



**Radó, conèixer el
problema i prevenir
els seus efectes**

Radó, conèixer el problema i prevenir els seus efectes

© Asepeyo. Mútua Col·laboradora amb la Seguretat Social núm. 151.
Autor: JAVIER ANIES ESCARTIN - Direcció de Prevenció d'Asepeyo
Reservats tots els drets en totes les llengües i països

Índex

1. Informació general	4
1.1 Què és el radó?	
1.2 Com es genera el problema causat per radó?	
1.3 Es troba en tots els sòls?	
1.4 A quins llocs de treball afecta?	
2. Metodologia per a valorar el potencial risc	9
2.1 Com es mesura?	
2.2 Valors límits d'exposició establerts	
3. Estudis del risc i efectes	11
3.1 Exposició a radó en llocs de treball	
3.2 Incidència d'efectes adversos en llocs de treball en els quals hi ha radó	
4. Mesures de control	21
4.1 Codi tècnic de l'edificació.	
5. Bibliografia	24

1. Informació general

1.1 Què és el radó?

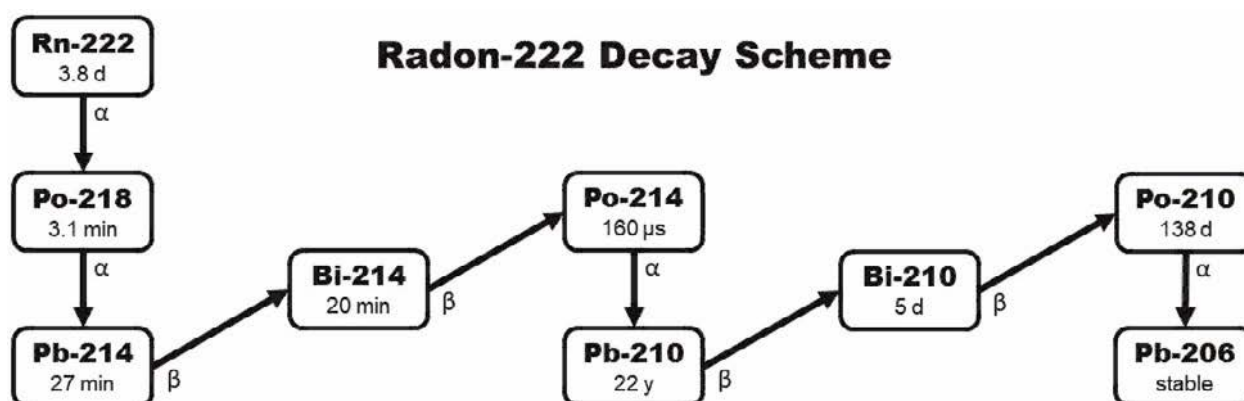
El radó (^{222}Rn) és un gas radioactiu que pot ser present en l'aire que respirem en petites quantitats. Procedeix de la cadena de desintegració de l'urani-238, que s'hi troba, de manera natural, en la composició d'alguns sòls. Determinades activitats laborals (com la mineria subterrània o l'explotació de les aigües termals) poden comportar també un risc significatiu en incorporar aquest gas en respirar.



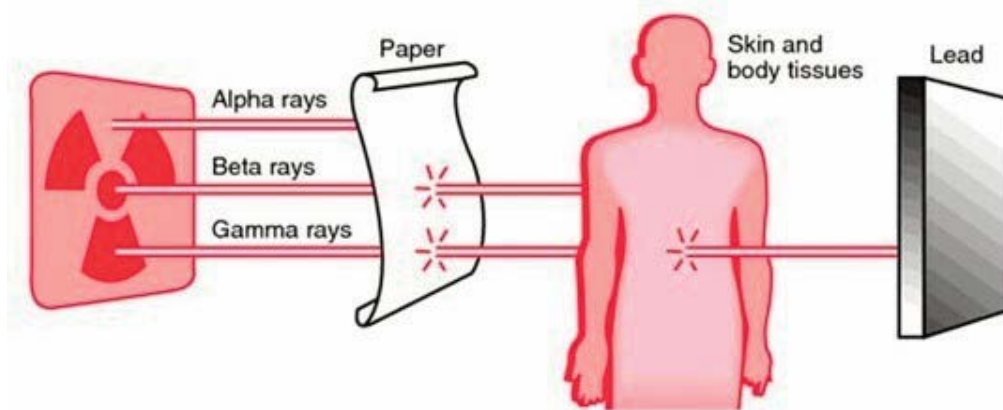
Propietats físiques

El radó (Rn) és incolor, inodor, insípid i molt soluble, tant en aigua com en altres líquids, sobretot orgànics. A més, la seva densitat és bastant major que la de l'aire, per la qual cosa tendeix a concentrar-se en zones baixes².

És un element radioactiu que pertany a la família dels gasos nobles, per això no està relacionat amb reaccions químiques. Malgrat això, té una extrema mobilitat i es pot infiltrar a través dels porus i clivelles de materials com la roca, el plàstic, la fusta o altres materials de construcció. Aquest gas té un temps de vida llarg comparat amb el de residència en els pulmons, de 3,8 dies en l'atmosfera. És a dir, per si mateix, el radó no és una font significativa d'exposició. No obstant això, eixa radioactivitat suposa que es transforma en altres elements, que són els seus descendents en la cadena de desintegració (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi i ^{214}Po), i les vides mitjanes de la qual són inferiors a 30 minuts; és a dir, que al seu torn es desintegren amb una certa rapidesa emetent partícules alfa, que són les radiacions característiques i que causen dany.

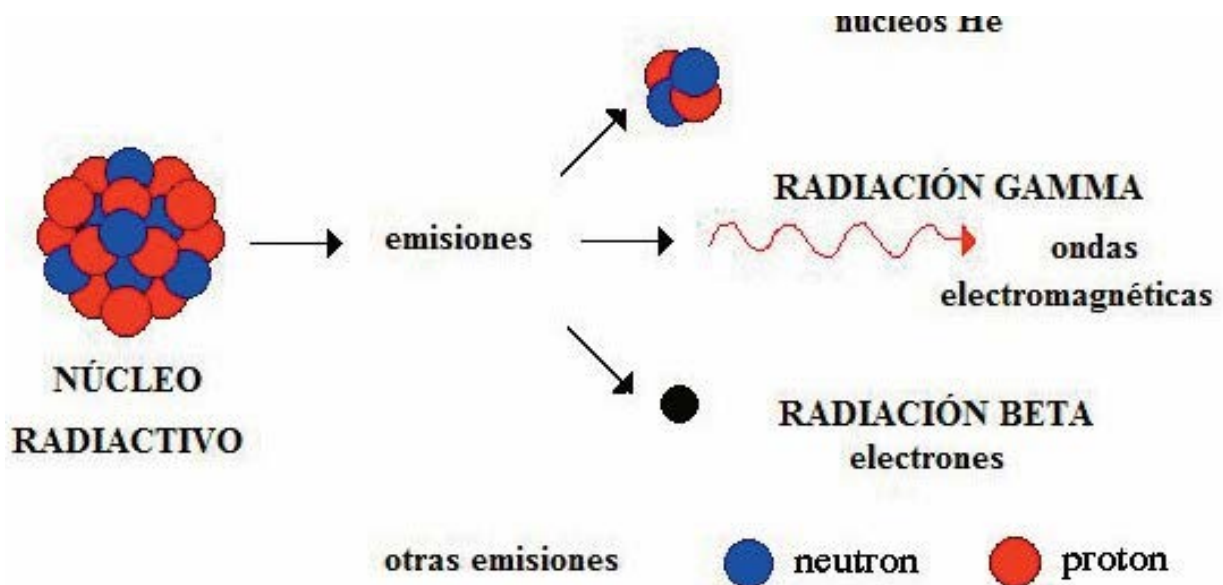


Les radiacions ionitzants són una forma d'energia alliberada en forma d'ones electromagnètiques o partícules. Les radiacions alfa alliberades en el nucli de l'àtom no tenen una gran capacitat de penetració a causa de la seva elevada massa; per això, no poden travessar un full de paper ni tampoc la pell humana. Les partícules beta són molt més lleugeres que les partícules alfa; per això, són més penetrants, però no arriben a travessar la pell humana. En canvi, les emissions gamma són un tipus de radiació electromagnètica capaç de penetrar el teixit humà. Per tant, si dins del cos s'hi generen emissions alfa o beta (pel material radioactiu respirat amb l'aire, que s'ha depositat en el sistema respiratori), aquestes radiaran sobre els nostres òrgans produint efectes adversos.



Desintegració de l'urani.

Aquestes emissions sorgeixen de la desintegració d'un nucli atòmic radioactiu, com és l'urani 238 i els seus descendents, que es converteix en un nucli estable d'altres substàncies més lleugeres per emissió de partícules o per la seva divisió mitjançant un procés de reaccions en cadena. A mesura que una substància radioactiva es va consumint, emet menys radiació perquè va quedant menys quantitat de material radioactiu.



L'urani a partir del qual es genera radó es troba de manera natural en la composició dels sòls i roques en suficient quantitat perquè en pugui emanar ⁴. Quan es desintegra, dona lloc al Th-234, que també es desintegra en un altre element radioactiu, i així successivament fins que s'hi arriba al Ra-226, un mineral sòlid que es desintegra formant el radó (Rn-222). Tots aquests elements en la seva desintegració emeten partícules alfa, beta i radiació gamma⁵. Aquesta cadena de decaïment acaba amb la formació de plom estable⁶.

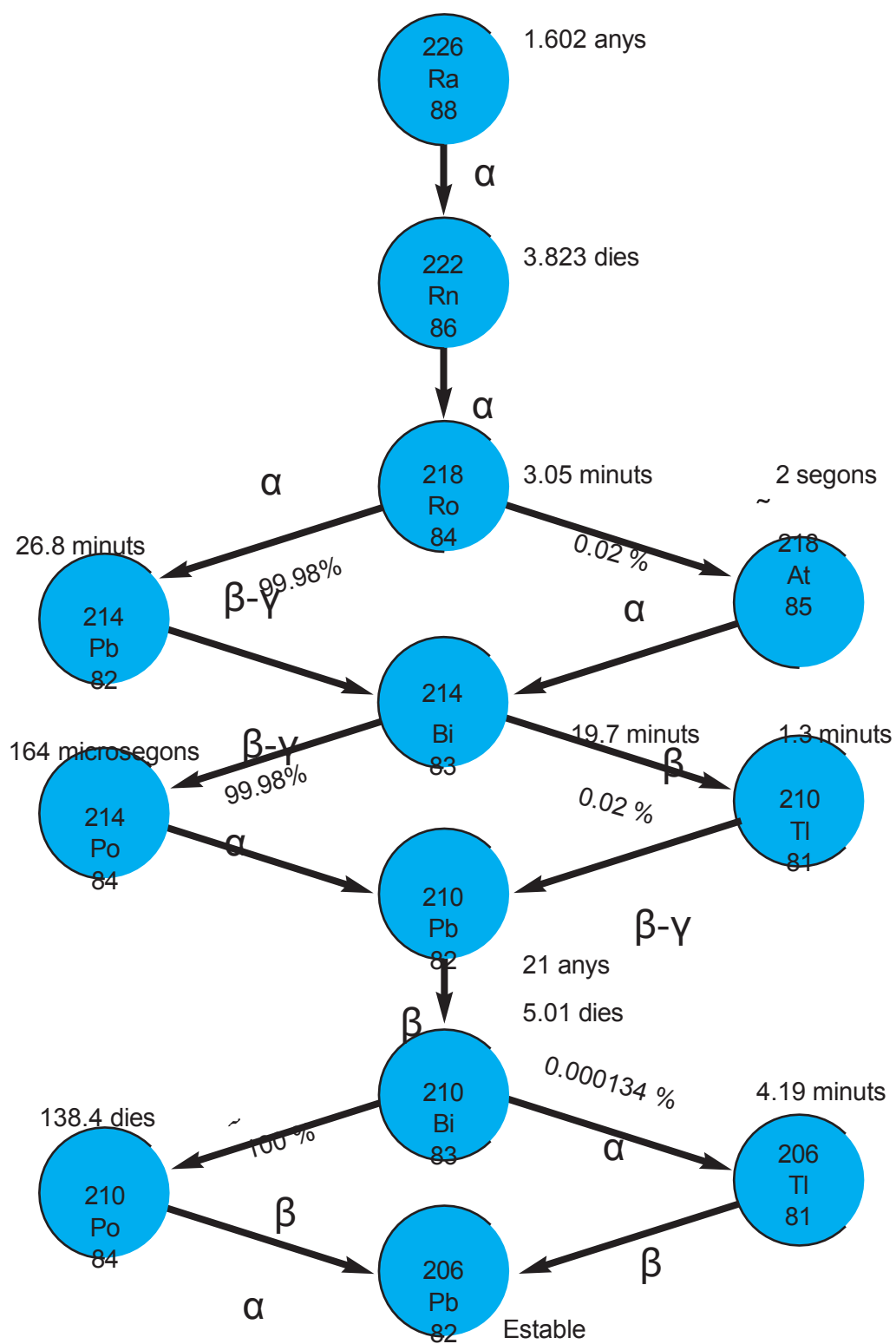


Table 1. Decay properties of radon-222 and short lived progeny

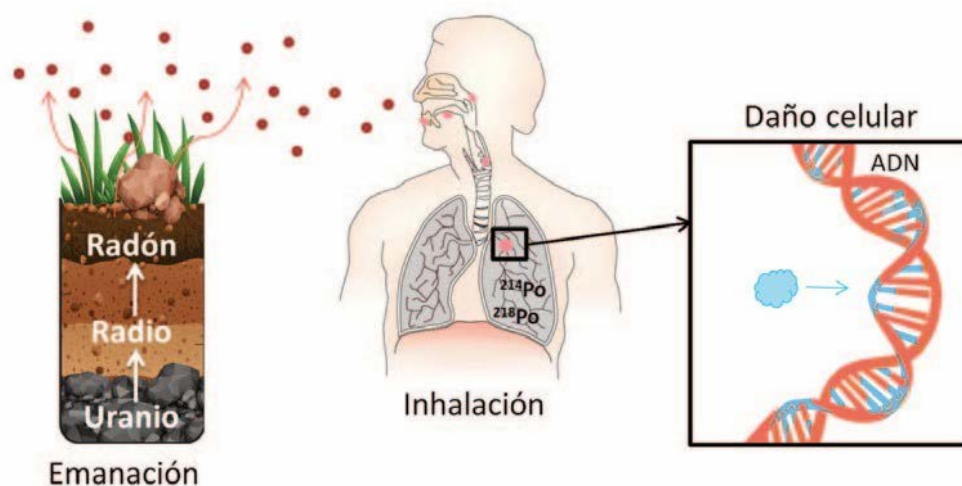
Radionuclide	Half-life	Main radiation energies and yields (y)					
		Alpha		Beta		Gamma	
		Energy (MeV)	y (%)	Energy (max) (MeV)	y (%)	Energy (MeV)	y (%)
^{222}Rn	3.824 days	5.49	100	—	—	—	—
^{218}Po	3.05 min	6.00	100	—	—	—	—
^{214}Pb	26.8 min	—	—	1.02	6	0.35	37
				0.70	42	0.30	19
				0.65	48	0.24	8
^{214}Bi	19.9 min	—	—	3.27	18	0.61	46
				1.54	18	1.77	16
				1.51	18	1.12	15
^{214}Po	164 μs	7.69	100	—	—	—	—

Sources: Browne and Firestone (1986) and ICRP (1983).

https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/anib_23_2

1.2 Com es genera el problema causat per radó?

L'urani es troba de manera natural en la composició dels sòls i roques³. El radó, per ser un gas noble, pot escapar de la matriu de la roca i el sòl en el qual es forma⁴ fins a abastar la superfície, on podrà diluir-se entre els gasos de l'atmosfera, i fins i tot diluir-se en l'aigua⁷. **Quan una persona inhala el radó, la major part es torna a exhalar, una part es desintegra dins dels pulmons en descendents sòlids radioactius que queden atrapats en el sistema respiratori i poden alliberar radiacions ionitzants mentre es desintegren durant un temps continuat.** Aquestes emissions són capaces d'alterar l'ADN dels teixits pulmonars^{7, 9} i, amb el temps, augmenta el risc de càncer de pulmó. Poden passar anys abans que es presenten els problemes de salut.



El radó és considerat cancerigen per l'Organització Mundial de la Salut (OMS), d'acord amb l'Agència Internacional per a la Investigació del Càncer (IARC) (que ho va declarar l'any 1987⁵) i l'Agència de Protecció Ambiental (EPA) dels EUA, que el classifiquen com a cancerigen del grup 1. S'assenyala que el principal efecte advers derivat de la inhalació de radó i, especialment dels seus productes de desintegració, és el risc de contraure càncer de pulmó, i és la segona causa darrere del tabac⁷. Es calcula que el radó podria causar entre el 3 i el 14% de tots els càncers de pulmó en un país, segons el nivell mitjà de radó i la prevalença de tabaquisme en un país. El risc de càncer de pulmó augmenta amb l'augment de l'exposició al radó⁴.

La relació entre la dosi i la resposta és lineal; això significa que com menor sigui la concentració en l'aire de gas radó, menor serà la probabilitat de desenvolupar càncer de pulmó. Els estudis més recents assenyalen que el risc de contraure càncer de pulmó a causa que el radó augmenta en un 16% per cada increment de 100 Bq/m³ en la concentració mitjana de radó a llarg termini⁵.

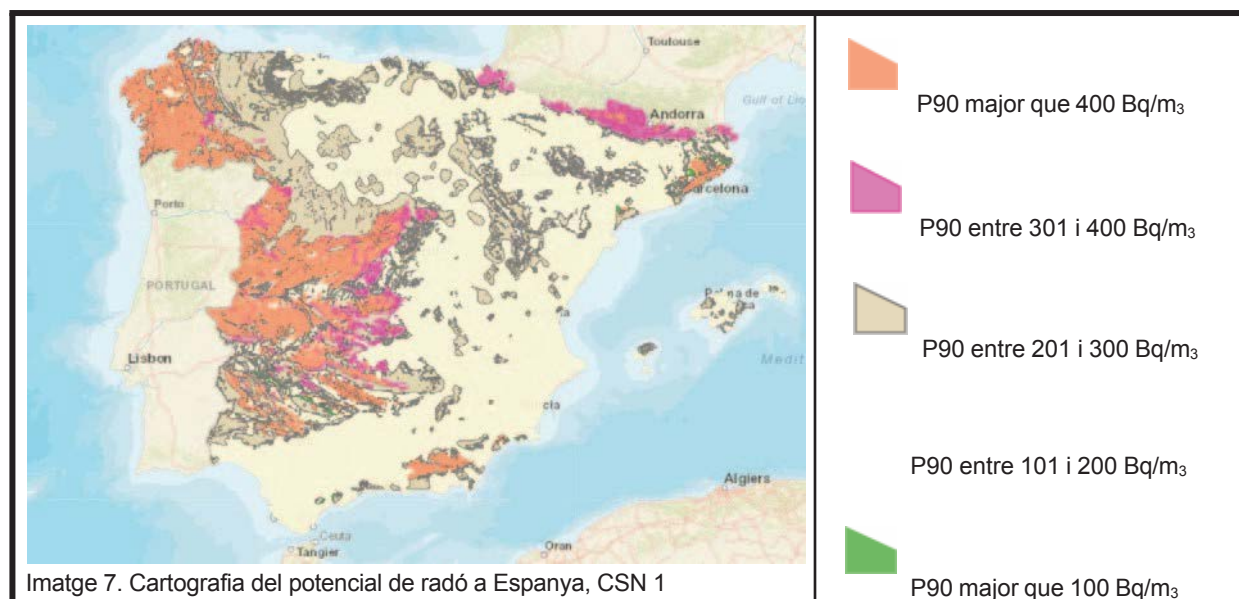
1.3 Es troba en tots els sòls?

Substàncies radioactives es poden trobar de manera natural en sòls terrestres, en major o menor proporció en funció del tipus de roca, encara que és més freqüent en terres de tipus **granític i volcànic**⁵. També es pot trobar en l'aigua subterrània en dissoldre's aquesta substància en aquesta, o en materials de construcció en usar-se matèries primeres amb continguts de radi en el procés de fabricació⁷.

La font principal és el terreny, que segons el contingut d'urani o ràdio que posseeixi la roca, serà potencialment actiu en la generació de radó. El gas radó, després d'haver emanat de les roques, pot dissoldre's en corrents d'aigua subterrànies i transportar-s'hi. Una vegada alliberat en l'aire, pot contribuir a l'increment de la concentració en locals tancats. També, molts materials de construcció estan formats a partir de matèries que presenten continguts, més o menys elevats, de radi ²²⁶Ra, com són les rajoles ceràmiques, els formigons, els morters de construcció, els guixos, els ciments, i addicions com ara les cendres volants. Es calcula que el percentatge de radó causat pels materials emprats en la construcció pot ser de l'orde d'un 20% del total registrat en una habitació⁷.

Tots els edificis contenen radó en concentracions habitualment baixes. No obstant això, existeixen zones geogràfiques en les quals, a causa de la seva geologia, és més probable trobar edificis amb nivells elevats.

La cartografia del potencial de radó a Espanya, desenvolupada pel Consell de Seguretat Nuclear, categoritza les zones del territori estatal en funció dels seus nivells de radó i, en particular, identifica aquelles en les quals un percentatge significatiu dels edificis residencials presenta concentracions superiors a 300 Bq/m³.¹



1.4 A quins llocs de treball afecta?

L'exposició laboral al radó es considera com una exposició a un agent cancerigen en el lloc de treball. Una aportació important a la concentració de radó en interiors, s'hi creu que entre un 20-30%, és la que es produeix pels mateixos materials de la construcció, ja que aquests poden provenir de zones amb terres amb un alt contingut en radó.

Dos grups de treballadors són els més significatius pel risc que el radó suposa en la seva activitat:

- Treballadors de superfície: són els que treballen a l'interior d'edificis o instal·lacions d'empreses situades en zones amb un nivell alt de radó. Caldria incloure dins d'aquest grup als que desenvolupen la seva activitat en la planta baixa o aquella que s'hi troba a nivell del sòl, ja que en principi en altures superiors de l'edifici la concentració de radó corresponent al terreny disminueix.
- Treballadors en àrees subterrànies i/o en contacte amb aigües subterrànies: els que desenvolupen la seva activitat laboral en instal·lacions o recintes davall de la superfície del sòl, i tots els que estan en contacte amb aigües subterrànies.

Més minoritari és el tercer grup de treballadors:

- Altres col·lectius: els que, per la seva activitat laboral, estan en contacte o manipulen isòtops de radó (centres d'investigació, laboratoris d'investigació, etc.).

La llista d'activitats que es poden correspondre amb el segon grup de la classificació anterior, que es considera no exhaustiva, i en les quals pot haver-hi una exposició laboral no menyspreable al gas radó està publicada:

- plantes de tractament d'aigües
- plantes d'explotacions geotèrmiques
- piscifactories amb ús d'aigües subterrànies
- mines en explotació
- coves/mines museu
- extracció de gas natural i petroli
- plantes de producció d'energia a partir de combustibles fòssils (carbó-petroli)
- refineries de petroli
- túnels, estacions i cotxeres subterrànies
- treballs d'excavació
- aparcaments subterranis
- balnearis i establiments termals ⁵

Pràctiques i activitats laborals en les quals hi hagi treballadors per compte d'altri o membres del públic que es troben potencialment exposats a un risc significatiu d'inhalació de radó i dels seus descendents de vida curta. Aquestes són, en concret, les que es desenvolupen en:

- Llocs de treball subterranis, incloent-hi aparcaments públics i privats d'ús públic, metro, mines en explotació, mines-museu, coves turístiques, etc.
- Llocs de treball en els quals s'exploten o tracten aigües d'origen subterrani, com les plantes potabilitzadores d'aigües d'aquest origen o els establiments termals.
- Tots els llocs de treball situats en planta baixa o sobre el sòl, situats en "àrees identificades" (IS-33). Aquestes, a priori, són aquelles la geologia de les quals pugui generar o afavorir el transport a l'interior de llocs tancats de grans quantitats de radó (com ara zones granítiques, zones volcàniques o zones de falles actives).

Els llocs de treball a l'aire lliure queden exclosos d'aquesta relació, ja que no s'espera trobar en aquests valors elevats de concentració de radó. ⁸

2. Metodologia per a valorar el potencial risc

2.1 Com es mesura?

Els equips de mesura de radó poden dividir-se en dos tipus en funció del temps d'exposició necessari per a obtenir-ne mesures fiables.

D'una banda, estan els sistemes de mesura en continu, amb temps d'integració curts, que van d'alguns minuts a diverses hores. Solen utilitzar-se per a determinacions a curt termini, a l'entorn d'hores o pocs dies, encara que també són aptes per a efectuar mesures més llargues, d'alguns mesos. Disposen d'un sistema de lectura directa en pantalla i d'emmagatzematge electrònic.

Per a garantir el seu correcte funcionament, aquests equips han de ser verificats i calibrats periòdicament, així com recull la Guia de Seguretat 11.1 del CSN de directrius sobre la competència dels laboratoris i serveis de mesura de radó en aire.

D'altra banda, s'hi troben els sistemes integradors, que solen usar-se per a mesurar llargs períodes d'exposició, d'alguns dies a diversos mesos. Són sistemes de mesura indirecta, que han de ser sotmesos a un procés de lectura posterior per a obtenir la concentració integrada de radó. Dins d'aquest tipus, els més utilitzats són els detectors de traces nuclears, pel seu baix cost i robustesa.

D'acord amb la Guia de Seguretat 11.4 del CSN, per a obtenir un valor de la mitjana anual de la concentració de radó, ha de realitzar-se a partir de detectors exposats, com a mínim, durant un període de tres mesos.

Els sistemes de mesura en continu no són tan exactes com els sistemes integradors, però són molt efectius per a identificar el risc d'exposició, amb la mesura de la concentració de la zona desitjada en un període de temps curt, per a poder valorar si es tracta de concentracions elevades o baixes, i si és necessari un control més exhaustiu.

2.2 Valors límits d'exposició establerts

La magnitud amb la qual mesurem l'activitat de la radiació produïda per la desintegració del nucli de qualsevol element radioactiu és el Becquerel (Bq), que indica el nombre de desintegracions per segon del nucli atòmic, en aquest cas del radó ¹¹. La unitat de Bq és, per consegüent, inversa al segon. Per a aplicacions relacionades amb la salut humana, aquesta és una quantitat petita¹².

Per al cas de la concentració de l'activitat en un espai tancat, usem el becquerel per metre cúbic (Bq/m³), que expressa el nombre de desintegracions per segon en un metre cúbic d'aire. Aquesta magnitud apareix definint els nivells màxims aconsellables, segons recomanacions normatives, que no han de sobrepassar-se en els espais tancats i habitats amb la finalitat de protegir la salut dels habitants⁹.

El Reial decret 1029/2022, de 20 de desembre, pel qual s'aprova el Reglament sobre protecció de la salut contra els riscos derivats de l'exposició a les radiacions ionitzants, estableix l'obligació d'establir mesures de protecció quan es determinen concentracions mitjanes anuals superiors a 300 Bq/m³. Superar aquest nivell comporta, sempre que sigui raonablement possible (atenent consideracions tècniques i econòmiques), executar mesures amb l'objectiu de reduir les concentracions de radó. Si no pot reduir-se la concentració de radó a nivells inferiors al de referència, s'estableixen altres mesures de protecció radiològica que s'estableixen en el capítol cinquè de la instrucció IS-33, en el sentit de limitar l'exposició i controlar la dosi de radiació que això suposa per a no superar els valors de dosis límit establerts (20 mSv de dosi efectiva anual).



El Reial decret 1029/2022, de 20 de desembre, pel qual s'aprova el Reglament sobre protecció de la salut contra els riscos derivats de l'exposició a les radiacions ionitzants estableix un criteri per a valorar el risc. Aquestes normes bàsiques són dirigides a assenyalar-ne les dosis màximes admissibles que siguin compatibles amb una seguretat adequada, els nivells d'activitat radioactiva màxims admissibles i els principis fonamentals de la vigilància mèdica dels treballadors. Així, l'exposició ocupacional al radó en el lloc de treball quan la concentració d'aquest gas en alguna de les zones d'activitat laboral excedeixi el nivell de referència establert en l'article 72, de 300 Bq/m³. En relació amb la protecció enfront del radó, s'estableix que el Govern impulsarà i aprovarà un Pla Nacional contra el Radó, amb l'objectiu de reduir-ne el risc que l'exposició a llarg termini a aquest gas suposa per a la salut de la població. Addicionalment, i en casos específics, per a exposicions ocupacionals al radó, s'hi valorarà el nivell de dosi anual per a poder assegurar que no se superen valors límit expressats en la magnitud de dosi, que és la referència en protecció radiològica. Atesos els principis de protecció radiològica de referència en el marc legal, una elevada exposició dels treballadors haurà de gestionar-se com una situació d'exposició planificada, però tenint en compte l'excepcionalitat que això representaria si es relaciona amb el risc generat per radó.

3. Estudis del risc i efectes

Quant a l'exposició laboral de radó, hi ha diferents estudis que conclouen que existeix la necessitat de prendre mesures de mitigació. Els estudis analitzats mostren que en la majoria dels llocs de treball la concentració de radó està per sota de 300 Bq/m³ i, per tant, atès l'article 72 del RD 1029/2022, no és necessari intervenir-hi. No obstant això, hi ha casos on se supera aquest valor límit i, com fa referència a l'article 75 d'aquesta disposició, s'hauran de prendre les mesures oportunes per a reduir-ne les concentracions i/o l'exposició al radó. En aquestes situacions s'hi estableix que pot haver-hi una causalitat entre l'aparició d'efectes adversos, com podria ser el càncer de pulmó, i l'exposició a aquest gas. Quan, malgrat les mesures preses, continuï havent-hi concentracions de radó en aire que, en mitjana anual, siguin superiors al nivell de referència de 300 Bq/m³, el titular de l'activitat laboral queda subjecte al compliment de l'article 19 i altres articles d'aplicació per a una adequada protecció radiològica²².

A valors d'exposició baixos no s'hi pot concloure que hi hagi una relació causa-efecte, a causa de l'exposició, laboral o no, a altres agents químics que també podria atribuir-se'n la causa. Però això no significa que baixes concentracions de radó no siguin nocives, perquè la relació entre la dosi i la resposta és lineal. Això significa que, com menor sigui la concentració en l'aire de gas radó, menor serà la probabilitat de desenvolupar càncer de pulmó. Els estudis més recents mostren que el risc de contraure càncer de pulmó a causa del radó augmenta en un 16% per cada increment de 100 Bq/m³ en la concentració mitjana de radó a llarg termini⁵.

La normativa espanyola classifica com a llocs d'especial preocupació per a l'exposició a balnearis i centres de benestar urbans, coves i galeries, mines (distintes de les d'urani, que tenen la seua regulació específica), instal·lacions on s'emmagatzemen o tracten aigües subterrànies, i llocs de treball subterranis o superficials on els nivells de radó han de valorar-se¹⁶.

3.1 Exposició a radó en llocs de treball

Anàlisi de publicacions que s'hi han seleccionat per estar relacionades amb l'àmbit laboral, per l'àmbit geogràfic de l'estudi, i per la rellevància de les dades, entre altres.

El treball en llocs tancats o subterranis implica també un elevat risc d'exposició de radó quan existeixen concentracions elevades d'aquest gas en interiors. En l'àmbit laboral, igual que en el domicili, l'exposició pot estendre's durant tota la jornada laboral i al llarg d'anys, la qual cosa suposa un risc rellevant. Cada activitat laboral té associat un protocol de mesurament específic en funció de les seves característiques particulars.

A Espanya, el risc per a la salut pública que comporta l'exposició a radó interior hi és desconegut per a la majoria, i aquest desconeixement s'accentua encara més sobre el possible efecte del radó en l'àmbit laboral¹³.

1. Exposició de radó en habitatges per comunitat autònoma¹⁴

En aquesta taula s'hi recullen els valors de les concentracions de radó en habitatges per comunitat autònoma corregida i sense corregir per alçada de l'habitatge per a mostrar, tal com es pot veure en la cartografia de l'apartat anterior, les zones amb més risc d'exposició de radó. També s'hi poden tindre en compte com a lloc de treball per a aquelles persones que exerceixen teletreball des de les seves cases.

Comunidad Autónoma	Prevalencias sin corregir (%)			Prevalencias corregidas (%)		
	<100 Bq/m³	101 - 300 Bq/m³	>300 Bq/m³	<100 Bq/m³	101 - 300 Bq/m³	>300 Bq/m³
1 Andalucía	80,48	17,24	2,28	88,19	10,52	1,30
2 Aragón	80,29	17,41	2,31	90,86	8,18	0,96
3 Asturias, Principado de	79,02	18,08	2,89	91,19	7,71	1,10
4 Balears, Illes	80,68	17,19	2,14	88,52	10,30	1,17
5 Canarias	73,46	18,42	8,12	82,43	12,30	5,27
6 Cantabria	77,35	19,00	3,65	89,17	9,23	1,60
7 Castilla y León	76,05	19,21	4,74	85,09	12,05	2,86
8 Castilla-La Mancha	77,84	18,56	3,60	83,42	13,95	2,62
9 Catalunya	75,46	19,67	4,87	88,78	9,17	2,05
10 Comunitat Valenciana	81,46	16,76	1,78	91,72	7,58	0,71
11 Extremadura	71,32	20,69	7,99	77,63	16,26	6,12
12 Galicia	62,14	23,78	14,08	77,08	14,70	8,22
13 Madrid, Comunidad de	78,65	18,12	3,23	92,75	6,26	0,99
14 Murcia, Región de	81,14	16,93	1,93	88,26	10,62	1,12
15 Navarra, CF	80,48	17,31	2,20	91,06	8,05	0,90
16 País Vasco	79,47	17,84	2,69	94,32	5,06	0,62
17 Rioja, La	80,09	17,51	2,40	91,36	7,71	0,92
18 Ceuta	80,51	17,08	2,41	92,05	7,05	0,91
19 Melilla	81,48	16,75	1,77	91,35	7,94	0,71

Taula 1. Prevalença d'exposició a radó interior per comunitat autònoma corregida i sense corregir per alçària de l'habitatge

L'impacte de la correcció per alçària en la població exposada és molt important en algunes comunitats autònomes, la qual cosa es reflectirà en les estimacions de mortalitat atribuïble. On més s'observa aquest impacte és la Comunitat de Madrid, que passa d'un 78% de la població exposada a menys de 100 Bq/m³ a un 92% després d'aplicar la correcció per alçària utilitzada. Galícia, Extremadura i Canàries obtenen més del 5% d'habitatges per damunt dels 300 Bq/m³. Però, en general, la majoria dels habitatges del país es troben en concentracions per davall dels 100 Bq/m³, considerant que hi ha un risc baix d'exposició.

2. Estudi del radó interior en els llocs de treball espanyols¹⁵

En aquest apartat se sintetitzen algunes de les dades rellevants extretes de publicacions científiques que aporten dades i conclusions relacionades amb situacions que puguin ser assimilables a unes altres que es puguin trobar a Espanya. De 248 llocs de treball analitzats, el 27% n'ha demostrat tindre concentracions de radó per damunt dels límits internacionals (OMS, UE), i un percentatge notable situat en àrees amb baix nivell de radó tenia concentracions altes. La concentració mitjana de radó va ser de 123,5 Bq/m³, amb un rang de 16-3.039 Bq/m³. A Galícia, s'hi va obtenir una concentració mitjana de 251 Bq/m³, seguida de Madrid amb 61,5 Bq/m³. El 46% dels llocs de treball a Galícia, en els punts mesurats, tenien concentracions majors de 300 Bq/m³, i el 10,6% a Madrid. El 19% dels treballadors van estar exposats a més de 300 Bq/m³ i el 6,3% a més de 500 Bq/m³. S'ha de valorar que s'ha anat a mesurar en ubicacions en les quals es pot calcular a priori una certa criticitat.

Un estudi realitzat en centres de treball d'Extremadura (aproximadament 150 mesures) va obtenir una mitjana de 130 Bq/m³. Dels llocs de treball, el 31% en tenia mesuraments superiors a 200 Bq/m³ i el 13% tenia concentracions de radó en interiors superiors a 400 Bq/m³. Les concentracions més altes de radó es van observar en balnearis i en una cova turística.

La Taula 2 mostra el nombre de mesures per sector i les concentracions de radó en interiors. S'hi pot observar que el sector salut és el que presenta major concentració de radó, seguit de l'administració pública. Mentre que el sector turístic és el que presenta menors concentracions de radó.

Work sector	Number of radon measurements (%)	Median concentration (Bq/m³)	Radon measurements above 300 Bq/m³, %
Tourist	29 (11.7)	47	6.9
Education	62 (25.0)	109	22.6
Public administration	107 (43.1)	60	23.5
Health	17 (6.9)	176	37.4
Others/private sector	22 (8.9)	129	22.7
Unknown	11 (4.4)	91	0
Total	248 (100.0)	129.5	27.4

Taula 2. Concentració de radó per sector de treball

Table 2

Radon concentration broken down by radon-prone area classification of Spanish Municipalities (based on the Nuclear Safety Council maps).

Radon-prone area	Number of radon measurements (%) ^a	Median concentration (Bq/m ³)	Radon measurements above 300 Bq/m ³ , %
Low	56 (23.0)	80	7.1
Medium	125 (51.2)	210	44.8
High	63 (25.8)	126	9.5
Total	244 (100.0)	129.5	27.4

Taula 3. Concentració de radó classificada pels municipis espanyols (basat en els mapes del Consell de Seguretat Nuclear)

En aquest estudi van concloure-hi que l'exposició a radó podria ser un problema de salut rellevant en els llocs de treball a Espanya a causa de l'elevat nombre de treballadors exposats. La prevalença de treballadors afectats depèn de l'àrea geogràfica.

3. Estudi del radó en llocs de treball a Extremadura¹⁶

Es va realitzar un estudi sobre els nivells de radó en els llocs de treball d'Extremadura. Es van realitzar més de 200 mesuraments en unes 130 empreses i organitzacions de diferents sectors (centres de benestar urbà, balnearis, coves, mines, instal·lacions de gestió d'aigua, aparcaments subterranis, cellers, museus, etc.). Els resultats van indicar la importància de realitzar aquest tipus de mesurament pel fet que l'exposició dels treballadors pot aconseguir valors elevats en alguns casos.

Les lleis espanyoles classifiquen com a llocs d'especial preocupació per a l'exposició balnearis i centres de benestar urbans, coves i galeries, mines (distintes de les d'urani, que tenen la seva regulació específica), instal·lacions on s'emmagatzemen o tracten aigües subterrànies, i llocs de treball subterranis o superficials on els nivells de radó han de valorar-se.

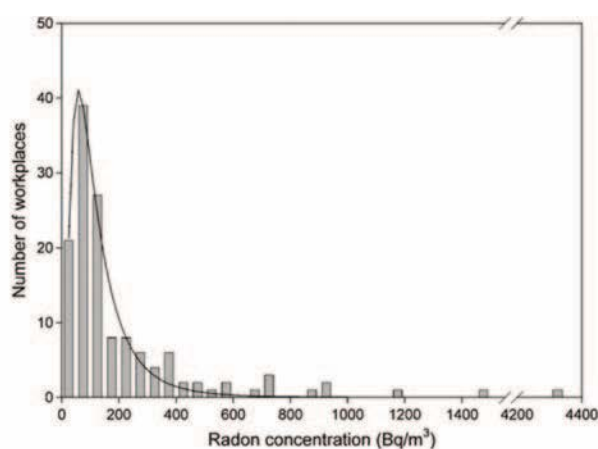


Fig. 1. Distribució del nombre de llocs de treball mesurats en les diferents empreses.

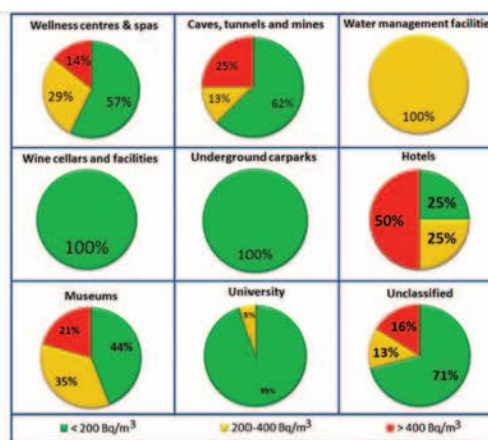


Fig. 2. Distribució per sectors dels resultats de les enquestes obtingudes mitjançant detectors de petjades.

La Fig. 1 mostra els valors mesurats que van variar en un ampli rang. El valor màxim va ser d'aproximadament 40 kBq/m³, que es va mesurar en una cova turística. En general, el 69% dels llocs de treball presentaven concentracions de radó inferiors a 200 Bq/m³, el 18% tenien concentracions de radó entre 200 i 400 Bq/m³ i l'altre 13% tenien valors superiors a 400 Bq/m³.

La Fig. 2 mostra els resultats del detector de rastres classificats per sector. S'observa en la figura que les distribucions difereixen àmpliament entre sectors. Encara que, en general, s'imposen les concentracions per davall de 200 Bq/m³. El sector hotelier presenta el major percentatge de concentracions superiors a 400 Bq/m³, considerant això un risc d'exposició a radó elevat. Quasi tots els sectors tenen un percentatge no menyspreable de concentracions al voltant del valor límit.

Sector	Rang de concentracions (Bq/m ³)	Concentració mitjana (Bq/m ³)
Centres de benestar	41 - 124	83
Balnearis	48 - 905	301
Museus subterranis	507 - 4337	< 200 (en la 2a planta)
Cellers	28 - 136	68

Taula 4. Concentracions de radó per sectors a Extremadura

Els balnearis i els centres de benestar urbans es van considerar junts en l'estudi perquè estan en la mateixa categoria en les normes legislatives, però presenten distribucions de concentracions de radó molt diferents. En els balnearis, el 60% dels valors hi van ser superiors a 200 Bq/m³, i foren el 20% superiors a 400 Bq/m³. Els majors valors es van mesurar en dos balnearis (905 i 696 Bq/m³).

En un museu s'hi va arribar a mesurar una concentració de radó de 4337 Bq/m³. Aquest valor es va obtenir per a una sala semi subterrània utilitzada com a sala d'exposicions (probablement havia estat una antiga masmorra), mentre que el nivell mesurat del segon pis, on habitualment treballen els seus empleats, va ser inferior a 200 Bq/m³.

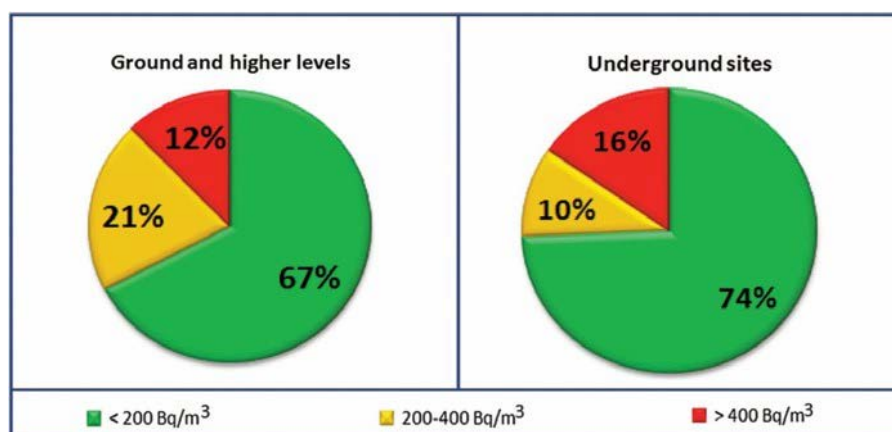


Fig. 3. Resultats de les concentracions mesurades entre els llocs de treball de superfície i subterranis

Els resultats entre els llocs de superfície i els subterranis (Fig. 3) no mostren una gran diferència com la que es podria esperar, atès que el radó es troba, principalment, en el sòl i, per això, els llocs subterranis es considerarien naturalment més propensos a altes concentracions de radó.

Una de les característiques més destacades dels resultats de l'estudi va ser la forta dependència trobada de les altes concentracions de radó en la situació geogràfica del lloc. Una de les principals causes de les altes concentracions de radó són les característiques del sòl sobre el qual s'han construït els edificis.

En general, les concentracions més altes de radó mesurades a l'interior dels llocs de treball estan directament relacionades amb aquelles àrees que presenten els valors més alts de radiació gamma natural.

4. Anàlisi dels principals factors que incideixen en l'avaluació de la dosi de radó en els llocs de treball: El cas de les coves turístiques¹⁷

Les coves turístiques representen un cas de lloc de treball amb condicions ambientals particulars, que poden veure's afectades per altes concentracions de radó. Hi ha casos en què s'ha de tindre molta cura per a prendre accions correctives respecte al radó, ja que en algunes circumstàncies la ventilació forçada pot alterar la humitat dins de la cova afectant algunes de les formacions o pintures que atrauen els turistes. Els guies turístics poden treballar unes 1900 h a l'any, segons s'indica en alguna publicació. Així, l'única opció per a protegir-los a ells i a altres treballadors de les coves de l'exposició al radó és aplicar un sistema adequat de protecció radiològica basat, principalment, en la limitació de l'exposició restringint la quantitat de temps que passen en la cova. En aquest treball s'hi presenten els resultats dels dos primers programes de mesures de radó duts a terme en 10 coves situades a la regió de Cantàbria (Espanya).

Summary parameters	Dwellings	Workplaces
N	1541	1159
Min (Bq m ⁻³)	4	4
First quartile (Bq m ⁻³)	19	21
Median (Bq m ⁻³)	32	43
Third quartile (Bq m ⁻³)	65	102
90th percentile (Bq m ⁻³)	137	260
Max (Bq m ⁻³)	4828	9417

Taula 5. Distribució de dades per a habitatges i llocs de treball

La concentració màxima mesurada en llocs de treball és el doble que en els habitatges de Cantàbria, encara que en tots dos casos es tracta d'un elevat risc d'exposició de radó, perquè està molt per damunt del valor límit de 300 Bq/m³. No obstant això, portat a una concentració mitjana en diferents ubicacions, tant considerant els habitatges com dels llocs de treball, es calcula que són inferiors a 100 Bq/m³ i, per tant, no es considera un gran risc d'exposició.

5. Determinació i dinàmica dels nivells d'exposició al radó a Tenerife¹⁸

A les illes Canàries s'hi pot trobar un ampli espectre de roques volcàniques, des de basalts a riolites, passant per traquites i fonolites, cosa que significa que existeixen roques amb continguts significatius d'urani. El Consell de Seguretat Nuclear, en la seva Guia de Seguretat 11.04, indica que existeixen zones del país on la població es troba potencialment exposada a un risc significatiu d'inhalació de radó i dels seus descendents de vida curta¹⁹.

Aquest treball es va plantejar centrat en el projecte de mesurar radó en els diferents instituts de Tenerife. El projecte disposa de 18 centres repartits per tota l'illa, encara que no de manera equitativa. S'han aconseguit mostres en diversos punts, sobretot en la zona més al nord i densament poblada i en el sud de l'illa. Cal tindre en compte que en el centre de l'illa no s'hi disposa de ciutats o pobles amb centres educatius, de manera que no s'han pres mostres en aquesta àrea.

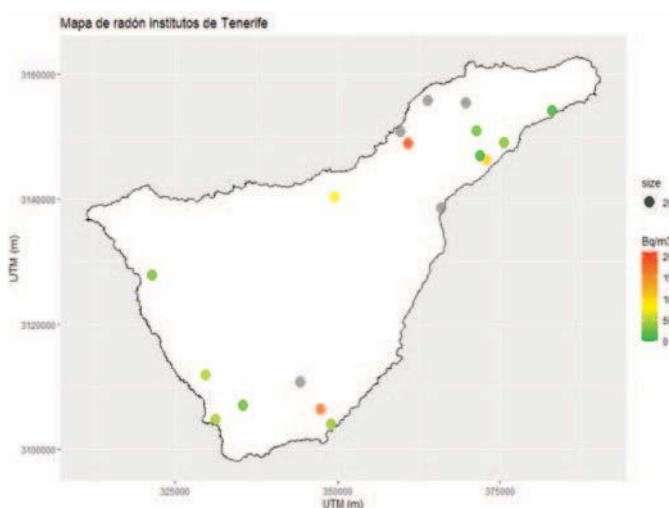


Fig. 4. Mapa de Tenerife on els punts en color indiquen la concentració mitjana en els centres amb dades. En els punts grisos no s'hi van obtenir dades.

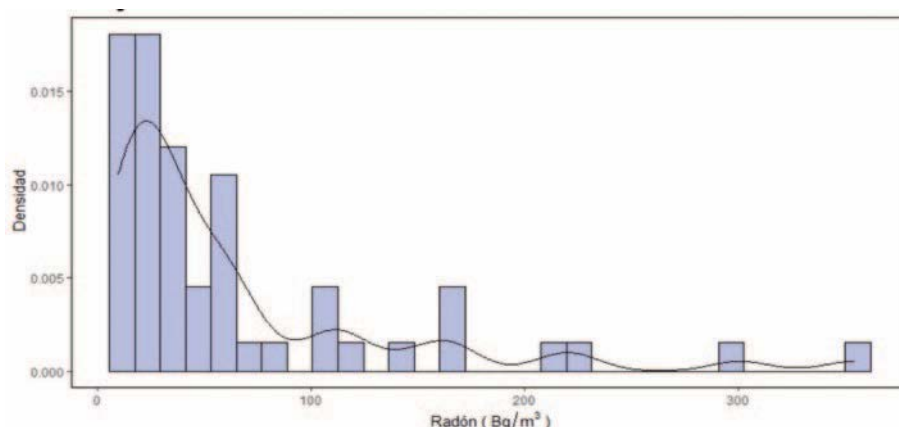


Fig. 5. Histograma dels valors de radó obtinguts en els centres

En l'histograma es mostra com la majoria dels detectors han donat valors inferiors a 50 Bq/m³. No obstant això, hi ha valors que destaquen bastant allunyant-se d'allò més probable amb valors molt més alts als 100 Bq/m³. En la majoria dels centres s'hi troben valors molt pròxims al límit de detecció (10- 15 Bq/m³), possiblement pel fet que els detectors han estat prop de corrents d'aire i, per tant, impedingen que el radó s'acumuli en l'àrea i es detectés.

Centro	Concentració mitjana de radón (Bq/m ³)	Dosis mitjana anual (mSv/año)
Adeje	51	0,225
Los Cristianos (Adeje)	47	0,207
Manuel Gonzales (La Orotava)	85,6	0,377
El Medáno (Granadilla de Abona)	42,4	0,187
Sabino Berthelot (El sauzal)	202,2	0,892
San Matías (Santa Cruz de Tenerife)	104,25	0,460
Luis Diego Cuscoy (Arona)	23,5	0,103
Magallanes (Granadilla de Abona)	177	0,781
Los Gladiolos (Santa Cruz de Tenerife)	34,75	0,153
La Laboral (San Cristóbal de La Laguna)	25,67	0,113
Tamaimo (Santiago del Teide)	28	0,123
San Andrés (Santa Cruz de Tenerife)	11,6	0,051
Las Veredillas (Santa Cruz de Tenerife)	12	0,052

Taula 6. Valors de concentracions i dosis mitjanes per a cada centre

Els resultats obtinguts mostren que tots els instituts estan en un rang de valors mitjans de concentració entre 12 i 202 Bq/m³, no superant el límit legal de 300 Bq/m³ i considerant que la majoria dels centres posseeixen un baix risc d'exposició, tenint en compte el que s'estableix en la legislació europea i espanyola. Les diferències obtingudes entre diferents centres poden vindre determinades per les característiques geològiques de l'entorn, mètodes de construcció dels edificis i materials utilitzats, antiguitat de l'edificació i desperfectes estructurals i potser, com a dada més rellevant enguany, per diferents criteris de ventilació emprats per cadascun dels centres.

Country	Type of Study	Average (AM) Radon Level Bq/m ³	Average (GM) Radon Level Bq/m ³
Finland (this study)	Daycare centers and schools	82 (Schools), 86 (Daycare centers)	42 (Schools), 39 (Daycare centers)
Portugal (Porto and Bragança district) [7]	Nurseries, primary, and preschools	62 (Porto), 193 (Bragança)	47 (Porto), 147 (Bragança)
Turkey [8]	Primary schools	49	42
Serbia [9]	Primary schools	119	-
Bulgaria [10]	Kindergartens	132	101
Republic of Macedonia [11]	Schools	88	76
Czech Republic [12]	Schools	204 (reconstruction), 149 (non-reconstruction)	-
Hungary, Poland and Slovakia [13]	Kindergartens	233 (Hungary), 90 (Poland), 317 (Slovakia)	231 (Hungary), 78 (Poland), 214 (Slovakia)
Russia [14]	Kindergartens	59	42
South Italy [15]	Schools	215	-
Italy [16]	Schools	-	92 (median only reported)
Korea [17]	Schools	97 (spring semester), 158 (autumn semester)	-
Bosnia and Herzegovina [18]	Schools	128	99
Kosovo [19]	Schools	198	-
Saudi Arabia (Riyadh) [20]	Schools	17	17
Serbia (Kragujevac city) [21]	Schools and kindergartens	60	-
Sudan [22]	Schools	59	-
Switzerland [23]	Schools	158	-
Portugal [24]	Schools	197	197

Taula 7. Resum dels principals resultats d'estudis realitzats en escoles o guarderies respecte als mesuraments de radó en interiors.

AM = Mitjana aritmètica, GM = Mitjana geomètrica

3.2 Incidència d'efectes adversos en llocs de treball en els quals hi ha radó

En aquest apartat s'hi exposen els resultats de diferents estudis que aborden els efectes adversos del radó, i que se centren en situacions compatibles amb les de la població laboral espanyola.

Les estimacions de les conseqüències per a la salut de l'exposició a la radiació ionitzant es basen millor en estudis epidemiològics de poblacions humanes. En el context de la radiació, l'epidemiologia s'ocupa de l'establiment d'associacions estadístiques entre exposicions i efectes sobre la salut. Aquests estudis han establert que la radiació és un agent causant de càncer en molts òrgans i teixits del cos, inclòs el pulmó. L'establiment d'una associació quantitativa és més difícil.

L'evidència epidemiològica de la inducció de càncer de pulmó després de la inhalació de radó prové de diversos estudis de controls de miners subterranis, particularment miners d'urani. Aquests estudis epidemiològics han demostrat una correlació entre l'exposició a la radiació i l'augment de casos de càncer de pulmó. Molts d'aquests són consistents amb una relació proporcional (lineal, sense llindar) entre l'excés de risc i l'exposició acumulada. Alguns, no obstant això, mostren evidència d'un major excés de risc relatiu per unitat d'exposició en exposicions baixes en comparació amb el valor mitjà per a tot el grup exposat. La relació exposició-risc també pot veure's distorsionada per la presència d'altres carcinògens, com l'arsènic²⁰.

1. Mortalitat per càncer de pulmó a Espanya i prevalença d'exposició a radó per comunitats autònomes¹⁴

A Espanya, el 5,1% de les defuncions que s'hi van produir en el 2017 es van classificar com a càncer de tràquea, pulmó i bronquis. La majoria d'aquestes van succeir en població de 35 anys o més i van ocórrer més defuncions d'homes que de dones.

	Comunidad Autónoma	Total	Hombres		Mujeres	
			Nº	%	Nº	%
1	Andalucía	3.582	2.939	82,0	643	18,0
2	Aragón	774	625	80,7	149	19,3
3	Asturias, Principado de	706	531	75,2	175	24,8
4	Balears, Illes	529	396	74,9	133	25,1
5	Canarias	907	667	73,5	240	26,5
6	Cantabria	355	266	74,9	89	25,1
7	Castilla y León	1.330	1.048	78,8	282	21,2
8	Castilla-La Mancha	1.004	842	83,9	162	16,1
9	Cataluña	3.366	2.585	76,8	781	23,2
10	Comunitat Valenciana	2.464	1.932	78,4	532	21,6
11	Extremadura	636	544	85,5	92	14,5
12	Galícia	1.561	1.224	78,4	337	21,6
13	Madrid, Comunidad de	2.555	1.864	73,0	691	27,0
14	Murcia, Región de	580	466	80,3	114	19,7
15	Navarra, Comunidad Foral de	314	249	79,3	65	20,7
16	País Vasco	1.214	906	74,6	308	25,4
17	Rioja, La	123	96	78,0	27	22,0
18	Ceuta	30	26	86,7	4	13,3
19	Melilla	33	28	84,8	5	15,2
	ESPAÑA	22.063	17.234	78,1	4.829	21,9

Taula 8. Mortalitat per càncer de tràquea, pulmó i bronquis a Espanya en 2017 per comunitats autònomes i sexe.
Població de 35 anys i més

Comunidad Autónoma	FAP(%)	Hombres						Mujeres				
		MA	MA - NF	MA - ExF	MA - F	Tasax10 ⁵		MA	MA - NF	MA - ExF	MA - F	Tasax10 ⁵
1	Andalucía	6,1	178	7	76	95	7,21	39	12	7	20	1,47
2	Aragón	6,1	38	2	19	18	9,11	9	3	2	4	2,04
3	Asturias, Principado de	6,5	34	2	15	17	9,99	11	4	3	5	2,87
4	Balears, Illes	6,0	24	1	10	13	6,77	8	2	2	4	2,22
5	Canarias	8,0	54	2	23	29	8,02	19	5	4	11	2,79
6	Cantabria	7,0	18	1	9	8	9,88	6	2	1	3	3,00
7	Castilla y León	7,3	77	3	40	34	9,43	21	8	4	9	2,39
8	Castilla-La Mancha	6,8	57	3	26	28	9,15	11	5	1	5	1,72
9	Cataluña	7,5	194	8	91	94	8,62	58	21	15	23	2,38
10	Comunitat Valenciana	5,8	111	5	44	62	7,31	31	9	6	16	1,88
11	Extremadura	8,6	47	1	21	24	14,13	8	3	1	3	2,27
12	Galícia	11,1	136	8	63	65	15,32	37	15	8	15	3,75
13	Madrid, Comunidad de	6,6	123	5	62	56	6,48	45	9	11	25	2,09
14	Murcia, Región de	5,9	27	1	11	15	6,35	7	3	1	3	1,51
15	Navarra, Comunidad Foral de	6,1	15	1	6	8	7,59	4	1	1	2	1,88
16	País Vasco	6,3	58	3	28	27	8,33	20	5	4	11	2,54
17	Rioja, La	6,2	6	0	3	3	5,97	2	1	0	1	1,59

NF: nunca fumadores; ExF: exfumadores; F: fumadores.

Taula 9. Fraccions atribuïdes poblacionals (FAP) en percentatge, mortalitat atribuïda (DT.) a radó per càncer de pulmó per a cada comunitat autònoma i sexe l'any 2017, en global i en funció del consum de tabac, en població ≥ 35 anys i taxa de mortalitat atribuïda per 100.000 habitants. Dades sense corregir per alçària de l'habitatge

Sense corregir per l'alçària de l'habitatge, en 2017 s'hi van atribuir el 6,9% de totes les defuncions per càncer de pulmó. Cal tindre en compte que la fracció atribuïble poblacional a radó per sexe és la mateixa, ja que no hi ha diferències en la prevalença d'exposició ni en el risc de mort entre homes i dones. Per comunitats autònomes, Galícia és la que presenta un major percentatge de defuncions, seguida d'Extremadura i Canàries. Galícia i Canàries són les que presenten majors taxes de mortalitat per exposició a radó en homes. Cal destacar-hi que el gruix de la mortalitat atribuïda a radó residencial ocorre entre persones fumadores i exfumadores (95,6% en els homes i el 68,8% en les dones).

Comunidad Autónoma	FAP(%)	Hombres						Mujeres					
		MA	MA - NF	MA - ExF	MA - F	Tasax10 ⁵		MA	MA - NF	MA - ExF	MA - F	Tasax10 ⁵	
1 Andalucía	3,8	110	4	47	59	4,47		24	7	5	12	0,91	
2 Aragón	2,9	18	1	9	9	4,37		4	1	1	2	0,98	
3 Asturias, Principado de	2,8	15	1	7	8	4,36		5	2	1	2	1,25	
4 Balears, Illes	3,7	14	1	6	8	4,12		5	1	1	2	1,35	
5 Canarias	5,5	36	1	15	20	5,46		13	3	3	7	1,90	
6 Cantabria	3,4	9	0	5	4	4,90		3	1	0	2	1,49	
7 Castilla y León	4,7	49	2	25	22	6,04		13	5	2	6	1,53	
8 Castilla-La Mancha	5,2	44	2	20	21	6,96		8	3	1	4	1,31	
9 Catalunya	3,6	92	4	43	45	4,11		28	10	7	11	1,14	
10 Comunitat Valenciana	2,7	51	2	21	29	3,38		14	4	3	7	0,87	
11 Extremadura	6,9	37	1	17	19	11,24		6	3	1	3	1,80	
12 Galicia	7,0	86	5	40	41	9,70		24	9	5	9	2,37	
13 Madrid, Comunidad de	2,3	44	2	22	20	2,30		16	3	4	9	0,74	
14 Murcia, Región de	3,7	17	1	7	9	4,04		4	2	0	2	0,96	
15 Navarra, Comunidad Foral de	2,9	7	0	3	4	3,60		2	0	0	1	0,89	
16 País Vasco	1,8	17	1	8	8	2,42		6	1	1	3	0,74	
17 Rioja, La	2,8	3	0	1	1	2,68		1	0	0	0	0,71	

NF: nunca fumadores; ExF: exfumadores; F: fumadores.

Taula 10. Fraccions atribuïdes poblacionals (FAP) en percentatge, mortalitat atribuïda (DT.) a radó per càncer de pulmó per a cada comunitat autònoma i sexe l'any 2017, en global i en funció del consum de tabac, en població ≥ 35 anys i taxa de mortalitat atribuïda per 100.000 habitants. Dades corregides per l'alçària de l'habitatge

Després de corregir per l'alçària de l'habitatge, a Espanya, en 2017 s'hi van atribuir a l'exposició a radó 838 morts (3,8% del total). En homes, la comunitat autònoma amb la taxa de mortalitat més alta és Extremadura (11,24 casos per 100.000 habitants), seguida de Galícia, i la més baixa és la Comunitat de Madrid (2,30 casos per 100.000 habitants). En dones, la comunitat autònoma amb la taxa més alta és Galícia (2,37 casos per 100.000 habitants) i la més baixa La Rioja (0,7 casos per 100.000 habitants). Les FAP varien entre el 7,0% i l'1,8% (Galícia i País Basc, respectivament) (Taula 10). De nou, s'hi pot observar que la major part de la mortalitat atribuïble ocorre en fumadors i exfumadors, tant en homes com en dones (95,5% i 74,2% del total, respectivament). La mortalitat atribuïble a Ceuta i Melilla per càncer de pulmó a causa de l'exposició a radó residencial va ser d'una persona en cada ciutat autònoma (sumant-hi homes i dones).

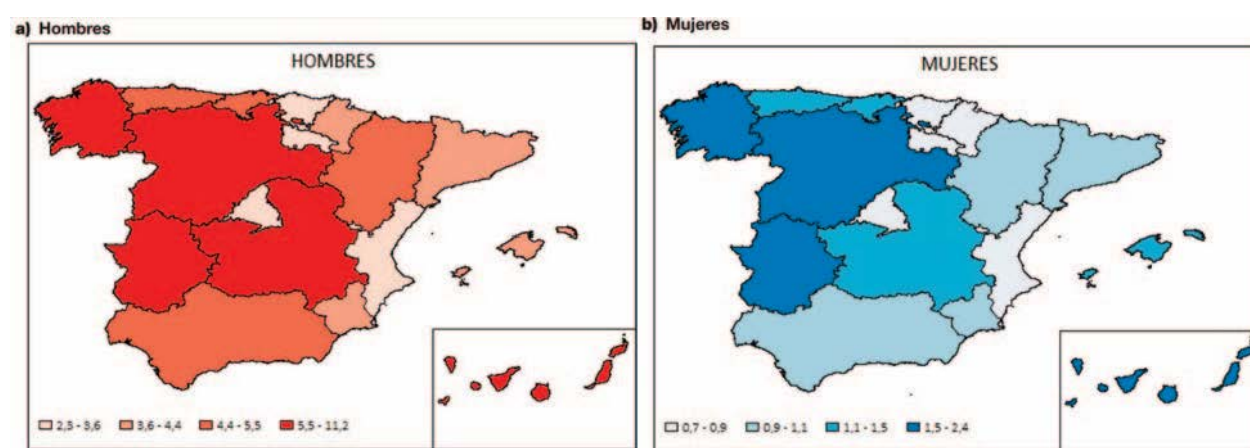


Fig. 6. Mapa per quartils de la taxa de mortalitat per càncer de pulmó atribuïda a radó en homes (a) i en dones (b). Taxes per cada 100.000 habitants

A partir de l'anàlisi de dades de prevalença d'exposició a radó, la mortalitat atribuïble té un patró espacial clar i s'observa com a Andalusia (especialment en dones) i en l'àrea mediterrània la càrrega de DT. per radó és més baixa. En les dues Castelles, Galícia, Extremadura i Illes Canàries la càrrega és alta (Figura 6). S'hi observa aquest mateix patró geogràfic tant per a homes com per a dones.

2. Relació entre exposició a radó i càncer de pulmó²¹

Els següents estudis analitzen la incidència i/o mortalitat de càncer pulmonar en treballadors de mines d'urani exposats a radó i la seva progènie. En aquests estudis usen com a unitat d'anàlisi un *working level month* (WLM), que es defineix com l'exposició acumulativa en respirar una atmosfera en una concentració d'un nivell de treball per un mes de treball de 170 hores. Mentre que la dosi del radó s'expressa en milisieverts (mSv), la qual cosa expressa la radiació absorbida per un teixit.

En el primer cas hi realitzen un dels estudis dels treballadors de mines d'urani de la companyia Wismut a Alemanya, contractats des de 1948 fins a 1989 i seguits en períodes de 5 anys fins a l'actualitat, en què s'ha trobat un augment significatiu de càncer de pulmó^a.

En el següent, hi duen a terme un estudi conjunt de casos i controls realitzats en 3 països europeus (França, República Txeca i Alemanya), de treballadors de mines d'urani en el qual troben una incidència observada més alta a l'esperada. Aquest estudi també va analitzar-ne el risc en poblacions exposades a dosis baixes (50 WLM i 300 WLM), en què s'ha trobat una associació significativa també amb aquests nivells^b.

Rachel S. D. realitzen un estudi de treballadors de mines d'urani a Eldorado, el Canadà, comparant la mortalitat entre la població general i minera. Aquests autors van trobar-hi una incidència set vegades major de càncer pulmonar en els miners que en la població general^c.

B. Vacquier van realitzar un estudi a França, en el 2007, on van trobar que en morts només per càncer pulmonar, tots van estar exposats al radó i els seus derivats^e.

Autor	Año	Diseño	Lugar	Periodo de seguimiento	Muestra	Medida de asociación	IC 95%
L. Walsh*	2014	COHORTE	ALEMANIA	1946-2008	59000	EER/WLM 0.19	0.16-0.22
Tomasek, L.	2012	COHORTE	REP CHECA	1948-2010	9978	EER/WLM 0.0097	0.0074-0.0127
Rachel S. D.	2010	COHORTE	CANADÁ	1932-1999	17660	EER/WLM 0.55	0.37-0.78
Kreuzer, M.	2010	COHORTE	ALEMANIA	1946-2003	58987	EER/WLM 0.19	0.17-0.22
B. Vacquier	2007	COHORTE	FRANCIA	1946-1999	5086	EER/WLM 0.71	0.29-1.35

Taula 11. Incidència de càncer de pulmó en exposats a radó. ERR = excés de risc relatiu

Autor	Año	Diseño	Lugar	Periodo de seguimiento	Muestra	Medida de asociación	IC 95%
L. Walsh*	2014	COHORTE	ALEMANIA	1946-2008	59000	SMR 2.03	1.96-2.10
Tomasek, L.	2012	COHORTE	REP CHECA	1948-2010	9978	SMR 3.47	
M. Coggiola	2011	COHORTE	ITALIA	1946-1995	1795	SMR 106.7	73.4 -149.9
Rachel S. D.	2010	COHORTE	CANADÁ	1932-1999	17660	SMR 1,31	1.21-1.42
Taeger, D	2008	COHORTE	ALEMANIA	1957-1990	8066	SMR 2.86	2.72-3.01
Boice, Jr	2008	COHORTE	NEW MÉXICO	1955-2005	5660	SMR 1.65	1.36-1.97
B. Vacquier	2007	COHORTE	FRANCIA	1946-1999	5086	SMR 1.43	1.22-3.09

Taula 12. Mortalitat en exposats a radó per càncer de pulmó.
SMR: raó de mortalitat estandarditzada

3. Relació entre exposició a radó i càncer extra-pulmonar

Kulich, mitjançant l'estudi d'una cohort de 22.816 treballadors de mines d'urani, descriu l'aparició de diferents tipus de càncers, i hi va trobar una incidència general, amb un lleuger augment, encara que no significatiu, de melanoma maligne i de càncer de vesícula biliar^f.

Zablotska van mesurar la incidència de leucèmia, limfoma i mieloma múltiple mitjançant un estudi de cohort de 16.770 miners d'urani, al Canadà, i hi va trobar una mortalitat significativament major per a la leucèmia que en les altres. No obstant això, el mieloma múltiple hi va mostrar major incidència. Aquest estudi va demostrar una incidència de càncer hematològic menor a la de la població general canadenca^g.

Kreuzer, en una cohort realitzada sobre la base de l'estudi Wismut, seguits des de 1960 fins a 2003, van trobar-hi 24 tipus diferents de càncers no pulmonars, entre els quals destacava la incidència de neoplàsies digestives i hepàtiques. La incidència global de neoplàsies va ser significativament major respecte a la població general^h.

Autor	Año	Diseño	Lugar	Periodo de seguimiento	Muestra	Tipo de cancer	Medida de asociación	IC 95%
Zablotska	2014	COHORTE	CANADÁ	1969-1999	16770	LEUCEMIA	RIS 0.79	(0.59- 1.03)
						LINFOMA HODGKIN	RIS 0.93	(0.51- 1.57)
						LNH	RIS 0.89	(0.70-1.11)
						MIELOMA MÚLTIPLE	RIS 0.65	(0.40- 1.01)
Kulich M	2011	COHORTE ANIDADA	REP CHECA	1977-1996	22816	EXTRAPULMONAR	RR 0.88	(0,73 -1,04)
						GÁSTRICO	RR 0.87	(0,69 -1,09)
						VESÍCULA BILIAR	RR 2.39	(0,52-10,98)
						LARINGE	RR 0.79	(0,38 -1,64)
						MELANOMA	RR 2.92	(0,91- 9,42)
Matthias Möhner	2010	CASOS Y CONTROLES	ALEMANIA	1950-1989	1357	LEUCEMIA	ORI.78	(1.09 -2.91)
Möhner, M.	2008	CASOS Y CONTROLES	ALEMANIA		1483	LARINGE	ORI.13	(0.75-1.70)
Kreuzer M.	2008	COHORTE	ALEMANIA	1960-2003	57199	EXTRAPULMONAR	RR 1.02	(0.98-1.05)
						GÁSTRICO	RR 1.15	(1.06-1.25)
						HEPÁTICO	RR 1.26	(1.07-1.48)
Boice, Jr	2008	COHORTE	NEW MÉXICO	1955-2001	5660	GÁSTRICO	SMR 0.99	(0.32-2.30)
						RENAL	SMR 1.11	(0.41-2.42)
						HÍGADO	SMR 1.7	(0.78-3.23)
						LNH	SMR 0.75	(0.28-1.64)
						LEUCEMIA, LLC	SMR 1.36	(0.59-2.68)
B. Vacquier	2007	COHORTE	FRANCIA	1946-1999	5086	GÁSTRICO	SMR 1.16	0.76-170
						LEUCEMIA	SMR 1.20	0.67-1.98
						LARINGEO	SMR 1.24	0.83-1.78
						RIÑÓN	SMR 1.09	0.98-1.22

Taula 13. Associació entre radó i càncer extra-pulmonar

Una certa evidència d'un risc molt xicotet relacionat amb el radó es van trobar càncers, compatibles amb els càlculs dosimètrics per a dosis en òrgans. No obstant això, no s'hi pot descartar la possibilitat de resultats no causals a causa de l'atzar i la confusió.

4. Mesures de control

Per a evitar les conseqüències de l'exposició a radó és necessari un disseny de mesures preventives que elimini o redueixi al mínim la presència d'aquest gas en els llocs de treball. Existeix una certa exposició al radó en llocs de treball molt variats i per diferents causes. Per això, és important un coneixement i juí considerables per a definir un sistema formal de decisions separades per a cada lloc de treball.

A més, es recomana informar aquests treballadors dels riscos als quals estan exposats durant els treballs subterranis respecte al radó, així com de les mesures de protecció a aplicar-hi²³.

A causa de l'origen d'aquest agent radioactiu, la seva presència sol ser inevitable en diferents llocs de treball. Per això, s'hi han d'implantar solucions de protecció. Aquestes es poden agrupar segons la seva forma d'actuació en quatre grans grups:

- Solucions d'aïllament de l'edifici. Per exemple, emprant barreres de protecció enfront del radó o segellant les fissures, les clivelles, les trobades i les juntes per les quals pugui emanar el gas.
- Solucions de reducció del radó abans que penetri en l'edifici. Per exemple, instal·lant sistemes de despressurització del terreny o sistemes de ventilació de l'espai de contenció.
- Solucions de reducció del radó quan ja ha penetrat en l'edifici. Millorant la ventilació dels locals, fonamentalment mitjançant mecanismes de dilució, ja que els sistemes d'extracció poden afavorir una major emanació del radó.
- Solucions destinades a la selecció de materials amb baixa exhalació de radó. Per exemple, consultant l'origen geològic i geogràfic dels materials emprats en la construcció o rehabilitació de l'edifici².

En qualsevol cas, és recomanable —sempre que sigui possible tècnicament i efectiu en termes de reducció de dosi— disposar de ventilació forçada (extracció mecànica) en les galeries d'aigua i els pous, a fi de minimitzar la concentració de radó en aquestes instal·lacions²². Hi ha estudis que han comprovat la gran efectivitat que té la ventilació en la disminució de la concentració de gas radó¹⁷.

S'hi ha observat que les instal·lacions que presenten un gunitat en les seves parets contenen nivells de concentració de radó més baixos, per aïllar el terreny natural de l'espai de treball, per la qual cosa, en les instal·lacions que no disposen d'aquest, aquesta seria una altra possible mesura de mitigació a valorar. En aquest sentit, hi ha formigons especials que poden utilitzar-se com a barrera contra el radó²³.

Si els nivells de gas radó en el lloc de treball superen el valor establert en la normativa, tot i haver aplicat les mesures anteriors, s'ha de garantir als treballadors un servei de vigilància periòdica del seu estat de salut en funció dels riscos inherents al treball (només podrà dur-se a terme quan el treballador presti el seu consentiment). En els supòsits en què la naturalesa dels riscos inherents al treball ho faci necessari, el dret dels treballadors a la vigilància periòdica del seu estat de salut haurà de ser prolongat més enllà de la finalització de la relació laboral, en els termes que reglamentàriament s'hi determinen²⁴.

4.1 Codi tècnic de l'edificació.

Un dels documents bàsics del codi tècnic de l'edificació, aprovat per Article únic. Modificació del Codi Tècnic de l'Edificació, aprovat per Reial decret 314/2006, de 17 de març pel qual s'aprova el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), queda modificat com segueix, per a introduir al final el següent text:

Exigència bàsica HS 6: Protecció enfront de l'exposició al radó. És aplicable a edificis situats en els termes municipals de la llista que publica el CSN en els quals es determina la presència significativa de radó.

a) Edificis de nova construcció

S'assenyalen en aquest codi a q u e s t e s mesures preventives:

1. Un espai de contenció ventilat entre el terreny i els locals a protegir, per a mitigar l'entrada de radó provinent del terreny als locals habitables mitjançant ventilació natural o mecànica.
2. Un sistema de despressurització del terreny, que permeti extraure'n els gasos continguts en el terreny confrontant a l'edifici.
3. Quan existeixin locals habitables situats en grans àrees que no estan protegides, com ara cabines de vigilant en garatges, podrà emprar-se per a la protecció d'aquests locals, com a solució alternativa a les establides en els paràgrafs anteriors, la creació d'una sobrepressió a l'interior del local habitable mitjançant la introducció d'aire de l'exterior.

b) Intervencions en edificis existents

1. En el cas d'intervencions en edificis existents, l'aplicació de les solucions anteriors podrà ajustar-se mitjançant la utilització de solucions alternatives que, en conjunt, permetin limitar adequadament l'entrada de radó. En tot cas, és necessari que els locals habitables disposin d'un nivell de ventilació interior que compleixi amb la reglamentació en vigor de qualitat de l'aire.

2. En el cas d'intervencions en edificis existents, quan es disposi de valors mesurats de la mitjana anual de concentració de radó, obtinguts segons l'apèndix C del codi, i alguna de les zones de mostreig establides conforme a aquest apèndix superi el nivell de referència, es tindrà en compte el següent:

- Si s'hi presenten valors compresos entre 1 i 2 vegades el nivell de referència, s'adoptaran les solucions corresponents a municipis de zona I.
- Si s'hi presenten valors que superen 2 vegades el nivell de referència, s'adoptaran les solucions corresponents a municipis de zona II.

3. Barrera de protecció

Característiques de la barrera:

- La barrera de protecció serà tot aquell element que limiti el pas dels gasos provinents del terreny i l'efectivitat del qual pugui demostrar-se.
- La barrera podrà dimensionar-se segons el descrit en l'apartat 3.1.2, si bé, es consideren vàlides (i no és necessari procedir al seu càlcul) les barreres tipus làmina amb un coeficient de difusió enfront del radó menor que $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ i una grossària mínima de 2 mm.
- La barrera de protecció presentarà, a més, les següents característiques:
 - tindre continuïtat: juntes i raconades segellades;
 - tindre segellades les raconades amb els elements que la interrompen, com ara passos de conduccions o similars;
 - les portes de comunicació que interrompen la continuïtat de la barrera hauran de ser estanques i estar dotades d'un mecanisme de tancament automàtic;
 - no presentar fissures que permetin el pas per convecció del radó del terreny;.
- tenir una durabilitat adequada a la vida útil de l'edifici, les seves condicions i el manteniment previst.
 - En intervencions en edificis existents, si no és possible la col·locació d'una barrera amb les característiques indicades en aquest apartat, els tancaments situats entre el terreny i els locals habitables hauran de funcionar com una barrera. Per a això, se segellaran acuradament les clivelles i juntes d'aquests tancaments i es complirà, almenys, amb el que s'estableix en les lletres b) i c) del paràgraf anterior.

4. Productes de construcció

Per als productes de construcció s'indiquen els següents condicionants:

4.1 Característiques exigibles als productes

- De manera general, tots els materials que es vagin a utilitzar en els sistemes de protecció enfront del radó han de complir les següents condicions:
 - l'especificat en els apartats anteriors;
 - l'especificat en la legislació vigent;
 - que siguin capaços de funcionar eficaçment en les condicions previstes de servei.

4.2 Control de recepció en obra de productes

- En el plec de condicions del projecte han d'indicar-s'hi les condicions particulars de control per a la recepció dels productes, incloent-hi els assajos necessaris per a comprovar que els mateixos reuneixen les característiques exigides en els apartats anteriors. Es comprovarà que els productes rebuts, establint en les condicions del projecte característiques que garanteixin la no presència d'elements radioactius en concentracions significatives, i acreditació documental sobre aquest tema.
 - corresponen als especificats en el plec de condicions del projecte;.
 - disposen de la documentació exigida;
 - estan caracteritzats per les propietats exigides;
 - han estat assajats, quan així s'estableixi en el plec de condicions o ho determini el director de l'execució de l'obra amb el vistiplau del director d'obra, amb la freqüència establida.
- En el control han de seguir-s'hi els criteris indicats en l'article 7.2 de la Part I del CTE.

Així, en obra nova en zones en les quals el mapa determina risc alt, s'estableixen les següents mesures preventives a tindre en compte:

- Barreres de protecció
- Cambra d'aire ventilada
- Despressurització del terreny.

Serà l'opció a prioritària, i en zones classificades de risc superior caldrà comptar-hi amb una de les altres dues opcions afegides a la primera.

En edificis ja construïts s'hi indiquen aquestes opcions:

- Segellament del tancament que està en contacte amb el terreny.
- Millora de la ventilació d'eixes zones immediates al terreny.

5. Bibliografia

1. Radón. CSN. <https://www.csn.es/radon>
2. Segura, B. D. Radón en los lugares de trabajo, ¿cómo abordarlo? *Seguridad y Salud en el trabajo* **2022**, n° 109, 17–23.
<http://www.cigsaudelaboral.org/files/documentos/INSST.%20Radon%20nos%20lugares%20de%20trabajo.%20Como%20abordalo.pdf>
3. L.S. Quindós, J. Soto, P.L. Fernández, E. Villar, G. Newton, J.J. Peña, M. Gálvez, J. Arteché. Radón, principal fuente de radiación natural. *Revista Española de Física* **1989**, 3 (22), 22–26. <http://elradon.com/wp-content/uploads/2018/10/38.pdf>
4. *General Information on Radon*. ICRPaedia. http://icrpaedia.org/General_Information_on_Radon.
5. Radó en els llocs de treball. Gencat Treball
https://treball.gencat.cat/ca/ambits/seguretat_i_salut_laboral/riscos_i_condicions_treball/mesures_per_risc/rado/
6. Quindós, L. S. *Radón. Un gas radiactivo de origen natural en su casa*; CSN, Servicio de Publicaciones Universidad de Cantabria. http://elradon.com/wp-content/uploads/2018/10/LibroRADON_low.pdf
7. Vázquez, B. F.; Adán, M. O. *Protección frente a la inmisión de gas radón en edificios*; 2018.
<https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04.20+Protecci%C3%B3n+frente+a+la+inmisi%C3%B3n+de+gas+rad%C3%B3n+en+edificios>.
8. *Metodología para la evaluación de la exposición al radón en los lugares de trabajo*; 2012.
[https://www.csn.es/documents/10182/896572/GS%2011-04%20Metodolog%C3%ADa%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20exposici%C3%B3n%20al%20rad%C3%B3n%20en%20los%20lugares%20de%20trabajo%20\(Diciembre%202012\)](https://www.csn.es/documents/10182/896572/GS%2011-04%20Metodolog%C3%ADa%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20exposici%C3%B3n%20al%20rad%C3%B3n%20en%20los%20lugares%20de%20trabajo%20(Diciembre%202012))
9. Tunyagi, A.; Dicu, T.; Cucos, A.; Burghel, B. D.; Lupulescu, A.; Moldovan, M.; Nită, D.; Papp, B.; Pap, I.; Szacsavai, K.; Tenter, A.; Beldean-Galea, M. S.; Anton, M.; Grecu, Ș.; Cioloca, L.; Milos, R.; Botos, M. L.; Chiorean, C. G.; Catalina, T.; Istrate, M. A.; Sainz, C. An Innovative System For Monitoring Radon And Indoor Air Quality. *Romanian Journal of Physics* **2020**, 65, 803. <http://elradon.com/wp-content/uploads/2021/03/RomJPhys.-Innovative-System-2020.pdf>
10. Preguntas frecuentes sobre radón en lugares de trabajo. CSN
<https://www.csn.es/documents/10182/989198/Preguntas%20frecuentes%20sobre%20el%20rad%C3%B3n%20en%20lugares%20de%20trabajo>
11. Jorquera, A. *Gas Radón: Qué es, dónde se encuentra y cómo protegernos*. BIMserver.center.
<https://blog.bimserver.center/es/gas-radon-que-es-donde-se-encuentra-y-como-protegernos/>
12. Bequerelio <https://es.wikipedia.org/wiki/Bequerelio>
13. Ruano-Ravina, A.; Barros-Dios, J. M. Radón interior. Un carcinógeno laboral olvidado. *Arch Prev Riesgos Labor* **2013**, 16 (1), 5-6. https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Ruano-Ravina/publication/237070307_Indoor_radon_A_neglected_carcinogen_at_work/links/5732143008ae9f741b23533f/Indoor-radon-A-neglected-carcinogen-at-work.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail
14. Ríos, M. P.; Talavera, M. G.; Gómez, M. G.; Muñoz, S. G.; Rey-Brandariz, J.; Dios, J. M. B.; Raviña, A. R. *Mortalidad atribuible a la exposición a radón residencial en España*; 2021.
https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/04_Mortalidad_radon.pdf
15. Ruano-Ravina, A.; Narocki, C.; López-Jacob, M. J.; Oliver, A. G.; de la Cruz Calle Tierno, M.; Peón-González, J.; Barros-Dios, J. M. Radón interior en puestos de trabajo en España. Un estudio piloto antes de la introducción de la Directiva Europea 2013/59/Euratom. *Gaceta Sanitaria* **2020**, 33 (6), 563-567.
<https://www.scielosp.org/article/gs/2019.v33n6/563-567/en/>
16. De la Torre Pérez A. B.; Ruano Sánchez F. L.; Naranjo Correa A.; Martín Sánchez, J. Radon in workplaces in Extremadura (Spain). *Journal of Environmental Radioactivity* **2012**, 107, 86-91. Martín, C. C.; Rey, R. D.; Gil, L.

- G. Gestión de la presencia de radón en lugares de trabajo: determinación de concentraciones y evaluación de riesgos en la ENM; Universidad de Vigo, Pontevedra, España, 2021.
17. Sainz, C.; Quindós, L. S.; Fuente, I.; Nicolás, J.; Quindós, L. Analysis of the main factors affecting the evaluation of the radon dose in workplaces: the case of tourist caves. *Journal of hazard* 2007, 145 (3), 368-371
 18. De La Nuez Hernández, N. Determinación y dinámica de los niveles de exposición al radón en Tenerife, Universidad de la Laguna, San Cristóbal de La Laguna, Tenerife, 2021.
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/25021/Determinacion%20y%20dinamica%20de%20los%20niveles%20de%20exposicion%20al%20radon%20en%20Tenerife.pdf?sequence=1>
 19. Gutiérrez, L. E. H.; Cerezal, J. C. S.; Villanueva, J. L. G. *Gas radón y salud laboral en Canarias*; INGENIA, Grupo de investigación de la Universidad de La Laguna, Ed.; Universidad de la Laguna, 2019.
<https://doi.org/10.25145/b.Gasradon.2020>.
 20. Clarke (Chairman), R. H.; Dunster, H. J.; Jacobi, W.; Osborne, R. V. Protection against Radon-222 at Home and at Work. *International Commission on Radiological Protection* 1993, 65.
https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_23_2
 21. Aicardi-Carrillo, G.; Asmat-Inostrosa, M.; Barboza-Rangel, Y. Radón y sus efectos en la salud en trabajadores de minas de uranio. *Med Segur Trab* 2015, 61 (238), 86-98.
<https://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v61n238/revision1.pdf>
 - a. Walsh L, Tschense A, Schnelzer M, Dufey F, Grosche B, Kreuzer M. The influence of radon exposures on lung cancer mortality in German uranium miners, 1946-2003. *Radiat Res.* 2010 Jan;173(1):79-90.
 - b. Hunter N, Muirhead CR, Tomasek L, Kreuzer M, Laurier D, Leuraud K, et al. Joint analysis of three European nested case-control studies of lung cancer among radon exposed miners: exposure restricted to below 300 WLM. *Health Phys.* 2013 Mar;104(3):282-92.
 - c. Rachel S. D. Lane, Stanley E. Frost, Geoffrey R. Howe, and Lydia B. Zablotska. Mortality (1950-1999) and Cancer Incidence (1969-1999) in the Cohort of Eldorado Uranium Workers. *Radiat Res* 1746a773-785 2010.
 - d. Kreuzer M, Grosche B, Schnelzer M, Tschense A, Dufey F, Walsh L. Radon and risk of death from cancer and cardiovascular diseases in the German uranium miners cohort study: follow-up 1946-2003. *Radiat Environ Biophys.* 2010 May;49(2):177-85.
 - e. Vacquier B, Caer S, Rogel A, Feurprier M, Tirmarche M, Luccioni C, et al. Mortality risk in the French cohort of uranium miners: Extended follow-up 1946-1999. *Occup Environ Med.* 2008; 65(9):597-604.
 - f. Kulich M, Reřicha V, Reřicha R, Shore DL, Sandler DP. Incidence of non-lung solid cancers in Czech uranium miners: a case-cohort study. *Environ Res.* 2011 Apr;111(3):400-5.
 - g. Zablotska LB, Lane RSD, Frost SE, Thompson PA. Leukemia, lymphoma and multiple myeloma mortality (1950-1999) and incidence (1969-1999) in the Eldorado uranium workers cohort. *Environ Res.* 2014 Apr;130:43-50.
 - h. Kreuzer M, Walsh L, Schnelzer M, Tschense A, Grosche B. Radon and risk of extrapulmonary cancers: results of the German uranium miners' cohort study, 1960-2003. *Br J Cancer.* 2008 Dec 2;99(11):1946-53.
 22. <https://www.boe.es/boe/dias/2022/12/21/pdfs/BOE-A-2022-21682.pdf>
 23. Santamarta, J.C., et al. (2020). Guía técnica de buenas prácticas frente a la exposición al radón en las instalaciones hidráulicas subterráneas de Canarias. Tenerife: Gobierno de Canarias y Universidad de La Laguna, doi: <https://doi.org/10.25145/b.GuiahidraulicasCanarias.2020>
 24. Poncela, L. S. Q.; Fernández, C. S.; Merino, I. F.; Villar, A. F.; González, S. C.; Gómez, D. R.; López, L. Q.; López, E. F.; Abascal, D. L.; López, J. Q.; Sánchez, M. G. *Cuestiones que Delegados/as de Prevención han de conocer sobre el gas Radón*; de Salud Laboral y Medio Ambiente UGT-CEC, S., Ed.; 2019.
<http://elradon.com/wp-content/uploads/2020/10/2019-Cuestiones-que-Delegados-as-de-Prevenci%C3%B3n-han-de-conocer-sobre-el-gas-Rad%C3%B3n.pdf>.

Altres enllaços d'interès.

<https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/398413-Mediciones-exposicion-riesgo-gas-radon-tuneles-carreteros-ejecucion-Isilas-Canarias.html>

[https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/319292-Mediciones-exposicion-riesgo-gas-radon-tuneles-galerias-\(minas\)-agua-cuevas-turisticas.html](https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/319292-Mediciones-exposicion-riesgo-gas-radon-tuneles-galerias-(minas)-agua-cuevas-turisticas.html)

<http://calderon.cud.uvigo.es/bitstream/handle/123456789/353/Garc%c3%ada%20Denia%2c%20%c3%81lvaro%20%20Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://www.scielo.org/pdf/gs/2019.v33n6/563-567/en>

Jones, B.A. The social costs of uranium mining in the US Colorado Plateau cohort, 1960–2005. *Int J Public Health* 62, 471–478 (2017). <https://doi.org/10.1007/s00038-017-0943-z>

Radiation Protection Dosimetry, Volume 177, Issue 4, December 2017, Pages 466–474, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncx065>

Radiation Protection Dosimetry, Volume 130, Issue 1, June 2008, Pages 101–106, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncn119> Well water radioactivity and risk of cancers of the urinary organs, *Environmental Research*, Volume 102, Issue 3, 2006, Pages 333–338, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.12.010>.

L Tomášek, E Kunz, S.C Darby, A.J Swerdlow, V Placek, Radon exposure and cancers other than lung cancer among uranium miners in West Bohemia, *The Lancet*, Volume 341, Issue 8850, 1993, Pages 919–923, ISSN 0140-6736, [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(93\)91212-5](https://doi.org/10.1016/0140-6736(93)91212-5).

Vacquier B, Caer S, Rogel A, et al Mortality risk in the French cohort of uranium miners: extended follow-up 1946–1999 *Occupational and Environmental Medicine* 2008;**65**:597–604. <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2007.034959>

<https://www.nature.com/articles/6604776>

<https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2065>

Health Protection Agency. Radon in the Workplace [citado 14 nov 2012]. 10.12961/apr.2013.16.1.01

<https://www.asn.fr/l-asn-informe/dossiers-pedagogiques/le-radon-et-les-professionnels/guides-sur-la-gestion-du-risque-du-radon/guide-de-recommandations-pour-la-protection-des-batiments-neufs-et-existants-vis-a-vis-du-radon>



