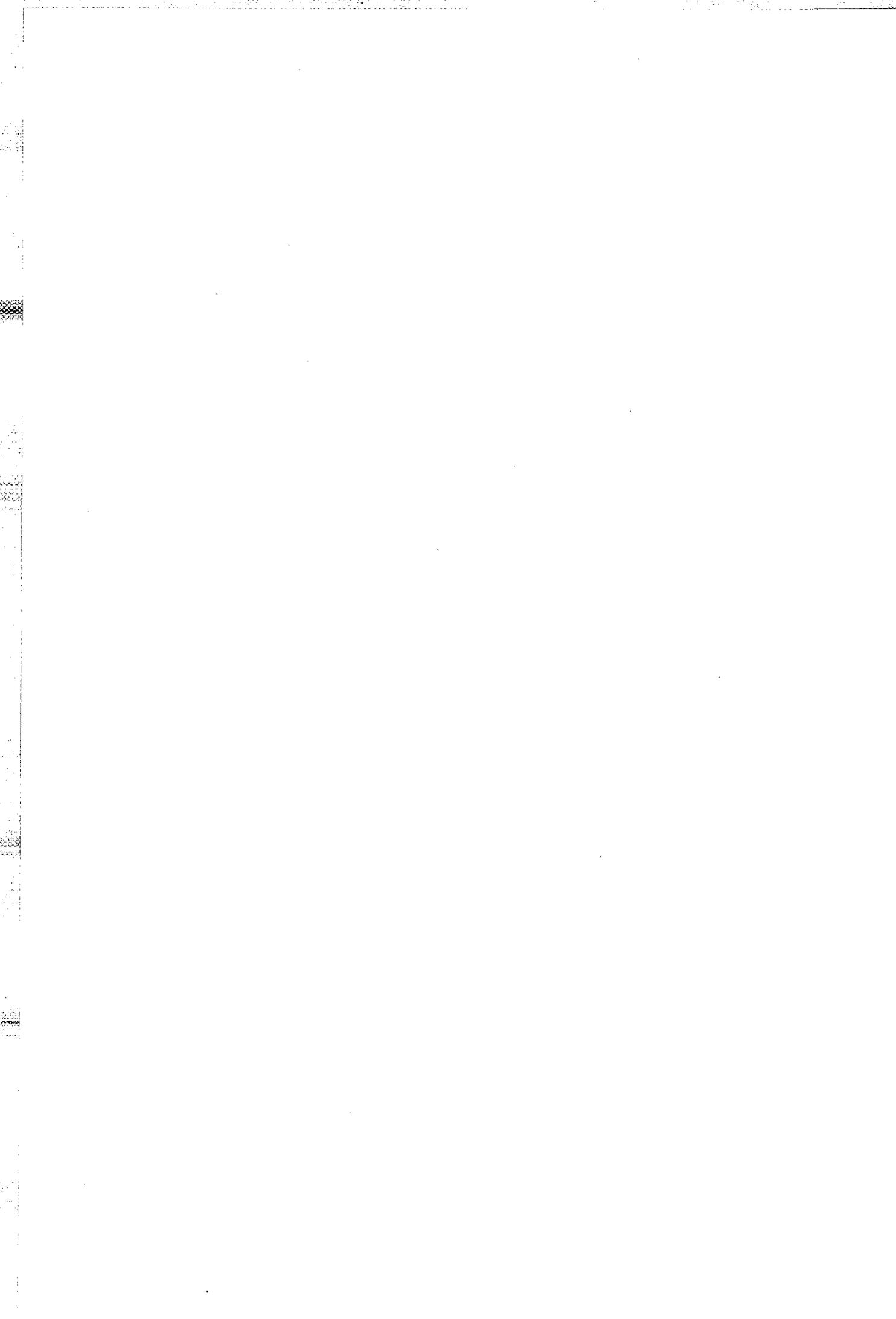
V. Conclusiones



V. Conclusiones

Como conclusiones de este informe se pueden señalar las siguientes:

- Las actividades realizadas por los diferentes grupos que participan en el "Proyecto Radón" han permitido tener un conocimiento general de las concentraciones existentes de este isótopo en el interior de viviendas de nuestro país, así como de la caracterización de las fuentes origen del mismo (suelos, materiales de construcción y aguas).
- Se han utilizado y puesto a punto diferentes técnicas de medida, mejorándose de esta forma la experiencia de los diferentes laboratorios en la medida de este isótopo y de sus descendientes.
- Hasta la fecha, marzo de 1996, se han llevado a cabo medidas en unas 3.750 viviendas y 64 colegios del país.
- Los diferentes grupos de trabajo coinciden en señalar al terreno sobre el que se encuentran edificadas las viviendas como fuente principal del origen de las concentraciones medidas en su interior. La Universidad de La Laguna señala, en el caso específico de las Islas Canarias, una influencia adicional de la falta de ventilación en aquellas casas donde se midieron valores más elevados.
- Los valores de concentración de radón están dentro de los que se consideran normales, con excepción de algunas casas de algunas poblaciones y de dos zonas que necesitarían un estudio más detallado: la zona de la sierra de Guadarrama y la zona en torno a la población de Villar de la Yegua, en la provincia de Salamanca.
- Si bien los trabajos realizados permiten dar una idea global de la situación existente en el país, y dado que es posible que a través de la vigilancia realizada hasta la fecha, no se hayan identificado todas o la mayoría de las zonas existentes en el país con valores elevados de radón en el interior de edificios, las actividades futuras deberían de ir encaminadas a dicho fin.
- Se deberían continuar los estudios sobre el contenido de isótopos naturales en materiales de construcción, así como los correspondientes a las medidas de mitigación aplicables tanto a viviendas ya edificadas como a viviendas de futura construcción.



Referencias bibliográficas



Referencias bibliográficas

- (1) Martín Matarranz, J.L.; "Informe sobre los niveles de radón determinados en interiores de viviendas en España. Resultados obtenidos en otros países de la C.E.E." CSN/TGE/VIRAM/9112/222
- (2) Martín, J.L.; Marugán, I.; "Informe sobre las actividades realizadas por los diferentes grupos que participan en el "Proyecto Radón" del CSN" CSN/TGE/VIRAM/9506/492
- (3) Hernando, M.L.; Lopez, G.; Martín, J.L.; "Informe de la 1ª Reunión (3.11.88), convocada por el CSN sobre el Radón en España" CSN/ARG/88/19
- (4) "Acuerdo específico entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de Cantabria para la determinación de niveles de Radón en España", 26 de diciembre de 1990.
- (5) Quindós, L.S.; "Niveles de Radón en España. Proyecto Radón", Junio 1990
- (6) Quindós, L.S.; Soto, J.; Fernandez, P.L.; "Medidas de la concentración de radón en el interior de viviendas españolas". Revista Española Física 5 (1), 1991.
- (7) Quindós, L.S.; Fernandez, P.L.; Soto, J.; "National Survey on Indoor Radon in Spain" Environment International vol 17, pp 449-453, 1991.
- (8) Quindós, L.S.; "Niveles de Radón en España primeros resultados. Proyecto Radón", Abril 1989.
- (9) "Third C.E.C Intecomparison of Active and Passive Detectors for Measurement of Radon and Radon Decay Products". Commission of the European Communities. Luxembourg (1988).
- (10) "Estudio de las fuentes de radiación en España- Estimación de dosis a la población" Memoria presentada por Carmen Ródenas Palomino, para optar al grado de Doctora en Físicas. Universidad de Cantabria.
- (11) Quindós, L.S.; Soto, J.; Fernandez, P.L.; "Geología y niveles de Radón en viviendas españolas" Revista Española de Física 6, pp 35-37, 1992.
- (12) Quindós, L.S.; "Niveles de radón en España 1988-1990. Valores individualizados por comunidades autónomas". Comunicación personal, Junio 1993.
- (13) "Niveles de Radón en la Sierra de Guadarrama" Universidad de Cantabria. Junio 1990.

- (14) "Niveles de Radón en España. Valores individualizados por Comunidades Autónomas" Cátedra de Física Médica. Facultad de Medicina. Universidad de Cantabria. Abril 1995.
- (15) "A Citizen`s Guide to Radon " EPA-0004 U.S. Environmental Protection Agency (1986).
- (16) "Commission Recommendation of 21 February 1990 on the Protection of the Public Against Indoor Exposure to Radon" (90/143/EURATOM)
- (17) Quindós, L.S.; Soto, J.; Fernandez, P.L.; "Informe resumen final al CSN con relación al acuerdo específico establecido con la Universidad de Cantabria para la determinación de los niveles de radón en España". Noviembre 1991
- (18) Quindós, L.S.; Fernandez, P.L.;Soto, J.; "Short-VS Long-Term Indoor Radon Measurements". Health Physics Vol 61 nº4 (October) pp 539-542. 1991.
- (19) Quindós, L.S.; Soto, J.; "Informe resumen final al Consejo de Seguridad Nuclear con relación al acuerdo específico establecido con la Universidad de Cantabria para el estudio de la radiactividad de origen natural en España". Universidad de Cantabria. Diciembre de 1993.
- (20) Quindós, L.S.; Fernandez, P.L.; "Natural Radioactivity in Spanish Soils". Health Physics. Vol 66. February 1994.
- (21) Fernandez, P.L.;Quindós, L.S.; "A New Method for Measuring Radon Exhalation". Journal of Geophysical Research.Vol 88 pp 1519-1524. February 1993.
- (22) Quindós, L.S.; Newton, G.J.; "Natural Radioactivity of Some Spanish Building Materials" The Science of the Total Environment ,68,181-185, 1988.
- (23) "Exposure to Radiation from the Natural Radioactivity in Building Materials" Report by a Group of Experts of the OECD .Paris 1979.
- (24) Quindós, L.S.; Fernandez, P.L.; "Natural radioactivity of cements and granites in Spain" Eurosposium on Radon. Lieja. Noviembre 1993.
- (25) Quindós, L.S.; Soto, J.; Fernandez, P.L.; Ródenas, C.;Gomez, J.; "Informe resumen final al Consejo de Seguridad Nuclear en relación al acuerdo específico establecido con la Universidad de Cantabria para el estudio de materiales de construcción como fuentes de radón y técnicas de mitigación". Diciembre 1995.

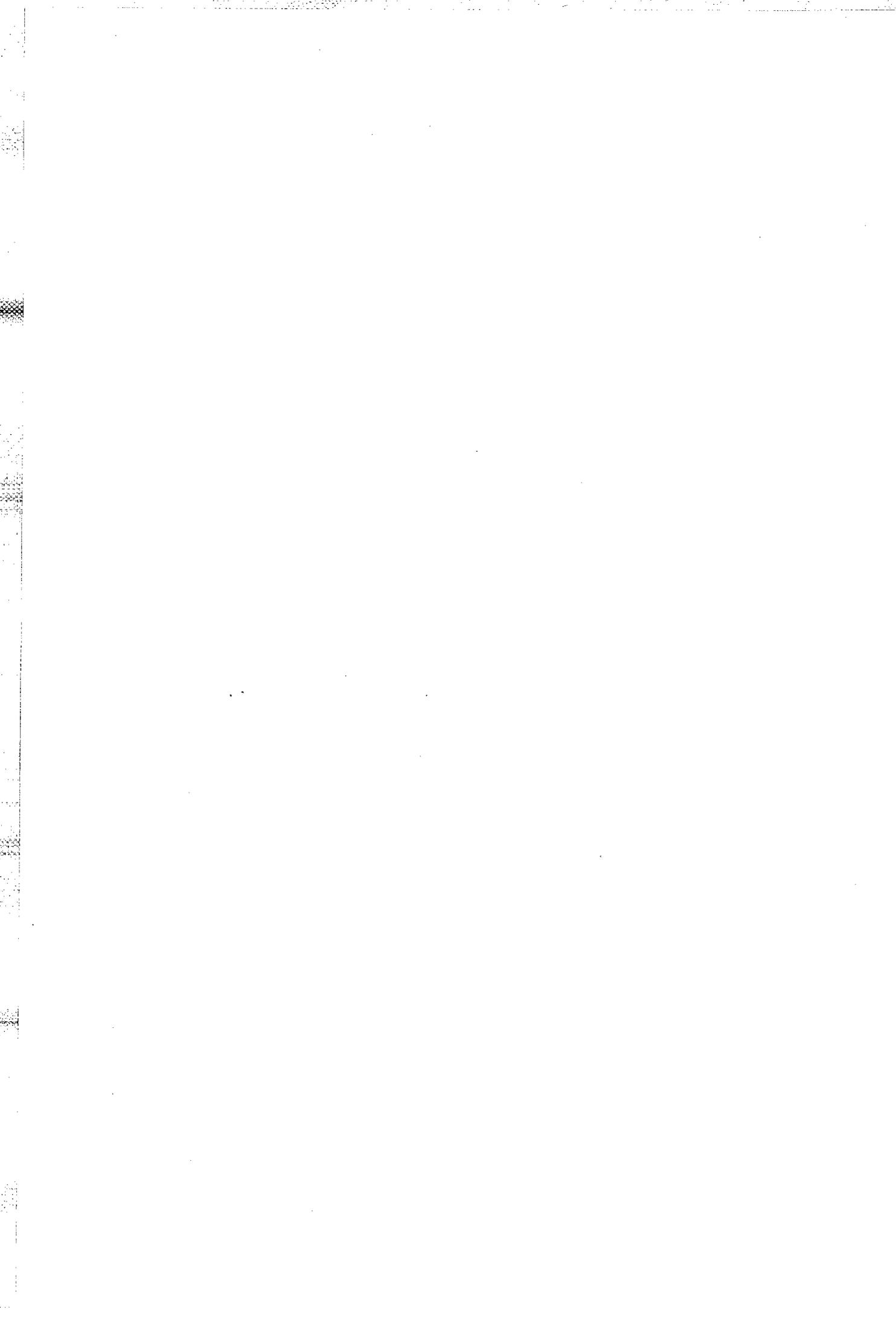
- (26) Quindós, L.S.; Fernandez, P.L.; "Results of a intercomparison of gamma spectrometry measurements of radioactivity in soils and building materials". Universidad de Cantabria, 1991.
- (27) Quindós, L.S.; Fernandez, P.L.; "Results of the second intercomparison of gamma spectrometry measurements of radioactivity in soils and building materials". Universidad de Cantabria, 1995
- (28) Soto, J.; Delgado, M.T.; "Niveles de Rn-222 en el Balneario de Caldas de Besaya (Cantabria)". Revista de Sanidad e Higiene Pública. Vol 65 (1), pp 61-64 (1991).
- (29) Soto, J.; "Radioactividad de las aguas mineromedicinales". Boletín Sociedad Española de Hidrología Médica. Vol V, nº 3 (1990).
- (30) Suarez, J.A.; De Pablo, M.A.; Gonzalez, J.A.; "Análisis radioquímico de radio total, radio 226 y radio 224". CIEMAT 603, ISSN 0081-3397. Madrid 1987.
- (31) Soto, J.; Fernandez, P.L.; "Medida de la concentración de Ra-226 en aguas embotelladas españolas". Facultad de Medicina. Universidad de Cantabria.
- (32) Soto, J.; Fernandez, P.L.; "Radioactivity in Spanish Spas" The Science of the Total Environment 162, pp 187-192. 1995.
- (33) ICRP Publication 65 "Protection Against Rn-222 at Home and at Work". September 1993.
- (34) Soto, J.; Fernandez, P.L.; "Radón en el agua en una región de alto nivel de radiación natural". Bol.Soc.Esp.Hidrol.Med. Vol VII nº 2 (1992).
- (35) Guía de Seguridad nº 7.7 (Rev 1) "Control radiológico del agua de bebida" Consejo de Seguridad Nuclear. Enero 1994.
- (36) Soto, J.; Díaz Caneja, N.; "Potabilidad del agua en una región de alto nivel de radiación natural". Revista de Sanidad e Higiene Pública nº 34. Mayo-Agosto 1992.
- (37) Hess, C.T.; Michel, J.; "The occurrence of radioactivity in public water supplies in United States" Health Physics, 1985.
- (38) Salonen, L.; "Natural radionuclides in ground water in Finland" Radiation Protection Dosimetry, 1988

- (39) Martín, J.L.; "Identificación de poblaciones afectadas por el radón en España". CSN/TGE/VIRAM/9401/386.
- (40) Martín, J.L.; "Identificación de poblaciones afectadas por el radón en España- Revisión 1". CSN/TGE/VIRAM/9505/485.
- (41) "Acuerdo específico entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de Cantabria para el estudio de la radiactividad de origen natural en España". 2 de Junio de 1992.
- (42) "Convenio de colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de Cantabria para el estudio de materiales de construcción como fuentes de radón y técnicas de mitigación". 17 de octubre de 1994.
- (43) "Propuesta de campaña de medida de nivel de radón en edificios de la Comunidad Valenciana" Instituto de Física Corpuscular. Universidad de Valencia.
- (44) Amorós, R.; Bolta, J.M.; Senent, F.; "Niveles de gas radón en la Comunidad Valenciana. Primeros Resultados". Instituto de Física Corpuscular. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Universidad de Valencia.
- (45) "EERF Standard Operating Procedures for Rn-222 Measurements Using Charcoal Canisters". EPA 520/5-87-005. Montgomery, 1987.
- (46) Amorós, R.; Bolta, J.M.; "Niveles de gas radón en la Comunidad Valenciana. Resultados de la Provincia de Valencia. Campaña 1990/91.
- (47) Amorós, R.; Bolta, J.M.; "Niveles de gas radón en la Comunidad Valenciana. Resultados de la Provincia de Castellón. Campaña 1992-93.
- (48) Navarro, E.; "Niveles de gas radón en el interior de edificios de las comarcas de la Provincia de Alicante". Comunicación personal.
- (49) "Acuerdo específico entre el CSN y la Universidad de Valencia sobre una campaña de medida de radón en edificios de la Comunidad Valenciana". 1 de diciembre de 1989.
- (50) "Acuerdo específico entre el CSN y la Universidad de Valencia sobre una campaña de medida de radón en edificios de la Comunidad Valenciana: II Fase Provincia de Castellón". 18 de junio de 1992.

- (51) "Convenio de colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de Valencia para una campaña de medida de radón en edificios de la Comunidad Valenciana: III Fase Provincia de Alicante". 17 de octubre de 1994.
- (52) "Informe de Progreso a 30 de Junio de 1991 del proyecto de medida de radón en viviendas de Madrid y Barcelona". CIEMAT.
- (53) Gutierrez, J.; Baixeras, C.; "Indoor Radon Levels and Dose Estimation in Two Major Spanish Cities". Trabajo presentado en el Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment. Salzburg Austria 22-28 Sept.1991. Radiation Protection Dosimetry. Vol 45 nº 1/4 pp 495-498 (1992).
- (54) "Medida de niveles de radón en el interior de viviendas de Madrid y Barcelona. Acuerdo CSN-CIEMAT. Informe final de resultados" CIEMAT/IMA/UGIA/M5A09/01/93.
- (55) UNSCEAR 1993 Report "Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation" United Nations, New York (1993).
- (56) Acuerdo para la colaboración entre el CSN y el CIEMAT en el proyecto de investigación de medida de Radón en interiores de viviendas de Madrid y Barcelona. 11 de octubre de 1990.
- (57) Acuerdo de colaboración entre el CSN y la Universidad Autónoma de Barcelona para la estimación del impacto radiológico producido por el gas radón. 7 de octubre de 1993.
- (58) Solicitud de subvención para el proyecto científico "Estudio del impacto radiológico ambiental producido por el gas radón en el interior de edificios" al Consejo de Seguridad Nuclear que presenta el Grupo de Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra. Noviembre 1992.
- (59) Informe que presenta el Grupo de Física de las Radiaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona al Consejo de Seguridad Nuclear sobre el proyecto científico "Estudio del impacto radiológico ambiental producido por el gas radón en el interior de edificios". Bellaterra. Enero 1994.
- (60) Informe II que presenta el Grupo de Física de las Radiaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona al Consejo de Seguridad Nuclear sobre el proyecto científico "Estudio del impacto radiológico ambiental producido por el gas radón en el interior de edificios" Bellaterra. Octubre 1994.

- (61) Baixeras, C.; Font, L.; "A comparative study of different methods for measuring radon concentrations" 2nd INternational Colloquium on Gaz Geochemistry. Besançon. Francia, 5-9 Julio 1993.
- (62) Cross, W.; Tommasino, L.A.; "A rapid reading technique for nuclear particle damage tracks in the foils. Radiat.Effects 5,85-89 (1970).
- (63) Whysall, K.; Milles, J.; "Results of the 1991 CEC intercomparison of passive radon detectors" NRPB Report (1993).
- (64) Acuerdo Específico entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de La Laguna para la determinación de los niveles de radón en las Islas Canarias. 26 de diciembre de 1990.
- (65) Acuerdo de Colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de La Laguna para la determinación de los niveles de radón en el interior de viviendas y cuevas naturales de Canarias. 2 de Junio de 1993.
- (66) Robayna, B.; Hernandez-Armas, J.; Soler, V.; "Preliminary Measurements of Indoor Radon in Canary Islands". Comunicación Personal.
- (67) Hernandez-Armas, J.; "Memoria resumen de actividades realizadas por el grupo de trabajo constituido para la determinación de la concentración de radón en Canarias tras la firma del convenio específico entre el CSN y la Universidad de La Laguna". 17 de septiembre de 1991.
- (68) Fernandez-Aldecoa, J.C.; Robayna,B.; Allende, A.;"Natural Radiation in Tenerife (Canary Islands)". Radiation Protection Dosímetry, Vol 45 N°1/4 (1992)
- (69) Hernandez-Armas, J.; Comunicación personal. 21 de febrero de 1995
- (70) Hernandez-Armas, J.; "Propuesta para la realización de medida de radón en viviendas de Canarias". 17 de enero 1995
- (71) Hernandez-Armas, J.; "Trabajos realizados para la determinación de niveles de radón en viviendas de las Islas Canarias y en grutas y cuevas del archipiélago. Estimación de dosis equivalentes a la población. 23 de Junio 1994

Índice de Tablas



Índice de tablas

Tabla 1	Valores de las concentraciones de radón obtenidas en las diferentes comunidades autónomas	14
Tabla 2	Valores de concentraciones de radón en poblaciones de la sierra de Madrid	16
Tabla 3	Porcentaje de casas en cada comunidad autónoma con valores superiores a 400 Bq/m ³	17
Tabla 4	Relación de las concentraciones de radón con los materiales de construcción	18
Tabla 5	Comparación de los resultados obtenidos con diferentes métodos de medida	20
Tabla 6	Concentraciones de Ra-226, Th-232, y K-40 en suelos	22
Tabla 7	Concentraciones de Ra-226, Th-232 y K-40 en materiales de construcción	23
Tabla 8	Contenido de Ra-226 en muestras de granitos nacionales	24
Tabla 9	Contenido de Ra-226 en muestras de granitos extranjeros	25
Tabla 10	Concentraciones de Ra-226, Th-232 y K-40 en cementos españoles	25
Tabla 11	Concentraciones de Rn-222 y Ra-226 en aguas de diferentes balnearios	28
Tabla 12	Concentración de radón en la provincia de Valencia	37
Tabla 13	Concentración de radón en la provincia de Castellón	39

Tabla 14	Concentración de radón en la provincia de Alicante. . . . .	.40
Tabla 15	Concentraciones de radón en las ciudades de Madrid y Barcelona. Primera campaña. . . . .	.46
Tabla 16	Concentraciones de radón en las ciudades de Madrid y Barcelona. Segunda campaña. . . . .	.48
Tabla 17	Distribución de las viviendas en función de distintos intervalos de concentración . . . . .	.48
Tabla 18	Valores de dosis efectivas en Madrid y Barcelona . . . . .	.49
Tabla 19	Concentración de radón en viviendas de la isla de Tenerife . . . . .	.58
Tabla 20	Concentración de radón en viviendas de la isla de Fuerteventura. Primera campaña. . . . .	.60
Tabla 21	Concentración de radón en viviendas de la isla de Fuerteventura. Segunda campaña . . . . .	.60
Tabla 22	Concentración de radón en viviendas de la isla de El Hierro. . . . .	.62
Tabla 23	Concentración de radón en viviendas de la isla de La Gomera . . . . .	.62
Tabla 24	Concentración de radón en viviendas de la isla de La Palma . . . . .	.63
Tabla 25	Concentración de radón en viviendas de la isla de Lanzarote. . . . .	.66
Tabla 26	Concentración de Ra-226,Th-232 y K-40 en suelos de la isla de Tenerife. . . . .	.70