

# Notícies des de l’Institut Català de Seguretat i Salut Laboral de la Generalitat de Catalunya



## RADÓ, UN GAS RADIOACTIU D’ORIGEN NATURAL

**Anna Oliete**

Institut Català de Seguretat i Salut Laboral.

Departament de Treball, Afers Socials i Famílies.

**Lluís Font**

Unitat de Física de les Radiacions.

Departament de Física. Universitat Autònoma de Barcelona.

**Joan Merino**

Servei de Coordinació d’Activitats Radioactives (SCAR).

Direcció General d’Energia, Mines i Seguretat Industrial.

Departament d’Empresa i Coneixement.

**Victòria Moreno**

Unitat de Física de les Radiacions.

Departament de Física. Universitat Autònoma de Barcelona.

L’objectiu d’aquest article és; descriure la naturalesa del risc per exposició a radó en els llocs de treball, quin és el marc normatiu, els nivells de referència, i els escenaris a on es pot produir l’exposició, també s’aporten orientacions per la gestió del risc. No s’ha volgut profunditzar en l’exposició dels treballadors a la radiació natural deguda a altres fonts de radiació natural com la radiació còsmica o els materials radioactius d’origen natural (NORM).

### Fonts de radiació natural

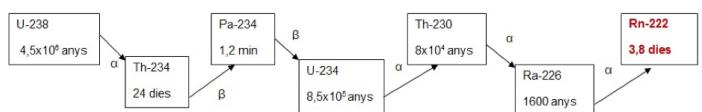
Les dosis de radiació que rebem poden ser d’origen natural o antropogènic. Les **fons de radiació artificial o antropogènica** poden ser diverses i conegeudes; medicina, indústria, energia nuclear, explosions, pluja radioactiva, etc... per altra banda les **fons de radiació natural** són bàsicament la radiació còsmica que travessa l’atmosfera i la radiació terrestre provenint dels elements radioactius que es troben a la seva escorça des de la seva formació o que es generen en les anomenades cadenes de desintegració naturals.

Altres fons de radiació natural són els materials radioactius d’Origen Natural (NORM-Naturally Occurring Radioactive Materials; que són tots aquells materials amb una radioactivitat de procedència natural sobre els quals qualsevol activitat tecnològica humana hagi incrementat el seu potencial radioactiu en comparació amb la situació inalterada (International Atomic Energy Agency IAEA-TRS-419). Així son industries NORM, les que manipulen o produeixen aquests materials com; les de producció de petroli i gas, les de producció de ciment, de pigments d’òxid de titani, les que realitzen extracció de terres rares, etc...

De totes les fonts de radiació natural que rep la població la més important és el gas **radó**. Cal tenir en compte però que en l’àmbit laboral els treballadors de les indústries NORM poden estar exposats en major o menor mesura a la radiació que prové dels diferents radionúclids naturals que s’acumulen en el procés industrial.

El radó prové de les cadenes naturals de desintegració dels isòtops de l’urani; (U-238 i U-235), i del tori (Th-232). Es tracta d’un gas noble, incolor, insípid i sense cap olor, que passa desapercebut als nostres sentits malgrat estar present. Existeixen tres isòtops radioactius del radó: l’actinò (Rn-219), membre de la cadena de desintegració de l’urani (U-235); el torò (Rn-220), membre de la cadena de desintegració del tori (Th-232) i finalment el radó (Rn-222), que prové de l’urani (U-238).

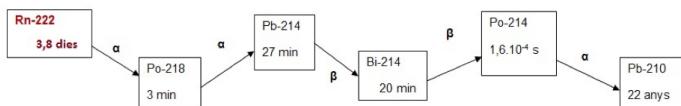
L’urani U-238 és un element molt abundant a la terra, en la seva desintegració dóna lloc al Th-234, el qual també es desintegra en un altre element radioactiu, i així successivament fins que s’arriba al Ra-226, que dóna lloc al radó (Rn-222). (Gràfic I). Tots aquests elements en la seva desintegració emeten partícules alfa, beta i radiació gamma.



Gràfic I. Seqüència de desintegració del U-238. Sota el símbol de cada radioisòtop apareix el seu període de semidesintegració. Es mostra el tipus de desintegració alfa o beta que cada radionúclid emet.

El radó (Rn-222) té un període de semidesintegració de 3,8 dies. Veure (Gràfic II) És molt soluble en aigua i s’acumula en el sòl i les roques del terreny, també es pot incorporar fàcilment a les bosses de gas natural. A través del sòl, les roques i l’aigua, i en funció de diferents variables com les característiques del terreny i les condicions climatològiques, entre altres, pot passar a l’aire exterior i a l’interior dels edificis i concentrar-se en llocs de treball subterrànies, coves, mines, zones amb aigües termals, etc. En general, els nivells de radó a l’aire exterior són molt baixos perquè es difon en l’atmosfera, però, a l’interior dels recintes, els nivells poden arribar a ser elevats. Normalment, els valors més alts es troben en soterranis o plantes baixes on hi ha poca ventilació. Els nivells en recintes tancats acostumen a presentar variacions diürnes, amb valors més elevats a la nit i primera hora del matí, i estacionals, amb valors més elevats a l’ hivern, si bé en un edifici o lloc de treball en particular la dinàmica pot ser diferent degut a varis factors.

D’altra banda, el període de semidesintegració del torò i l’actinò (56 i 4 segons respectivament) són tant curts que ambdós radionúclids no poden viatjar gaire distància i la seva importància des del punt de vista de la protecció radiològica és molt menor.



**Gràfic II.** Seqüència de desintegració del Rn-222. Sota el símbol de cada radioisòtop apareix el seu període de semidesintegració. Es mostra el tipus de desintegració alfa o beta que cada radionúclid emet.

### Efectes per la salut de l’exposició a gas radó

El període de semidesintegració del Rn-222 és prou llarg perquè pugui penetrar dins d’edificis i acumular-s’hi, fet que pot estar agreujat com ja s’ha comentat per una mala ventilació. Així, en una habitació, hi haurà una certa concentració de radó, el qual constituirà una font de descendents radioactius que són metalls pesants molt actius; una part important es fixaran als aerosols, altre es dipositarà a les superfícies. Quan respirem l’aire d’aquesta habitació, inhalem una quantitat de radó i dels seus descendents. El radó és expulsat amb poca probabilitat de quedar-se retingut en el nostre interior, però els seus descendents de vida mitja curta adherits o no als aerosols queden fixats al nostre aparell respiratori. Aquest és el mecanisme mitjançant el qual els pulmons reben una dosi de radiació que pot causar, entre altres efectes, alteracions en el material genètic de les cèl·lules del teixit pulmonar, i originar un dany que, al cap d’un temps, pot donar lloc a càncer de pulmó.

El radó va ser classificat com a cancerigen humà del grup 1, per la International Agency for Research on Cancer (IARC) i com a cancerigen del grup A per l’Environmental Protection Agency (EPA) dels EUA.

Cal tenir en compte que el radó és la segona causa de mort per càncer de pulmó, després del tabac. L’Organització Mundial de la Salut (OMS) li atribueix fins a un 14% les morts per càncer de pulmó. Aquest agent químic és un important factor de risc per desenvolupar càncer de pulmó, especialment en les persones fumadores; l’acció sinèrgica del radó i el tabac fa que el risc de càncer per exposició al radó per a un fumador sigui vint vegades més gran que per a un no fumador.

### Nivells de referència. Marc Normatiu

A Espanya, són d’obligat compliment els límits de referència establerts, al Reglament sobre protecció sanitària contra radiacions ionitzants aprovat pel Reial decret 783/2001, de 6 de juliol (RPSRI), modificat per Reial decret 1439/2010 i les indicacions de la Instrucció IS-33, de 21 de desembre de 2011, del Consell de Seguretat Nuclear, sobre criteris radiològics per a la protecció front a l’exposició a radiació natural. Aquesta instrucció estableix

criteris radiològics sobre els valors de dosis (de radiació natural) als treballadors, i sobre les concentracions de radó en llocs de treball (veure taula I).

Si aquests valors es superessin donarien lloc a l’adopció de mesures correctores o dispositius de vigilància

LLOCS DE TREBALL	
NIVELL DE REFERÈNCIA ANUAL (RPSRI) 600 Bq/m <sup>3</sup>	
<600	No és necessari control
600-1000	Nivell baix de control
>1000	Nivell alt de control

Taula I. Nivell de referència i control de l’exposició al radó

El 17 de gener de 2014 es publica La Directiva 2013/59/EU-RATOM, de 5 de desembre de 2013 que deroga les directives 1996/29/EU-RATOM, i les Directives complementàries i estableix les normes de seguretat bàsiques per a la protecció sanitària dels treballadors i la població contra els perills derivats de l’exposició a radiacions ionitzants a tota la UE. Per donar compliment al dictat de la Directiva, els estats membres establiran nivells nacionals de referència per a les concentracions de radó en recintes tancats en els llocs de treball. **El nivell de referència per a la mitjana anual de concentració d’activitat a l’aire no superarà els 300 Bq/m<sup>3</sup>**, llevat que estigui justificat per circumstàncies en l’àmbit nacional.

Els estats membres de l’UE disposaven fins el 6 de febrer de 2018 per la transposició de la directiva al dret nacional i per la posada en marxa de plans nacionals que tinguin com a objectiu fer front als riscos a llarg termini deguts a les exposicions al radó en habitatges, edificis d’accés públic i llocs de treball per qualsevol via d’entrada del radó, ja sigui el sòl, els materials de construcció o l’aigua.

Actualment a nivell estatal, s’està treballant en el projecte d’un nou Reglament sobre protecció sanitària contra radiacions ionitzants, i en un Pla nacional contra el radó, liderat pel Ministeri de Sanitat, Serveis Socials i Igualtat, amb participació del Ministeri d’Energia, Turisme i Agenda Digital, del Consell de Seguretat Nuclear (CSN), les Comunitats autònombes i les entitats locals.

### Registre d’activitats amb exposició a radioactivitat natural

L’esmentat Reglament de protecció sanitària contra les radiacions ionitzants, en la seva modificació establerta al RD 1439/2010, estableix que els titulars de les activitats laborals on existeixin fonts naturals de radiació han de declarar aquestes activitats davant dels òrgans competents en matèria d’indústria de les comunitats autònombes i realitzar els estudis necessaris per tal de determinar si existeix un risc significatiu de l’exposició als treballadors o al públic que no es pugui considerar negligible des del punt de vista de la protecció radiològica.

A tal efecte, els òrgans competents de les CCAA han anat establint aquests registres. A Catalunya la DG d’Energia, Mines i Seguretat Industrial del Departament d’Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya ha creat el corresponent registre, al qual s’hi poden inscriure les empreses titulars mitjançant les Oficines de Gestió Empresarial. Tota la informació sobre el tràmit es pot trobar al Canal Empresa de la Generalitat de Catalunya.

Per tal de facilitar la realització d’aquests estudis, el CSN ha editat dues Guies de Seguretat, la GS 11.3; “Metodología para la evaluación del impacto radiológico de las industrias NORM”, i la GS 11.4, “Metodología para la evaluación de la exposición al radón en los lugares de trabajo”. Aquests estudis s’han de remetre a la DG d’Energia, Mines i Seguretat Industrial segons les condicions estableertes a la Instrucció del CSN IS-33.

Per últim val a dir que el Consell de Seguretat Nuclear, com a únic ens competent en matèria de seguretat nuclear i protecció radiològica, vetllarà pel compliment d’aquestes obligacions per part dels titulars, establint els mecanismes que consideri oportuns.

#### Treballadors exposats a radó

L’exposició laboral al radó i els seus productes de desintegració es considera una exposició a un agent cancerigen en el lloc de treball. L’exposició laboral estimada al radó a Catalunya, segons el sistema d’informació CAREX-CAT, és la cinquena més prevalent, darrere de la radiació ultraviolada (UV), el treball a torns, els fums de motor dièsel i la silice cristal·lina.

La presència de gas radó a l’interior de recintes o en determinats espais subterrànies, té el seu origen principal en el sòl i en les roques que en formen part, i pot variar molt en funció del tipus de sòl i, en conseqüència, de la regió o zona en què ens trobem. Cal tenir en compte, però, que els propis materials de la construcció poden constituir una aportació important a la concentració de radó, ja que aquests poden provenir de zones amb terres amb un alt contingut en radi Ra-226. Altres aportacions com ja s’ha comentat, són l’aigua i el gas natural.

Entre els possibles treballadors exposats a gas radó es podrien diferenciar els grups següents:

**1. 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, o que desenvolupen la seva activitat en interiors a on el radó pugui acumular-se i arribar a concentracions elevades. Aquest grup inclou bàsicament els treballadors situats en plantes baixes o aquelles que es troben a nivell del sòl, ja que en principi en alçades superiors de l’edifici la concentració de radó provinent del terreny disminueix.

**2. Treballadors en àrees subterrànies i/o en contacte amb aigües subterrànies:** els que desenvolupen la seva activitat laboral en instal.lacions o recintes sota la superfície del sòl, i tots els que estan en contacte amb aigües subterrànies.

**3. Altres col.lectius:** els que, per raó de la seva activitat laboral, estan en contacte o manipulen isòtops de radó (centres de recerca, laboratoris d’investigació, etc.).

**4. Treballadors que manipulen materials NORM,** poden estar exposats a diferents isòtops naturals i també a quantitats variables de radó i els seus descendents en funció del material i/o residu manipulat.

Segons l’ ANNEX IS-33 del Consell de Seguretat Nuclear els llocs de treball en els que és probable que el valor mig de la concentració de radó superi el nivell de referència (600 Bq/m<sup>3</sup>) serien;

1. Llocs de treball subterrànies com coves i galeries i mines diferents de les d’urani.
2. Establiments termals.
3. Instal.lacions on es tractin i emmagatzemin aigües d’origen subterrani.
4. Llocs de treball, subterrànies o no subterrànies, en àrees identificades pels seus valors elevats de radó.

En relació a les àrees identificades, el CSN ha creat el mapa del potencial de radó a Espanya, que es pot consultar on-line a: Monografías>Mapas de Radiación Natural>Mapa del potencial de radón en España.

Les zones del mapa amb potencial superior a 300 Bq/m<sup>3</sup> (el nivell de referència que estableix la Directiva 2013/59) es consideren zones d’actuació prioritària. En aquest altre enllaç, es pot consultar un mapa dels municipis en què part de la població resideix en zones d’actuació prioritària: Monografías>Mapas de Radiación Natural>Mapa de zonificación por municipio de radón.

La informació que donen els mapes no s’ha de considerar substitutiva de les mesures de radó en aire, que són l’indicador més fiable del risc a què està exposat cada individu en el seu habitatge o en el seu lloc de treball.

#### Mesuraments de radó en aire

Els nostres sentits no són sensibles a la presència del gas radó i dels seus descendents, de manera que per detectar-lo és necessari utilitzar uns equips especialment dissenyats per detectar la radiació emesa en les seves desintegracions. En general, aquests detectors es basen en els diferents processos d’interacció de la radiació amb la matèria i la detecció es pot dur a terme mitjançant diferents mètodes. L’elecció del mètode i, per tant del detector, dependrà dels objectius de cada mesurament. En funció del temps que dura el procés de mesura, es poden distingir les mesures puntuals, en continu i integrades. La mesura puntual es realitza durant un període de temps molt curt, normalment inferior a 2 hores. El resultat obtingut representa el valor de la concentració de radó en aire en un instant concret, per tant, aquest tipus de mesura permet fer una estimació ràpida. La mesura en continu es realitza durant el temps que es consideri oportú, podent anar des d’algunes hores fins a diversos dies o, fins i tot, mesos o anys. Generalment, es registra durant tot el procés que dura el mesurament i els resultats s’obtenen en uns intervals de temps que acostumen a ser curts, des d’alguns minuts fins a diverses hores. Aquest tipus de mesurament es realitza per estudiar l’evolució temporal de la concentració de radó. La mesura integrada es realitza en un període de temps relativament llarg que pot variar des d’alguns dies fins a diversos mesos. El resultat és el valor mig de la concentració de radó en l’interval de temps que dura l’exposició del detector. La majoria dels detectors de radó

que es comercialitzen estan calibrats per proporcionar el valor de la concentració d’activitat del gas radó en un volum d’aire, normalment en unitats de Becquerels per metre cúbic ( $Bq/m^3$ ).

Els mesuraments de radó que es realitzen a l’interior dels recintes tancats han de permetre determinar l’exposició que reben les persones que viuen o treballen en el seu interior. En aquestes circumstàncies, per exemple, el resultat d’una mesura puntual realitzada en un recinte on la concentració de radó fluctua molt deixa de ser significatiu. La legislació actual recomana realitzar els mesuraments necessaris per determinar el valor mig de la concentració de radó al llarg d’un any, essent els mesuraments integrats els més adequats, ja que són molt més senzills i barats que els mesuraments en continu. Aleshores, coneixent el temps de permanència de les persones a l’interior del recinte, es pot fer una estimació de la seva exposició al gas radó.

En el mercat existeix una gran varietat d’instrumentació per mesurar el gas radó. Una forma habitual de classificar els diferents tipus de detectors és distingir entre actius i passius. Els detectors actius són sistemes que necessiten algun tipus de subministrament d’energia elèctrica mentre dura el mesurament, ja sigui amb bateries o connectats a la xarxa elèctrica, perquè consten de mecanismes elèctrics, com bombes d’aire, i/o d’una electrònica associada. Els detectors passius, en canvi, són sistemes que no necessiten cap aportació d’energia elèctrica al llarg de la mesura, com per exemple, els detectors sòlids de trases nuclears (com el Makrofol DE, el CR-39 i l’LR-115), els de carbó activat, els de termoluminescència (TLD) o els electrets. Amb els detectors actius s’acostuma a fer mesuraments instantanis o en continu mentre que amb els detectors passius es realitzen els mesuraments integrats. L’avantatge dels detectors passius respecte dels actius és que són equips molt senzills d’utilitzar, de dimensions reduïdes i de baix cost, de tal forma que es pot disposar de molts detectors per realitzar moltes mesures a diferents emplaçaments de forma simultània. Per altra banda, els detectors actius permeten fer estudis més detallats de la dinàmica dels nivells de radó a l’interior dels edificis analitzats i alguns també disposen d’accessoris per realitzar el mesurament de la quantitat del gas radó dissolt a l’aigua així com el radó present en l’aire del sòl. Alguns d’aquests detectors i/o accessoris també poden diferenciar entre els dos isòtops del gas radó ( $Rn-222$  i  $Rn-220$ ), així com també mesurar el factor d’equilibri del gas radó amb els seus descendents.

La demanda de serveis de mesura de la concentració de radó d’alta qualitat ha generat la necessitat de disposar d’instal.lacions on els detectors de radó puguin ser calibrats sota condicions ben controlades i traçades amb estàndards nacionals i internacionals. Aquestes instal.lacions reben el nom de cambres de radó i estan localitzades en centres de referència com el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) a Alemanya, la Health Protection Agency (HPA) de Chilton, al Regne Unit, l’Institut de Tècniques Energètiques (INTE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), a Espanya, etc. Una entitat que ofereixi el servei de mesuraments de gas radó ha d’ofereir unes garanties de qualitat dels resultats de les seves mesures, per tant, en els propers anys serà indispensable que aquests serveis estiguin acreditats per alguna

agència de qualitat, com l’ Agència Nacional d’Avaluació de la Qualitat i Acreditació (ANECA).

Quan els mesuraments de radó s’han de realitzar en unes condicions ambientals extremes, és a dir, molt diferents d’aqueles amb les que els detectors han estat calibrats (altres humitats, temperatures elevades, altes concentracions d’aerosol, etc.), cal tenir en compte algunes mesures addicionals, ja sigui l’aplicació d’uns factors correctors sobre els resultats, així com la utilització de mètodes de protecció pels propis detectors. Aleshores, en aquests casos especials es recomana que les mesures siguin realitzades amb l’assessorament d’un equip d’experts en mesuraments de radó en condicions ambientals extremes.

### Mesures de reducció dels nivells de radó en interiors

En el cas de sobrepassar els límits de referència de concentració de radó en aire comentats (veure taula I), l’empresari haurà d’aplicar mesures per reduir aquest valor. Aquestes accions depenen de diferents variables com; les característiques de l’edifici, el tipus de construcció i els materials utilitzats, la utilització que se li doni a l’edifici i les seves tasses de ventilació. No hi ha dos edificis iguals i potser caldrà l’assessorament d’un expert.

En línies generals, les principals mesures a prendre tindran com objectius limitar l’entrada del radó a l’edifici i/o eliminar o reduir el radó de l’interior.

A continuació es citen algunes accions possibles:

1. Eliminació del radó del soterrani o espai que es troba entre el terreny i la planta baixa de l’edifici, incrementant la ventilació en aquesta zona de forma natural o forçada; instal.lant un ventilador i una sortida cap a l’exterior.
2. En el cas de nova construcció es pot impermeabilitzar l’edifici en front al radó, establint una barrera entre l’edifici i totes les parts en que aquest està en contacte amb el terreny. (Barreres antiradó).
3. Establir un sistema de depressurització del sòl. Això invertirà el pas del gas que entra per la diferència de pressió entre el terreny i l’edifici; a través de la instal.lació d’un sistema de canonades que condirà el gas des del terreny cap a l’exterior. Aquest sistema es pot reforçar mitjançant un ventilador que mantindrà el gradient de pressió negativa entre el terreny i la base. Quan sigui possible, és convenient instal.lar una cavitat petita en els fonaments als quals es pot connectar el sistema de canonades.
4. Augment de la taxa de ventilació en l’interior; per eliminar o disminuir la concentració de radó en aire, però aquesta mesura pot tenir l’efecte contrari en cas que es generi una depressió de l’edifici respecte del terreny, ja que és precisament aquest fet el que facilita l’entrada del gas. També requerirà amb tota probabilitat un aportació addicional d’energia.
5. Tapar les esquerdes per on s’introdueix el radó. Aquestes accions no soelen ser la solució definitiva però són essencials per augmentar l’eficàcia de les altres mesures.
6. En el cas que el radó provingué de l’aigua es podria tractar aquesta, prèviament al seu us, airejant-la.

Si es tracta de mines museu o coves que són atracció turística, algunes d’aquestes tècniques poden ser impracticables. La quantitat de radó llavors es pot reduir aïllant les parts de les coves no

utilitzades de les àrees freqüentades pels treballadors i el públic general, i a la vegada augmentant la ventilació. Es necessita gran cura, però, perquè en algunes circumstàncies la ventilació forçada pot alterar la humitat a les coves i destruir o disminuir la bellesa de les formacions que atrauen els turistes.

En el cas que no s’aconsegueixi baixar els nivells de radó i continuïn per sobre dels límits establerts l’empresari haurà d’aplicar el que estableix el RPSRI en relació a la protecció dels treballadors exposats a radiacions.

## BIBLIOGRAFIA

1. International Atomic Energy Agency IAEA TRS 419.
2. Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines. Safety report series núm. 33 IAEA.
3. Listado de laboratorios acreditados para medir radón en aire según Norma ISO-IEC 17025. [www.csn.es](http://www.csn.es).
4. Gestion du risque lié au radon. Guide à destination des employeurs. Autorité de sûreté nucléaire. France. <https://www ASN.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/Le-radon/Guides-sur-la-gestion-du-risque-du-radon/Guide-pour-la-gestion-du-risque-lie-au-radon-a-destination-des-employeurs>.
5. Calidad metrológica y dosimetría del radón. Vargas, A.; Ortega, M. CSN 2004.

# Noticias desde el Instituto Catalán de Seguridad y Salud Laboral de la Generalitat de Catalunya



## RADÓN, UN GAS RADIACTIVO DE ORIGEN NATURAL

El objetivo de este artículo es; describir la naturaleza del riesgo por exposición a radón en los puestos de trabajo, cuál es el marco normativo, los niveles de referencia, y los escenarios donde se puede producir la exposición, también se aportan orientaciones para la gestión del riesgo. No se ha querido profundizar en la exposición de los trabajadores a la radiación natural debida a otras fuentes de radiación natural como la radiación cósmica o los materiales radiactivos de origen natural (NORM).

### Fuentes de radiación natural

Las dosis de radiación que recibimos pueden ser de origen natural o antropogénico. Las fuentes de radiación artificial o antropogénicas pueden ser diversas y conocidas; medicina, industria, energía nuclear, explosiones, lluvia radiactiva, etc... Por otro lado las fuentes de radiación natural son básicamente la radiación cósmica que atraviesa la atmósfera y la radiación terrestre proveniente de los elementos radiactivos que se encuentran en su corteza desde su formación o que se generan en las llamadas cadenas de desintegración naturales.

Otras fuentes de radiación natural son los materiales radiactivos de Origen Natural (NORM-Naturally Occurring Radioactive Materials); que son todos aquellos materiales con una radiactividad de procedencia natural sobre los cuales cualquier actividad tecnológica humana haya incrementado su potencial radiactivo en comparación con la situación inalterada (*International Atomic Energy Agency IAEA-TRS-419*). Así son industrias NORM, las que manipulan o producen estos materiales cómo; las de producción de petróleo y gas, las de producción de cemento, de pigmentos de óxido de titanio, las que realizan extracción de tierras raras, etc.

De todas las fuentes de radiación natural que recibe la población la más importante es el gas radón. Hay que tener en cuenta pero que en el ámbito laboral los trabajadores de las industrias NORM pueden estar expuestos en mayor o menor medida a la radiación que proviene de los diferentes radionúclidos naturales que se acumulan en el proceso industrial.

El radón proviene de las cadenas naturales de desintegración de los isótopos del uranio; (U-238 y U-235), y del torio (Th-232). Se trata de un gas noble, incoloro, insípido y sin ningún olor, que pasa desapercibido a nuestros sentidos a pesar de estar presente.

Existen tres isótopos radiactivos del radón: el actinon (Rn-219), miembro de la cadena de desintegración del uranio (U-235); el torón (Rn-220), miembro de la cadena de desintegración del torio (Th-232) y finalmente el radón (Rn-222), que proviene del uranio (U-238).

El uranio (U-238) es un elemento muy abundante en la tierra, en su desintegración da lugar al Th-234, el cual también se desintegra en otro elemento radiactivo, y así sucesivamente hasta que se llega al Ra-226, que da lugar al radón (Rn-222). (Gráfico I). Todos estos elementos en su desintegración emiten partículas alfa, beta y radiación gamma.

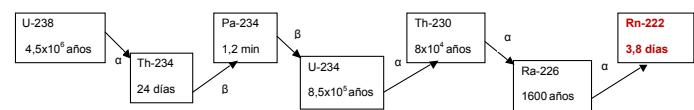
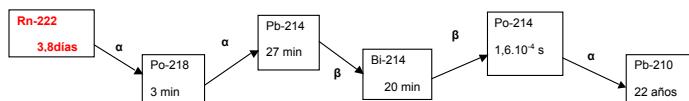


Gráfico I. Secuencia de desintegración del U-238. Bajo el símbolo de cada radioisótopo aparece su periodo de semidesintegración. Se muestra el tipo de desintegración alfa o beta que cada radionúclido emite.

El radón (Rn-222) tiene un periodo de semidesintegración de 3,8 días. Ver (Gráfico II) Es muy soluble en agua y se acumula en el suelo y las rocas del terreno, también se puede incorporar fácilmente a las bolsas de gas natural. A través del suelo, las rocas y el agua, y en función de diferentes variables como las características del terreno y las condiciones climatológicas, entre otras, puede pasar al aire exterior y en el interior de los edificios y concentrarse en puestos de trabajo subterráneos, cuevas, minas, zonas con aguas termales, etc. En general, los niveles de radón en el aire exterior son muy bajos porque se difunde en la atmósfera, pero, en el interior de los recintos, los niveles pueden llegar a ser elevados. Normalmente, los valores más altos se encuentran en sótanos o plantas bajas donde hay poca ventilación. Los niveles en recintos cerrados acostumbran a presentar variaciones diurnas, con valores más elevados por la noche y primera hora de la mañana, y estacionales, con valores más elevados en invierno, si bien en un edificio o puesto de trabajo en particular la dinámica puede ser diferente debido a varios factores.

Por otro lado, el periodo de semidesintegración del torón y el actinon (56 y 4 según respectivamente) son tan cortos que ambos radionúclidos no pueden viajar a mucha distancia y su importancia desde el punto de vista de la protección radiológica es mucho menor.



**Gráfico II.** Secuencia de desintegración del Rn-222. Bajo el símbolo de cada radioisótopo aparece su periodo de semidesintegración. Se muestra el tipo de desintegración alfa o beta que cada radionúclido emite.

### Efectos para la salud de la exposición a gas radón

El periodo de semidesintegración del Rn-222 es suficientemente largo para penetrar dentro de edificios y acumularse, hecho que puede estar agravado como ya se ha comentado por una mala ventilación. Así, en una habitación, habrá una cierta concentración de radón, el cual constituirá una fuente de descendentes radiactivos que son metales pesados muy activos; una parte importante se fijarán a los aerosoles, otra se depositará en las superficies. Cuando respiramos el aire de esta habitación, inhalamos una cantidad de radón y de sus descendentes. El radón es expulsado con poca probabilidad de quedarse retenido en nuestro interior, pero sus descendentes de vida media corta adheridos o no a los aerosoles, quedan fijados a nuestro aparato respiratorio. Este es el mecanismo mediante el cual los pulmones reciben una dosis de radiación que puede causar, entre otros efectos, alteraciones en el material genético de las células del tejido pulmonar, y originar un daño que, después de un tiempo, puede dar lugar a cáncer de pulmón.

El radón fue clasificado como cancerígeno humano del grupo 1, por la *International Agency for Research on Cancer* (IARC) y como cancerígeno del grupo A por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de los EE.UU.

Hay que tener en cuenta que el radón es la segunda causa de muertes por cáncer de pulmón, después del tabaco. La Organización Mundial de la Salud (OMS) le atribuye hasta un 14% las muertes por cáncer de pulmón. Este agente químico es un importante factor de riesgo para desarrollar cáncer de pulmón, especialmente en las personas fumadoras; la acción sinérgica del radón y el tabaco hace que el riesgo de cáncer por exposición al radón para un fumador sea veinte veces más grande que para un no fumador.

### Niveles de referencia. Marco Normativo

En España, son de obligado cumplimiento los límites de referencia establecidos en el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes aprobado por el Real decreto 783/2001, de 6 de julio (RPSRI), modificado por Real decreto 1439/2010 y las indicaciones de la Instrucción IS-33, de 21 de diciembre de 2011, del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a radiación natural. Esta instrucción establece criterios radiológicos por un lado; sobre los valores de dosis (de radiación natural) a los trabajadores, y sobre las concentraciones de radón en puestos de trabajo (ver Tabla I).

Si estos valores se superaran darían lugar a la adopción de medidas correctoras o dispositivos de vigilancia.

LUGARES DE TRABAJO	
NIVEL DE REFERENCIA ANUAL (RPSRI) 600 Bq/m <sup>3</sup>	
<600	No es necesario control
600-1000	Nivel bajo de control
>1000	Nivel alto de control

El 17 de enero de 2014 se publica la Directiva 2013/59/EURATOM, de 5 de diciembre de 2013, que deroga las directivas 1996/29/EURATOM, y las Directivas complementarias y establece las normas de seguridad básicas para la protección sanitaria de los trabajadores y la población, contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes en toda la UE. Para dar cumplimiento al dictado de la Directiva, los estados miembros establecerán niveles nacionales de referencia para las concentraciones de radón en recintos cerrados en los puestos de trabajo. El nivel de referencia para la media anual de concentración de actividad en aire no superará los 300 Bq/m<sup>3</sup>, salvo que esté justificado por circunstancias en el ámbito nacional.

Los estados miembros de la UE disponían hasta el 6 de febrero de 2018 para la transposición de la directiva al derecho nacional y para la puesta en marcha de planes nacionales que tengan como objetivo hacer frente a los riesgos a largo plazo debidos a las exposiciones a radón en viviendas, edificios de acceso público y puestos de trabajo por cualquier vía de entrada, ya sea el suelo, los materiales de construcción o el agua.

Actualmente a nivel estatal, se está trabajando en el proyecto de un nuevo Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, y en un Plan nacional contra el radón, liderado por el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, con participación del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, del CSN, las Comunidades autónomas (CCAA) y las entidades locales.

### Registro de actividades con exposición a radiactividad natural

El mencionado Reglamento de protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes, en su modificación establecida en el RD 1439/2010, establece que los titulares de las actividades laborales donde existan fuentes naturales de radiación tienen que declarar estas actividades ante los órganos competentes en materia de industria de las comunidades autónomas y realizar los estudios necesarios para determinar si existe un riesgo significativo de exposición de los trabajadores o del público que no se pueda considerar despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica.

A tal efecto, los órganos competentes de las CCAA han ido estableciendo estos registros. En Catalunya, la DG de Energía,

Minas y Seguridad Industrial del Departamento de Empresa y Conocimiento de la Generalitat de Cataluña ha creado el correspondiente registro, al cual se pueden inscribir las empresas titulares mediante las Oficinas de Gestión Empresarial. Toda la información sobre el trámite se puede encontrar en el Canal Empresa de la Generalitat de Cataluña.

Para facilitar la realización de estos estudios, el CSN ha editado dos Guías de Seguridad; la GS 11.3, "Metodología para la evaluación del impacto radiológico de las industrias NORM" i la GS 11.4, "Metodología para la evaluación de la exposición al radón en los lugares de trabajo".

Estos estudios tienen que remitirse a la DG de Energía, Minas y Seguridad Industrial según las condiciones establecidas en la Instrucción del CSN IS-33.

Por último, hay que decir que el Consejo de Seguridad Nuclear, como único ente competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, velará por el cumplimiento de estas obligaciones por parte de los titulares, estableciendo los mecanismos que considere oportunos.

#### Trabajadores expuestos a radón

La exposición laboral a radón y a sus productos de desintegración se considera una exposición a un agente cancerígeno en el puesto de trabajo. La exposición laboral estimada al radón en Cataluña, según el sistema de información CAREX-CAT, es la quinta más prevalente, detrás de la radiación ultravioleta (UV), el trabajo a turnos, los humos de motor diesel y la sílice cristalina.

La presencia de gas radón en el interior de recintos o en determinados espacios subterráneos, tiene su origen principal en el suelo y en las rocas que forman parte, y puede variar mucho en función del tipo de suelo y, en consecuencia, de la región o zona en que nos encontramos. Hay que tener en cuenta, pero, que los propios materiales de la construcción pueden constituir una aportación importante a la concentración de radón, ya que estos pueden provenir de zonas con tierras con un alto contenido en radio Ra-226. Otras aportaciones como ya se ha comentado son; el agua y el gas natural.

Entre los posibles trabajadores expuestos a gas radón se podrían diferenciar los grupos siguientes:

- 1. Trabajadores de superficie:** son los que trabajan en el interior de edificios o instalaciones de empresas situadas en zonas con un nivel alto de radón, o que desarrollan su actividad en interiores donde el radón pueda acumularse y llegar a concentraciones elevadas. Este grupo incluye básicamente los trabajadores situados en plantas bajas o aquellas que se encuentran a nivel del suelo, puesto que en principio en alturas superiores del edificio la concentración de radón proveniente del terreno disminuye.
- 2. Trabajadores en áreas subterráneas y/o en contacto con aguas subterráneas:** los que desarrollan su actividad laboral en instalaciones o recintos bajo la superficie del suelo, y todos los que están en contacto con aguas subterráneas.

**3. Otros colectivos:** los que, por razón de su actividad laboral, están en contacto o manipulan isótopos de radón (centros de investigación, laboratorios de investigación, etc.).

**4. Trabajadores que manipulan materiales NORM,** pueden estar expuestos a diferentes isótopos naturales y también a cantidades variables de radón y sus descendentes en función del material y/o residuo manipulado.

Según el ANEXO IS-33 del CSN los puestos de trabajo en los que es probable que el valor medio de la concentración de radón supere el nivel de referencia (600 Bq/m<sup>3</sup>) serían;

- 1. Puestos de trabajo subterráneos** como cuevas y galerías y minas diferentes de las de uranio.
- 2. Establecimientos termales.**
- 3. Instalaciones** donde se traten y almacenen aguas de origen subterráneo.
- 4. Puestos de trabajo, subterráneos o no subterráneos,** en áreas identificadas por sus valores elevados de radón.

En relación a las áreas identificadas, el CSN ha creado el mapa del potencial de radón en España, que se puede consultar on-line en: Monografías>Mapas de Radiación Natural>Mapa del potencial de radón en España.

Las zonas del mapa con potencial superior a 300 Bq/m<sup>3</sup> (el nivel de referencia que establece la Directiva 2013/59) se consideran zonas de actuación prioritaria. En este otro enlace, se puede consultar un mapa de los municipios en que parte de la población reside en zonas de actuación prioritaria: Monografías>Mapas de Radiación Natural>Mapa de zonificación por municipio de radón.

La información que dan los mapas no se tiene que considerar sustitutiva de las medidas de radón en aire, que son el indicador más fiable del riesgo a que está expuesto cada individuo en su vivienda o en su puesto de trabajo.

#### Mediciones de radón en aire

Nuestros sentidos no son sensibles a la presencia del gas radón y de sus descendentes, de forma que para detectarlo es necesario utilizar unos equipos especialmente diseñados para detectar la radiación emitida en sus desintegraciones. En general, estos detectores se basan en los diferentes procesos de interacción de la radiación con la materia y la detección se puede llevar a cabo mediante diferentes métodos. La elección del método y, por lo tanto del detector, dependerá de los objetivos de cada medición. En función del tiempo que dura el proceso de medida, se pueden distinguir las medidas puntuales, en continuo e integradas. La medida puntual se realiza durante un periodo de tiempo muy corto, normalmente inferior a 2 horas. El resultado obtenido representa el valor de la concentración de radón en aire en un instante concreto, por lo tanto, este tipo de medida permite hacer una estimación rápida. La medida en continuo se realiza durante el tiempo que se considere oportuno, pudiendo ir desde algunas horas hasta varios días o, incluso, meses o años. Generalmente, se registra durante todo el proceso que dura la medición y los resultados se obtienen en unos intervalos de tiempos que acostumbran a ser cortos, desde algunos minutos hasta varias horas. Este tipo de medición se realiza para estudiar la evolución temporal de la concentración de radón. La medida integrada se realiza en

un periodo de tiempo relativamente largo que puede variar desde algunos días hasta varios meses. El resultado es el valor medio de la concentración de radón en el intervalo de tiempo que dura la exposición del detector. La mayoría de los detectores de radón que se comercializan están calibrados para proporcionar el valor de la concentración de actividad del gas radón en un volumen de aire, normalmente en unidades de Becquerel por metro cúbico ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ).

Las mediciones de radón que se realizan en el interior de los recintos cerrados tienen que permitir determinar la exposición que reciben las personas que viven o trabajan en su interior. En estas circunstancias, por ejemplo, el resultado de una medida puntual realizada en un recinto donde la concentración de radón fluctúa mucho deja de ser significativo. La legislación actual recomienda realizar las mediciones necesarias para determinar el valor medio de la concentración de radón a lo largo de un año, siendo las mediciones integradas las más adecuadas, puesto que son mucho más sencillas y baratas que las mediciones en continuo. Entonces, conociendo el tiempo de permanencia de las personas en el interior del recinto, se puede hacer una estimación de su exposición al gas radón.

En el mercado existe una gran variedad de instrumentación para medir el gas radón. Una forma habitual de clasificar los diferentes tipos de detectores es distinguir entre activos y pasivos. Los detectores activos son sistemas que necesitan algún tipo de suministro de energía eléctrica mientras dura la medición, ya sea con baterías o conectados en la red eléctrica, porque constan de mecanismos eléctricos, como bombas de aire, y/o de una electrónica asociada. Los detectores pasivos, en cambio, son sistemas que no necesitan ninguna aportación de energía eléctrica a lo largo de la medida, como por ejemplo, los detectores sólidos de trazas nucleares (como el Makrofol DE, el CR39 y el LR-115), los de carbón activado (canisters), los de termoluminiscencia (TLD) o los electretes. Con los detectores activos se acostumbra a hacer mediciones instantáneas o en continuo mientras que con los detectores pasivos se realizan las mediciones integradas. La ventaja de los detectores pasivos respecto de los activos es que son equipos muy sencillos de utilizar, de dimensiones reducidas y de bajo coste, de tal forma que puede disponerse de muchos detectores para realizar muchas medidas a diferentes emplazamientos de forma simultánea. Por otro lado, los detectores activos permiten hacer estudios más detallados de la dinámica de los niveles de radón en el interior de los edificios analizados y algunos también disponen de accesorios para realizar la medición de la cantidad del gas radón disuelto al agua así como el radón presente en el aire del suelo. Algunos de estos detectores y/o accesorios también pueden diferenciar entre los dos isótopos del gas radón ( $\text{Rn-222}$  y  $\text{Rn-220}$ ), así como también medir el factor de equilibrio del gas radón con sus descendentes.

La demanda de servicios de medida de la concentración de radón, de alta calidad ha generado la necesidad de disponer de instalaciones donde los detectores de radón puedan ser calibrados bajo condiciones muy controladas y trazadas con estándares nacionales e internacionales. Estas instalaciones reciben el nom-

bre de cámaras de radón y están localizadas en centros de referencia como el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) en Alemania, la Health Protection Agency (HPA) de Chilton, en el Reino Unido, el Instituto de Técnicas Energéticas (INTE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), en España, etc. Una entidad que ofrezca el servicio de mediciones de gas radón tiene que ofrecer unas garantías de calidad de los resultados de sus medidas, por lo tanto, en los próximos años será indispensable que estos servicios estén acreditados por alguna agencia de calidad, como lo Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA).

Cuando las mediciones de radón se tienen que realizar en unas condiciones ambientales extremas, es decir, muy diferentes de aquellas con las que los detectores han sido calibrados (otras humedades, temperaturas elevadas, altas concentraciones de aerosol, etc.), hay que tener en cuenta algunas medidas adicionales, ya sea la aplicación de unos factores correctores sobre los resultados, así como la utilización de métodos de protección por los propios detectores. Entonces, en estos casos especiales se recomienda que las medidas sean realizadas con el asesoramiento de un equipo de expertos en mediciones de radón en condiciones ambientales extremas.

#### **Medidas de reducción de los niveles de radón en interiores**

En el caso de sobrepasar los límites de referencia de concentración de radón en aire comentados (ver tabla I), el empresario tendrá que aplicar medidas para reducir este valor. Estas acciones dependerán de diferentes variables como; las características del edificio, el tipo de construcción y los materiales utilizados, la utilización que se le dé al edificio y sus tasas de ventilación. No hay dos edificios iguales y quizás hará falta el asesoramiento de un experto.

En líneas generales, las principales medidas a tomar tendrán como objetivos limitar la entrada del radón en el edificio y/o eliminar o reducir el radón del interior. A continuación se citan algunas acciones posibles:

1. Eliminación del radón del sótano o espacio que se encuentra entre el terreno y la planta baja del edificio, incrementando la ventilación en esta zona de forma natural o forzada; instalando un ventilador y una salida hacia el exterior.
2. En el caso de nueva construcción se puede impermeabilizar el edificio en frente al radón, estableciendo una barrera entre el edificio y todas las partes que estén en contacto con el terreno. (Barreras antiradón)
3. Establecer un sistema de despresurización del suelo. Esto invertirá el paso del gas que entra por la diferencia de presión entre el terreno y el edificio; a través de la instalación de un sistema de cañerías que conducirá el gas desde el terreno hacia el exterior. Este sistema puede reforzarse mediante un ventilador que mantendrá el gradiente de presión negativa entre el terreno y la base. Cuando sea posible, es conveniente instalar una cavidad pequeña en los cimientos a los cuales se puede conectar el sistema de cañerías.
4. Aumento de la tasa de ventilación en el interior; para eliminar o disminuir la concentración de radón en aire, pero esta medida puede tener el efecto contrario en caso de que se genere más depresión del edificio respecto del terreno, puesto que es

precisamente este hecho el que facilita la entrada del gas. También requerirá con toda probabilidad una aportación adicional de energía.

**5.** Tapar las grietas por donde se introduce el radón, Estas acciones no suelen ser la solución definitiva pero son esenciales para aumentar la eficacia de las otras medidas.

**6.** En el supuesto de que el radón provenga del agua se podría tratar ésta previamente mediante aireación.

Si se trata de minas museo o cuevas que son atracción turística, algunas de estas técnicas pueden ser impracticables. La cantidad de radón entonces se puede reducir aislando las partes de las cuevas no utilizadas de las áreas frecuentadas por los trabajadores y el público general, y a la vez aumentando la ventilación. Estas acciones deben hacerse con cuidado porque en algunas circunstancias la ventilación forzada puede alterar la humedad de las cuevas y destruir o disminuir la belleza de las formaciones que atraen los turistas.

En el supuesto de que no se consiga bajar los niveles de radón y continúen por encima de los límites establecidos el empresario tendrá que aplicar lo que establece el RPSRI en relación a la protección de los trabajadores expuestos a radiaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. International Atomic Energy Agency IAEA TRS 419.
2. Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines. Safety report series núm. 33 IAEA.
3. Listado de laboratorios acreditados para medir radón en aire según Norma ISO-IEC 17025. [www.csn.es](http://www.csn.es).
4. Gestion du risque lié au radon. Guide à destination des employeurs. Autorité de sûreté nucléaire. France. <https://www ASN.fr/Informer/Dossiers-pédagogiques/Le-radon/Guides-sur-la-gestion-du-risque-du-radon/Guide-pour-la-gestion-du-risque-lie-au-adon-a-destination-des-employeurs>.
5. Calidad metrológica y dosimetría del radón. Vargas, A.; Ortega, M. CSN 2004.