

***Jornada Tècnica sobre el Radón:
'Desde el marco legal a la calidad de las medidas'
19 Marzo 2018, Barcelona***

MEDIDAS DE RADÓN EN CONDICIONES AMBIENTALES EXTREMAS

Victòria Moreno Baltà

*Unitat de Física de les Radiacions, Dept. de Física, Universitat Autònoma de Barcelona,
Bellaterra (Barcelona).*

- **El proyecto de investigación: motivación y objetivos**
- **Metodología: los detectores y los filtros analizados**
- **Resultados de las exposiciones en la cámara de radón**
- **Exposiciones en ambientes con condiciones extremas reales**
- **Conclusiones generales**

Reglamento de protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes (RD 783/2001, RD 1439/2010)



Directiva europea (2013/59/EURATOM)



Estudios de gas radón

Actividades laborales:

Establecimientos termales, cuevas, minas, lugares de trabajo subterráneo o no subterráneo en áreas identificadas



Experiencia de la UAB

Lugares de trabajo subterráneos de Cataluña

Font et al., Radiat. Meas. 43 (2008a)

Suelos de la falla de Amer

Font et al., Radiat. Meas. 43 (2008b)

Interiores, aguas subterráneas y suelos de la zona volcánica de La Garrotxa

Moreno et al., Radiat. Meas. 44 (2009)



Proyecto de investigación CSN

“Estudio de la instrumentación de vigilancia radiológica ambiental y de medida de radón en condiciones ambientales extremas.”



Colaboración UAB - UPC

Objetivos

Estudiar la influencia de la **humedad** sobre la respuesta de diferentes detectores.

Identificar los filtros más adecuados para minimizar la influencia de las condiciones de medida.

Determinar los nuevos factores de calibración de los detectores optimizados para medir en condiciones ambientales extremas.

➤ Detectores continuos (variaciones temporales):

- **ATMOS 12DPX** de Gammadata: cámara de ionización con bomba de aire interna.
- **AlphaGUARD** de Genitron Instruments GmbH: cámara de ionización donde el radón entra por difusión o con bomba de aire externa.
- **RAD 7** de DurrIDGE: detector de semiconductor con cámara de electrodeposición y bomba interna.
- **Clipperton** de la Universidad de Montpellier: detector de semiconductor con cámara de difusión para medidas en el suelo.



➤ Detectores integradores (valores medios):

- Detectores de **cámara de ionización**:
 - **Electretes E-Perm** de Rad Elec inc, con varias configuraciones (SLT, HLT, HLT+filtro²²⁰Rn).
- Detectores de **trazas nucleares**:
 - **CR-39** en la cámara de difusión de Gammadata.
 - **Makrofol DE** en la cámara de difusión FzK FN.
 - **LR115** en cámara de difusión propia (UAB).

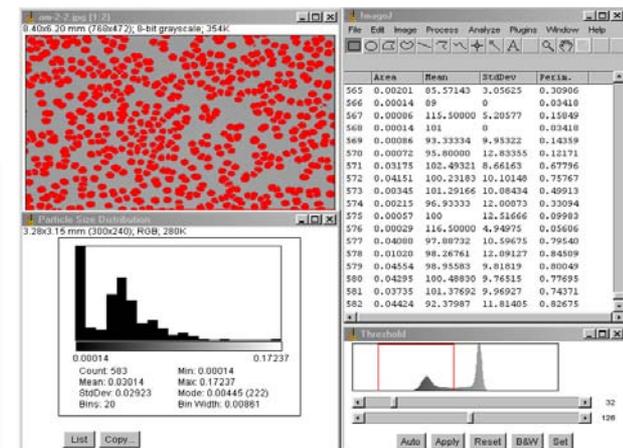
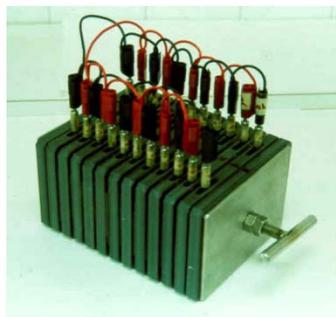


➤ **Detectores basados en Makrofol (Rn en interiores):**

• **Dosímetro FzK FN:**

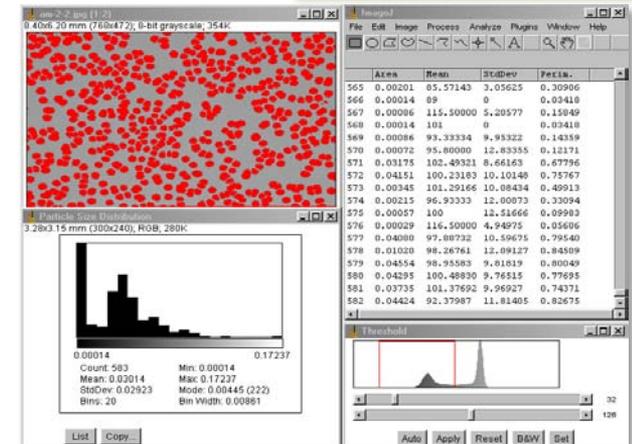
- Láminas de **Makrofol-DE** de 500 μm de grosor.
- Lámina de **Mylar** de 3 μm cubre el Makrofol evitando la carga estática superficial.
- Filtro de **fibra de vidrio** evita la entrada de polvo y los descendientes de radón en el interior de la cámara.

• **Análisis:** revelado electroquímico y lectura semiautomática.



➤ Detectores basados en LR115 (Rn en el suelo):

- **Cámara de difusión** de PVC 30 cm de largo para evitar la detección del torón.
 - Láminas de **LR115 tipo II** (nitrato de celulosa).
 - Filtro de **fibra de vidrio** evita la entrada de polvo y los descendientes de radón en el interior de la cámara.
- **Análisis:** revelado químico y lectura semiautomática.

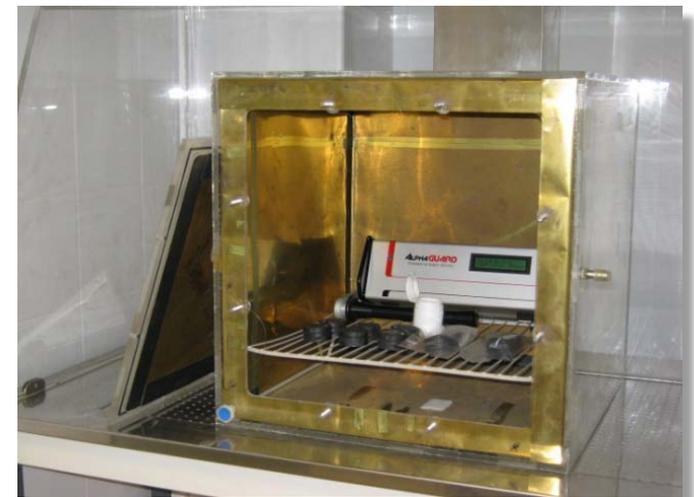
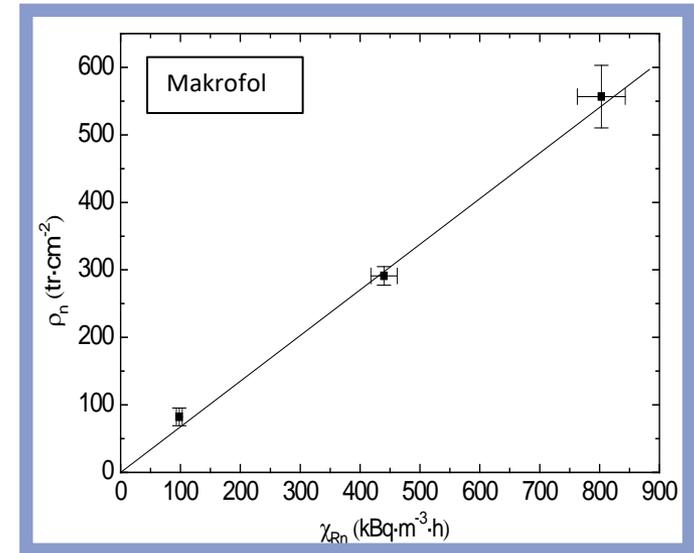


➤ Detectores de trazas nucleares de la UAB:

- **Calibración y intercomparación:**
Cámaras de radón de la HPA (UK) y del INTE
- **Control de calidad interno:**
Caja de radón de la UAB
- **Inconveniente:**

Después de exposiciones largas en ambientes con alta humedad, las láminas de Mylar y los filtros presentan deterioro.

¿Esto afecta a la respuesta del detector?



➤ Soluciones para evitar la humedad y las partículas: el uso de filtros

IOP PUBLISHING JOURNAL OF RADIOLOGICAL PROTECTION
 J. Radiol. Prot. 29 (2009) 269–271 doi:10.1088/0952-4746/29/2/N01

NOTE

Moisture-resistant passive radon detectors

Jon Miles, Fero Ibrahimi and Keith Birch

Health Protection Agency, Chilton, Didcot, Oxfordshire OX11 0RQ, UK

E-mail: jon.miles@hpa.org.uk, fero.ibrahimi@hpa.org.uk and keith.birch@hpa.org.uk

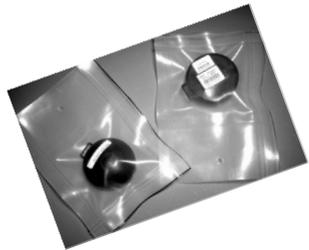
Received 18 December 2008, in final form 18 February 2009, accepted for publication 19 February 2009

Published 19 May 2009

Online at stacks.iop.org/JRP/29/2/69

Abstract

In order to provide an area-monitoring passive radon detector that is resistant to very high humidities, passive detectors have been heat-sealed in 200 μm thick polyethylene. The sensitivity of the detectors in the bags to radon was found



Radiation Measurements 44 (2009) 719–723



Contents lists available at ScienceDirect

Radiation Measurements

journal homepage: www.elsevier.com/locate/radmeas



Radon-film-badges by solid radiators to complement track detector-based radon monitors

L. Tommasino*, M.C. Tommasino, P. Viola

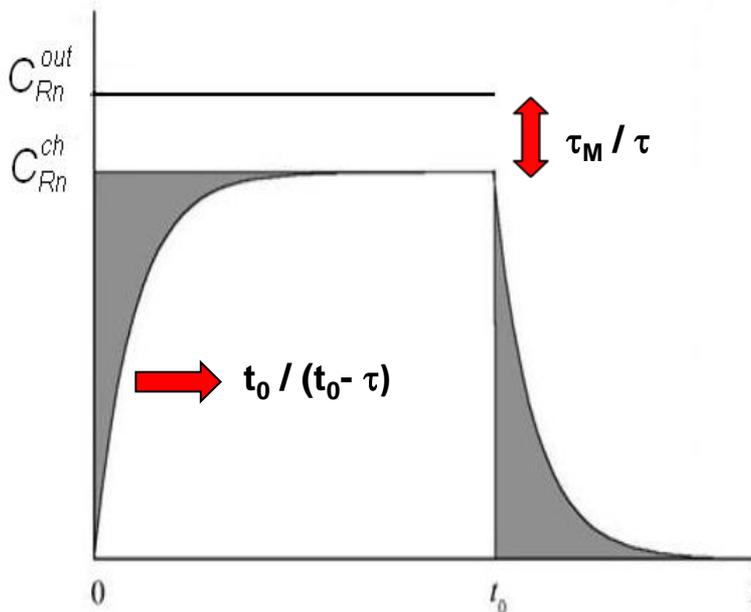
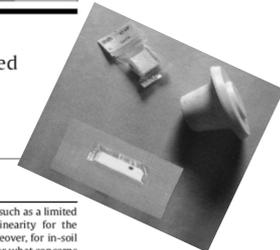
THL, Via Cassia 1727, 00123 Rome, Italy

ARTICLE INFO

Article history:
 Received 22 October 2008
 Received in revised form
 22 September 2009
 Accepted 7 October 2009

ABSTRACT

Existing passive radon monitors, based on track detectors, present many shortcomings, such as a limited response sensitivity for one-week-indoor measurements and a limited response linearity for the assessment of large radon exposures indoors, in thermal spa, in caves, and in soil. Moreover, for in-soil measurements these monitors are too bulky and are often conducive to wrong results. For what concerns the radon-in-water measurements, they are just not suitable.



C_{Rn}^{out} : concentración de radón en el exterior del detector

C_{Rn}^{ch} : concentración de radón en el interior del detector

t_0 : tiempo de exposición del detector

τ_M : **tiempo de retardo**, depende de las características del filtro y de la cámara de difusión

$$\tau_M = \frac{\delta V^{ch}}{D S_f}$$

τ : tiempo de retardo efectivo, depende de τ_M y λ (constante de desintegración radioactiva del radón)

$$\frac{1}{\tau} = \lambda + \frac{1}{\tau_M}$$

➤ **Filtros analizados para evitar la humedad:**

Code	Filter commercial name and/or description	Detector
A	Without any filter	Actives and Passives
B	Tyvek (plastic bag of 115 ± 6 mm thickness)	Passives: Makrofol, CR-39, LR-115 and Electret
C	Treseses (plastic bag of 33 ± 2 mm thickness)	
D	Zipdar (plastic bag of 51 ± 2 mm thickness)	
E	Column of Drierite desiccant	RAD 7
F	Dust protection bag from Genitron (Tyvek).	AlphaGUARD
G	Black bag (not used for soil measurements).	Clipperton



➤ Cámara de radón del INTE (UPC):

- Sistemas de control automático de los parámetros ambientales y las concentraciones de radón.
- Equipo de referencia: ATMOS 12DPX de Gammadata.

Vargas y Ortega, Radiat. Prot. Dosimetry 121(3) (2006); 123(4) (2007).

➤ Condiciones de las exposiciones:

Expo	C _{Rn} Ref. (kBq·m ⁻³)	Temp. (°C)	Humedad (%)	Tiempo de exposición (h)
1	8.5 ± 1.2	20	45	74
2	17.0 ± 2.4	20	45	67
3	20.0 ± 2.8	20	45	50
4	20.0 ± 2.8	20	85	50
5	20.0 ± 2.8	30	90	50



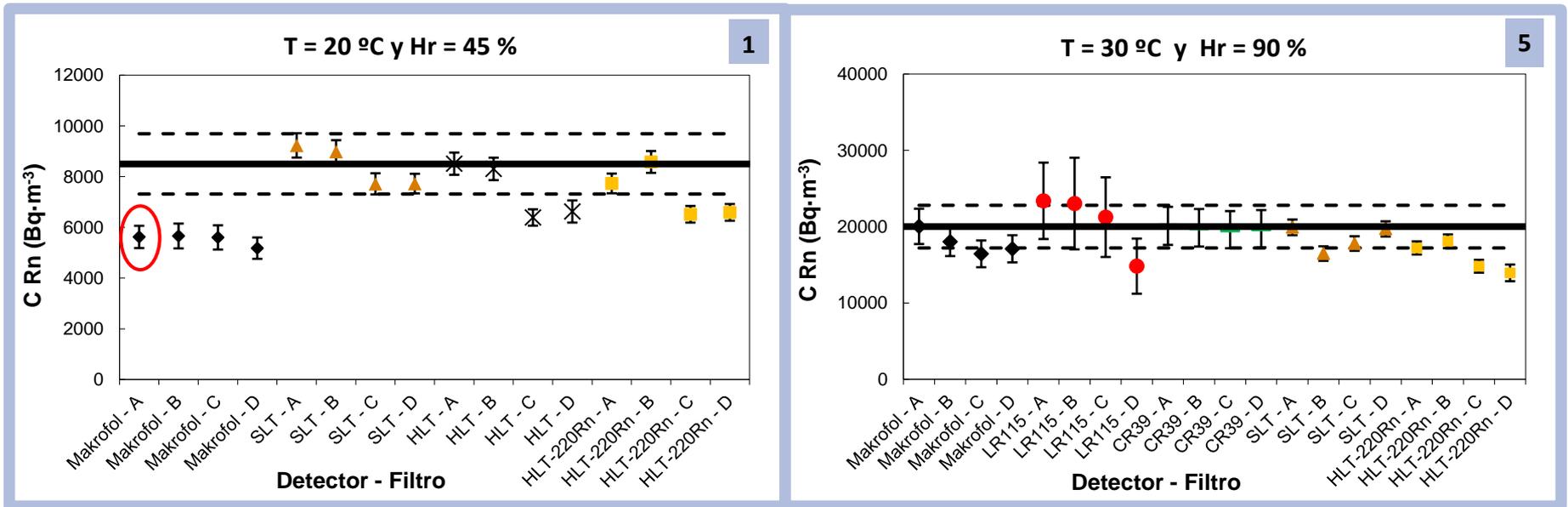
➤ **Número de detectores de cada configuración de filtro en cada exposición.**

Expo	Tipo de detector	Tipo de filtro				
		A	B	C	D	E, F, G
1	Makrofol	6	6	6	6	
	Electret – SLT	4	2	2	2	
	Electret – HLT	4	2	2	2	
	Electret – HLT - ²²⁰ Rn filter	1	1	1	1	
2	Makrofol	6	6	6	6	
	LR115	2	2	2	2	
	Electret – SLT	4	2	2	2	
	Electret – HLT - ²²⁰ Rn filter	4	2	2	2	
	ATMOS 12DPX	1				
	AlphaGUARD	1				
	RAD 7	3				
3	Makrofol	6	6	6	6	
	LR115	3	3	3	3	
	CR-39	4	4	4	4	
	Electret – SLT	2	1	1	1	
	AlphaGUARD	1				
	Clipperton					1 ^a
4	Makrofol	6	6	6	6	
	LR115	3	3	3	3	
	CR-39	4	4	4	4	
	Electret – SLT	4	2	2	2	
	Electret – HLT - ²²⁰ Rn filter	5	2	2	2	
	ATMOS 12DPX	1				
	AlphaGUARD					1 ^b
Clipperton					1 ^a	
5	Makrofol	6	6	6	6	
	LR115	3	3	3	3	
	CR-39	4	4	4	4	
	Electret – SLT	4	2	2	2	
	Electret – HLT - ²²⁰ Rn filter	5	2	2	2	
	ATMOS 12DPX	1				
	AlphaGUARD					1 ^b
Clipperton					1 ^a	

^a Filtro de polietileno negro que impide la entrada de luz.

^b Filtro de polietileno blanco en forma de bolsa proporcionado por Genitron.

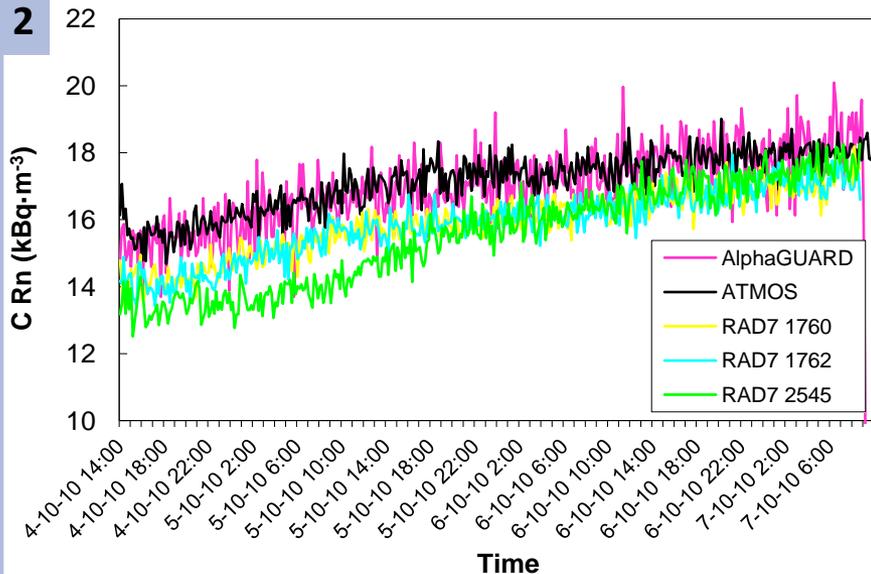
➤ Detectores integradores + filtros (A, B, C i D):



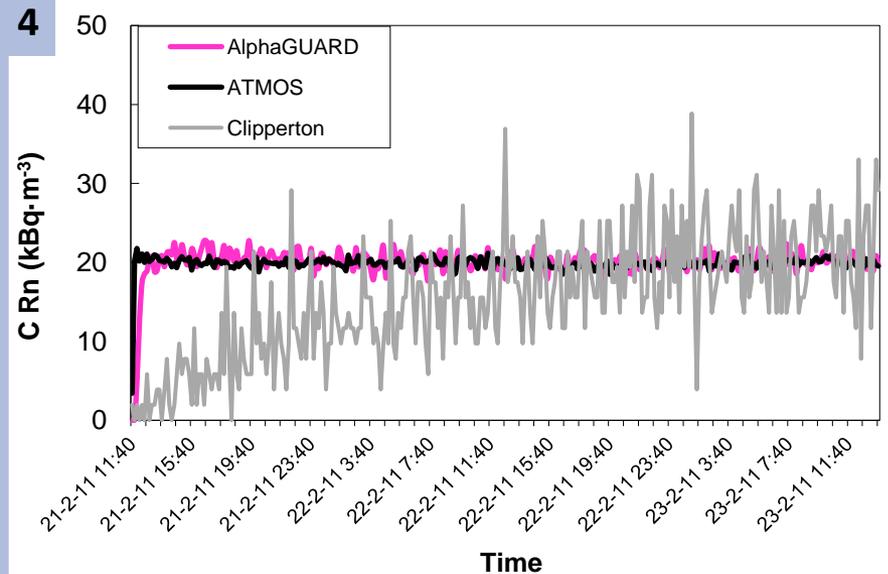
- La 1a exposición muestra la necesidad de aplicar un factor de corrección sobre la respuesta de la config. A (sin filtro) de los detectores de Makrofol.
- Las condiciones de alta humedad no muestran una influencia significativa sobre la respuesta de los detectores integradores (para exposiciones cortas, $t \leq T_{1/2}$).

➤ Detectores continuos:

T = 20 °C, Hr = 45 %



T = 20 °C, Hr = 85 %



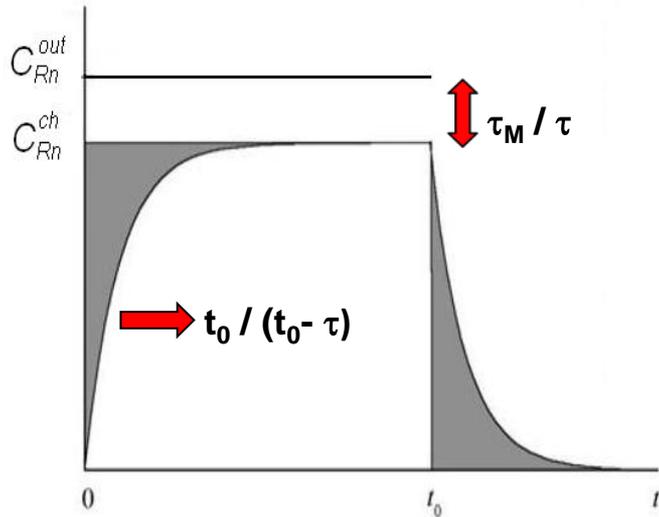
- El monitor ATMOS es el detector de referencia.
- El monitor AlphaGUARD muestra una respuesta correcta.
- Los tres RAD 7 presentan discrepancias con el valor de referencia.
- La respuesta de la sonda Clipperton debe ser optimizada.

➤ Factores de corrección:

EXPO	Exposure conditions		Configuration exposed (detector + filter code)					
	Parameter	Value	Detector	A	B	C	D	E, F, G
1	$C_{Rn\ ref}$ (kBq·m ⁻³)	8.5 ± 1.2	Makrofol	1.12 ± 0.08	1.11 ± 0.08	1.12 ± 0.08	<u>1.21 ± 0.09</u>	
	Temp. (°C)	20 ± 1	Elect. SLT	0.92 ± 0.06	0.95 ± 0.07	1.10 ± 0.08	1.10 ± 0.08	
	RH (%)	45 ± 1	Elect. HLT	1.00 ± 0.07	1.02 ± 0.07	<u>1.33 ± 0.09</u>	<u>1.28 ± 0.09</u>	
	t (h)	74.0 ± 0.2	Elect. HLT - ²²⁰ Rn filter	1.10 ± 0.08	0.99 ± 0.07	<u>1.30 ± 0.09</u>	<u>1.29 ± 0.09</u>	
2	$C_{Rn\ ref}$ (kBq·m ⁻³)	17.0 ± 2.4	Makrofol	0.97 ± 0.07	0.96 ± 0.07	1.09 ± 0.08	1.10 ± 0.08	
	Temp. (°C)	20 ± 1	LR115	0.99 ± 0.07	<u>1.45 ± 0.17</u>	<u>1.46 ± 0.16</u>	<u>2.07 ± 0.35</u>	
	RH (%)	45 ± 1	Elect. SLT	0.95 ± 0.07	1.00 ± 0.07	1.08 ± 0.08	1.06 ± 0.07	
	t (h)	67.0 ± 0.2	Elect. HLT - ²²⁰ Rn filter	1.07 ± 0.08	1.11 ± 0.08	1.08 ± 0.08	<u>1.29 ± 0.09</u>	
			ATMOS 12DPX	0.99 ± 0.05				
			AlphaGUARD	1.00 ± 0.05				
3	$C_{Rn\ ref}$ (kBq·m ⁻³)	20.0 ± 2.8	Makrofol	1.06 ± 0.07	1.03 ± 0.07	1.10 ± 0.08	1.02 ± 0.07	
	Temp. (°C)	20 ± 1	Elect. - SLT	0.97 ± 0.07	0.99 ± 0.07	1.17 ± 0.08	<u>1.24 ± 0.09</u>	
	RH (%)	45 ± 1	AlphaGUARD	1.01 ± 0.06				
	t (h)	50.0 ± 0.2	Clipperton					<u>1.30 ± 0.09</u>
4	$C_{Rn\ ref}$ (kBq·m ⁻³)	20.0 ± 2.8	Makrofol	0.89 ± 0.06	0.96 ± 0.07	0.99 ± 0.07	0.97 ± 0.07	
	Temp. (°C)	20 ± 1	CR-39	1.09 ± 0.08	1.06 ± 0.07	1.12 ± 0.08	1.08 ± 0.08	
	RH (%)	85 ± 1	Elect. SLT	1.03 ± 0.07	0.99 ± 0.07	<u>1.31 ± 0.09</u>	1.05 ± 0.07	
	t (h)	50.0 ± 0.2	Elect. HLT - ²²⁰ Rn filter	1.11 ± 0.08	1.08 ± 0.08	<u>1.34 ± 0.10</u>	<u>1.51 ± 0.11</u>	
			ATMOS 12DPX	1.01 ± 0.06				
			AlphaGUARD					1.00 ± 0.05
5	$C_{Rn\ ref}$ (kBq·m ⁻³)	20.0 ± 2.8	Makrofol	1.00 ± 0.07	1.11 ± 0.08	<u>1.22 ± 0.09</u>	1.17 ± 0.08	
	Temp. (°C)	30 ± 1	LR115	1.01 ± 0.07	1.02 ± 0.07	1.11 ± 0.08	<u>1.59 ± 0.21</u>	
	RH (%)	85 ± 1	CR-39	1.00 ± 0.07	1.01 ± 0.07	1.02 ± 0.07	1.01 ± 0.07	
	t (h)	49.5 ± 0.2	Elect. SLT	1.00 ± 0.07	<u>1.21 ± 0.09</u>	1.12 ± 0.08	1.02 ± 0.07	
			Elect. HLT - ²²⁰ Rn filter	1.16 ± 0.08	1.11 ± 0.08	<u>1.35 ± 0.10</u>	<u>1.44 ± 0.11</u>	
			ATMOS 12DPX	1.01 ± 0.06				
			AlphaGUARD					1.08 ± 0.08
			Clipperton					1.04 ± 0.11

- La config. B prácticamente no influye sobre la respuesta de los detectores.
- Las config. C y D requieren factores de corrección para la mayoría de las exposiciones.

➤ **Tiempo de retardo (τ_M) de la difusión del radón en los filtros:**



Detector	τ_M (h)			
	B	C	D	E, F, G
Makrofol	0.7 ± 0.5	3.1 ± 0.6	5.0 ± 0.6	-
Electret SLT	0.0 ± 0.5	4.6 ± 0.6	5.0 ± 1.5	-
Electret HLT	0.0 ± 0.5	13 ± 1	12 ± 1	-
Electret HLT - ^{220}Rn filter	3.6 ± 2.1	6.7 ± 3.1	10 ± 2	-
ATMOS 12DPX	-	-	-	0.0 ± 0.1
AlphaGUARD	-	-	-	0.1 ± 0.1
RAD 7	-	-	-	3.0 ± 0.2
Clipperton	-	-	-	8.7 ± 0.5

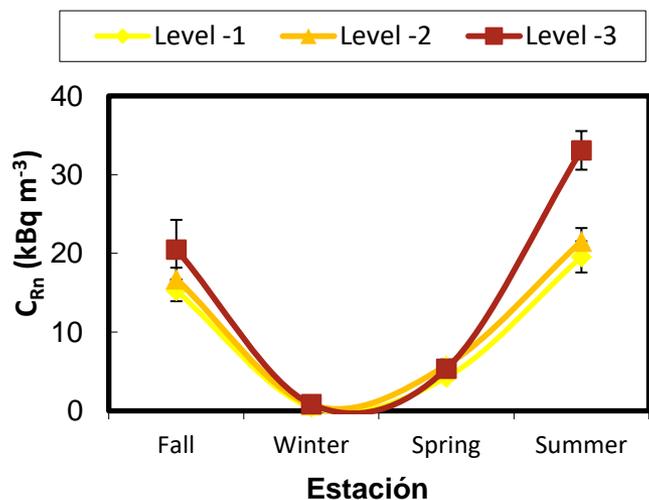
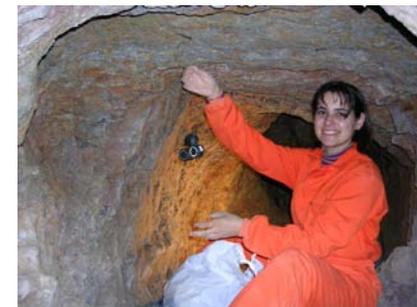
- Las configuraciones que tienen un filtro de grosor mayor presentan mayores tiempos de retardo de la entrada del radón por difusión a través del filtro.
- El uso de filtros implica tener en cuenta el **tiempo de retardo** del filtro, especialmente en las exposiciones de corta duración .
- Reproducir **exposiciones de larga duración** con alta humedad en el interior de una cámara de radón no ha sido posible por razones técnicas y económicas.

Emplazamiento	Descripción	Tiempo exposición (mes)	Configuraciones expuestas
Minas subterráneas	4 salas (80-100 % Hr)	< 1	Makrofol + filtro (A, B, C, D)
Balnearios	3 salas húmedas (50-90 % Hr) y calientes (21-29 °C)	4	
Marjal de Peníscola	5 exteriores húmedos (1 m del suelo)	3	
Planta de producción de fosfato dicálcico	4 salas con polvo y 1 exterior ácido	3.7	

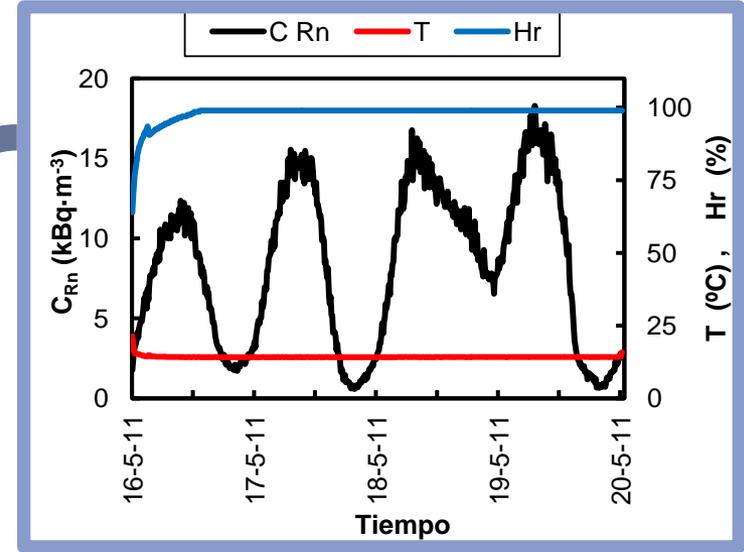
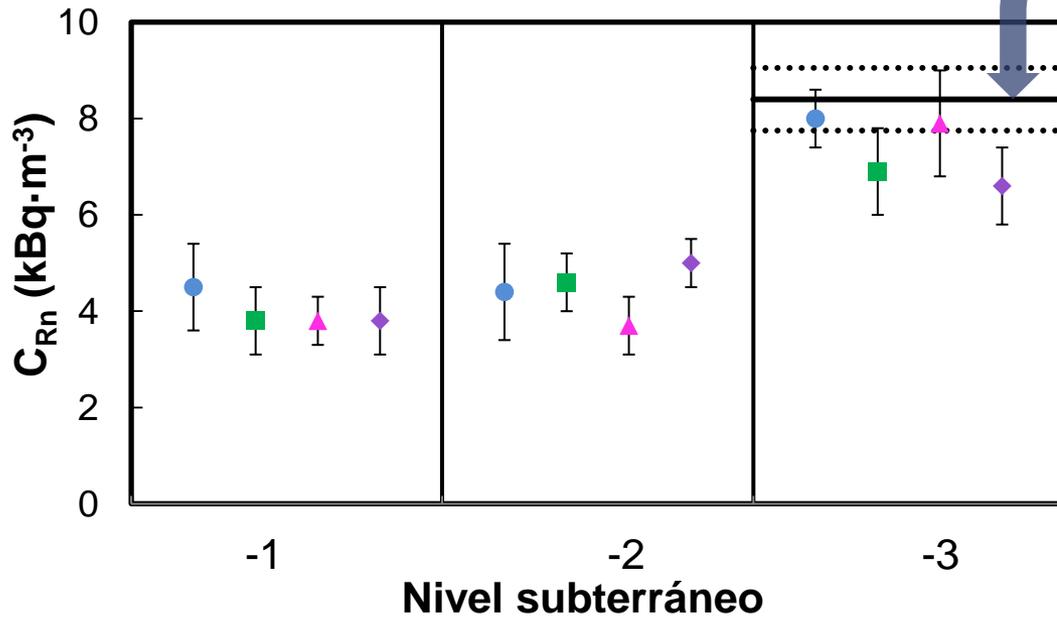


➤ **Minas subterráneas: un laboratorio natural**

- Posibilidad de medir durante largos periodos
- Alta humedad permanente (80 – 100 %)
- Diferentes profundidades → diferentes C_{Rn}
- Variaciones estacionales de la C_{Rn}



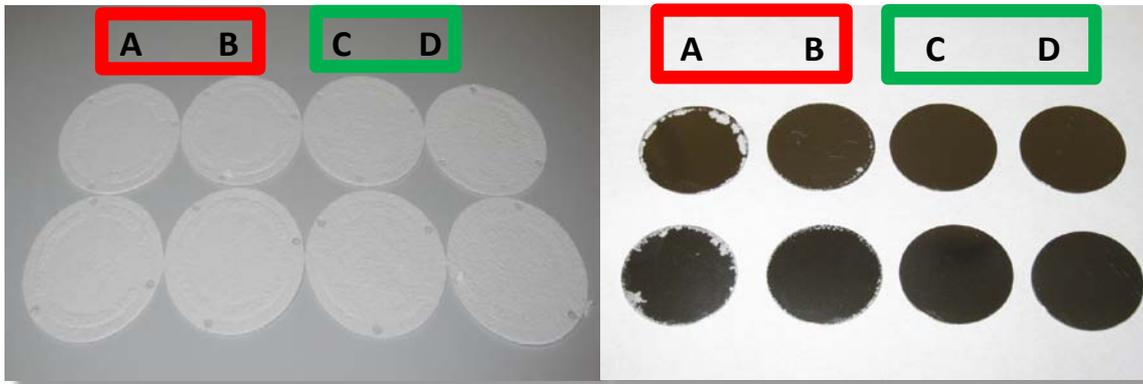
➤ Exposición de 4 días:



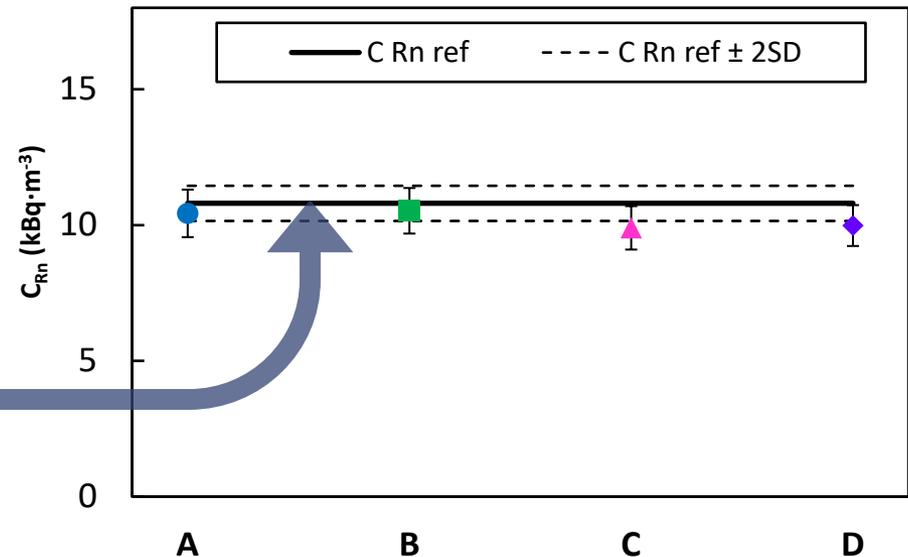
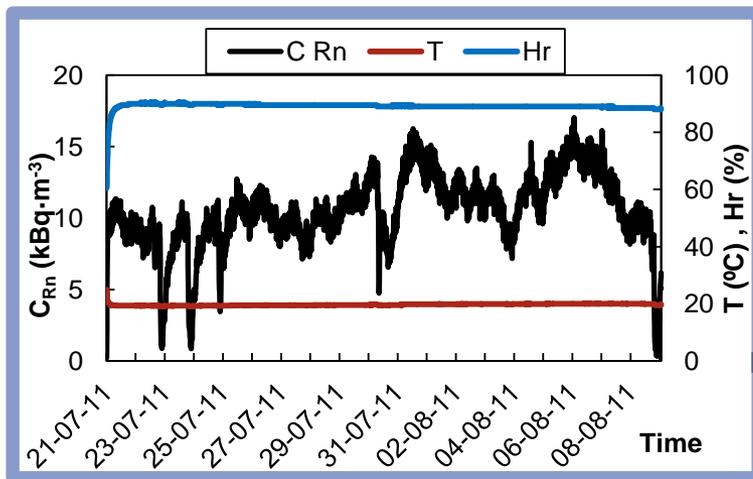
● A ■ B ▲ C ◆ D — C Rn ref C Rn ref ± 2SD

• Los filtros analizados no influyen significativamente en la respuesta de los detectores.

➤ Exposición de 19 días:



- Los efectos de la humedad empiezan a ser observables (en los filtros y las láminas de Mylar) para las configuraciones A y B, pero no se observa una influencia en la respuesta del detector.



- ✓ Proyecto de investigación que muestra el interés de utilizar una cámara de radón como la del INTE.
- ✓ Emplazamientos donde la UAB ha realizado medidas de radón en condiciones ambientales extremas, con un ejemplo detallado de un lugar con alta humedad (laboratorio natural).
- ✓ La experiencia adquirida con la realización de estas medidas permite extraer las siguientes conclusiones:
 - Si queremos medir la concentración de radón de un sitio, previamente hay que conocer sus **condiciones ambientales** (temperatura, humedad, partículas en suspensión, etc.).
 - El detector que se escoja para hacer la medida tiene que ser **poco sensible** a las condiciones ambientales.
 - Si las condiciones son muy extremas debemos **proteger** el detector.

- Una forma habitual de proteger los detectores pasivos es con filtros o membranas de plástico y entonces hay que saber como cambia su **respuesta**.
- Una **calibración** en una cámara de radón permite conocer el factor de corrección sobre la respuesta de la nueva configuración (detector + filtro).
- El **tiempo de exposición** es otro factor a tener en cuenta: hay configuraciones adecuadas para exposiciones cortas que no lo son para exposiciones más largas y viceversa.
- Si el sistema de medida no resiste exposiciones largas se puede reducir el tiempo de exposición y sustituirlo más a menudo.
- Para exposiciones cortas hay que tener en cuenta el **tiempo de retardo** por difusión del radón a través del filtro, ya que éste puede requerir correcciones adicionales sobre la respuesta.

- Cuando la entrada de aire hacia el interior del detector se realiza de forma forzada mediante una bomba (detectores activos), debemos asegurarnos de que el sistema que evita la entrada de humedad y partículas sigue siendo eficaz en las condiciones extremas.
- También es aconsejable proteger la estructura y la electrónica de los detectores activos mediante algún tipo de barrera contra las condiciones que los puedan afectar.

**MUCHAS GRACIAS
POR VUESTRA ATENCIÓN**