



Institut Abat Oliba

Treball de Recerca de Batxillerat

ESTUDI DE LES CONCENTRACIONS DE GAS RADÓ EN INSTITUTS DEL RIPOLLÈS

*Anàlisi dels nivells de radó mesurats a l'Institut Abat Oliba de Ripoll i
a l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser, amb proposta d'actuació
per a l'espai que supera el valor de referència*

Autor: Joan Del Ángel Gascón

Curs: Segon de batxillerat

Tutor: Joan Andreu Moll Gamboa

Ripoll, Octubre 2025

RESUM

Aquest treball ha mesurat i analitzat els nivells de gas radó en dos centres educatius del Ripollès: l'Institut Abat Oliba de Ripoll i l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser. Segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS), es calcula que entre el 3% i el 14% dels casos de càncer de pulmó de la població general estan relacionats amb la inhalació de radó.

Els resultats mostren una clara variabilitat entre ambdós edificis. A l'Institut Joan Triadú, les concentracions es mantenen entre 30 i 68 Bq/m³. En canvi, a l'Institut Abat Oliba s'han detectat valors significativament més elevats, especialment al magatzem, amb registres entre 849 i 1523 Bq/m³. Tot i que alguns espais superen el valor recomanat per l'OMS (100 Bq/m³), cap zona habitable excedeix el límit legal de 300 Bq/m³ establert pel *Reial Decret 1029/2022*, mentre que el magatzem (espai no habitable) sí que el sobrepassa. A partir de l'anàlisi dels resultats s'ha demostrat que les característiques constructives són un factor determinant, així com la distància respecte al sòl i el nivell d'activitat de cada espai.

Com a resposta, el treball proposa un pla d'actuació per reduir les concentracions de radó al magatzem mitjançant un sistema combinat d'impulsió i extracció d'aire, juntament amb el segellat de fissures, esquerdes i juntes. Aquest apartat ha comptat amb l'assessorament de l'empresa Soler & Palau.

Les entrevistes realitzades a dos experts en pneumologia han estat clau per conèixer la situació actual del radó a Espanya i aclarir conceptes relacionats amb la seva incidència i la manca de conscienciació social.

En conclusió, aquest estudi no només ha permès validar en gran part la hipòtesi inicial, sinó que aporta dades inèdites sobre la presència de radó al Ripollès, contribueix a la tasca de conscienciació i difusió sobre la problemàtica del radó i ofereix una solució tècnica reproducible en espais de característiques similars.

RESUMEN

Este trabajo ha medido y analizado los niveles de gas radón en dos centros educativos del Ripollès: el Instituto Abat Oliba de Ripoll y el Instituto Joan Triadú de Ribes de Freser. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se calcula que entre el 3% y el 14% de los casos de cáncer de pulmón de la población general están relacionados con la inhalación de radón.

Los resultados muestran una clara variabilidad entre ambos edificios. En el Instituto Joan Triadú, las concentraciones se mantienen entre 30 y 68 Bq/m³. En cambio, en el Instituto Abat Oliba se han detectado valores significativamente más elevados, especialmente en el almacén, con registros entre 849 y 1523 Bq/m³. Aunque algunos espacios superan el valor recomendado por la OMS (100 Bq/m³), ninguna zona habitable excede el límite legal de 300 Bq/m³ establecido por el *Real Decreto 1029/2022*, mientras que el almacén (espacio no habitable) sí lo sobrepasa. A partir del análisis de los resultados, se ha demostrado que las características constructivas son un factor determinante, así como la distancia respecto al suelo y el nivel de actividad de cada espacio.

Como respuesta, el trabajo propone un plan de actuación para reducir las concentraciones de radón en el almacén mediante un sistema combinado de impulsión y extracción de aire, junto con el sellado de fisuras, grietas y juntas. Este apartado ha contado con el asesoramiento de la empresa Soler & Palau.

Las entrevistas realizadas a dos expertos en neumología han sido clave para conocer la situación actual del radón en España y aclarar conceptos relacionados con su incidencia y la falta de concienciación social.

En conclusión, este estudio no solo ha permitido validar en gran medida la hipótesis inicial, sino que aporta datos inéditos sobre la presencia de radón en el Ripollès, contribuye a la labor de concienciación y difusión sobre la problemática del radón y ofrece una solución técnica reproducible en espacios de características similares.

ABSTRACT

This study analyzed radon gas levels in two educational centers in the Ripollès region: Abat Oliba High School in Ripoll and Joan Triadú High School in Ribes de Freser. According to the World Health Organization (WHO), it is estimated that between 3% and 14% of lung cancer cases in the general population are related to radon inhalation.

The results show a clear variability between both buildings. In Joan Triadú High School, concentrations remained between 30 and 68 Bq/m³, while in Abat Oliba High School, significantly higher values were detected, especially in the storage room, with levels between 849 and 1523 Bq/m³. Although some areas exceeded the WHO recommended limit (100 Bq/m³), no occupied zone surpassed the legal limit of 300 Bq/m³ established by *Royal Decree 1029/2022*, while the storage room (a non-habitable space) did. The analysis demonstrated that building characteristics are a determining factor, as well as the height above ground and the activity level of each space.

In response, the study proposes an action plan to reduce radon concentrations in the storage room through a combined air supply and extraction system, together with the sealing of cracks. This section was developed with the advice of Soler & Palau Ventilation Group.

Interviews with two pulmonology experts were essential to understand the current situation of radon in Spain and to clarify concepts related to its incidence and the general lack of public awareness.

In conclusion, this study has not only largely validated the initial hypothesis, but also provides original data on the presence of radon in the Ripollès region. It contributes to raising awareness about the issues surrounding radon gas, while offering a technical solution that is replicable in spaces with similar characteristics.

TAULA DE CONTINGUTS

Agraïments	7
Introducció	8
Presentació	8
Motivació	8
Objectius	8
Hipòtesis	9
Metodologia	9
Estructura de la memòria	10
1. El radó	11
1.1. Característiques físiques i químiques	11
1.2. Origen i formació del radó	12
1.2.1. Desintegració de l'urani	12
1.2.2. Fonts del radó	13
1.2.3. Sòls emissors de radó	14
1.2.3.1. Geologia	14
1.2.3.2. Permeabilitat i porositat	16
1.3. Efectes del radó sobre la salut humana	17
1.4. Distribució geogràfica del radó a Espanya	20
1.5. Legislació	23
1.5.1. DIRECTIVA 2013/59/EURATOM	23
1.5.2. REIAL DECRET 1029/2022	23
1.5.3. Plan Nacional contra el Radón	24
1.5.4. DB-HS 6 del Código Técnico de la Edificación	24
1.5.5. Guia de Rehabilitació contra el radó	25
1.5.6. INSTRUCCIÓ IS-47	25
1.6. Mesurament del radó	26
1.6.1. Tipus de detectors	26
1.6.2. Protocols de mesura	28
2. Contextualització de l'estudi	29
2.1. Ribes de Freser	29
2.1.1. Hidrogeologia de Ribes de Freser	30
2.1.2. Geologia de Ribes de Freser	31
2.2. Ripoll	33
2.2.1. Hidrogeologia de Ripoll	34
2.2.2. Geologia de Ripoll	35
2.3. Connexió hidrogràfica	36
2.4. Radiació gamma de fons al Ripollès	36
3. Estudi	37
3.1. Presentació	37
3.2. Metodologia	37
3.2.1. Dosímetre usat	37

3.2.1.1. Electrets i Cambra S	37
3.2.1.2. Lector de voltatge i electrets de referència	38
3.2.1.3. Possibles alteracions dels resultats	39
3.2.1.4. Càlcul de les concentracions de radó	40
3.2.2. Calibratge dels equips de mesura	42
3.2.3. Planificació	43
3.2.4. Procediment	46
3.3. Resultats	47
3.4. Anàlisi dels resultats	50
4. Pla d'actuació	53
4.1. Identificació del problema i objectiu	53
4.2. Estratègia d'actuació	54
4.2.1. Descripció de l'edifici	54
4.2.2. Elecció de la solució	55
4.2.3. Diagnòstic	55
4.3. Mesures proposades	56
4.3.1. Ventilació mecànica del magatzem (B2)	56
4.3.2. Segellat de fissures, esquerdes, trobades i juntes (A2)	60
4.4. Execució, seguiment i verificació	62
4.5. Pressupost orientatiu	62
4.6. Notes finals	63
5. Aportacions d'experts	64
5.1. Dr. Xavier Muñoz Gall	64
5.2. Dr. Francisco Javier González Barcala	66
LÍMITS I MILLORES	68
CONCLUSIONS	70
FONTS DOCUMENTALS	73
ANNEX A. Mapes de Ribes de Freser	81
ANNEX B. Mapes de Ripoll	91
ANNEX C. Fragments d'estudis utilitzats per al desenvolupament de la llegenda	100
ANNEX D. Informes dels assaigs de radó amb electrets SST	102
ANNEX E. Respostes completes dels experts consultats	115
ANNEX F. Fonaments de l'estructura atòmica i la radioactivitat	121
ANNEX G. Conceptes de geologia	129

Agraïments

Vull agrair, en primer lloc, a la Raquel Cunill, coordinadora de batxillerat, per la seva ajuda i suport en tot el procés inicial i en la gestió de l'enviament del material de mesura. Així mateix, a la professora Clàudia Grossi, de la UPC, per tota la informació, els coneixements i els recursos que m'ha proporcionat, així com per haver-me facilitat el material de mesura, sense el qual aquest treball no hauria estat possible.

També vull donar les gràcies a la Marta Carbonell i a en Joan Maria Roig per haver-me permès fer les mesures als centres, així com al meu tutor del treball, en Joan Andreu Moll, per la seva orientació, paciència i consells durant tot el procés.

Addicionalment, vull agrair al Dr. Xavier Muñoz Gall i al Dr. Francisco Javier González Barcala l'amabilitat i el coneixement que m'han transmès, així com a en David Ureta, l'assessorament del qual ha estat fonamental per a l'elaboració del pla d'actuació.

Finalment, vull donar les gràcies a la meva família pel suport i l'ajut rebut al llarg de tot aquest treball.

Introducció

Presentació

Aquest treball de recerca combina un marc teòric amb un estudi basat en l'anàlisi de les concentracions de radó mesurades en espais de diferents instituts. L'anàlisi té en compte factors geològics, hidrogeològics i constructius. L'estudi s'acompanya d'un pla d'actuació per reduir la concentració de radó en un espai on s'han detectat valors per sobre del nivell de referència.

El treball no només pretén mesurar i analitzar les concentracions de radó, sinó també conscienciar sobre la problemàtica del radó i proposar un pla d'actuació com a resposta davant d'unes concentracions que podrien suposar un risc.

Motivació

La idea de realitzar aquest treball de recerca va sorgir arran de la lectura d'un article publicat a Foro Nuclear, en el qual es parlava del gas radó. Des del primer moment el vaig trobar un tema molt interessant, i això em va portar a fer més recerca. Va ser així com vaig descobrir que a la meua comarca hi ha zones amb un potencial elevat d'aquest gas radioactiu. Aquesta proximitat em va motivar encara més.

Malgrat l'interès, era conscient que, per poder desenvolupar la part pràctica del treball, necessitava material de mesura especialitzat. Per això, amb l'objectiu d'aconseguir aquest material, vaig contactar amb diferents institucions públiques i empreses privades. Finalment, gràcies a la col·laboració de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i de la professora Clàudia Grossi, he pogut accedir a aquest material.

Objectius

L'objectiu general d'aquest treball de recerca és mesurar, analitzar i comparar les concentracions de gas radó en edificis d'interès, valorant la normativa actual i proposant mesures de mitigació en cas de detectar algun espai crític. Els objectius específics són

- Buscar i sintetitzar informació teòrica sobre el gas radó (característiques, origen, comportament, mecanismes que en fan un gas perillós, normativa...), amb la finalitat de comprendre la perillositat del gas, d'enriquir el coneixement personal i deixar constància en el treball.

- Realitzar mesures de les concentracions de radó en diferents edificis d'interès de la comarca del Ripollès.
- Determinar les causes que porten als nivells obtinguts i analitzar les dades segons les característiques de cada espai.
- Contrastar els resultats amb la normativa vigent i determinar si els valors obtinguts suposen un risc per a la salut.
- Proposar mesures d'actuació en cas que es detecti algun espai amb concentracions elevades d'aquest gas.
- Aportar consciència sobre la problemàtica del radó.
- Incorporar la visió d'experts per validar la informació i la interpretació dels resultats.

Hipòtesis

S'espera que alguns espais de l'Institut Abat Oliba de Ripoll i de l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser presentin concentracions de radó superiors al límit recomanat per l'OMS (100 Bq/m³), i que, en determinats espais, sobretot en plantes baixes o sota rasant, les concentracions puguin superar el nivell de referència establert pel *Reial Decret 1029/2022* (300 Bq/m³). Així mateix, es preveu que hi hagi diferències significatives entre centres i espais, amb concentracions més elevades a Ribes de Freser, condicionades pel potencial de radó més elevat assignat al municipi, segons el *Document Bàsic HS-6 del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE)*, i per la geologia local, en la qual s'espera una major presència d'urani-238 o radi-226.

Metodologia

Una vegada acceptat el tema del treball i confirmada la disponibilitat del material de mesura, es va dur a terme una recerca teòrica sobre el gas radó. Paral·lelament, es van gestionar els tràmits necessaris per obtenir el material, facilitat per la Universitat Politècnica de Catalunya, i es va realitzar una videoconferència amb la professora Clàudia Grossi, durant la qual es van resoldre dubtes, es van rebre instruccions sobre el funcionament del material i es van revisar els protocols de mesura.

Per dissenyar el mostreig es va tenir en compte el *Mapa de potencial de radón en España (2023)* elaborat pel Consell de Seguretat Nuclear (CSN), el material disponible i els horaris dels centres educatius. Es va determinar quins espais serien mostrejats, quan es farien i

com es durien a terme. Aquesta proposta es va validar amb el tutor del treball i amb la professora de la universitat. Un cop obtingut el vistiplau, es va contactar amb els instituts escollits per obtenir-ne el permís. L'organització en el mostreig va prendre un paper clau, ja que s'havia de ser rigorós amb els períodes d'exposició establerts i s'havia de retornar el material en el termini acordat.

Una vegada finalitzat el mostreig, les dades obtingudes es van processar i organitzar mitjançant el programari Google Sheets. Es van elaborar taules i es van crear gràfiques amb el programari Microsoft Excel, que permetia opcions més avançades. Posteriorment, es va dur a terme una recerca geològica i hidrogeològica, utilitzant visors de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), que van permetre l'anàlisi dels resultats.

Seguidament, es va dissenyar un pla d'actuació orientat a reduir la concentració de radó en l'espai on s'havien registrat valors per sobre el nivell de referència (300 Bq/m³). Per elaborar-lo, es va consultar la *Guía de rehabilitación frente al radón* (MITMA & IETcc, 2020) i es va rebre l'assessorament de l'empresa Soler & Palau.

Tota la informació es va integrar en el cos del treball i es va revisar i corregir per ajustar-la a la normativa que es demana. Finalment, es van extreure les conclusions.

Durant el treball, es va contactar amb experts de l'àmbit del radó, professionals de la salut, tècnics i geòlegs, per incorporar els seus punts de vista i coneixements en aquest treball.

Estructura de la memòria

El treball s'estructura en diversos blocs. En primer lloc, la introducció, seguida d'un marc teòric, en què es fa una introducció a l'àtom i s'expliquen els aspectes més rellevants del gas radó (característiques, origen, normativa...).

En el segon bloc, es presenta la contextualització de l'estudi i l'estudi propi, on es mostren els resultats i s'analitzen en relació amb la geologia i hidrogeologia de la zona, així com les característiques constructives dels edificis. A continuació, es presenta el pla d'actuació i, finalment, es detallen les conclusions del treball.

Adicionalment, trobem les fonts documentals i, en últim lloc, els annexos, que recullen els mapes, els informes de les mesures i altra informació rellevant.

1.El radó

"Per a una explicació més general sobre l'estructura atòmica i els tipus de desintegració radioactiva, es pot consultar l'**ANNEX F. Fonaments de l'estructura atòmica i la radioactivitat.**"

El radó (Rn) és un gas noble radioactiu natural, descobert per Friedrich Ernst Dorn l'any 1900. És incolor, insípid i inodor, i el seu risc no es deu únicament a ell mateix, sinó també als elements resultants de la seva descomposició radioactiva, que emeten radiació alfa i poden arribar a produir càncer de pulmó.

De tots els isòtops del radó, aquest treball se centrarà en el radó-222, que prové de la desintegració de l'urani-238, i representa aproximadament el 80% de tot el radó present a la natura. Altres isòtops són el radó-220, que prové de la desintegració del tori-232, o el radó-219, que prové de la desintegració de l'urani-235. (Ministerio de Sanidad, 2021)

1.1. Característiques físiques i químiques

Taula 1

Característiques físiques i químiques del radó-222

Nombre atòmic (Z)	86
Sèrie química	Gas noble - grup 18, període 6
Massa atòmica	222 u
Solubilitat en aigua	Mitjana
Configuració electrònica	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^6$
Tipus de radiació emesa	radiació alfa (α)
Període de semidesintegració	3,8235 dies
Punt de fusió	202 K (-71 °C)
Punt d'ebullició	211,3 K (-61,7 °C)
Densitat (a 0 °C i 1 atm.)	9,72 kg/m ³

Nota: elaboració pròpia.

1.2. Origen i formació del radó

El radó s'origina de la descomposició radioactiva del radi-226, i un cop en forma de gas, pot desplaçar-se per l'escorça terrestre o diluir-se en aigua. Tant si prové del sòl, dels materials de construcció o de l'aigua, el radó pot penetrar als edificis i acumular-se.

1.2.1. Desintegració de l'urani

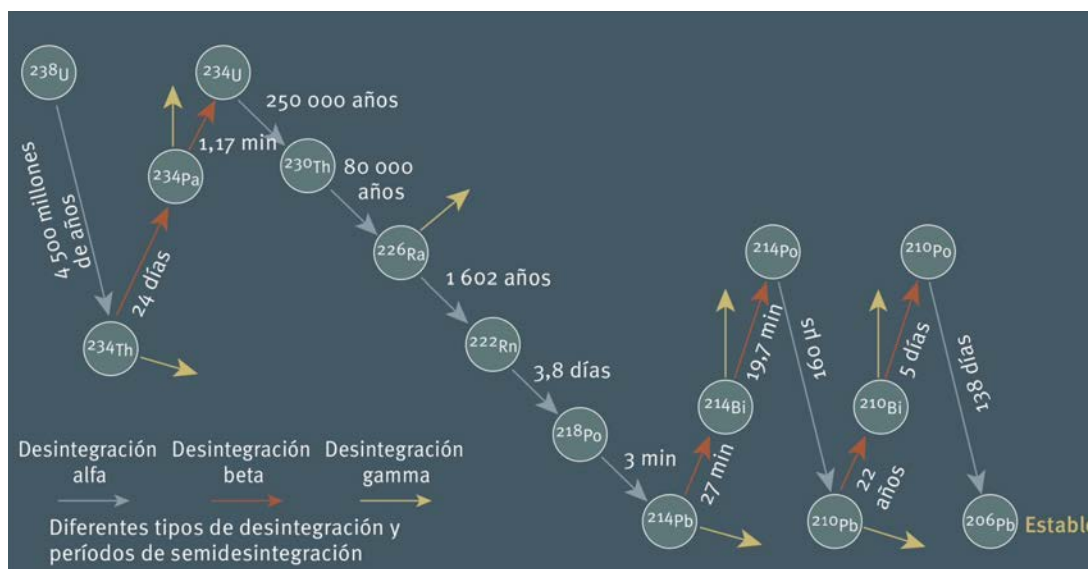
El radó-222 prové de la cadena de desintegració de l'urani-238, que es troba de forma natural en el sòl. Directament, s'origina de la descomposició radioactiva del radi-226.

El radó-222, en descompondre's en poloni-218, emet radiació alfa poc penetrant amb un període de semidesintegració de 3,82 dies. El radó-222 no suposa, de forma directa, un greu problema per a la salut, però els seus descendents, com el poloni-218 o el poloni-214, tenen una vida mitjana molt més curta i emeten radiació alfa en dosis comparativament molt més elevades, i, per això, es consideren més perillosos. (Ministerio de Sanidad, 2021)

La cadena de desintegració radioactiva de l'urani-238 finalitza quan s'assoleix el plom-206.

Figura 1

Cadena de desintegració de l'urani-238.



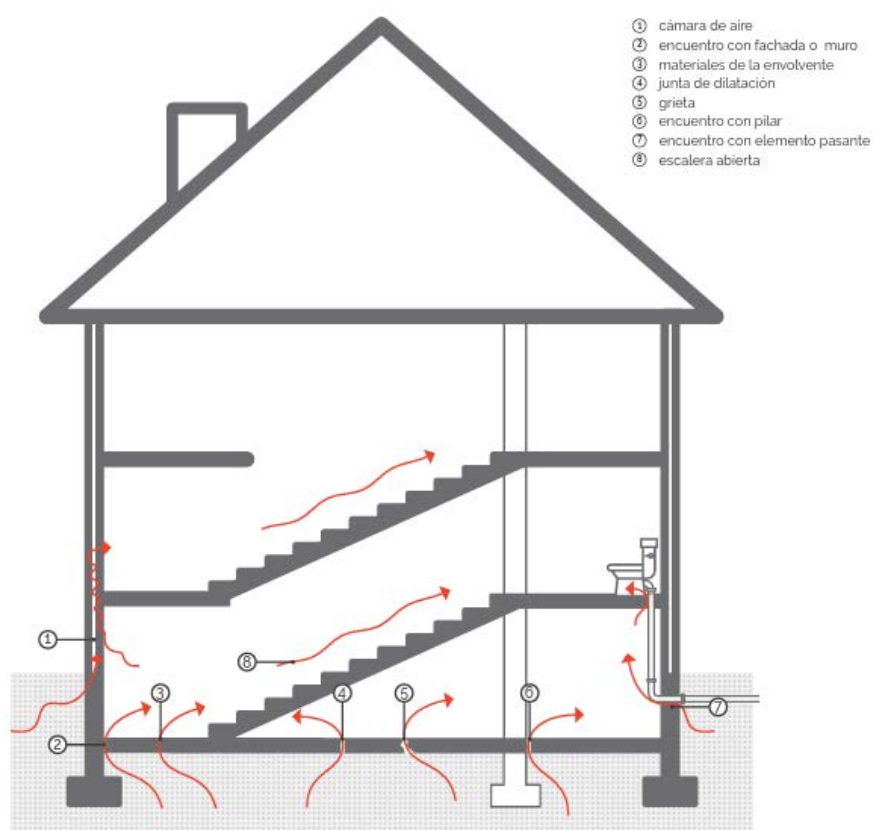
Nota: United Nations Environment Programme (2016), Radiation Effects and Sources. Recuperat de https://www.fs-ev.org/fileadmin/user_upload/89_News/Oeff.-Arbeit/Radiation_Effects_and_sources-2016.pdf

1.2.2. Fonts del radó

El sòl és la causa més comuna de nivells elevats de radó. El sòl pot contenir urani-238 o radi-226, que, com s'ha explicat abans, en descompondre's originen radó-222. Una vegada en forma de gas, pot entrar als edificis a través d'esquerdes, forats mal segellats, canonades o altres. També és una font de radó-222 els materials de construcció, com el granit, els maons o marbre, que poden contribuir, en menor mesura, a nivells alts de radó. Finalment, l'aigua, si conté radó dissolt, i s'utilitza, per exemple, a l'hora de cuinar, pot alliberar el radó a l'ambient. Tot i que no acostuma a ser un problema en sistemes de subministrament d'aigua públics, l'aigua pot esdevenir una font de radó quan prové de pous subterranis amb alta concentració d'urani.

Figura 2

Vies d'entrada del radó des del terreny a l'edifici



Nota: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) & Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc). (2020). Recuperat de https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/GuiaRadon/Guia_de_rehabilitacion_frente_al_radon+Fichas.pdf

1.2.3. Sòls emissors de radó

Els sòls amb potencial de radó són aquells que permeten la generació i migració del gas cap a la superfície. Es té en compte el tipus de roca, la porositat, la permeabilitat, la presència de fluids i les característiques del sòl. Els principals factors mineralògics que en condicionen l'emissió són la solubilitat i l'estructura interna (Ortega-Guerrero, A., 2021, pp.222-223).

1.2.3.1. Geologia

"Per a una explicació més general sobre la classificació i formació dels diferents tipus de roques, es pot consultar l'**Annex G. Conceptes de geologia**."

Com ja s'ha comentat diverses vegades, la presència de gas radó està estretament vinculada a la composició geològica del sòl, especialment quan presenta un alt contingut d'urani-238 o radi-226. (U.S. Geological Survey, 1993, p.5)

A més, és fonamental considerar estructures com falles o zones de cisalla, ja que poden actuar com a vies preferents per a la migració i concentració del radó. (U.S. Geological Survey, 1993, p.5)

Per establir el potencial de radó de la zona d'estudi, s'ha dut a terme una recerca per determinar quines unitats geològiques tenen potencial de generar concentracions de radó elevades. S'ha fet una llegenda basada en dades dels següents estudis:

- U.S. Geological Survey (1993)
- Otton (1992)
- Haneberg (2020)
- Ortega-Guerrero (2021)
- Ortega-Guerrero (2025)
- Dattola et al. (2024)

Factors associats a concentracions altes de radó

- **Factors geològics**
 - Presència de minerals de terres rares i d'urani: monacita, allanita i ziró.
 - Presència de minerals rics en urani, grafit, pirita o biotita.
- **Llocs comuns on es troben l'urani i el radi**
 - Minerals pesants.
 - Recobriments d'òxid de ferro sobre grans de roca i sòl.
 - Materials orgànics en sòls i sediments.
- **Llocs menys comuns on es troba l'urani**
 - Complexos de fosfat i carbonat en roques i sòls.

Llegenda de potencial de radó segons litologia i estructures

Potencial alt

- Ígnies
 - Granit (de dues miques, granits calco-alcalins i alcalins), granodiorita i altres roques granítiques riques en urani.
 - Pegmatites.
 - Certes roques volcàniques riques en sílice (riolites i ignimbrites riolítiques).
- Metamòrfiques
 - Esquistos, pissarres i fil·lites carbonoses.
- Sedimentàries
 - Lutites negres.
 - Fosforites.
 - Alguns carbons.
- Estructures
 - Falles i zones de cisallament.

Potencial moderat

- Ígnies
 - Basalts.
- Metamòrfiques
 - Algunes roques metamòrfiques de composició granítica (melange i gneis granític).
 - Altres esquistos, pissarres i fil·lites no carbonoses.
 - Roques metamorfitzades per contacte a prop de plutons.
- Sedimentàries
 - Roques carbonatades productores de carst (calcàries/dolomies/creta).
 - Bauxita
 - Gresos amb glauconita i certs tipus de gresos fluvials i sediments fluvials (especialment amb alt contingut en fosfats).
 - Sorres marines de quars.

Potencial baix o variable

- Ígnies
 - Roca ígnia pobre en sílice (diorites).
 - Roques plutòniques de composició intermèdia.
- Metamòrfiques
 - Metamòrfiques de grau mitjà-alt.
 - Roca metamòrfica pobre en sílice (gneis màfics)
 - Algunes roques metavolcàniques fèlsiques.
- Sedimentàries
 - Alguns tipus d'argiles i lutites/limolites no carbonoses.
- Dipòsits glacials
 - Graves de *outwash*, *kames* i *eskers*.

1.2.3.2. Permeabilitat i porositat

Un sòl permeable, porós o que presenta fractures facilita que el radó pugui ascendir fins a la superfície. La presència de fluids també es té en compte: per exemple, una major saturació d'aigua tendeix a retenir els gasos. (MITMA & IETcc, 2020)

Les aigües subterrànies s'agrupen amb el que s'anomenen genèricament aquífers: “formacions geològiques que tenen la suficient porositat i permeabilitat per permetre un flux significatiu de les aigües subterrànies o l'extracció en quantitats significatives”. Segons la seva capacitat d'emmagatzemar i de transmetre l'aigua, es poden anomenar aquífers¹, aquítards², aquicludes³ o aquífugs⁴. (ACA, s. d.)

La porositat és la proporció d'espais buits que conté una roca i que poden emmagatzemar o permetre el flux de fluids, normalment expressada en tant per cent (%).

Taula 2

Tipus de porositats (segons el seu origen i les estructures que la generen)

Tipus de porositat	Definició
Intergranular	Espais buits entre els grans de la roca. En són un exemple les sorres.
Fissuració	Porositat creada per esquerdes i fractures a causa de processos tectònics. En són un exemple els granits.
Carstificació	Conductes o cavitats formades per dissolució de minerals solubles. En són un exemple les calcàries.

Nota: elaboració pròpia.

¹ “Formació geològica en què s'emmagatzema i circula aigua subterrània tot aprofitant la porositat i la fissuració de la roca que l'acull.” (Termcat, s. d.-b)

² “Formació geològica que transmet aigua molt lentament, per goteig, de manera que no en permet l'aprofitament.” (Termcat, s. d.-c)

³ “Formació geològica que absorbeix aigua, però no en transmet, de manera que no en permet l'aprofitament.” (Termcat, s. d.-d)

⁴ “Formació geològica que no té la porositat i la permeabilitat necessàries que permetin l'absorció i la circulació d'aigua.” (Termcat, s. d.-e)

1.3. Efectes del radó sobre la salut humana

El radó és un gas radioactiu i l'únic en estat gasós de tota la cadena de desintegració de l'urani-238 i, en ser un gas noble, no acostuma a reaccionar químicament amb altres substàncies, no es metabolitza en l'organisme i no tendeix a dipositar-se en teixits.

El radi-226 es troba generalment en formacions rocoses fins que es desintegra en radó-222. Des d'aquest moment, la substància és gasosa i pot ascendir fins a la superfície a través de qualsevol fissura, entrar als edificis i acumular-se en espais mal ventilats. L'exposició a altes concentracions de radó pot causar càncer de pulmó, no directament pel radó-222, sinó pels seus descendents, que són materials sòlids que també emeten radiació alfa.

El radó, o els seus descendents, tenen dues vies d'accés als pulmons:

- En primer lloc, el radó pot estar present en l'aire que respirem, sobretot en recintes poc ventilats, on la seva concentració augmenta. Una vegada inhalat, com no acostuma a reaccionar químicament, la major part serà exhalat de nou. Malgrat això, existeix la possibilitat que penetri profundament als pulmons i es desintegri ràpidament en aquest interval de temps donant lloc als descendents del radó, materials sòlids que poden adherir a la superfície pulmonar.
- Per altra banda, en l'aire d'un edifici, el radó a l'ambient pot desintegrar-se donant lloc als descendents del radó. Aquests poden sortir a l'exterior per la ventilació o quedar dins l'edifici. En aquest últim cas, les partícules dels descendents queden en suspensió a l'aire de l'habitació (anomenat aerosol), són inhalats per les persones, entren en les vies respiratòries i es dipositen en les diferents zones del sistema respiratori en funció de la mida de les partícules i de la taxa de respiració. Això no obstant, els descendents també poden dipositar-se en les parets de l'habitació. Si hi ha poques partícules a l'aire, els descendents del Rn-222 tenen poca probabilitat d'adherir-se a les partícules de l'aerosol i, en canvi, dipositar-se en les parets. En aquest cas, es produeix un major desequilibri entre els descendents i el mateix gas. Per exemple, en ambients comuns l'equilibri entre els descendents i el mateix radó-222 és de l'ordre de 0.4, mentre que en aquells que hi ha poques partícules és de l'ordre de 0.2 (Martina LLugany & Alex Vargas Irlés, 2022).

(Oriol Puig Llorens & Jaume Ferrer Jori, 2019)

En qualsevol dels dos casos, el descendent directe del radó-222 és el poloni-218, que es pot dipositar en les vies respiratòries i reaccionar químicament. Després del poloni-218, segueix la cadena de desintegració ràpida fins a convertir-se en un element estable, plom-206.

Tots els descendents del radó poden acabar dipositant la seva energia en el pulmó, emetent radiacions que, si a més, en la seva desintegració emeten partícules alfa, aquesta dipositarà tota la seva energia en una zona molt petita de la cèl·lula podent danyar l'ADN cel·lular amb major probabilitat que les partícules beta o gamma. Aquest dany pot culminar en modificacions sobre l'ADN o les cèl·lules, podent arribar a ser destruïdes. Aquestes modificacions transformen l'epiteli que revesteix els bronquis del pulmó arribant a poder causar càncer de pulmó. (Daniel Martínez Casas & Pol Suñol Alonso, 2024; Oriol Puig Llorens & Jaume Ferrer Jori, 2019)

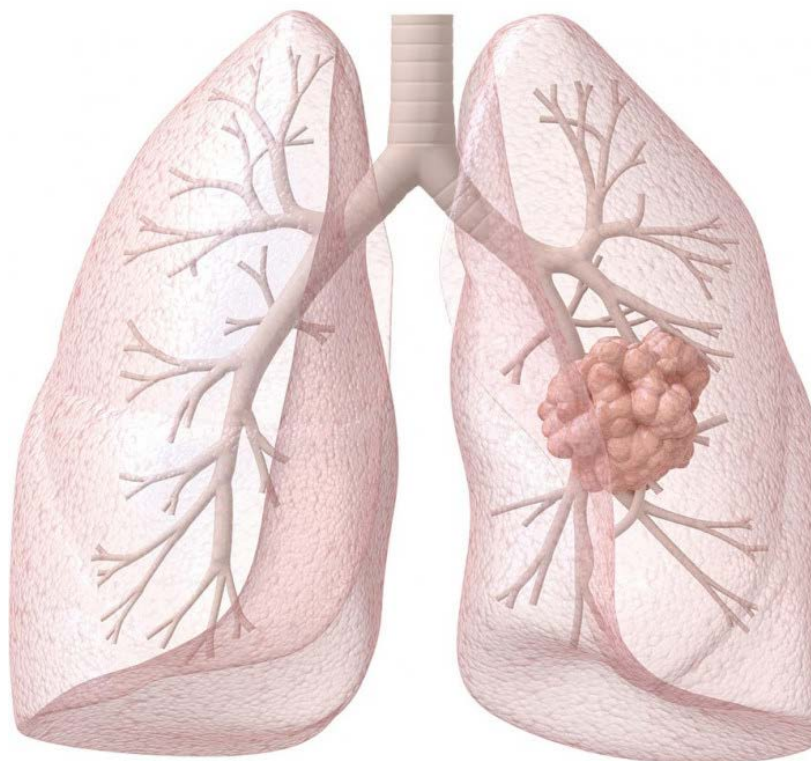
El càncer de pulmó és un conjunt de malalties resultants del creixement maligne de cèl·lules del tracte respiratori, en particular en el teixit pulmonar, i és un dels tipus de càncer més freqüents a escala mundial. El càncer de pulmó acostuma a originar-se a partir de cèl·lules epitelials, que recobreixen les vies respiratòries, i poden derivar en metàstasis i infiltració a altres teixits del cos. S'exclou del càncer de pulmó les metàstasis en el pulmó provinents de tumors d'altres parts del cos (Daniel Martínez Casas & Pol Suñol Alonso, 2024). La causa més freqüent de càncer de pulmó, de llarg, és el tabac. Després, també s'ha de tenir en compte les exposicions ocupacionals (asbest, sílice, alguns químics...), les exposicions ambientals (el radó, la contaminació ambiental...) i, finalment, factors genètics. (Xavier M, comunicació personal, 2025)

Hi ha dos tipus principals de càncer de pulmó: el càncer de pulmó de cèl·lules petites i el càncer de pulmó de cèl·lules no petites. Aquests dos tipus presenten diferències en el seu creixement i en el tractament que requereixen, sent el càncer de pulmó de cèl·lules no petites el més comú. La causa del càncer de pulmó per part del radó és l'acumulació de sòlids adherits als alvèols, bronquíols i les parets dels pulmons, que bloquegen les vies respiratòries i és molt complicat extreure'ls. (Daniel Martínez Casas & Pol Suñol Alonso, 2024)

Actualment, no hi ha prou evidències per afirmar que el radó produeixi alguna altra malaltia diferent del càncer de pulmó.

Figura 3

Representació gràfica d'un tumor pulmonar cancerigen.



Nota: Grupo Recoletas. (s. d.). Cáncer de Pulmón. ¿Qué es? Recuperat de <https://www.gruporecoletas.com/institutos/instituto-oncologico-recoletas/tratamientos/cancer-de-pulmon/>

El Centre Internacional d'Investigacions sobre el Càncer (IARC) va declarar el radó com a carcinogen per a humans l'any 1988. És la segona causa de càncer de pulmó, per darrere del tabac, i la primera causa entre les persones no fumadores. Segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS), es calcula que entre el 3% i el 14% dels casos de càncer de pulmó de la població general estan relacionats amb la inhalació de radó. El valor depèn, principalment, de tres factors: la concentració de radó a la qual s'està exposat, el temps d'aquesta exposició i si la persona és o ha sigut fumadora. La raó és que, quan la inhalació de radó es combina amb el consum de tabac, es multipliquen les probabilitats de desenvolupar la malaltia. (IARC, 1988; World Health Organization [WHO], 2009)

Al segle XX van aparèixer les primeres sospites que el radó era el causant d'alguns casos de càncer de pulmó en les persones que treballaven en les mines subterrànies exposades al gas. En la dècada del 1950 es va confirmar la relació entre el radó i el càncer de pulmó (Oriol Puig Llorens & Jaume Ferrer Jori, 2019). Als anys noranta, es van fer estudis en

població general a Europa i Amèrica del Nord. Aquests estudis comparaven les concentracions de radó de les llars de persones amb càncer de pulmó amb les llars de persones sense la malaltia. Es va comprovar que les persones afectades amb càncer de pulmó estaven exposades a concentracions més altes de radó que les persones sense la malaltia (World Health Organization [WHO], 2009).

L'any 2005, es va publicar un pooling study Europeu al British Medical Journal que va incloure 13 estudis amb uns 21.000 participants. Aquest estudi va concloure que el risc de patir càncer de pulmó augmenta de forma lineal i estadísticament significativa en un 16% per cada augment de 100 Bq/m³ de concentració de radó. (Darby, S., et al., 2005)

Aquests resultats van ser clau perquè l'OMS publicqués l'any 2009 el document de referència *WHO Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective (2009)*, on es recomana que la concentració de radó a les llars no superi els 100 Bq/m³, i que en cap cas sobrepassi els 300 Bq/m³. Això és perquè, segons l'OMS, no existeix cap nivell segur de concentració de radó per sota del qual no existeixi risc (a excepció de la seva absència total). (World Health Organization [WHO], 2009)

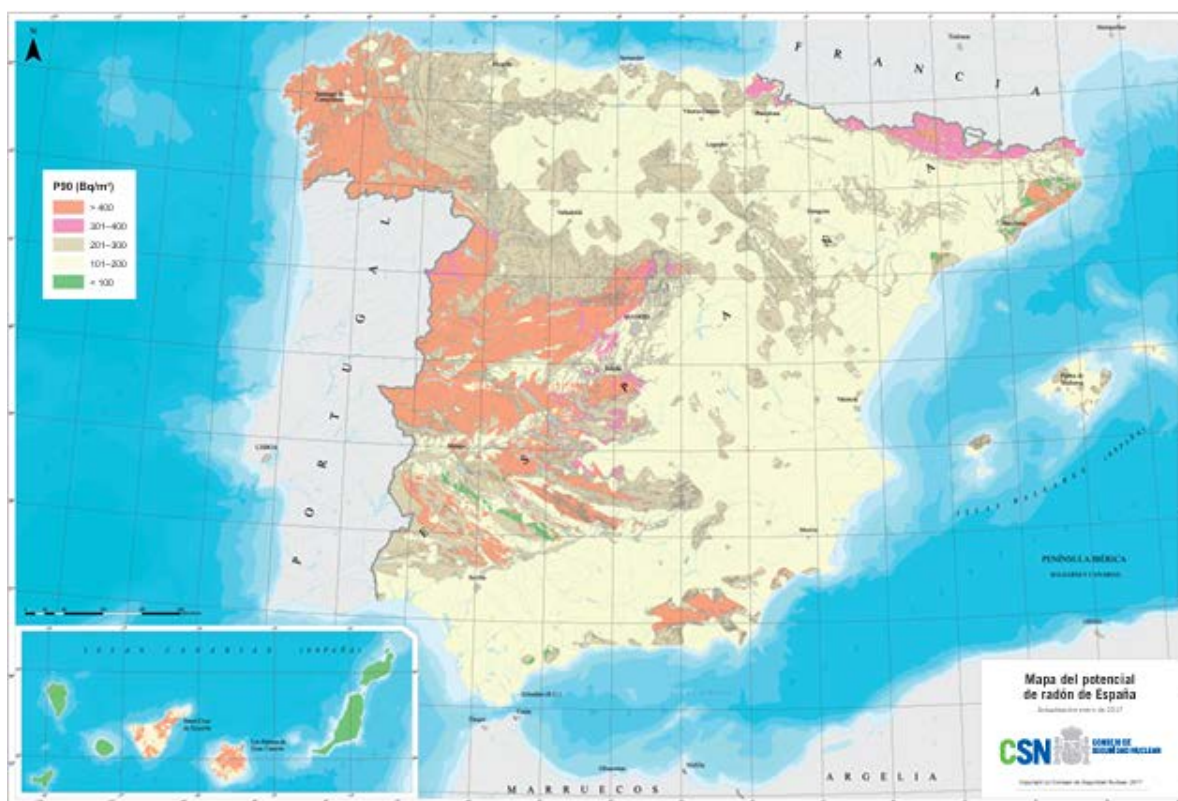
A Espanya, els estudis s'han centrat sobretot en la regió de Galícia, una zona amb una elevada presència d'aquest gas. Finalment, el 2020 es va realitzar un pooling study amb tots els estudis de càncer de pulmó realitzats i, segons Lorenzo-González et al. (2020), es va determinar un risc significatiu a partir de 100 Bq/m³, i una interacció important amb el tabac.

1.4. Distribució geogràfica del radó a Espanya

Pel que fa a Espanya, el Consejo de Seguridad Nacional (CSN) va elaborar el *Mapa del Potencial de Radón en España (2017)*, que categoritza el territori en funció del potencial de radó i que mostra una distribució de radó molt heterogènia dins el país. Destaquen les zones de Galícia, la zona occidental de Castella i Lleó i el nord d'Extremadura. Galícia és la comunitat autònoma amb les concentracions més elevades de radó i on s'han fet el nombre més gran de mesures. Segons el CSN, el mapa es basa en 12.000 mesures residencials, així com en dades geològiques i de radiació gamma ambiental. El mapa està elaborat amb percentil P90; és a dir, 300 Bq/m³ indica que el 90% dels edificis de la zona no superen aquest nivell.

Figura 4

Mapa del potencial de radó a Espanya



Nota: Consejo de Seguridad Nuclear. (s. d.). Mapa del potencial de radón en España. Recuperat de <https://www.csn.es/ca/mapa-del-potencial-de-radon-en-espana>

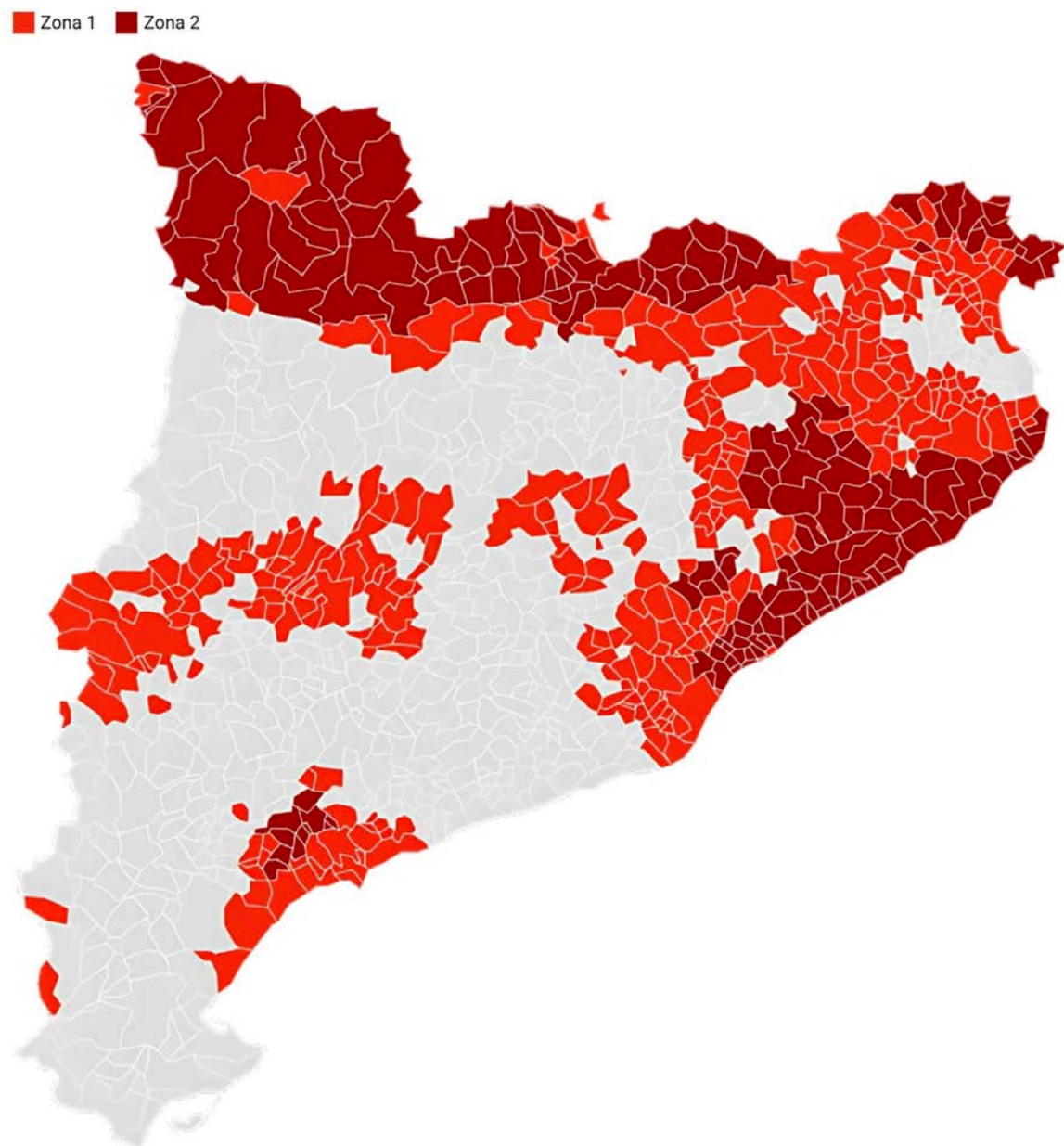
Pel que fa a Catalunya, el potencial de radó destaca en parts dels Pirineus i del Maresme. El mapa adjunt mostra el potencial de gas radó per a cada municipi, segons la categorització del *Documento Básico HS Salubridad (DBHS6, s. d.)* del Código Técnico de la Edificación. Es distingeixen dues zones de risc:

- **Zona 1:** Zones amb concentracions mitjanes.
- **Zona 2:** Zones amb concentracions altes (zones d'actuació prioritària).

Aquesta classificació és molt rellevant, ja que depenent de la categoria del municipi s'exigeix un seguit de mesures. Algunes de les exigències són: mesures obligatòries de radó en llocs de treball (soterranis o plantes baixes) de municipis d'actuació prioritària, o la implementació de solucions tècniques contra el radó en obres noves o reformes importants d'edificis situats en municipis de zones 1 i 2.

Figura 5

Classificació de municipis catalans en funció del potencial de radó



Nota: Lasaga, A. (2024). 3cat. Recuperat de <https://www.3cat.cat/324/el-perill-invisible-del-gas-rado-als-espais-tancats-mapa-dels-municipis-am-b-mes-risc/noticia/3286733/>

1.5. Legislació

A continuació es comentaran les normatives més rellevants respecte al radó que hi ha publicades, que continuen vigents i que afecten el conjunt d'Espanya o la comunitat autònoma de Catalunya.

1.5.1. DIRECTIVA 2013/59/EURATOM

Aquesta directiva europea estableix les normes de seguretat bàsiques per a la protecció sanitària davant els perills derivats de l'exposició a radiacions ionitzants, inclòs el radó.

Segons l'article 74, els estats membres han d'establir nivells de referència nacionals per a la concentració de radó en l'aire interior, tant en habitatges com en llocs de treball. El nivell de referència establert no ha d'excedir els 300 Bq/m³ com a mitjana anual. En habitatges, es recomana prendre mesures correctores quan se superi aquest llindar, tot i que no són obligatòries per als particulars. En canvi, si se superen els 300 Bq/m³ en llocs de treball, s'han d'avaluar les condicions d'exposició i, si cal, aplicar mesures per reduir la concentració.

A més, com s'explica en l'article 103, els estats membres han d'elaborar un pla d'acció nacional per fer front als riscos derivats de l'exposició al radó, ja sigui en habitatges, edificis d'accés públic o llocs de treball. Aquest pla ha d'incloure la identificació de zones amb alt potencial de radó, recomanacions tècniques per a la construcció d'edificis nous, la promoció d'accions de mitigació en edificis existents i accions d'informació i sensibilització de la població.

(Boletín Oficial del Estado, 2014)

1.5.2. REIAL DECRET 1029/2022

Aquest decret espanyol estableix la normativa bàsica de protecció radiològica sanitària contra els riscos derivats de l'exposició a radiació ionitzant, seguint la *DIRECTIVA 2013/59/EURATOM*.

Estableix el nivell de referència per a habitatges, locals d'ús públic i llocs de treball en 300 Bq/m³ com a mitjana anual de concentració de radó a l'aire.

En àmbit domèstic es recomana la mesura i, si cal, la mitigació de gas radó en habitatges i edificis d'ús públic, especialment en les zones d'actuació prioritària.

Estableix que serà obligatori mesurar la concentració de gas radó en llocs de treball subterranis, situats en zones d'actuació prioritària o en aquells on es manipuli o aprofiti aigua d'origen subterrani. Si les mesures superen el nivell de referència (en el qual els treballadors puguin rebre una dosi efectiva anual superior a 6 mSv), s'hauran d'adoptar les mesures necessàries per reduir la concentració.

Aclareix que el govern publicarà el *Pla Nacional contra el Radó* i que el Consell de Seguretat Nacional publicarà un llistat que identificarà els termes municipals on cal actuar de forma prioritària. A més, especifica que només podran exercir com a serveis de dosimetria personal de radó aquells laboratoris acreditats segons l'*UNE-EN ISO/IEC 17025*.

(Boletín Oficial del Estado, 2022)

1.5.3. Plan Nacional contra el Radón

El Plan Nacional contra el Radón recull l'estratègia d'Espanya per reduir el risc de la població a l'exposició al radó. Aquest es troba sota el marc normatiu del *Reial Decret 1029/2022*.

L'objectiu general del pla és protegir la salut de la població i de les persones treballadores davant del risc que representa l'exposició al radó. El pla parla de diverses línies d'actuació, entre les quals destaca: reforçar el coneixement i la infraestructura tècnica, la identificació de zones amb major risc de concentració de radó, l'establiment de requisits tècnics en la construcció i rehabilitació d'edificis, i la protecció dels treballadors exposats en entorns laborals. També es preveu augmentar la conscienciació respecte al radó a través de campanyes divulgatives i de sensibilització.

(Gobierno de España, Ministerio de Sanidad, s. d.)

1.5.4. DB-HS 6 del Código Técnico de la Edificación

Aquest document forma part del *Documento Básico HS - Salubridad del Código Técnico de la Edificación* (s. d.), i estableix unes normes bàsiques per protegir les persones del gas radó present en els edificis, tant de nova construcció com d'existents. L'exigència principal és que la concentració de radó a l'interior dels edificis no ha de superar els 300 Bq/m³.

Una part molt important d'aquest document és la classificació de tots els municipis del territori espanyol segons el seu potencial de radó: la zona sense risc significatiu, on no cal adoptar mesures específiques; la Zona 1, on s'estimen concentracions mitjanes; i Zona 2, on es preveuen concentracions altes de radó.

També estableix un seguit de requisits i condicions que s'han de seguir per fer l'estimació de la mitjana anual de concentració de radó.

(Gobierno de España, Ministerio de Transportes, s. d.)

1.5.5. Guia de Rehabilitació contra el radó

Aquesta guia de rehabilitació és una eina pràctica que serveix tant per particulars com per professionals implicats en el procés tècnic de protecció contra el radó. La guia s'acompanya d'un conjunt de fitxes independents que aprofundeixen en les possibles solucions. Classifica les actuacions segons si aïllen, redueixen la concentració de radó abans que penetri en l'edifici o redueixen la concentració de radó quan ja ha penetrat en l'edifici. (MITMA & IETcc, 2020)

“Si la mitjana anual de la concentració de radó és superior a 300 Bq/m³, serà convenient emprar solucions de protecció (...). Si, en cas contrari, la mitjana anual de la concentració de radó és inferior a 300 Bq/m³, no es considerarà imprescindible introduir solucions de protecció (...).” (MITMA & IETcc, 2020, p. 14, traducció pròpia)

1.5.6. INSTRUCCIÓ IS-47

Amb aquesta instrucció s'aprova el llistat de termes municipals d'actuació prioritària contra el radó, corresponents a aquells classificats com Zona 2 segons el document *DB-HS 6 del Código Técnico de la Edificación* (s. d.), i també estableix el nivell de referència de 300 Bq/m³, com el *Reial Decret 1029/2022*.

Així mateix, s'estableix la metodologia a seguir per avaluar les mitjanes anuals de concentració de radó en centres de treball. Les pautes també inclouen la freqüència amb què s'han de repetir les mesures, segons les característiques de cada cas, i el període mínim de mesura, establert en tres mesos, entre l'1 d'octubre i el 31 de maig, o bé durant un any natural, realitzades sempre per laboratoris acreditats segons la norma *UNE-EN ISO/IEC 17025*.

(Boletín Oficial del Estado, 2025)

1.6. Mesurament del radó

1.6.1. Tipus de detectors

Els detectors més adequats, segons la *Guia de Rehabilitació contra el radó* (MITMA & IETcc, 2020), són els que utilitzen un mètode de mesura:

- **Integrat:** que proporcionen una mitjana. Són els més comuns gràcies al seu baix cost. Existeixen tecnologies basades en traces, carbó actiu o electrets.
- **Continu:** que, a més de proporcionar una mitjana, mostren l'evolució de la concentració de gas radó a través del temps. Existeixen tecnologies clàssiques basades principalment en càmera d'ionització, cèl·lules de Lucas, electrodeposició de Po-218 (Martina Llugany & Alex Vargas Irlles, 2022) i algunes de més modernes com l'ús de semiconductors amb espectrometria alfa, entre altres.

També es poden classificar com detectors actius o passius, segons si requereixen o no una font d'alimentació.

Cal destacar que, segons la *Guia de Rehabilitació contra el radó* (MITMA & IETcc, 2020), els resultats obtinguts tenen un marge d'error d'un 10% a un 30%.

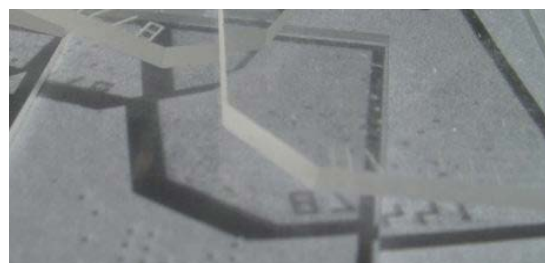
Exemples de detectors

- **CR-39**

Es tracta d'un plàstic fet servir en la detecció de radiació ionitzant. Els detectors de radó CR-39 són detectors de traces que capten les partícules generades durant la desintegració del radó, les quals provoquen danys en el material. A partir de l'anàlisi d'aquests danys, es pot estimar la concentració de radó present a l'aire. Aquests dispositius són adequats tant per a mesuraments de curt com de llarg termini. (Radonova, 2023)

Figura 6

El detector de radó CR-39



Nota: Radonova. (2023). El detector de radón CR-39. Recuperat de <https://radonova.es/el-detector-de-radon-cr39-caracteristicas-curiosidades/?srsltid=AfmBOorBfASwkD18XePsXAvIEidkqjwZVdkDV8aXbvooCVzQCEfSf1km>

- **E-PERM System**

L'E-PERM® és un dosímetre passiu que està format per una cambra amb un electret carregat elèctricament. El radó entra a la cambra i les seves partícules ionitzen l'aire. Els ions generats redueixen el voltatge de l'electret. Aquesta disminució permet calcular la concentració de radó en funció del temps d'exposició i del volum del dispositiu. (RadElec, 2024)

Figura 7

Components del sistema E-PERM®



Nota: Rad Elec Inc. (2024). *Manual de Usuario del Sistema E-PERM®*. Recuperat de https://www.radelec.com/manuals/E-PERM_System_User_Manual_Espanol.pdf

- **DOSEman PRO**

El DOSEman PRO és un dosímetre personal que mesura en temps real els productes de desintegració del radó, utilitzant semiconductors amb espectrometria alfa. Les seves dimensions i pes faciliten el seu transport, i permet avaluar l'exposició al radó, oferint dades precises de forma contínua per més de 40 hores, amb una bateria interna recarregable. (Sarad, s. d.)

Figura 8

Dosímetre DOSEman PRO



Nota: Sarad. (s. d.). DOSEman PRO: Radon daughter product dosimeter. Recuperat de https://www.sarad.de/product-detail.php?catID=&lang=en_US&p_ID=30.com

1.6.2. Protocols de mesura

Com exigeix el *Reial Decret 1029/2022* i la *INSTRUCCIÓ IS-47 (2023)*, les mesures per calcular la mitjana anual han de ser de llarga duració i realitzades per laboratoris acreditats segons la norma *UNE-EN ISO/IEC 17025*. Aquesta norma exigeix uns requisits per als laboratoris d'assaig i calibratge que garanteixen als clients que compten amb la capacitat tècnica i la qualitat amb els procediments necessaris per obtenir resultats fiables. (UNE, 2017)

A més, l'*UNE-ISO 11665-1* recull una sèrie de normes més concretes sobre la regulació de les mesures de radó. En concret, l'*UNE-ISO 11665-4* estableix el mètode per mesurar la concentració de radó mitjançant detectors integrats. (UNE, 2019; UNE, 2021)

2. Contextualització de l'estudi

L'estudi se centrarà en l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser i l'Institut Abat Oliba de Ripoll, situats a la comarca del Ripollès. S'han escollit aquests centres educatius perquè són llocs d'interès on alumnes i personal docent passen moltes hores i és fonamental assegurar que els nivells de radó no representen un risc per a la salut.

2.1. Ribes de Freser

Ribes de Freser està situat al nord de la comarca del Ripollès, a 910 metres d'altitud, on conflueixen els rius Freser, Rigard i Segadell. Està envoltat per muntanyes pirinenques i té una població relativament petita, al voltant de 2.000 habitants. Malgrat això, és un dels municipis més poblats de la comarca que té la classificació de zona d'actuació prioritària (zona 2), segons el document *DB-HS 6 del Código Técnico de la Edificación (s. d.)*, per la qual cosa és força atractiu per fer-hi una part de l'estudi.

Pel que fa al context educatiu, l'Institut Escola de Ribes de Freser, situat al passeig d'Àngel Guimerà, és un centre públic que dona servei a la població local i als nuclis veïns de la Vall de Ribes. Integra dos edificis: l'Escola Mare de Déu de Núria, construïda entre 1925 i 1930, i l'Institut Joan Triadú, inaugurat l'any 2006. Actualment, el centre consta dels dos edificis connectats entre si, amb un pati comú que els envolta. Les mesures, però, només es van dur a terme a l'Institut Joan Triadú, ja que, per qüestió de temps, no es va poder obtenir l'autorització necessària per fer mesures a l'Escola Mare de Déu de Núria. No obstant això, l'edifici podria ser considerat com a futura via d'investigació.

Figura 14

L'Institut Escola de Ribes de Freser



Nota: 3cat. (2024). *Ribes tindrà el primer institut escola del Ripollès d'aquí dos anys*. Recuperat de <https://www.3cat.cat/3cat/ribes-tindra-el-primer-institut-escola-del-ripolles-daqui-dos-anys/audio/1033173/>

Segons la Figura A2 i la Taula A1, al centre de Ribes de Freser hi predominen els materials granítics i metamòrfics, amb aqüífers locals de baixa permeabilitat. Al voltant del poble hi ha dipòsits detrítics⁵ i margocalcaris⁶, també en aqüífers locals poc permeables, així com roques carbonatades que formen aqüífers consolidats amb porositat per fissuració i/o carstificació. A continuació, s'entrarà més en detall.

2.1.1. Hidrogeologia de Ribes de Freser

Mitjançant la Figura A4 i la Taula A2, es pot veure que al centre de Ribes de Freser hi predomina una unitat hidrogeològica en particular. Aquesta porta el nom d'Aqüífer al·luvial de l'alt Ter i Freser, i presenta un comportament hidràulic lliure i una porositat intergranular. Pel que fa al tipus de formacions, predominen les graves, sorres i llims quaternaris. Malgrat això, al voltant immediat del poble trobem un aqüiclude que presenta un comportament hidràulic predominantment lliure i porositat per fissuració. Hi predominen les formacions de gresos, pissarres i esquists paleozoics. A més, a una distància d'aproximadament 2 quilòmetres al sud-est, es troba un sistema aqüífer que presenta un comportament hidràulic lliure, una doble porositat (fissuració o carstificació) i hi predominen les formacions de calcàries⁷ i dolomies⁸ massives⁹.

Per tant, d'aquesta anàlisi extraïem que:

- La zona presenta un comportament hidràulic predominantment lliure.
- La porositat varia segons el tipus de formació: en pissarres i esquists és principalment de fissuració, en les graves, sorres i llims és intergranular, i en les calcàries i dolomies massives és doble porositat (fissuració i carstificació).
- Les pissarres, esquists, calcàries i dolomies massives representen una possible font de risc, depenent de la presència de determinats minerals. Les graves, sorres i llims representen un risc baix de generació de radó, però les seves característiques de porositat i comportament hidràulic poden afavorir el transport del gas en cas que aquest es generi en formacions més profundes.

⁵ Dipòsit sedimentari format per fragments de mida i composició diversa, procedents de l'esmicolament d'una roca preexistent (ICGC, s. d.-d).

⁶ Roca sedimentària mixta de gra fi, constituïda per materials detrítics (argila) i una proporció més elevada de carbonat de calci (carbonàtica) (ICGC, s. d.-d).

⁷ Roca sedimentària formada majoritàriament per calcita (ICGC, s. d.-d).

⁸ Roca sedimentària carbonàtica que té una proporció de més de la meitat de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) en la seva composició (ICGC, s. d.-d).

⁹ Roca estratificada que es presenta en bancs (massa de roca sedimentària que forma una capa o estrat) de molta gruixària, sense cap estructura interna (ICGC, s. d.-d).

2.1.2. Geologia de Ribes de Freser

Mitjançant la Figura A5 i la Taula A3, es pot veure que al nucli urbà de Ribes de Freser hi predominen dipòsits quaternaris, formats principalment per graves, còdols, argiles, sorres i lutites. Es tracta de roques sedimentàries que constitueixen la terrassa fluvial del riu Freser i dels seus afluents, situades entre 0 i 10 m per sobre del nivell actual del riu. Aquests materials presenten un potencial baix d'emissió de radó, però els més permeables poden actuar com a via de transport del gas en cas que aquest es generi en zones més profundes del terreny.

Als voltants immediats, la litologia està dominada per roques vulcanoclàstiques, amb presència de lutites i riolites, així com una extensa àrea de granòfir de Ribes de Freser. Aquest granòfir, un dels més extensos i coneguts de Catalunya, es caracteritza pel seu color rogenc ataronjat. Tècnicament, és una roca volcànica situada a mig camí entre el granit i la diorita, amb textura microgràfica visible al microscopi. El granòfir està format per quars i feldespat potàssic, amb algun cristall de plagiòclasi sòdica i biotita. Correspon a l'antiga xemeneia d'un volcà del període Ordovicià superior (Paleozoic, fa 460-443 milions d'anys). Malgrat ser una roca molt dura, les fractures i erosió dels rius han configurat dos nuclis. La vegetació és fortament àcida, amb abundància de bruguerola. (Ajuntament de Ribes de Freser, s. d.). La presència de biotita, associada a concentracions altes de radó, fa que el granòfir pugui presentar un potencial elevat de radó, especialment en zones amb fracturació.

Cap al nord, predominen gresos i lutites. Malgrat això, a 1 km de la zona d'estudi també trobem àrees rellevants de calcàries, dolomies i marbres, així com pissarres micacítiques i pissarres sorrenques. El potencial de radó és baix en gresos i lutites, i moderat o alt en pissarres, dolomies i marbres, que poden presentar concentracions d'urani.

A l'est, la geografia és molt variada. S'hi observen gresos i lutites, lutites carbonàtiques amb restes de nòduls carbonatats dissolts, i roques volcàniques i vulcanoclàstiques. També petites zones d'altres unitats, però amb poca presència. A uns 2 km cap a l'est de la zona d'estudi apareix una gran extensió de calcàries noduloses, calcàries lutítiques, calcàries massives i lutites. El potencial d'aquesta zona és variable, amb valors més elevats a les calcàries i lutites carbonàtiques.

Al sud, hi predominen les lutites carbonàtiques amb restes de nòduls carbonatats dissolts, gresos i lutites. Localment, també hi ha calcàries amb crinoïdeus, ignimbrites riolítiques, lutites negres amb graptòlits i petites zones de roques volcàniques, conglomerats, gresos,

lutites i margues. Aquest sector destaca per la presència d'unitats amb major potencial de radó, com les lutites negres, lutites carbonàtiques, les ignimbrites riolítiques i les calcàries.

A l'oest, la litologia és encara més variada: roques volcàniques i vulcanoclàstiques, diorites, quarsites, riolites, gresos i lutites. Cap al sud s'hi prolonguen tres unitats rellevants: les calcàries amb crinoïdeus, les lutites carbonàtiques amb restes de nòduls carbonatats dissolts i les lutites negres amb graptòlits. Aquestes últimes tres unitats podrien contribuir a un potencial alt de radó.

A tota la zona de Ribes de Freser hi ha presència de falles i encavalcaments que han desplaçat i superposat diverses unitats, i que poden facilitar el moviment del gas radó cap a la superfície. Destaquen les falles que afecten les pissarres micacítiques, pissarres sorrenques, calcàries, dolomies i marbres, així com les que afecten les lutites negres amb graptòlits, granòfir de Ribes de Freser i altres roques volcàniques i vulcanoclàstiques.

En resum, la geologia de Ribes de Freser és variada i complexa, amb presència de falles i enclavaments en zones amb potencial moderat o alt de radó. El nucli es basa en dipòsits quaternaris, amb un voltant immediat de roques vulcanoclàstiques, amb presència de lutites i riolites, així com granòfir de Ribes de Freser:

- al nord per gresos i lutites, amb zones amb calcàries, dolomies, marbres i pissarres micacítiques i sorrenques.
- a l'est per una combinació de gresos, lutites i roques vulcanoclàstiques.
- al sud per lutites carbonàtiques, gresos i lutites. Localment, també destaquen algunes zones de calcàries, ignimbrites riolítiques i lutites negres amb graptòlits.
- i a l'oest per roques volcàniques i vulcanoclàstiques, diorites, quarsites, riolites, gresos, lutites i alguna prolongació cap al sud de calcàries, lutites carbonàtiques i lutites negres amb graptòlits.

En conjunt, aquestes unitats geològiques mostren un potencial de radó que oscil·la entre baix o variable i moderat, amb punts localitzats amb potencial alt (segons la llegenda de l'apartat de geologia del treball). A més, la presència de falles i certs tipus de materials permeables poden afavorir la migració del gas cap a la superfície. Realitzar mesures al municipi és clau per validar i quantificar aquest risc.

2.2. Ripoll

Ripoll, capital de la comarca del Ripollès, està situat a 691 metres d'altitud, on conflueixen els rius Ter, Freser i Merdàs. Està envoltat per muntanyes i té una població aproximada de 10.692 habitants. És el municipi més poblat de la comarca i és classificat amb potencial de radó "ZONA 1", per la qual cosa és força atractiu per fer-hi l'estudi.

Pel que fa al context educatiu, l'Institut Abat Oliba és un dels cinc centres d'educació secundària de la comarca del Ripollès. Ubicat a Ripoll, però gran part dels alumnes també provenen de la resta de la comarca. Pel que fa al batxillerat, és l'únic institut que ofereix aquests estudis al Ripollès. Es tracta d'un gran centre que acostuma a tenir entre 700 i 800 alumnes.

La seu principal de l'Institut Abat Oliba és un edifici de l'any 1972, situat a la carretera de Barcelona 57, que és on s'han mesurat les concentracions de radó.

Figura 15

Imatge de l'Institut Abat Oliba de Ripoll



Font: Viquipèdia. (2021). Institut Abat Oliba, cra. Barcelona. Recuperat de [https://ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:459_Institut_Abat_Oliba_cra_de_Barcelona_-_rda_de_Castelladr_al_\(Ripoll\).jpg](https://ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:459_Institut_Abat_Oliba_cra_de_Barcelona_-_rda_de_Castelladr_al_(Ripoll).jpg)

Segons la Figura B2 i la Taula B1, al centre de Ripoll hi predominen aqüífers no consolidats amb porositat intergranular. Al voltant del poble hi ha dipòsits detrítics¹⁰ en aqüífers consolidats amb porositat per fissuració i/o intergranular, així com dipòsits detrítics i margocalcaris¹¹ en aqüífers locals de baixa permeabilitat. A continuació s'entrarà més en detall.

2.2.1. Hidrogeologia de Ripoll

Mitjançant la Figura B4 i la Taula B2, es pot veure que al centre del municipi de Ripoll hi predomina la unitat hidrològica que porta el nom d'Aqüífer al·luvial de l'alt Ter i Freser. Aquest aqüífer presenta un comportament hidràulic lliure amb porositat intergranular. Destaquen les formacions de graves, sorres i llims quaternaris. Rodejant el poble ens apareix un sistema aqüífer que presenta un comportament hidràulic predominantment lliure amb porositat per carstificació. Destaquen les formacions de calcàries i dolomies massives. Aproximadament a un quilòmetre i mig del lloc on s'han fet les mesures, la unitat hidrològica de l'Aqüífer al·luvial de l'alt Ter i Freser passa a dir-se Aqüífer al·luvial del Ter i el Ges, però manté les característiques. Això no obstant, també apareix un aqüífer de comportament hidràulic semiconfinat que presenta doble porositat: intergranular i fissuració. Les formacions que predominen són els conglomerats, gresos i margues.

Per tant, d'aquesta anàlisi extraïem que:

- La zona propera a la zona de mostreig presenta un comportament hidràulic predominantment lliure.
- La porositat varia segons el tipus de formació: en calcàries i dolomies massives és de carstificació, en les graves, sorres i llims quaternaris és intergranular, i en els conglomerats, gresos i margues és doble porositat (intergranular i fissuració).
- Les calcàries i dolomies massives representen una possible font de risc, depenent de la presència de determinats minerals. Les graves, sorres i llims representen un risc baix de generació de radó, però les seves característiques de porositat i comportament hidràulic poden afavorir el transport del gas en cas que aquest es generi en formacions més profundes. Pel que fa als conglomerats, gresos i margues, seria necessària informació més detallada per avaluar-ne el potencial de radó, per això s'abordaran a l'apartat de geologia.

¹⁰ Dipòsit sedimentari format per fragments de mida i composició diversa, procedents de l'esmicolament d'una roca preexistent (ICGC, s. d.).

¹¹ Roca sedimentària mixta de gra fi, constituïda per materials detrítics (argila) i una proporció més elevada de carbonat de calci (carbonàtica) (ICGC, s. d.).

2.2.2. Geologia de Ripoll

Mitjançant la Figura B5 i la Taula B3, es pot veure que al nucli urbà de Ripoll hi predominen dipòsits quaternaris, formats per graves, còdols, argiles, sorres i lutites. Són roques sedimentàries que constitueixen la terrassa fluvial del riu Ter i dels seus afluents, situada entre 0 i 40 m per sobre del nivell actual del riu.

La geologia de la zona es pot descriure en tres grans franges horitzontals: superior, central i inferior.

La franja central, que travessa el nucli urbà, presenta una alternança de gresos i margues amb conglomerats. Localment, apareixen petites zones d'argiles amb còdols angulosos dispersos i guixos laminats amb margues. Per sobre de la franja descrita, es troba una franja més prima de margues i argiles blaves. I, finalment, hi ha franges de conglomerats i gresos grisos, tant a la part superior com a la inferior.

En canvi, la franja superior (nord) i la inferior (sud) predominen els conglomerats, gresos i argiles vermelles de la formació Bellmunt.

Pel que fa a falles i enclavaments, aquests han desplaçat i superposat diferents unitats. Destaquen especialment les que afecten les margues, argiles blaves, conglomerats i gresos. Aquestes estructures poden afavorir la migració del gas radó cap a la superfície.

En resum, el nucli del poble es recolza sobre dipòsits quaternaris, envoltats al centre per una alternança de gresos, margues i conglomerats, i al nord i al sud per conglomerats, gresos i argiles vermelles de la formació Bellmunt. També destaquen les falles i enclavaments que travessen bona part dels voltants del poble.

Cap d'aquestes unitats geològiques destaca per un potencial de radó moderat o alt, sinó que es manté en potencial baix o variable (segons la llegenda de l'apartat de geologia del treball). Tot i això, la presència de falles i certs tipus de materials permeables pot facilitar el transport del gas des de capes més profundes. També cal destacar la possible connexió entre Ribes de Freser i Ripoll, que s'analitzarà en el següent apartat.

2.3. Connexió hidrogràfica

El riu Freser neix a la Vall de Núria, travessa el municipi de Ribes de Freser i desemboca al riu Ter, just a Ripoll. Aquesta continuïtat fluvial podria comportar una certa connexió.

En primer lloc, el radó té una vida mitjana curta (3,8 dies per al ^{222}Rn). Això implica que, malgrat que pugui dissoldre's i ser transportat per l'aigua subterrània o superficial, la seva presència en trajectes fluvials de diversos quilòmetres és limitada. Per tant, el radó que es genera a Ribes de Freser difícilment arriba fins a Ripoll a través del riu Freser.

No obstant això, a Ribes de Freser predominen materials granítics, metamòrfics i sedimentaris paleozoics. En canvi, a Ripoll, hi predominen materials detrítics i margosos més recents, del cenozoic. Això evidencia una transició geològica entre ambdós municipis. En aquest sentit, la presència d'un sistema hidrogràfic com el Freser-Ter pot actuar com a via de transport de sòlids i d'elements dissolts (com ara l'urani o el radi).

En resum, tot i que el radó com a gas no es pot transportar de Ribes de Freser a Ripoll, tots dos municipis formen part de la mateixa conca hidrogràfica i estan connectats per processos de circulació d'aigua i transport de materials geològics, que podria comportar una certa connexió pel que fa al risc de radó.

2.4. Radiació gamma de fons al Ripollès

La radiació gamma de fons (en anglès, background gamma radiation) és la component de radiació gamma present de manera natural a l'ambient i que, en condicions normals, no representa un risc significatiu per a la salut humana. Prové principalment d'elements radioactius naturals presents a l'escorça terrestre, dels raigs còsmics i dels radionúclids presents en materials de construcció o en alguns objectes d'ús quotidià.

En aquest treball, el material de mesura de gas radó pot respondre lleugerament a la radiació gamma de fons, que pot causar una descàrrega addicional de l'electret. Aquest efecte és menor, però s'ha de tenir compte. Per aquest motiu, s'aplicarà una correcció a les dades, com s'explica en l'apartat: **3.2.1.4. Càlcul de les concentracions de radó.**

A la zona del Ripollès hi ha instal·lada una estació automàtica de la Red de Estaciones Automáticas (REA) del Consejo de Seguridad Nacional (CSN). Aquesta estació publica automàticament els valors de radiació gamma mesurats en temps real. Concretament, l'estació està situada al Carrer de Concepció Ducloux, 1 de Ripoll. Es pot consultar el seu valor en temps real al següent enllaç: <https://www.csn.es/variros/rea/index.html>.

3. Estudi

3.1. Presentació

Aquest estudi s'ha realitzat amb la intenció d'avaluar les concentracions de gas radó en diferents espais de l'Institut Abat Oliba de Ripoll i l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser. L'objectiu d'aquest estudi és analitzar les mostres de radó recollides, interpretar-les en funció de la geologia, hidrogeologia i característiques constructives dels edificis i contribuir a les dades de radó en espais públics de la comarca del Ripollès.

3.2. Metodologia

3.2.1. Dosímetre usat

Per avaluar les concentracions de radó es va emprar el sistema E-PERM, cedit per l'Institut de Tècniques Energètiques de la Universitat Politècnica de Catalunya, que consta de:

- 4 caixes
- 8 cambres tipus S
- 1 lector de voltatge
- 24 electrets ST: altament sensibles utilitzats en mesures de curta exposició.
- 2 electrets de referència

3.2.1.1. Electrets i Cambra S

Segons el manual tècnic del sistema E-PERM® (Rad Elec Inc., 2024), l'electret és un disc de Teflon® que ha estat carregat elèctricament i tractat mitjançant tècniques específiques per garantir l'estabilitat de la seva càrrega. Aquest disc s'ubica dins un suport que permet posar-lo sobre una cambra d'ions. El conjunt rep el nom de cambra d'ions amb electret (comercialitzada com E-PERM®). L'electret crea un camp electroestàtic a l'interior de la cambra, que atrau els ions amb càrrega negativa generats per la desintegració del radó i dels seus productes de descomposició. A mesura que l'electret capta aquests ions, la seva càrrega disminueix progressivament, cosa que provoca una reducció del voltatge superficial. Aquesta reducció és proporcional a la concentració de radó present, el volum de la cambra i el temps d'exposició. Cal aclarir que els electrets amb voltatges menors a 100 mostren un camp electroestàtic molt dèbil, que no és tan consistent en la recol·lecció d'ions. (Rad Elec Inc., 2024, p. 10, traducció pròpia).

La Cambra S té un volum de 210 mL i compta amb un mecanisme d'encesa/apagada mitjançant una tapa roscada amb ressort. En enroscar completament la tapa, un pistó cobreix l'electret carregat, reduint el volum intern i impedit la pèrdua de voltatge. (Rad Elec Inc., 2024, p. 14, traducció pròpia).

En aquest estudi s'ha fet servir una configuració SST: cambra S + electrets ST.

3.2.1.2. Lector de voltatge i electrets de referència

El lector de voltatge és un voltímetre d'alta precisió sense contacte, dissenyat per mesurar el potencial superficial d'un electret. El lector s'utilitza per mesurar el voltatge de l'electret abans i després de l'exposició al radó. (Rad Elec Inc., 2024, p. 18, traducció pròpia).

Cada lector s'acompanya d'un parell d'electrets de referència. Es tracta d'electrets de baix voltatge, altament estables, els valors dels quals estan associats al certificat de calibratge del lector. La seva funció és verificar que el lector estigui operant dins dels paràmetres calibrats. No s'han de fer servir mai per a proves de radó. Els electrets de referència han de mesurar dins de ± 3 V del seu valor certificat. (Rad Elec Inc., 2024, p. 22, traducció pròpia)

Figura 11

Imatges d'un lector de voltatge mesurant un electret de referència



Nota: elaboració pròpia.

Figura 12

Imatges d'un lector de voltatge mesurant un electret ST



Nota: elaboració pròpia.

3.2.1.3. Possibles alteracions dels resultats

Els electrets són resistents a una àmplia varietat de condicions ambientals. En condicions normals, no es veuen alterats per canvis de temperatura, humitat (excepte si s'ha format condensació sobre l'electret, que s'hauria d'assecar), corrents d'aire, altitud i pressió baromètrica (no requereixen correcció fins a 1219 m), camps electromagnètics (excepte raigs X i gamma) i la presència de brutícia, pols, partícules suspeses i ions (amb l'ajuda de filtres es protegeixen les càmeres, tot i que la superfície dels electrets si són vulnerables). A continuació, es descriuen altres factors que poden influir en el sistema E-PERM®:

- Radiació Ionitzant: els equips de raigs X, com els d'aeroports, poden descarregar els electrets. La radiació Gamma té un efecte menor però mesurable, que es corregeix quan es calcula la concentració de radó. La radiació Beta afecta lleugerament si la font és molt a prop. A la majoria dels entorns no representa un problema significatiu.
- Toró (220Rn) - El toró, descendent de l'isòtop 220 del radó, té una vida mitjana curta (55,6 s), cosa que limita la seva presència en interiors. Les càmeres E-PERM® detecten només un 3–5% de la concentració.

(Rad Elec Inc., 2024, p.30-36, traducció pròpia).

3.2.1.4. Càlcul de les concentracions de radó

Per calcular les concentracions de radó s'ha fet servir un full de càlcul, fent servir les extretes del *E-PERM® System: User's Manual (Rad Elec Inc., s. d.)* i del full de càlcul del *Manual de Usuario del Sistema E-PERM® (Rad Elec Inc., 2024)*.

1. CONSTANTS SEGONS CONFIGURACIÓ

Constant A: 0,314473

Constant B: 0,260619

Constant G: 0,087

2. NIVELL DE RADIACIÓ GAMMA DE FONTS (BG) I ALTITUD

Institut Abat Oliba (Ripoll)

- Altitud: 691 m.
- Radiació gamma de fons (BG): 78,7 nGy/hr.

Institut Joan Triadú (Ribes de Freser)

- Altitud: 910 m.
- Radiació gamma de fons (BG): 78,7 nGy/hr.

*Atès que no hi ha cap estació automàtica (REA) del Consell de Seguretat Nuclear (CSN) ubicada a Ribes de Freser, s'ha utilitzat com a referència el valor de radiació gamma de fons registrat a l'estació més propera, situada a Ripoll.

3. PERÍODE D'EXPOSICIÓ

Calcular el període d'exposició en unitats de dies. Per exemple, si l'exposició ha estat de 2 dies i 3,5 hores: $D = 2 + \frac{3,5}{24} = 2,146 \text{ dies}$

4. FACTOR DE CALIBRATGE (CF) (SST)

$$CF = A + \left(B \times \ln\left(\frac{IV+FV}{2}\right) \right)$$

- | | |
|-------------------------------|---|
| • CF: el factor de calibratge | • IV: el voltatge inicial de l'electret |
| • A: la constant A | • FV: el voltatge final de l'electret |
| • B: la constant B | • ln: el logaritme neperià |

5. CALCULA EL FACTOR DE CORRECCIÓ PER L'ALTITUD (ELEV CF)

Com que cap de les dues zones d'estudi es troba per sobre de 1219 m, no requereixen correcció:

$$Elev CF = 1$$

6. CÀLCUL DE LA CONCENTRACIÓ DE RADÓ (RnC)

$$RnC = \left(\left(\frac{(IV-FV)-(IVD \times D)}{CF \times D} \right) - \left(\left(\frac{BG}{8,7} \right) \times G \right) \right) \times (Elev CF) \times 37$$

- RnC: Concentració de radó en Bq/m³
- IV: Tensió inicial de l'electret
- FV: Tensió final de l'electret
- D: Període d'exposició en dies
- CF: Factor de calibratge
- BG: Radiació gamma de fons en nGy/hr
- ElevCF: Factor de calibratge segons l'altitud
- G: la constant G
- IVD: Descàrrega inherent de tensió de l'electret. Aquest valor és 0,066667 per als electrets ST.

7. CALCULAR L'ERROR TOTAL

$$ET = \left(\frac{\sqrt{(5)^2 + \left(\frac{100 \times 1,4}{IV-FV} \right)^2 + \left(\frac{100 \times 3,7}{RnC} \right)^2}}{100} \right) \times RnC$$

- ET: error total en Bq/m³
- RnC: Concentració de radó en Bq/m³
- IV: Tensió inicial de l'electret
- FV: Tensió final de l'electret

3.2.2. Calibratge dels equips de mesura

Pel correcte funcionament dels equips de mesura, aquests es calibren en laboratoris mitjançant les anomenades cambres de radó. Els equips utilitzats en aquest treball s'han calibrat en la cambra de radó de 20 m³ del Laboratori d'Estudis del Radó de l'Institut de Tècniques Energètiques de la UPC.

Figura 13

Cambra de radó de la UPC



Nota: Institut de Tècniques Energètiques. (s. d.). Laboratori d'Estudis del Radó. Recuperat de <https://inte.upc.edu/ca/serveis/laboratoris/rado>

3.2.3. Planificació

Atès que hi havia 24 electrets disponibles, es van fer 12 assaigs (per a cada mostra s'utilitzen dos electrets). Es disposava de 4 caixes amb capacitat per a 8 electrets, de manera que els assaigs es van distribuir en tres tandes, on es van prioritzar els espais situats a nivell de terra, plantes baixes i semisoterranis, amb una excepció que s'explicarà més endavant.

- **Primera tanda (11–22 d'abril):** es va fer coincidir amb el pont de Setmana Santa, per assegurar un període d'exposició prolongat (per a una configuració SST) i minimitzar possibles interferències derivades de l'activitat normal als centres (ventilació, manipulacions, etc.).
- **Segona tanda (5/6–13/14 de maig):** es van repetir les mesures als mateixos espais, aquest cop en període d'activitat lectiva normal, per saber el potencial de radó real al qual estaven exposats els treballadors i alumnes. Això permet comparar els resultats i analitzar com varia la concentració de radó en funció de l'activitat del centre.
- **Tercera tanda (20–27 de maig):** es va centrar en l'Institut Abat Oliba de Ripoll. Les dades anteriors mostraves que aquest institut presentava concentracions més elevades en tots els espais. Com també és més gran i amb més afluència, s'hi van instal·lar els últims 8 electrets (4 assaigs). Es va repetir un assaig al magatzem, es van mesurar zones noves de l'institut i es va fer el primer assaig a la planta 1, per poder comparar com afecta la distància respecte al sòl en les concentracions.

Taula 3

Planificació dels assaigs de l'estudi

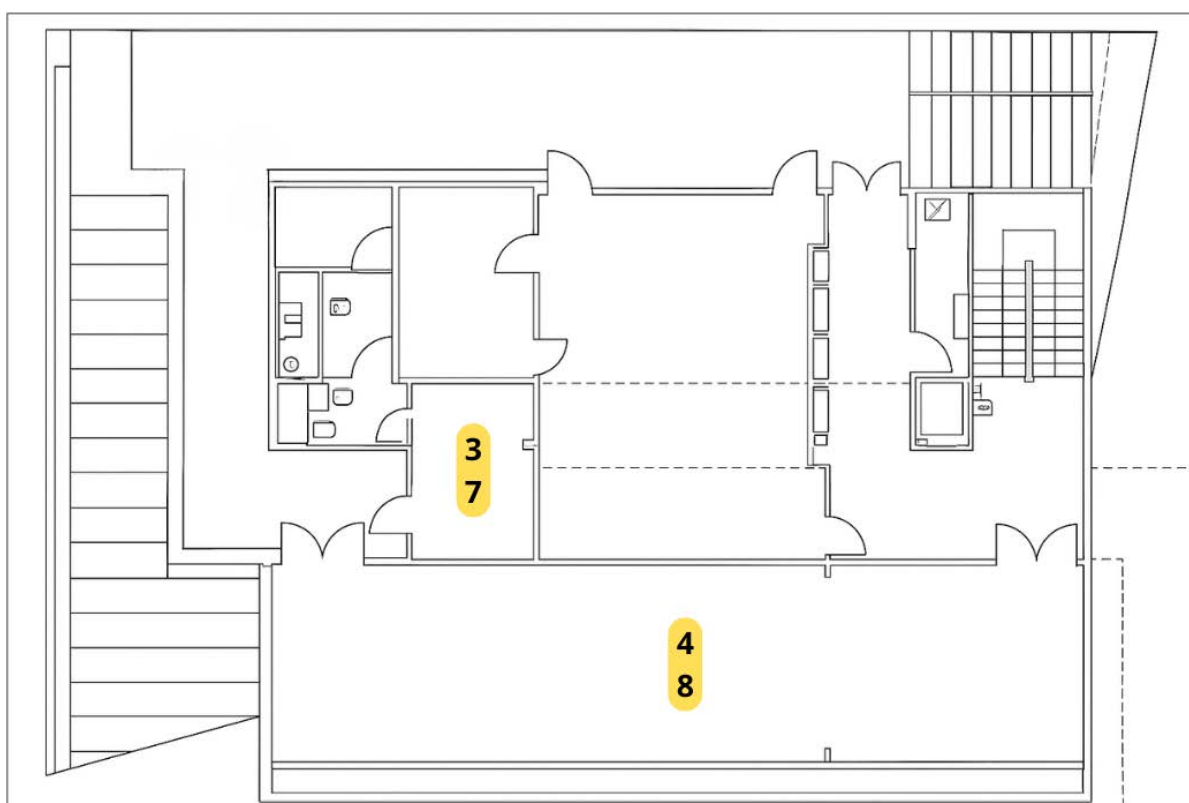
Nº assaig	Lloc de la mesura	Inici (dd-mm-aa hh:mm)	Fi (dd/mm/aa hh:mm)	Període d'exposició (dies)
1	Institut Abat Oliba Aula 003	11/04/2025 11:28	22/04/2025 11:21	11,00
2	Institut Abat Oliba Magatzem	11/04/2025 11:31	22/04/2025 11:29	11,00
3	Institut Joan Triadú Caldera	11/04/2025 15:53	22/04/2025 08:17	10,68
4	Institut Joan Triadú Aula Psico.	11/04/2025 16:04	22/04/2025 08:11	10,67
5	Institut Abat Oliba Aula 003	06/05/2025 11:40	14/05/2025 11:29	7,99
6	Institut Abat Oliba Magatzem	06/05/2025 12:40	14/05/2025 11:38	7,96

7	Institut Joan Triadú Caldera	05/05/2025 16:03	13/05/2025 15:48	7,99
8	Institut Joan Triadú Aula Psico.	05/05/2025 16:11	13/05/2025 15:47	7,98
9	Institut Abat Oliba Magatzem	20/05/2025 11:22	27/05/2025 11:26	7,00
10	Institut Abat Oliba Aula de Guàrdia	20/05/2025 11:39	27/05/2025 11:28	6,99
11	Institut Abat Oliba Biblioteca	20/05/2025 11:28	27/05/2025 11:23	7,00
12	Institut Abat Oliba Aula de Música	20/05/2025 11:43	27/05/2025 11:26	6,99

Nota: elaboració pròpia.

Figura 14

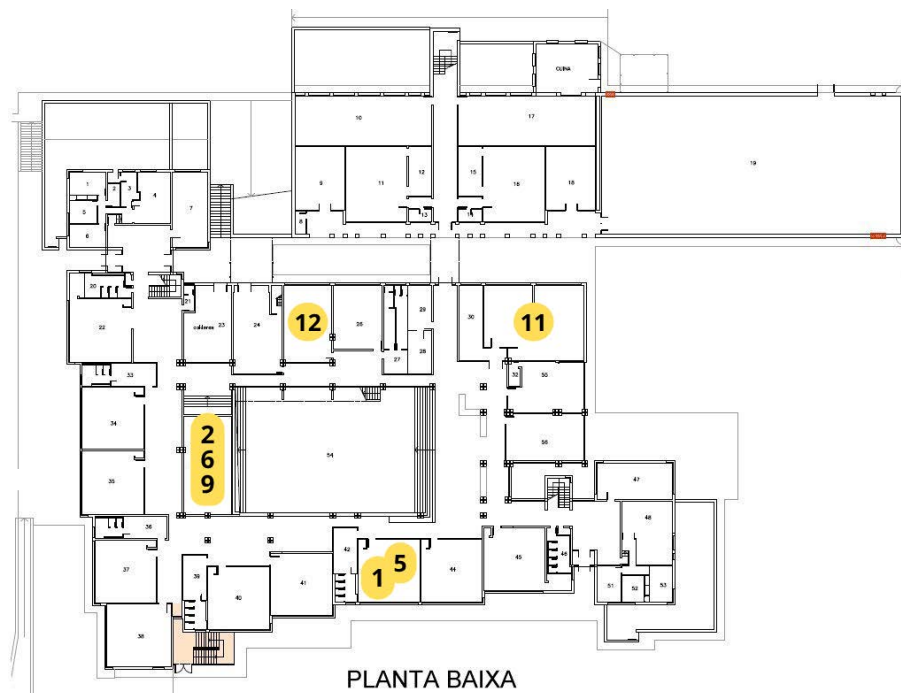
Plànol de la planta baixa de l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser amb els assaigs marcats



Font: Imatge facilitada per l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser (adaptada).

Figura 15

Plànol de la planta baixa de l'Institut Abat Oliba amb els assaigs marcats



Font: Imatge facilitada per l'Institut Abat Oliba (adaptada).

Figura 16

Plànol de la planta primera de l'Institut Abat Oliba amb els assaigs marcats



Font: Imatge facilitada per l'Institut Abat Oliba (adaptada).

3.2.4. Procediment

Per fer les mesures de radó es va seguir el document *Protocolo de medida de la concentración de radón (Institut de Tècniques Energètiques, s. d.)*, proporcionat per la professora de la UPC que ens va cedir el material. Aquest document especifica que la caixa amb els detectors s'han de col·locar:

- Lluny de corrents d'aire i finestres.
- A una distància mínima respecte a les parets d'1 m.
- Allunyat d'objectes.
- A una altura mínima respecte al sòl de 0,5 m.

El procediment seguit va ser el següent:

1. Mesura del voltatge inicial dels electrets en una aula.
2. Instal·lació dels electrets a les cambres i caixes corresponents.
3. Determinació del lloc de mesura seguint les indicacions del protocol.
4. Portar, instal·lar i desenrocar els taps dels detectors (anotant dia i hora).
5. Durant el període d'exposició, deixar la caixa, amb les cambres i electrets dins, tancada i sense manipular-la.
6. Passat el temps d'exposició, tancar els taps dels detectors (anotant dia i hora).
7. Mesura del voltatge final dels electrets a la mateixa aula de la mesura inicial, per determinar la concentració de radó.

Aquest procediment assegura que les dades obtingudes siguin fiables i representatives, i s'ha tingut un registre precís del material, així com s'han manipulat i emmagatzemat de forma cautelosa i segura.

3.3. Resultats

Taula 4

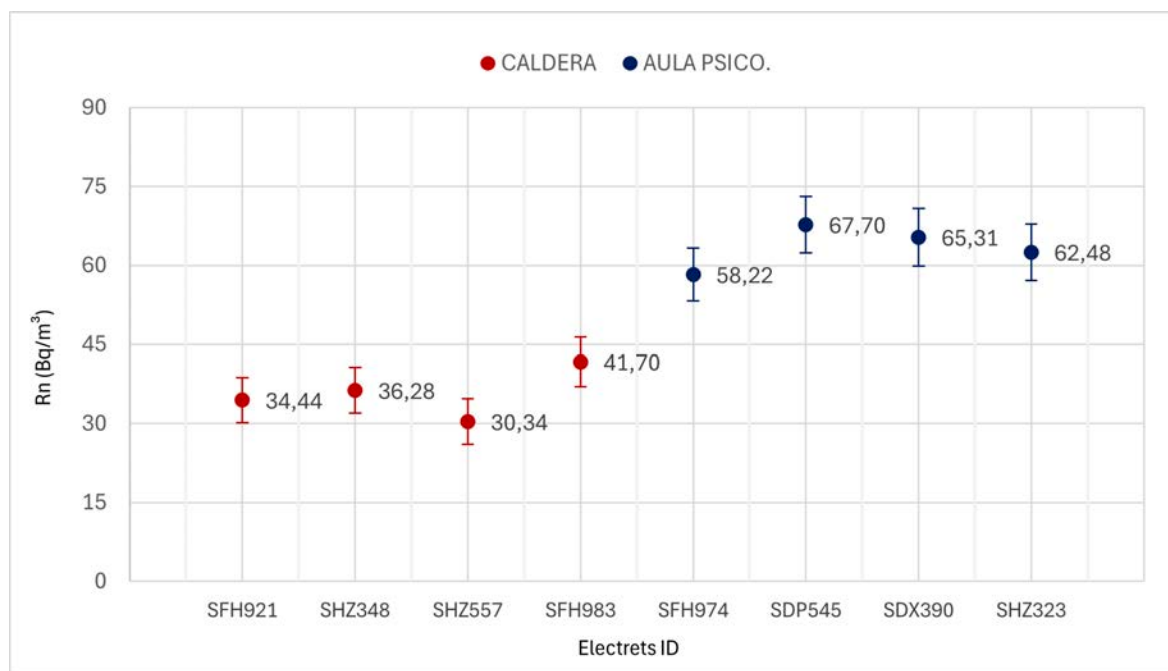
Concentracions de radó mesurades a l'Institut Joan Triadú, 2025.

LLOC DE LA MESURA	Nº ASSAIG	ELECTRET ID	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)
CALDERA	3	SFH921	34,4395	4,3073
CALDERA	3	SHZ348	36,2815	4,3556
CALDERA	7	SHZ557	30,3362	4,3447
CALDERA	7	SFH983	41,6995	4,7000
AULA PSICO.	4	SFH974	58,2196	5,0047
AULA PSICO.	4	SDP545	67,7017	5,3358
AULA PSICO.	8	SDX390	65,3116	5,4903
AULA PSICO.	8	SHZ323	62,4772	5,3886

Nota: Elaboració pròpia.

Figura 17

Gràfica de les concentracions de radó mesurades a l'Institut Joan Triadú, 2025.



Nota: elaboració pròpia. Cada punt representa una mesura individual. Les mostres estan agrupades segons l'espai de mesura: vermell= CALDERA, blau fosc = AULA PSICO. Les agrupacions permeten comparar fàcilment la variabilitat entre els diferents espais.

Observacions generals:

Les mesures de radó realitzades a l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser mostren concentracions d'entre 30 i 68 Bq/m³. A la Caldera, els assaigs registren valors d'entre 30 i 42 Bq/m³, amb una certa variabilitat tant entre assaigs com dins d'un mateix assaig, la qual és habitual i atribuïble a petites variacions, com ara en la circulació de l'aire o en la posició dels detectors. En canvi, a l'Aula de psicologia es registren concentracions més elevades, situades entre 58 i 68 Bq/m³, també amb certa variabilitat.

Tot i això, en cap cas se superen els 300 Bq/m³ establerts com a nivell de referència pel Reial Decret 1029/2022, ni els 100 Bq/m³ que descobriments epidemiològics recents associen a un augment estadísticament significatiu del risc de patir càncer de pulmó per exposició prolongada al radó. En conclusió, els nivells mesurats no impliquen un risc significatiu. Cal destacar que la interpretació detallada es presenta a l'apartat d'Anàlisi dels resultats.

Taula 5

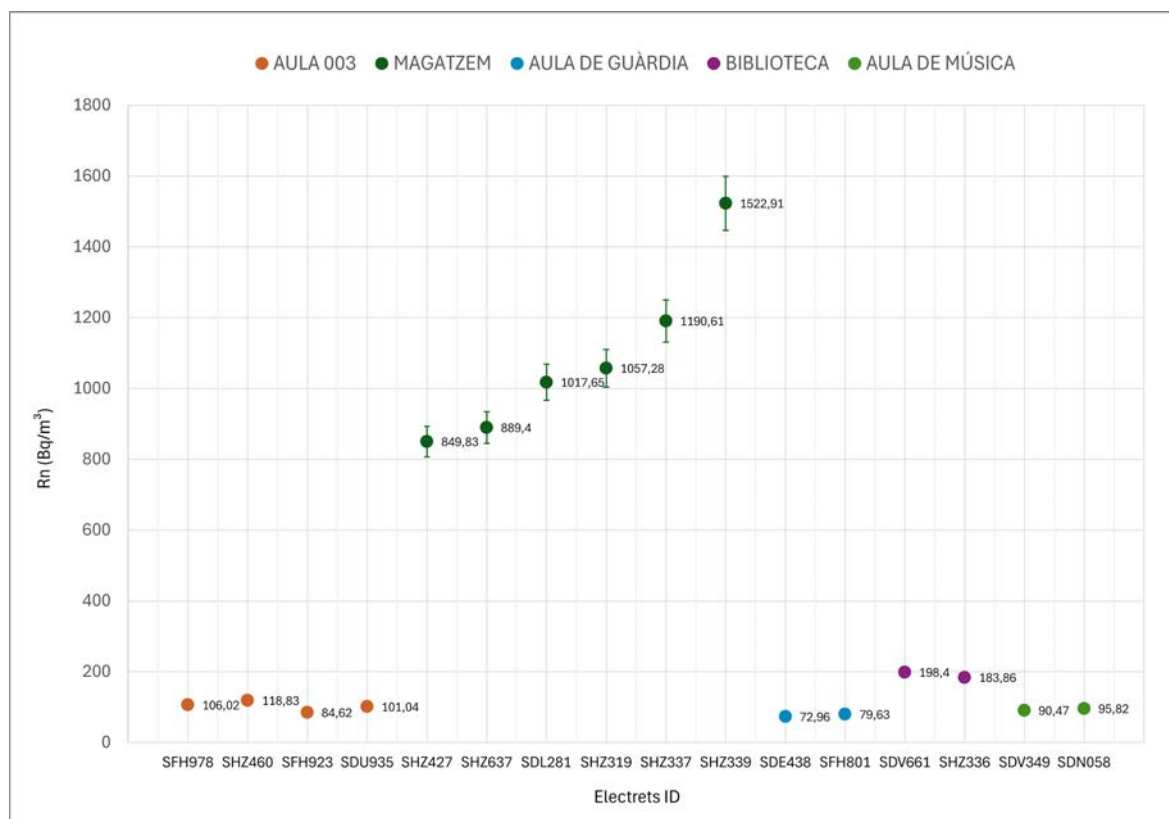
Concentracions de radó mesurades a l'Institut Abat Oliba, 2025.

LLOC DE LA MESURA	Nº ASSAIG	ELECTRET ID	Rn (Bq/m ³)	±(Bq/m ³)
AULA 003	1	SFH978	106,0214	6,7389
AULA 004	1	SHZ460	118,8349	7,2681
AULA 005	5	SFH923	84,6166	6,1824
AULA 006	5	SDU935	101,0423	6,8275
MAGATZEM	2	SHZ427	849,8282*	42,7333
MAGATZEM	2	SHZ637	889,4033*	44,7004
MAGATZEM	6	SDL281	1017,6512*	51,1552
MAGATZEM	6	SHZ319	1057,2804*	53,1250
MAGATZEM	9	SHZ337	1190,6110*	59,7984
MAGATZEM	9	SHZ339	1522,9146*	76,3457
AULA DE GUÀRDIA	10	SDE438	72,9638	5,9204
AULA DE GUÀRDIA	10	SFH801	79,6294	6,1411
BIBLIOTECA	11	SDV661	198,3954	11,1559
BIBLIOTECA	11	SHZ336	183,8641	10,5026
AULA DE MÚSICA	12	SDV349	90,4667	6,5760
AULA DE MÚSICA	12	SDN058	95,8216	6,7779

Nota: elaboració pròpia. Els valors marcats amb asterisc (*) superen el nivell de referència de 300 Bq/m³ establert pel Reial Decret 1029/2022. Malgrat això, els electrets del magatzem han baixat per sota de 100 V i, fins i tot, alguns s'han descarregat completament. Això indica que hi podria haver concentracions elevades de radó, però el valor exacte no es pot determinar amb precisió, ja que el sistema perd sensibilitat per sota dels 100 V.

Figura 18

Gràfica de les concentracions de radó mesurades a l'Institut Abat Oliba, 2025.



Nota: elaboració pròpia. Cada punt representa una mesura individual. Les mostres estan agrupades segons l'espai de mesura: taronja = AULA 003, verd fosc = MAGATZEM, blau clar: AULA DE GUÀRDIA, lila: BIBLIOTECA, verd clar: AULA DE MÚSICA. Les agrupacions permeten comparar fàcilment la variabilitat entre els diferents espais. Valors del magatzem aproximats a causa de la pèrdua de precisió per la descàrrega total o gairebé total dels electrets emprats.

Observacions generals:

Les mesures de radó realitzades a l'Institut Abat Oliba són, en tots els casos, més altes que les obtingudes a l'Institut Joan Triadú, mostrant concentracions d'entre 72 i 1523 Bq/m³. A l'Aula 003, els assaigs registren valors d'entre 84 i 119 Bq/m³, mentre que al Magatzem es registren concentracions molt més elevades, situades entre 849 i 1523 Bq/m³. A l'Aula de guàrdia, s'han registrat valors d'entre 72 i 80 Bq/m³, mentre que a la Biblioteca, els valors se situen entre 183 i 199 Bq/m³. Finalment, a l'Aula de música, s'han registrat valors d'entre 90 i 96 Bq/m³. En tots els assaigs hi ha certa variabilitat.

Destaca especialment l'espai del Magatzem, l'únic on se superen els 300 Bq/m³ establerts com a nivell de referència. Els valors de la Biblioteca, freqüen els 200 Bq/m³ i els de l'Aula 003, en alguns casos, se superen els 100 Bq/m³. La resta d'aules presenten concentracions més baixes i no impliquen un risc significatiu. Cal destacar que la interpretació detallada es presenta a l'apartat d'Anàlisi dels resultats.

3.4. Anàlisi dels resultats

Mitjançant la Figura 24 s'observa que el Magatzem de l'Institut Abat Oliba de Ripoll presenta les concentracions més elevades. Diferents factors poden atribuir-se a aquests nivells: en primer lloc, el fet que es tracta de l'únic espai de tot l'estudi situat sota rasant, encara que parcialment, atès que es tracta d'un semisoterrani. Així mateix, aquest espai, com s'ha comentat, s'usa de magatzem i s'entra de forma esporàdica. A més, l'única ventilació de l'espai prové de petites reixetes sense accés a l'exterior, insuficients per renovar l'aire interior. La combinació d'un espai semisoterrani propens a actuar com una via d'entrada pel radó, i una ventilació insuficient que afavoreix l'acumulació del gas, expliquen les concentracions obtingudes. La variabilitat entre lectures s'atribueix a la pèrdua de precisió dels sensors per haver-se descarregat per sota de 100 V a causa dels alts nivells de radó.

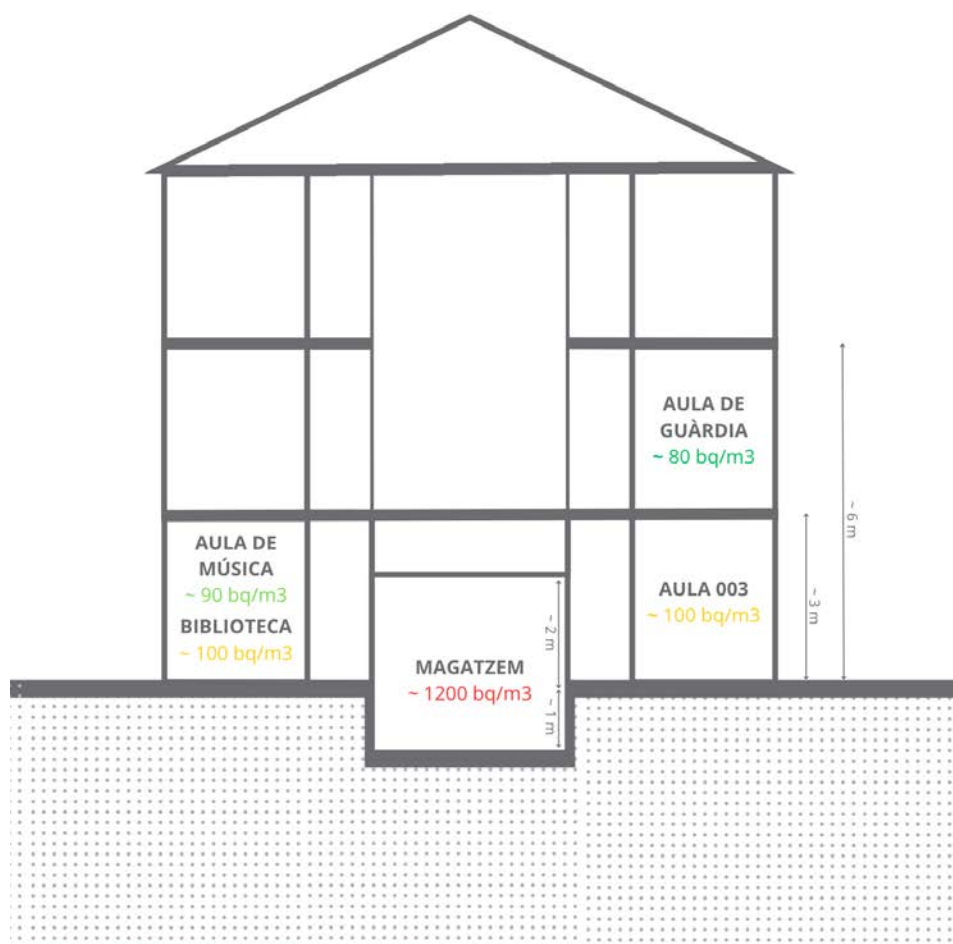
Excloent el cas del magatzem, es veu una tendència de majors concentracions a l'Institut Abat Oliba, en comparació amb l'Institut Joan Triadú. No obstant això, la litologia de Ribes de Freser presentava un potencial de Radó més elevat, tal com ho confirma la categorització del municipi com a zona d'actuació prioritària (Zona 2), enfront de Ripoll (Zona 1). Aquesta aparent contradicció es pot explicar mitjançant les diferències constructives entre tots dos edificis. Com s'ha comentat en el treball, el potencial de radó s'estima, principalment, en funció de les unitats geològiques, però un edifici ben aïllat o amb les solucions constructives adequades no s'hauria de veure afectat. En canvi, un edifici situat en una zona amb menys potencial, però amb característiques constructives que facilitin l'entrada i acumulació de radó, pot presentar concentracions més elevades. En aquest cas, l'Institut Abat Oliba de Ripoll, construït l'any 1972, probablement presenta condicions més favorables a l'entrada de radó que l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser, inaugurat l'any 2006. A més, segons l'estudi *El radón en suelos, rocas, materiales de construcción y aguas subterráneas de las Islas Canarias Orientales* (Alonso Hernández, 2015), certs tipus de maons poden emetre dosis no menyspreables de radó. Aquesta comparació manifesta que les característiques constructives o l'aïllament poden tenir un major impacte que el potencial geològic en les concentracions finals de radó interiors.

Pel que fa als valors de l'Institut Abat Oliba, es van realitzar mostres a diferents zones de l'edifici també a diferents plantes. A la zona est es van registrar els segons valors més alts, després del magatzem, a la Biblioteca, la qual cosa es podria explicar per la manca d'activitat i renovació de l'aire en comparació amb altres espais d'ús més freqüent. L'Aula 003 i l'Aula de Música, en tercer i quart lloc respectivament, representen l'exposició real a la qual es troben exposats els docents i alumnes, ja que són classes de la planta que s'usen de forma diària (en dies lectius). En últim lloc, les concentracions més baixes s'han mesurat

a l'Aula de Guàrdia, on les mostres es van fer a més alçada respecte del sòl, a la planta 1, mentre que totes les altres s'havien fet a la planta baixo o al semisoterrani. Això ens permet confirmar que les concentracions tendeixen a disminuir a major alçada respecte al sòl.

Figura 19

Perfil conceptual de l'Institut Abat Oliba amb les mesures localitzades

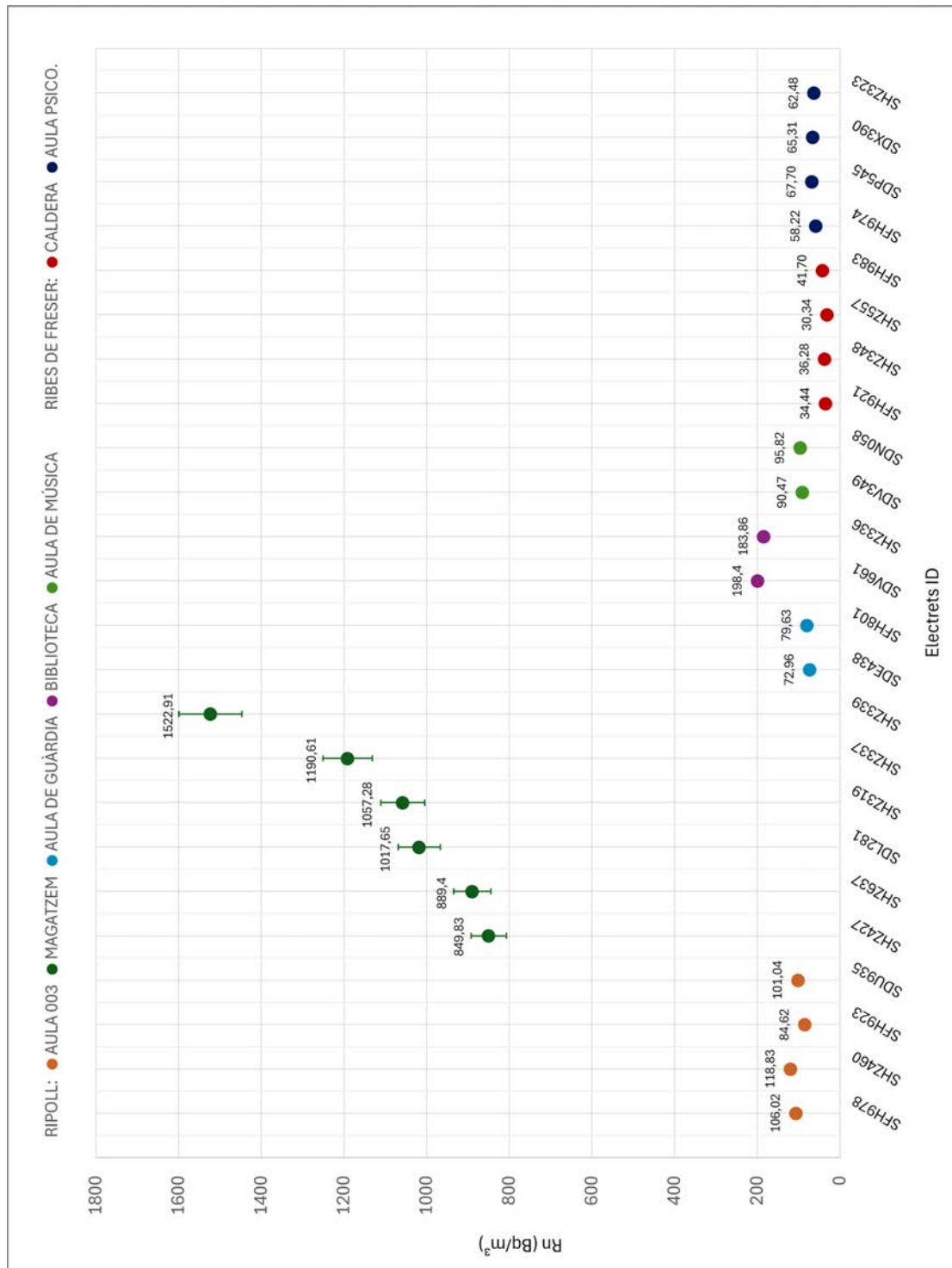


Nota: Elaboració pròpia. Els nivells estan diferenciats segons el risc significatiu. Així doncs, els valors superiors a 1000 Bq/m³ són de color vermell, els superiors a 100 Bq/m³, de color taronja, i els inferiors a 100 Bq/m³, de color verd.

Respecte a l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser, com que és un edifici més petit, s'hi han fet menys mostres. Els valors més alts s'han registrat a l'aula de psicomotricitat. Aquestes concentracions representen l'exposició real dels docents i alumnes, ja que és un espai d'ús freqüent. En canvi, les concentracions a la sala de la Caldera són una mica més baixes. Malgrat això, aquest últim espai no resulta representatiu, perquè pràcticament no hi ha activitat. A més, es pensava que el radó podria acumular-se i migrar cap als espais habitables, però aquest espai té accés directe a l'exterior, limitant aquesta possibilitat.

Figura 20

Gràfica de les concentracions de radó mesurades a l'Institut Abat Oliba i a l'Institut Joan Triadú, 2025.



Nota: Elaboració pròpia. Cada punt representa una mesura individual. Les mostres estan agrupades segons l'espai de mesura i municipi. Les agrupacions permeten comparar fàcilment la variabilitat dels nivells entre municipis i espais. Valors del magatzem aproximats a causa de la pèrdua de precisió per la descàrrega total o gairebé total dels electrets emprats.

4. Pla d'actuació

4.1. Identificació del problema i objectiu

Al magatzem situat a la planta 0 de l'edifici (espai marcat en blau al plànol) s'han registrat nivells de radó molt per sobre el valor de referència establert pel Reial Decret 1029/2022 (300 Bq/m³). Malgrat això, els electrets utilitzats en aquests assaigs s'han descarregat per sota de 100 V i, fins i tot, alguns s'han descarregat completament. Això indica que hi podria haver concentracions elevades de radó, però el valor exacte no es pot determinar amb precisió, ja que el sistema perd sensibilitat per sota dels 100 V.

El magatzem és un semisoterrani situat a la planta 0 de l'edifici, i és el punt més baix de l'institut. No hi ha activitat diària al magatzem, tan sols hi entren alumnes o personal docent per agafar material de forma puntual. Per tant, aquest espai té un ús no habitable, destinat a magatzem, amb entrada esporàdica. La resta de la planta 0 presenta valors dins de la normalitat, fet que indica que el problema és localitzat i probablement vinculat a la manca de ventilació i a entrades puntual de radó a través de fissures i punts de contacte amb el terreny. Es podria considerar com el primer espai receptor de radó.

Aquest espai està envoltat per passadissos, i a sobre, hi ha la sala on es fan els actes de l'institut. Com que no té accés directe a l'exterior ni finestres, la ventilació és limitada.

L'objectiu del pla és proposar solucions per reduir la concentració de radó per sota de 300 Bq/m³ al magatzem, mitjançant les solucions de la *Guia de Rehabilitació frente al radón* (MITMA & IETcc, 2020) per a garantir un ambient segur per a alumnes i personal docent.

Taula 6

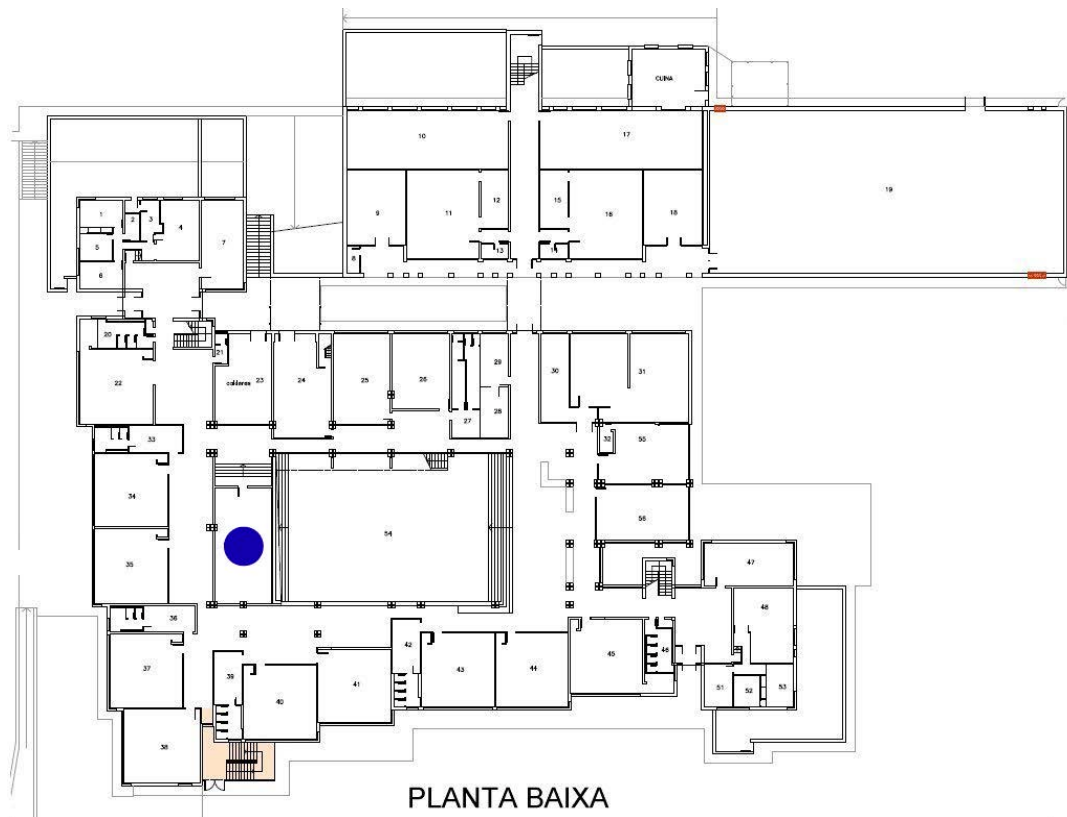
Concentracions de radó mesurades al magatzem (Institut Abat Oliba), 2025.

LLOC DE LA MESURA	Nº ASSAIG	ELECTRET ID	Tensió inicial	Tensió final	Rn (Bq/m ³)	± (Bq/m ³)
MAGATZEM	2	SHZ427	452	0	849,8282	42,7333
MAGATZEM	2	SHZ637	476	0	889,4033	44,7004
MAGATZEM	6	SDL281	379	0	1017,6512	51,1552
MAGATZEM	6	SHZ319	396	0	1057,2804	53,1250
MAGATZEM	9	SHZ337	389	-1	1190,6110	59,7984
MAGATZEM	9	SHZ339	525	5	1522,9146	76,3457

Nota: elaboració pròpia.

Figura 21

Plànol de la planta baixa de l'Institut Abat Oliba amb el magatzem marcat en blau



Font: Imatge facilitada per l'Institut Abat Oliba (adaptada).

4.2. Estratègia d'actuació

4.2.1. Descripció de l'edifici

- **Edifici i ús:** Institut Abat Oliba de Ripoll, centre educatiu.
- **Classificació del municipi segons el DB HS6 (s. d.):** Zona I.
- **Superfície sota rasant:** parcialment el magatzem (semisoterrani), d'uns 81,93 m².
- **Tipus de ventilació:** limitada, mitjançant petites reixetes, sense accés a l'exterior.
- **Plantes i distribució:**
 - Planta 0: s'hi troba el magatzem (semisoterrani), d'ús no habitable, i diversos espais d'ús habitable (aules).
 - Planta 1 i 2: amb diferents espais d'ús habitable (sales i aules).

- **Construcció de l'edifici:** façanes de maó (solera no confirmada).
- **Geologia del terreny:** dipòsits quaternaris.
- **Mitjana de concentració de radó:**
 - Al magatzem (planta 0, semisoterrani): 1037,46 Bq/m³.
 - La resta d'espais de la planta 0, 1 i 2: per sota de 200 Bq/m³.

4.2.2. Elecció de la solució

Segons la Guia de rehabilitació contra el radó (MITMA & IETcc, 2020) i les característiques de l'espai a ventilar, la solució més apropiada és la ventilació del local no habitable (Solució B2), en el qual el magatzem actua com a espai de contenció. Aquesta és una de les solucions més efectives. No obstant això, per millorar-ne l'efectivitat, es recomana combinar-la amb el segellat de fissures, esquerdes, trobades i juntes (Solució A2). (MITMA & IETcc, 2020, traducció pròpia)

Aquesta estratègia és proporcional a l'ús de l'espai, i pot aconseguir una reducció significativa. En cas de no assolir el límit de 300 Bq/m³, s'hauria de plantejar una segona fase amb solucions més invasives.

4.2.3. Diagnòstic

L'objectiu de la millora de la ventilació del local no habitable és que el radó, un cop ja ha penetrat a dins l'edifici, no s'acumuli. S'ha de garantir que la ventilació expulsi l'aire amb alta concentració de radó, i així el radó no tendeixi a penetrar en els locals habitables. Aquesta ventilació ha d'assolir tota l'extensió de l'espai de la manera més eficient i homogènia possible. (MITMA & IETcc, 2020, traducció pròpia)

L'objectiu del segellat de fissures, esquerdes, trobades i juntes és limitar la penetració del radó a través de punts en què es produeix alguna discontinuïtat. (MITMA & IETcc, 2020, traducció pròpia)

L'efectivitat d'aquestes solucions es pot veure afectada si hi ha elements de pas que connectin els locals, com ara portes. Per comprovar si l'efectivitat de la solució és adequada, cal mesurar la concentració de radó assolida dins dels locals habitables després de la intervenció.

4.3. Mesures proposades

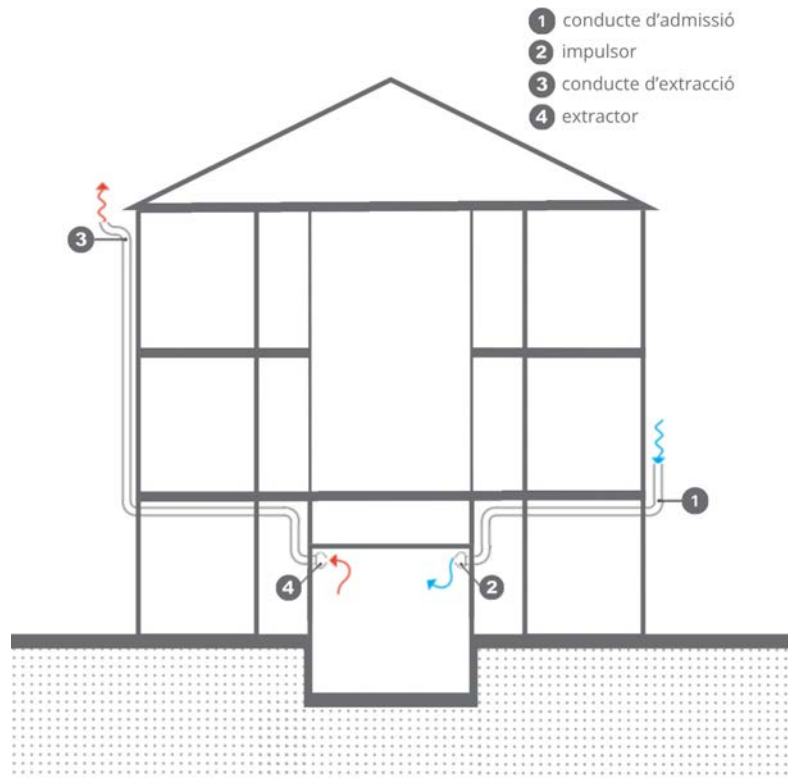
4.3.1. Ventilació mecànica del magatzem (B2)

Actualment, l'espai només disposa de reixetes fixes, insuficients per garantir la renovació d'aire. Per això es proposa:

- Sistema de ventilació mecànica: La instal·lació d'un extractor + impulsor, amb els seus conductes d'admissió i extracció corresponents. El cabal es dimensionarà per assegurar un nombre determinat de renovacions/hora de l'aire interior.
- Sortida d'aire: El conducte ha de portar l'aire cap a l'exterior, amb la boca de sortida situada a una distància mínima de 3 m de qualsevol entrada d'aire, finestra o zona amb persones, i preferència per recorreguts curts cap a l'exterior. Per tant, en el cas de l'institut, i a causa de les seves característiques constructives, la sortida es portarà fins a la coberta per l'exterior de la façana més pròxima, com es mostra en la Figura 27.
- Admissió d'aire fresc: Com no té sortida directa a l'exterior, ni entrada d'aire natural, excepte petites reixetes insuficients, s'ha considerat la instal·lació d'un impulsor que aporti aire net de l'exterior i permeti controlar la pressió, ja que només l'extracció pot generar depressions i fomentar l'entrada de radó quan no està ben dimensionada o no hi ha entrades que renovin l'aire.
- Control i ús: L'extractor funcionarà en mode continu o de manera programada, segons sigui necessari. Cal dimensionar bé el cabal, per no fomentar l'entrada de radó ni empènyer el gas cap a espais habitables.

Figura 22

Esquema de la solució proposada segons l'alçat conceptual de l'Institut Abat Oliba



Nota: elaboració pròpia.

Figura 23

Esquema de la solució proposada segons la planta baixa de l'Institut Abat Oliba



Nota: Imatge facilitada per l'Institut Abat Oliba (adaptada).

La solució s'ha determinat juntament amb l'opinió d'en David Ureta, de Soler & Palau, que ha brindat informació tècnica i el seu assessorament en l'elecció del sistema. S'ha escollit el model TD-EVO PF ECOWATT. Aquest es caracteritza per ser poc sorollós, molt eficient, utilitza un 85% de plàstics reciclats i és el que té la millor estanquitat (al voltant d'un 1% de fuites), que és important pel tema del radó especialment en el circuit d'extracció.

En espais no habitables, com el magatzem, s'ha de garantir almenys 3 renovacions/hora. En aquest cas, en David ha recomanat una mica més de cabal i provocar sobrepressió en el soterrani, que ajudarà a mitigar l'entrada del radó. Ha recomanat 5 r/h d'impulsió i 3 r/h d'extracció, amb el mateix tipus de ventilador en els dos conductes, però el d'impulsió serà més potent que el d'extracció. A l'hora de dimensionar el conducte, si aquest no passa per aules ni espais similars, es pot dissenyar per a una velocitat de 6 m/s. En canvi, si el conducte transcorre per dins d'aules o espais similars, com és el cas en aquest pla, s'ha d'evitar que la velocitat de l'aire superi els 4 m/s, per tal de minimitzar el soroll. El magatzem, en ser un espai no habitable, no s'ha considerat necessari afegir una bateria elèctrica ni un filtre.

Taula 7

Característiques del sistema de ventilació mecànica

Descripció	Caudal (m³/h)	Longitud (m)	Colzes (unitats)	PdC (Pa)
Impulsor	1229	18	2	15.3
Extractor	737	25	1	23.4

Nota: elaboració a partir de l'eina EasyVent de Soler & Palau. V volum del magatzem: 245,81 m³. ACH: 5 r/h per l'impulsor i 3 r/h per l'extractor. Recuperat de <https://easyvent.solerpalau.com/easycalc-duct>

Taula 8

Càlculs del sistema de ventilació mecànica

Despricció	Model	Caudal (m³/h)	Psf (Pa)	Ptot (Pa)	LwA (dB(A))	Lp aspiració (dB(A))	Vel imp. (m/s)	Diàmetre imp. (mm)	Preu (EUR)
Impulsor	TD EVO-315 PF ECOWATT	1229	24,9	36,5	70	56	4,38	315	871,58
Extractor	TD EVO-250 PF ECOWATT	737	23,4	33,9	60	45	4,18	250	764,46

Nota: elaboració a partir de l'eina EasyVent de Soler & Palau. Conductes circulars d'acer galvanitzat. Entrada directa pels dos circuits, sortida directa per l'impulsor i sortida tipus barret per l'extractor (H/D=0.7). Velocitat constant de 4 m/s. Condiciones de l'aire: 20 °C @ 0m (1,2 kg/m³). Tolerància del 5%. Recuperat de <https://easyvent.solerpalau.com/easycalc-duct>

Figura 24

Imatges del TD-EVO PF ECOWATT (1)



Nota: Soler & Palau. (s. d.). TD-EVO PF ECOWATT. Recuperat de https://mediacenter.solerpalau.com/api/materials/get?filePath=%5CMagento%5Cpreprod%5Cimport%5Cdocumentation%5CEN_TD-EVO_PF_ECOWATT.pdf

Figura 25

Imatges del TD-EVO PF ECOWATT (2)



Nota: Soler & Palau. (s. d.). TD-EVO PF ECOWATT. Recuperat de https://mediacenter.solerpalau.com/api/materials/get?filePath=%5CMagento%5Cpreprod%5Cimport%5Cdocumentation%5CEN_TD-EVO_PF_ECOWATT.pdf

4.3.2. Segellat de fissures, esquerdes, trobades i juntes (A2)

El radó penetra habitualment a través de les discontinuïtats entre l'edifici i el terreny, les quals actuen com a vies de pas del gas radó, com ara fissures, esquerdes o juntes.

Les actuacions proposades consisteixen en el segellat de:

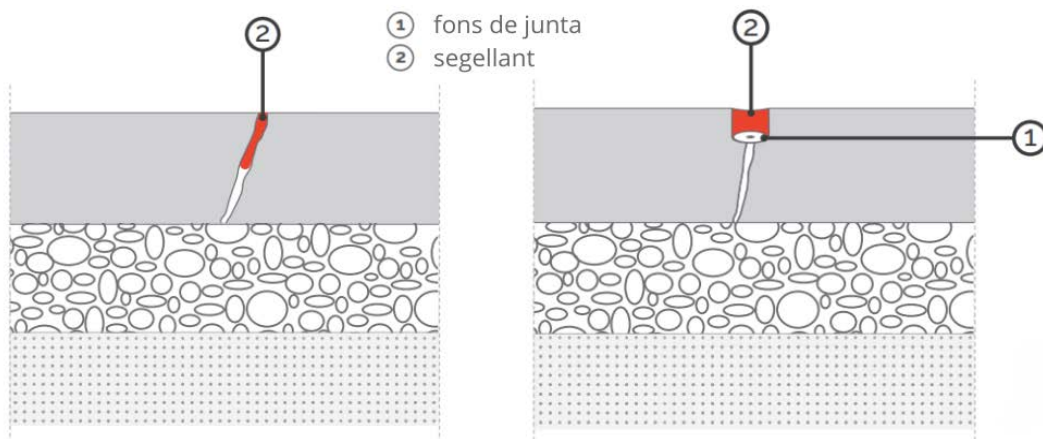
- Fissures, esquerdes o juntes de dilatació que comuniquin el sòl amb l'edifici, mitjançant un segellant flexible.
- Trobades amb elements passants, també amb un segellant flexible.

Tot i que el magatzem no disposa d'elements passants connectats directament amb el sòl, es recomana el segellat de tots els forats i passos que el comuniquen amb altres espais de l'edifici, així com aquells forats generats per la instal·lació del sistema de ventilació mecànica, per tal d'evitar la possible migració del gas cap a altres zones de l'edifici.

Aquests segellats limitarien l'entrada directa del radó a l'espai i reforçarien l'efecte de la ventilació mecànica. Per dur a terme aquesta solució, un equip tècnic especialitzat hauria de realitzar un diagnòstic de la situació actual del magatzem, amb l'objectiu d'identificar els punts crítics en què els tancaments presenten discontinuïtats.

Figura 26

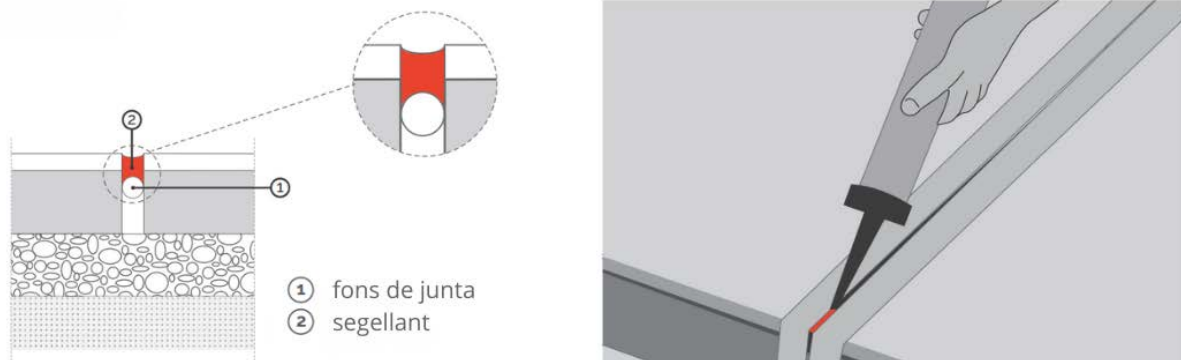
Representació del segellat d'esquerdes



Nota: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) & Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc). (2020). Sellado de una grieta. Recuperat de https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/GuiaRadon/Guia_de_rehabilitacion_frente_al_radon+Fichas.pdf

Figura 27

Representació del segellat de juntes de dilatació



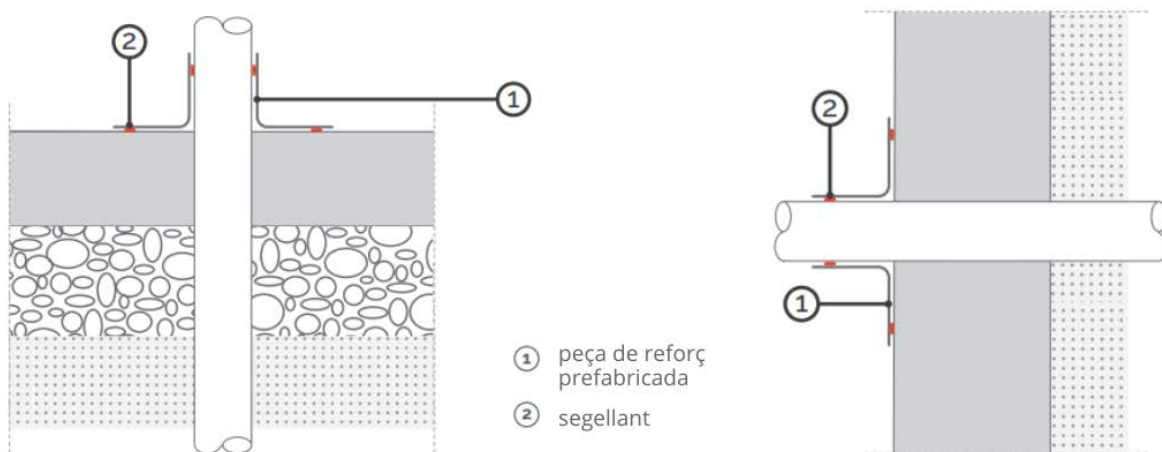
Nota: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) & Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc). (2020). Sellado de una junta de dilatación de una solera.

Recuperat de

https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/GuiaRadon/Guia_de_rehabilitacion_frente_al_radon+Fichas.pdf

Figura 28

Representació del segellat d'elements passants



Nota: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) & Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc). (2020). Encuentro del cerramiento con un elemento pasante vertical y con un elemento pasante horizontal, resuelto con una pieza de refuerzo prefabricada.

Recuperat de

https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/GuiaRadon/Guia_de_rehabilitacion_frente_al_radon+Fichas.pdf

4.4. Execució, seguiment i verificació

Primer de tot, s'hauria de fer l'adequació del magatzem, netejant i desallotjant els objectes. Posteriorment, s'instal·laria el sistema de ventilació. A continuació, se segellarien les fissures, esquerdes, trobades i juntes, i es posaria en marxa el sistema de ventilació.

És imperatiu el mesurament de postintervenció, on caldria col·locar detectors durant un mínim de tres mesos per verificar l'eficàcia de les mesures, o la instal·lació d'un dosímetre continu de radó per fer seguiment i ajustar el cabal de ventilació si calgués.

En últim lloc, es recomana un manteniment anual: la neteja de reixetes, la revisió de segellats i l'estat de conductes i extractor.

4.5. Pressupost orientatiu

El cost pot variar significativament depenent del tipus d'intervenció i de les característiques de l'espai. En aquest cas, un sistema de ventilació mecànica (Solució B2) incrementa lleugerament el cost. Tot i això, el preu del segellat de fissures, esquerdes o elements de pas (Solució A2) es considera baix en relació amb la resta de solucions.

Taula 9

Pressupost orientatiu del material del pla d'actuació (Institut Abat Oliba)

Descripció	Model	Unitats	Preu unitari	Preu total
Impulsor	TD EVO-250 PF ECOWATT	1 unitat	764,46 €	764,46 €
Extractor	TD EVO-315 PF ECOWATT	1 unitat	871,58 €	871,58 €
Conductes d'admissió	Conductes circulars d'acer galvanitzat (Ø = 250 mm)	18 metres	21,50 €	387,00 €
Conductes d'extracció	Conductes circulars d'acer galvanitzat (Ø = 315 mm)	25 metres	32,63 €	815,75 €
Colzes d'admissió	Colzes de 90° amb juntes (Ø = 250 mm)	2 unitats	51,90 €	103,80 €
Colzes d'extracció	Colzes de 90° amb juntes (Ø = 315 mm)	1 unitat	81,80 €	81,80 €
Segellat (solució A2)	Massilla a base de poliuretà Sikaflex (300 ml)	12 unitats	7,96 €	95,52 €
			SUBTOTAL	3.119,91 €
			IVA (21%)	655,18 €
			TOTAL	3.775,09 €

Nota: elaboració pròpia a partir de dades de l'eina EasyVent (Soler & Palau) i preus de mercat. El pressupost és de caràcter orientatiu, i contempla exclusivament el cost dels materials i equips. S'exclouen els costos de diagnòstic previ, instal·lació (mà d'obra) i posada en marxa, els quals haurien de ser valorats per part d'una empresa instal·ladora autoritzada.

4.6. Notes finals

Si després de la implementació de la Solució B2 i la Solució A2 els nivells continuessin per sobre de 300 Bq/m³, caldria considerar l'aplicació d'altres mesures.

Les dades, càlculs i pressupostos tenen una finalitat orientativa, però no pretenen substituir un projecte tècnic. Per això, caldria, entre altres coses, realitzar un diagnòstic complet per part d'un professional acreditat i verificar les condicions constructives reals i l'estat dels espais.

Així doncs, aquest apartat constitueix una proposta tècnica de caràcter acadèmic, elaborada amb l'objectiu de dimensionar, comprendre i analitzar les possibles estratègies de mitigació per reduir la concentració de gas radó.

Tot i que els nivells elevats es localitzen únicament en un espai no habitable (magatzem), i s'ha comprovat que l'impacte directe sobre les zones habitables és limitat, la presència de concentracions tan elevades justifica la realització d'una intervenció proporcional (ventilació i segellat). Aquestes mesures no tenen un cost molt elevat i redueixen el risc que el radó migri des del magatzem cap a espais habitables. En aquest cas, la intervenció es podria considerar preventiva.

En conclusió, aquest treball no pretén substituir un projecte tècnic, sinó aprofundir en el coneixement de les estratègies de mitigació del gas radó i dimensionar una possible solució realista adaptada a les condicions de l'Institut Abat Oliba.

5. Aportacions d'experts

En aquest apartat s'ha incorporat la visió d'experts amb l'objectiu de complementar i validar la informació presentada en el treball, així com conèixer l'opinió de professionals del sector de la salut. Per aquest motiu, s'ha contactat amb dos especialistes en l'àmbit de la pneumologia: el Dr. Xavier Muñoz Gall i el Dr. Francisco Javier González Barcala. El contacte es va dur a terme mitjançant correu electrònic.

5.1. Dr. Xavier Muñoz Gall

El Dr. Xavier Muñoz Gall és doctor en Medicina per la Universitat Autònoma de Barcelona, amb la tesi "Afectació pleural en els miners de carbó". Una de les seves àrees principals d'investigació és l'asma. L'Institut Català de la Salut (ICS) ha oficialitzat el nomenament de Muñoz Gall com a cap del Servei de Pneumologia de l'Hospital Universitari Vall d'Hebron. A més, és l'investigador principal del grup d'investigació en Pneumologia del Vall d'Hebron Institut d'Investigació (VHIR).

Sota aquesta institució investigadora, amb col·laboració del *Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Respiratorias (Ciberes)*, Xavier Muñoz va liderar l'any 2021 un estudi publicat a la revista *Chest*, que va permetre comprovar, mitjançant unes biòpsies, quines persones que havien patit COVID-19 presentaven danys als pulmons i quines tenien els pulmons sans. Gràcies a aquest estudi, només es va administrar tractament amb corticoesteroides en els casos en què realment es necessitava, evitant així efectes secundaris innecessaris.

Va rebre el reconeixement del *Ripollès de l'Any*, l'any 2020, per la seva tasca a l'hospital en la lluita contra la COVID-19 i les seves investigacions sobre les seqüeles.

És soci de la Societat Espanyola de Pneumologia i Cirurgia Toràctica (SEPAR) i ha participat com a ponent en congressos i ponències de l'especialitat.

(Redacción Médica, 2024)

Figura 29

El Dr. Xavier Muñoz Gall



Nota: Huertas, J. (2024). *Xavier Muñoz Gall, jefe de Servicio de Neumología del Vall d'Hebron*. Redacción Médica. Recuperat de

<https://www.redaccionmedica.com/secciones/neumologia/xavier-munoz-gall-jefe-servicio-neumologia-vall-hebron-3867>

En les consultes al Dr. Xavier Muñoz, va comentar que el radó no es té en compte a les consultes i diagnòstics de càncer de pulmó, sinó que és excepcional que es tingui en compte a Catalunya, només en els centres molt especialitzats. En canvi, a la Comunitat de Galícia és un problema més conegut i que es té més present.

Creu que hi ha molt poca formació i informació al respecte. Torna a matisar que només els centres molt especialitzats en tenen coneixement. Com s'ha comentat, a Galícia, on ha estat un problema més freqüent, sí que hi ha més informació. Malgrat això, apunta que cada cop hi ha més coneixement i s'està fent més difusió a diferents àmbits de la salut. A la majoria de les consultes de càncer de pulmó d'hospitals de 3r nivell ja se sol tenir present.

Parlant més concretament dels símptomes i característiques del càncer de pulmó, va aclarir que un cop tens un càncer de pulmó, els símptomes i la mateixa evolució solen ser independents de la causa d'aquest. Va remarcar que la causa, de llarg, més freqüent de càncer de pulmó és el tabac; després hi ha exposicions ocupacionals (asbest, sílice, alguns químics...), també s'han de tenir en compte les exposicions ambientals (la contaminació ambiental i el radó) i, finalment, factors genètics.

Pel que fa a la relació entre radó i incidència de càncer de pulmó, va compartir que hi ha prou evidències actualment que donen suport a aquesta interacció.

5.2. Dr. Francisco Javier González Barcala

El Dr. Francisco Javier González Barcala és un especialista en pneumologia i professor titular a la Facultat de Medicina de Santiago de Compostela, amb la tesi *Valores de referencia de función respiratoria en niños y adolescentes de Galicia*. Té una plaça vinculada com a facultatiu especialista de l'àrea de pneumologia al Complejo Hospitalario Universitario de Santiago (CHUS). A més, ha estat durant diversos anys al davant de la Unitat d'Alta Complexitat en Asma del CHUS. Com a especialista en aquesta patologia, forma part del comitè directiu del Programa Integrat d'Investigació de la Societat Espanyola de Pneumologia i Cirurgia Toràcica (SEPAR). Des de 2010 és investigador de l'Institut d'Investigació Sanitària de Santiago de Compostela (IDIS), i des de 2020 responsable del grup d'investigació translacional en malalties de les vies respiratòries.

També destaca com a editor en revistes científiques de la seva especialitat. És membre del consell editorial de *Journal of Asthma (USA)* i de *l'International Journal of Environmental Research and Public Health (Basel, Switzerland)*; editor associat d'*Archivos de Bronconeumología (Barcelona, Espanya)*, *European Respiratory Journal Open Research* i també de *BMC Pulmonary Medicine (London, UK)*.

És director d'una dotzena de tesis doctorals, i autor de més de 180 publicacions indexades en *PubMed (National Library of Medicine®)*. A més, és membre associat del Centro de Investigación en Red de Enfermedades Respiratorias (Ciberes).

(Redacción Médica, 2023)

Figura 30

L'especialista en pneumologia Francisco Javier González Barcala



Nota: Huertas, J. (2024). *El neumólogo González Barcala, profesor titular de Medicina en Santiago*. Redacción Médica. Recuperat de <https://www.redaccionmedica.com/secciones/neumologia/neumologo-González-barcala-profesor-titular-medicina-santiago-8484>

En les consultes al Dr. Francisco Javier González Barcala, ens va compartir, en la mateixa línia que el Dr. Xavier Muñoz, que actualment ja hi ha moltes publicacions que sustenten la relació del radó amb el càncer de pulmó.

Va aclarir que actualment hi ha poc coneixement i poca normativa. Apunta que un dels probables motius sigui l'econòmic, ja que el cost per eliminar o reduir l'exposició al radó és alt. Segons la seva opinió, és fonamental fer mesures dels nivells de radó en diversos punts de cada província o àrea geogràfica, que permetin elaborar un mapa dels nivells reals d'exposició. En canvi, creu que els nivells de referència actuals són vàlids, però tenint en compte que, com menys radó, millor. També creu que, sense dubte, hauria d'haver-hi més exigència en l'aplicació de mesures antiradó en els municipis d'actuació prioritària.

Així mateix, se li va preguntar si considerava que s'hauria de tenir en compte sempre l'exposició al radó en consultes de pneumologia o similars, però va contestar que, probablement, seria millor tenir centres de referència per àrees geogràfiques, ja que els mesuradors són fàcils de transportar i fer servir, i no faria falta molt personal per abastar una àrea com Catalunya.

Va comentar que, actualment, sí que hi ha diferències entre comunitats. Galícia és una de les que va per davant, perquè fa més de trenta anys un jove investigador, Juan Barros Dios, es va iniciar en aquest tema i va fer molts estudis, posant aquest problema en evidència. Va fer la reflexió que, en molts casos, depèn de l'esforç personal d'algú. A Catalunya, desconeix com estan les coses.

Respecte al pla d'actuació proposat en el treball, va compartir que és complex. Requereix un aïllament del sòl actiu perquè, per molt que es ventili, continua entrant i els nivells no baixen. Tot i això, tenint al cap que, com menys radó, millor, ell sí que faria obres, si és possible, per reduir els nivells al magatzem. Per descomptat, no posaria a ningú a treballar en un lloc amb concentracions de 1.500 Bq/m^3 . Això és perquè, a part de la gran obra i l'alt cost econòmic, també s'han de poder realitzar aquestes obres, perquè depenent de cada terreny i edifici pot ser més difícil, i ha de ser tècnicament viable.

LÍMITS I MILLORES

Aquest treball, malgrat l'esforç per obtenir dades representatives, fiables i precises, presenta certes limitacions que cal tenir en compte.

En primer lloc, malgrat que s'ha analitzat la geologia de les zones d'estudi mitjançant visors de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, i s'ha establert el seu potencial contrastant diversos estudis, el potencial de radó no es pot determinar amb exactitud sense analitzar mostres concretes de les roques i conèixer-ne la composició en urani-238 o radi-226.

Per altra banda, com s'ha esmentat en el cos del treball, només es va poder dur a terme mesures en un dels dos edificis que conformen l'Institut Joan Triadú de Ribes de Freser, a causa de la manca d'una autorització que hauria endarrerit massa l'estudi. L'edifici mesurat va ser l'Institut Joan Triadú, deixant fora l'escola. Aquest segon, en ser més antic, podria presentar nivells diferents de radó, per tant, això ha limitat la representativitat dels resultats obtinguts a Ribes de Freser. A més, com s'ha comentat, les mesures de l'espai de la caldera realitzades a l'Institut Joan Triadú no han resultat rellevants ni prou representatives.

També s'ha de tindre en compte el moment i la durada de les mesures. Malgrat que es van dur a terme durant els mesos d'abril i maig, els valors poden no ser del tot representatius, ja que es recomana fer les mesures durant l'hivern, període en què les concentracions de radó solen ser més representatives i estables. Durant els mesos més càlids, la ventilació és més freqüent i els nivells tendeixen a disminuir. A més, la configuració de les mostres va ser de curta exposició, donant només una estimació del radó present a l'espai, sense permetre calcular la concentració mitjana anual, que requereix mesures d'un mínim de tres mesos. Es va intentar aconseguir un altre tipus de material que ens permetés determinar aquesta concentració mitjana, especialment en el magatzem, però per manca de disponibilitat no va ser possible.

Tot i que el material utilitzat és resistent a una àmplia varietat de factors, hi ha condicions externes (com la ventilació, temperatura o la condensació dels electrets) que poden generar cert grau de variabilitat en les dades obtingudes.

Un altre límit ha estat la manca d'informació sobre les característiques constructives dels dos edificis on s'han fet les mesures. Aquesta manca ha impedit fer una anàlisi més exhaustiva i comprendre amb exactitud les diferències entre els edificis i les possibles vies d'entrada del radó als espais mesurats, malgrat la recerca realitzada.

Per mirar de superar o mitigar aquests límits, i amb l'objectiu d'augmentar la fiabilitat i representativitat de l'estudi, es proposen les millores següents:

- Incloure l'edifici de l'escola de Ribes de Freser en futurs estudis, així com altres centres i edificis de la comarca, per obtenir un mapa més complet i precís de la concentració de radó a la comarca.
- En cas de fer més mesures en l'Institut Joan Triadú, no seria necessari repetir-les a la caldera, sinó seleccionar espais més interessants i representatius.
- Realitzar mesures prolongades, d'un mínim de tres mesos, i en diferents estacions de l'any, per determinar la concentració mitjana anual real i captar les variacions naturals provocades per factors externs.
- Portar un registre diari de condicions ambientals (temperatura, humitat, ventilació) per comprendre millor les variacions observades.
- Utilitzar instruments complementaris, com dosímetres continus, per reduir el marge d'error dels dosímetres integrats, observar l'evolució de les concentracions i validar les dades obtingudes.
- Realitzar anàlisis mineralògiques de les roques presents en les zones d'estudi per determinar amb exactitud la seva composició i poder establir el potencial de radó amb major seguretat.
- Sol·licitar informació tècnica sobre les característiques constructives dels edificis als ajuntaments o institucions pertinents.

Aquestes millores permetrien obtenir resultats més robustos, fiables i establir recomanacions més sòlides per garantir la seguretat dels espais dels edificis.

CONCLUSIONS

Els nivells de radó observats en els dos instituts mostren una variabilitat significativa. En l'Institut Joan Triadú, a Ribes de Freser, les concentracions presenten valors compresos entre 30 i 68 Bq/m³. Les mesures realitzades a l'aula de psicomotricitat mostren valors lleugerament superiors, d'uns 20 Bq/m³ més elevats que els de la sala de la caldera. Tot i això, les concentracions es mantenen dins dels valors recomanats per l'OMS, per sota de 100 Bq/m³.

Per altra banda, a l'Institut Abat Oliba de Ripoll destaca clarament un espai sobre la resta: el magatzem, situat a la planta baixa, parcialment sota rasant i amb poca ventilació. En aquest espai s'han registrat les concentracions més altes, compreses entre 849 i 1523 Bq/m³. La diferència de més de 600 Bq/m³ entre les mostres dins un mateix espai s'explica per la descàrrega total o quasi total dels sis electrets utilitzats. Això indica que hi ha concentracions elevades de radó, però el valor exacte no es pot determinar amb precisió, ja que el sistema perd sensibilitat per sota dels 100 V. A la resta de l'edifici, els valors oscil·len entre 72 i 199 Bq/m³, i aquesta variació s'ha pogut relacionar amb l'alçada respecte al sòl i el nivell d'activitat de les aules. En general, una major alçada o una activitat més intensa afavoreixen una menor concentració de radó.

Encara que en alguns espais se sobrepassi el límit recomanat per l'OMS, de 100 Bq/m³, cap dels espais habitables superen el nivell de referència legal actual de 300 Bq/m³, determinat pel *Real Decret 1029/2022*. En canvi, sí que s'han registrat valors per sobre el nivell de referència en l'espai no habitable del magatzem. Aquest espai no representa un risc significatiu directe per a la salut dels docents i alumnes, ja que s'entra de manera esporàdica i s'ha comprovat que la migració del gas cap a zones habitables és limitada.

La contextualització geogràfica (basada en la geologia, la hidrogeologia i en el *Mapa de potencial de radón en España (2023)*) indicava un potencial de radó més alt a Ribes de Freser que a Ripoll. Tanmateix, les dades obtingudes han contradit aquesta previsió, mostrant concentracions majors a Ripoll. Aquesta diferència s'explica per les característiques constructives d'ambdós edificis. L'Institut Abat Oliba, construït l'any 1972, segurament presenta condicions més favorables a l'entrada de radó que l'Institut Joan Triadú, inaugurat l'any 2006.

Del conjunt de l'estudi es pot concloure que una major alçada respecte al sòl i una activitat elevada redueixen la concentració de radó, però també que les característiques constructives de l'edifici són un factor igual o més determinant que el potencial de radó

assignat als municipis o a les unitats geològiques de les zones d'estudi. Aquestes conclusions confirmen plenament la hipòtesi inicial de treball, excepte pel fet que s'esperaven concentracions més elevades a Ribes de Freser.

Pel que fa als experts consultats, han coincidit que el radó encara es té poc en compte en les consultes i diagnòstic de càncer de pulmó, malgrat ser la segona causa d'aquest després del tabac (segons l'OMS, entre el 3% i el 14% dels casos de càncer de pulmó de la població general estan relacionats amb la inhalació de radó). El Dr. Xavier Muñoz ha confirmat, però, que als hospitals de tercer nivell ja se sol tenir present aquest factor.

A més, ambdós doctors entrevistats han afirmat que actualment existeixen prou evidències que donen suport a la interacció entre radó i càncer de pulmó, tot i que encara hi ha manca d'informació, normativa i conscienciació social. Un dels motius que apunten és l'elevat cost econòmic de les mesures de mitigació. També han comentat les diferències entre comunitats autònomes, destacant Galícia, on el radó és un problema més freqüent i es té més en compte. Pel que fa a Catalunya, els experts desconeixen la situació actual.

El Dr. Francisco Javier González Barcala ha defensat la necessitat de fer mesures de radó en diversos punts de cada província per poder elaborar un mapa real dels nivells d'exposició. Considera que els nivells de referència actuals són vàlids, però recorda que, com menys radó, millor. En la mateixa línia va respondre quan se li va exposar el cas d'aquest treball, indicant que ell sí que duria a terme obres al magatzem per reduir les concentracions de radó actuals.

Per aquest motiu, malgrat que el magatzem no suposa un risc significatiu directe, el treball incorpora un pla d'actuació específic per reduir els nivells de radó i evitar-ne la possible migració cap als espais habitables. La proposta tècnica inclou un sistema combinat d'impulsió i l'extracció d'aire, juntament amb el segellat de fissures, esquerdes i passos de conductes. Segons la *Guía de rehabilitación frente al radón* (MITMA & IETcc, 2020), aquestes mesures podrien reduir significativament les concentracions de radó amb una intervenció relativament econòmica i adaptada a les característiques de l'edifici. El disseny de la proposta va comptar amb l'assessorament de l'empresa Soler & Palau, que va col·laborar en la selecció dels equips i en la revisió de la solució.

En conjunt, aquest treball no només ha permès quantificar els nivells de radó en dos centres educatius del Ripollès, sinó que també ha aportat dades inèdites sobre la presència d'aquest gas a la comarca i ha contribuït a la tasca de difusió i conscienciació sobre aquesta problemàtica.

A més, estableix una base inicial sòlida per a futures avaluacions del gas en la comarca o en altres entorns escolars, i ofereix dades del nord de Catalunya útils per a l'elaboració d'un mapa de potencial real de radó.

Finalment, el pla d'actuació, creat per reduir la concentració de radó al magatzem i garantir un entorn més segur, es presenta com una proposta sòlida que es pot consultar en el futur, tant per la seva possible implementació en l'edifici estudiat com en altres espais amb característiques similars.

- Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barros-Dios, J. M., Baysson, H., Bochicchio, F., ... Doll, R. (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: Collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal*, 330(7485), 223.
<https://www.bmj.com/content/330/7485/223>
- Dattola, L., Belvedere, A., D'Agostino, M., Faggio, G., Majolino, D., Marguccio, S., ... Caridi, F. (2024). Assessment of the radioactivity, metals content and mineralogy of granodiorite from Calabria, Southern Italy: A case study. *Materials*, 17(15), 3813.
<https://www.mdpi.com/1996-1944/17/15/3813>
- Haneberg, W. C. (2020). A geologically based indoor-radon potential map for the United States. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 21(4), e2020GH000263.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7682569/pdf/GH2-4-e2020GH000263.pdf>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (1988). Man-made mineral fibres and radon (IARC). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 43.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK316364/>
- Lorenzo-González, M., Ruano-Ravina, A., Torres-Duran, M., Kelsey, K. T., Provencio, M., Parente-Lamelas, I., ... Barros-Dios, J. M. (2020). Lung cancer risk and residential radon exposure: A pooling of case-control studies in northwestern Spain. *Environmental Research*, 189, 109968.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001393512030863X?via%3Dihub>
- Ortega-Guerrero, A. (2021). Geochemical characteristics of radon-prone rocks in central Mexico. *Geochemical Journal*, 50(3), 406–417.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/geochemj/50/3/50_2.0406/_pdf
- Ortega-Guerrero, A. (2025). Presence, distribution, and origin of radioisotopes in rock samples from central Mexico. *Science of the Total Environment*, 750, 141465.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X25000888>

- Otton, J. K. (1992). The geology of radon (USGS General Interest Publication 7000018). U.S. Geological Survey.
<https://pubs.usgs.gov/gip/7000018/report.pdf>
- U.S. Geological Survey. (1993). Geologic radon potential of Guam and Puerto Rico (Open-File Report 93-292A).
<https://pubs.usgs.gov/of/1993/0292a/report.pdf>
- World Health Organization (WHO). (2009). WHO handbook on indoor radon: A public health perspective. Geneva: World Health Organization.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241547673>
- Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) (s. d.). Analitzen les concentracions de radó a la Garrotxa. Divulga UAB - Revista de Difusió de la Recerca de la Universitat.
<https://www.uab.cat/web/detall-de-noticia/analitzen-les-concentracions-de-rado-a-la-garrotxa-1345469002000.html?articleId=1236584300772>
- Era. (2024, 3 diciembre). Gas radó: Solucions i llista de municipis Catalunya. ERA Architects.
<https://era.archi/ca/gas-rado-solucions-i-llista-de-municipis-catalunya/>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2025). Mapa geològic de Catalunya 1:250.000.
<https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-geologica/Mapa-geologic-de-Catalunya-1250000>
- L'ACTUAL. (s. d.). Hem de prevenir que els habitatges no tinguin nivells alts de radó. Lactual.cat.
https://www.lactual.cat/actualitat/hem-de-prevenir-que-els-habitatges-no-tinguin-nivells-alts-de-rado_24429_102.html
- Lasaga, A. (2024, 18 abril). El perill invisible del gas radó als espais tancats: Mapa dels municipis amb més risc. 3Cat.
<https://www.3cat.cat/324/el-perill-invisible-del-gas-rado-als-espais-tancats-mapa-dels-municipis-amb-mes-risc/noticia/3286733/>

- Mapa i llista de municipis d'actuació prioritària de la província de Girona. (s. d.). Associació Catalana de Municipis.
<https://www.acm2020.es/ca/mapa-llista-municipis-actuacio-prioritaria-gas-rado-provincia-girona>
- Ordóñez, G. E. (2021, 26 mayo). El radón: Un enemigo invisible y escurridizo. UBUinvestiga.
<https://ubuinvestiga.es/el-radon-un-enemigo-invisible/>
- Rincón Educativo. (s. d.). Presentación sobre radón.
https://rinconeducativo.org/sites/default/files/presentacion_il_gutierrez_aprendeconciencia_radon.pdf
- Ministerio de Sanidad, Gobierno de España. (s. d.). Mortalidad por radón.
https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/04_Mortalidad_radon.pdf
- Mortalidad por radón (versión ampliada). (s. d.). Ministerio de Sanidad, Gobierno de España.
https://www.sanidad.gob.es/areas/sanidadAmbiental/riesgosAmbientales/radon/publicaciones/docs/Mortalidad_radon.pdf
- Consejo de Seguridad Nuclear. (s. d.) Radón.
<https://www.csn.es/radon>
- Foro Nuclear. (s. d.). Qué sabes de la radiación.
<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-proteccion-radiologica-y-radiacion/que-sabes-de-la-radiacion/>
- SEOM. (2024). Las cifras del cáncer en España 2024. Sociedad Española de Oncología Médica.
https://seom.org/images/publicaciones/informes-seom-de-evaluacion-de-farmacos/LAS_CIFRAS_2024.pdf
- Boletín Oficial del Estado. (2014). Directiva 2013/59/EURATOM del Consejo, de 5 de diciembre de 2013. BOE nº 13, pp. 1–73.
<https://www.boe.es/doue/2014/013/L00001-00073.pdf>

- Boletín Oficial del Estado. (2022). Real Decreto 1029/2022, por el que se aprueba el Reglamento de protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a la radiación natural. BOE-A-2022-21682.
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2022/BOE-A-2022-21682-consolidado.pdf>
- Boletín Oficial del Estado. (2025). BOE-A-2025-8734. Instrucción IS-47.
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2025-8734
- Consejo de Seguridad Nuclear. (2010). Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire (GS 11-01).
[https://www.csn.es/documents/10182/896572/GS%2011-01%20Directrices%20sobre%20la%20competencia%20de%20los%20laboratorios%20y%20servicios%20de%20medida%20de%20rad%C3%B3n%20en%20aire%20\(Enero%202010\)](https://www.csn.es/documents/10182/896572/GS%2011-01%20Directrices%20sobre%20la%20competencia%20de%20los%20laboratorios%20y%20servicios%20de%20medida%20de%20rad%C3%B3n%20en%20aire%20(Enero%202010))
- Consejo de Seguridad Nuclear. (2015). Las radiaciones (Monografía).
<https://www.csn.es/documents/10182/bb15bfe3-dcbf-4bac-84d5-37dce5db6f1d>
- Gobierno de España, Ministerio de Sanidad. (s. d.). Plan Nacional contra el Radón.
https://www.sanidad.gob.es/areas/sanidadAmbiental/riesgosAmbientales/radon/publicaciones/docs/Plan_Nacional_contra_el_Radon.pdf
- Gobierno de España, Ministerio de Transportes. (s. d.). ANEJO II Documento Básico HS Salubridad (DBHS6).
https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/proyecto_rd_anejo_iidbhs6.pdf
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) & Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc). (2020). Guía de rehabilitación frente al radón + Fichas.
https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/GuiaRadon/Guia_de_rehabilitacion_frente_al_radon+Fichas.pdf
- Ministerio de Fomento. (2019). Conceptos básicos del RD 732/2019. Documento Básico HS 6.
https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/Conceptos_basicos_RD_732_2019_DBHS_6.pdf
- Rad Elec Inc. (2024). Manual tècnic del sistema E-PERM®. Rad Elec Inc.
https://www.radelec.com/manuals/E-PERM_System_User_Manual_Espanol.pdf
- Rad Elec Inc. (s. d.). E-PERM® System: User's Manual (Versión 3.3.2). Rad Elec Inc.
<https://www.radelec.com>

- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (s. d.-a). Roques ígnies.
<https://www.icgc.cat/ca/Mapes-i-geoinformacio/Publicacions/Atles/Atles-geologic-de-Catalunya/Els-tipus-litologics/Roques-ignies-0>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (s. d.-c). Roques metamòrfiques.
<https://www.icgc.cat/ca/Mapes-i-geoinformacio/Publicacions/Atles/Atles-geologic-de-Catalunya/Els-tipus-litologics/Roques-metamorfiques-0>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (s. d.-b). Roques sedimentàries.
<https://www.icgc.cat/ca/Mapes-i-geoinformacio/Publicacions/Atles/Atles-geologic-de-Catalunya/Els-tipus-litologics/Roques-sedimentaries-0>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2022). Àrees hidrogeològiques de Catalunya. Memòria tècnica.
<https://datacloud.icgc.cat/datacloud/arees-hidrogeologiques/doc/arees-hidrogeologiques-v1r0-memoria-2022.pdf>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2023). Especificacions de les àrees hidrogeològiques.
<https://datacloud.ide.cat/especificacions/arees-hidrogeologiques-v1r0-esp-01ca-20230125.pdf>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2024). Especificacions de la geologia territorial 1:250.000 v3r0.
<https://datacloud.ide.cat/especificacions/geologia-territorial-250000-geologic-v3r0-esp-02ca-20241025.pdf>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (s. d.-d). Vocabulari de la llegenda d'unitats cartogràfiques i de símbols convencionals.
<https://www.icgc.cat/ca/Ambits-tematics/Divulgacio/Publicacions/Atles/Atles-geologic-de-Catalunya/Vocabulari-de-la-llegenda-dunitats-cartografiques-i-de-simbols-convencionals>
- TERMCAT. (s. d.-a). Període de semidesintegració.
<https://www.termcat.cat/ca/cercaterm/fitxa/Mjg5NjUzMw%3D%3D>
- TERMCAT. (s. d.-b). Diccionari d'hidrogeologia: aqüífers.
<https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/124/search/Aq%C3%BC%C3%ADfers%2B?type=basic&language=&condition=match>

- TERMCAT. (s. d.-c). Diccionari d'hidrogeologia: aquítards.
<https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/124/search/Aq%C3%BCitards%2B?type=basic&language=&condition=match>
- TERMCAT. (s. d.-d). Diccionari d'hidrogeologia: aquícludes.
<https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/124/search/Aq%C3%BCicludes%2B?type=basic&language=&condition=match>
- TERMCAT. (s. d.-e). Diccionari d'hidrogeologia: aquífugs.
<https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/124/search/Aq%C3%BCifugs?type=ba sic&language=&condition=match>
- ERA Architects. (2022). Protecció davant del radó. La Punxa 061, pp. 58–67.
<https://www.riarte.es/bitstream/handle/20.500.12251/2725/La%20Punxa%20061%20FEB-22.%20pp.%2058-67.%20Protecci%C3%B3%20davant%20del%20rad%C3%B33.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2019). Globocan 2018.
<https://gco.iarc.fr/>
- Ministerio de Agricultura, Generalitat de Catalunya. (2025). Alerta al Pirineu català: 42 pobles en risc per un gas radioactiu.
<https://www.magradacatalunya.cat/2025/07/09/alerta-al-pirineu-catala-42-pobles-en-risc-per-un-gas-radioactiu>
- Radonova. (s. d.). Fuentes de radón: suelo, materiales, agua.
https://radonova.es/cuales-son-las-fuentes-de-radon-suelo-materiales-agua/?srsltid=AfmBOooeGKo3pAVIMy-j2G_Rg1vwhMjjMhmO_hbuWpe2_OFa4jJGFMD2
- Radonova. (2023). Detector de radón CR-39: Características y curiosidades.
<https://radonova.es/el-detector-de-radon-cr39-cracteristicas-curiosidades/?srsltid=AfmBOorBfASwkD18XePsXAvlEidkqjwZVdkDV8aXbvooCVzQCEfSf1km>
- El vulcanisme de l'Ordovicià superior al Ripollès com a exemple de la geologia herciniana. (s. d.). Enciclopèdia.cat.
<https://www.enciclopedia.cat/historia-natural-dels-paisos-catalans/el-vulcanisme-de-l-ordovicia-superior-al-ripolles-com-a>

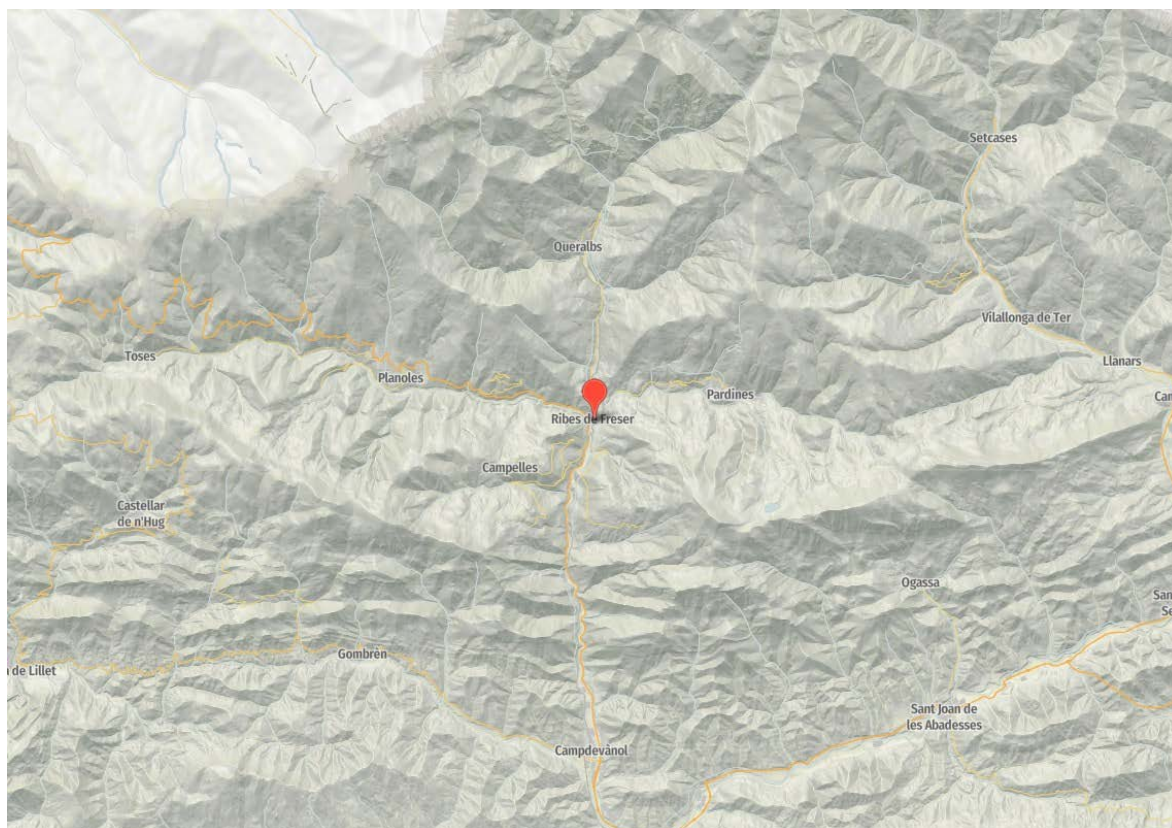
- Consejo de Seguridad Nuclear. (s. d.). Dosis de radiación.
<https://www.csn.es/documents/10182/914805/Dosis%20de%20radiación>
- Agència Catalana de l'Aigua. (s. d.). Aigües subterrànies: Definició i tipus de masses d'aigua. Generalitat de Catalunya.
<https://aca.gencat.cat/ca/laigua/el-medi-hidric-a-catalunya/definicio-i-tipus-masses-daigua/aigues-subterrànies/index.html>
- Héctor Eulogio Alonso Hernández (2015). El radón en suelos, rocas, materiales de construcción y aguas subterráneas de las Islas Canarias Orientales. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/18553/6/0727206_00000_0000.pdf
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2017). Occupational intakes of radionuclides: Part 3. ICRP publication 137.
<https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP+Publication+137&>
- Ajuntament de Ribes de Freser (s. d.). Patrimoni natural. Ajuntament de Ribes de Freser.
[Consultat en línia].
- Institut de Tècniques Energètiques (ETSEIB). (s. d.). Protocolo de medida de la concentración de radón. [Document no publicat].
- Daniel Martínez Casas & Pol Suñol Alonso. (2024). Anàlisi De Les Concentracions De Radó Als Habitatges Del Poble Vilanova Del Vallès I Rodalies. [Document no publicat].
- Martina LLugany & Alex Vargas Irles. (2022). El gas radó: què és, com es mesura i quin risc té per la salut. [Document no publicat].
- Oriol Puig Llorens & Jaume Ferrer Jori (2019). El Radó I El Càncer De Pulmó. [Document no publicat].
- Soler & Palau. (s. d.). TD-EVO PF ECOWATT.
https://mediacenter.solerpalau.com/api/materials/get?filePath=%5CMagento%5Cpreprod%5Cimport%5Cdocumentation%5CEN_TD-EVO_PF_ECOWATT.pdf
- Soler & Palau. (s. d.). EasyVent
<https://easyvent.solerpalau.com/easycalc-duct>

- Consejo de Seguridad Nuclear. (2023). Mapa de potencial de radón en España. Madrid: CSN. Recuperat de <https://www.csn.es/mapa-del-potencial-de-radon-en-espana>
- Sarad. (s. d.). DOSEman PRO: Radon daughter product dosimeter. https://www.sarad.de/product-detail.php?catID=&lang=en_US&p_ID=30_.com
- UNE. (2017). UNE-EN ISO/IEC 17025:2017: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0059467>
- UNE. (2019). UNE-EN ISO 11665-1:2019: Mesura de la radiactivitat en l'ambient. Aire: radó-222. Part 1: Orígens del radó i els seus productes de desintegració de vida curta i mètodes de mesura associats. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0062744>
- UNE. (2021). UNE-EN ISO 11665-4:2021: Mesura de la radiactivitat en l'ambient. Aire: radó-222. Part 4: Mètode de mesura integrada per a determinar la concentració mitjana d'activitat mitjançant mostreig passiu i anàlisi retardada. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso/?c=082061>
- Lorenzo-González et al. (2020). Lung cancer risk and residential radon exposure: A pooling of case-control studies in northwestern Spain <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32736146/>
- Dattola, L., et al. (2024). Assessment of the radioactivity, metals content and mineralogy of granodiorite from Calabria, Southern Italy: A case study. <https://www.mdpi.com/1996-1944/17/15/3813?utm>

ANNEX A. Mapes de Ribes de Freser

Figura A1

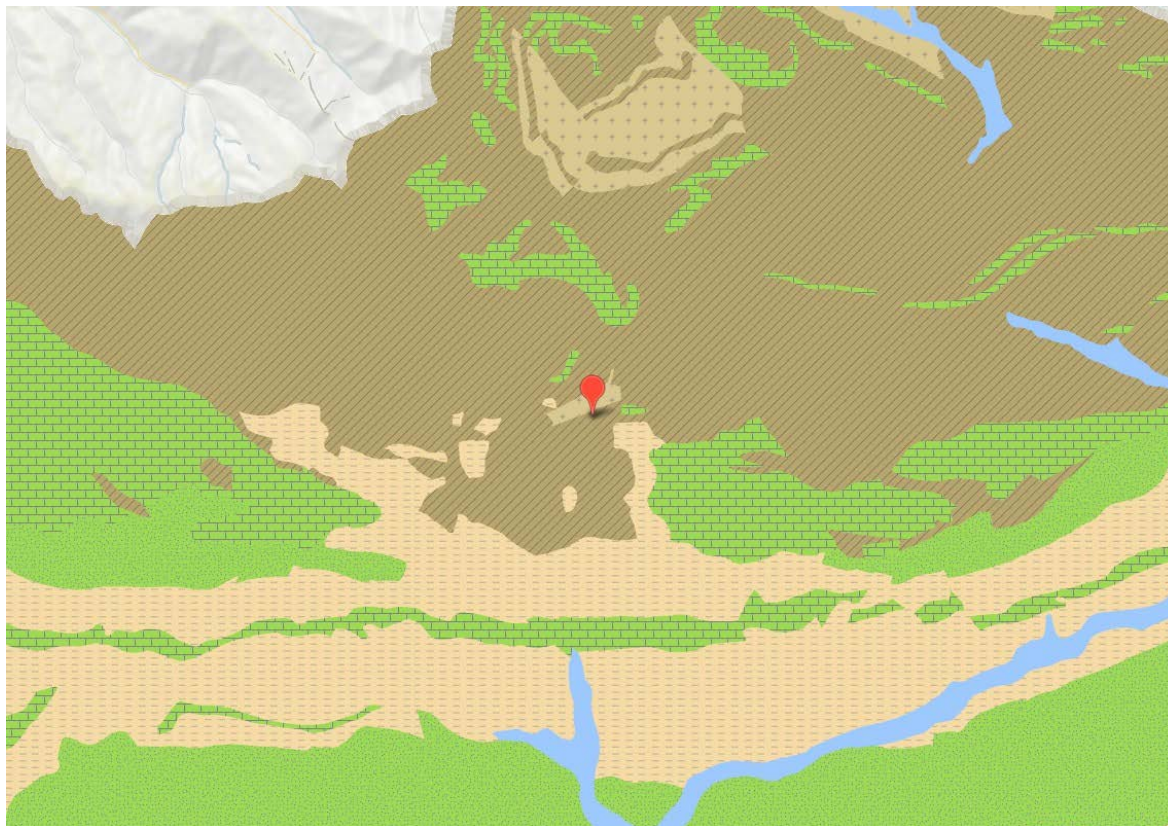
Mapa topogràfic de Ribes de Freser (1).



Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (MAH250M v1.0, 2017) (ICGC, 2017). Recuperat de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-hidrogeologica/Mapa-darees-hidrogeologiques-de-Catalunya-1250000-MAH250M-v10-2017>

Figura A2

Mapa dels aqüífers segons el medi litològic de Ribes de Freser.



Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (MAH250M v1.0, 2017) (ICGC, 2017). Recuperat de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-hidrogeologica/Mapa-darees-hidrogeologiques-de-Catalunya-1250000-MAH250M-v10-2017>

Taula A1

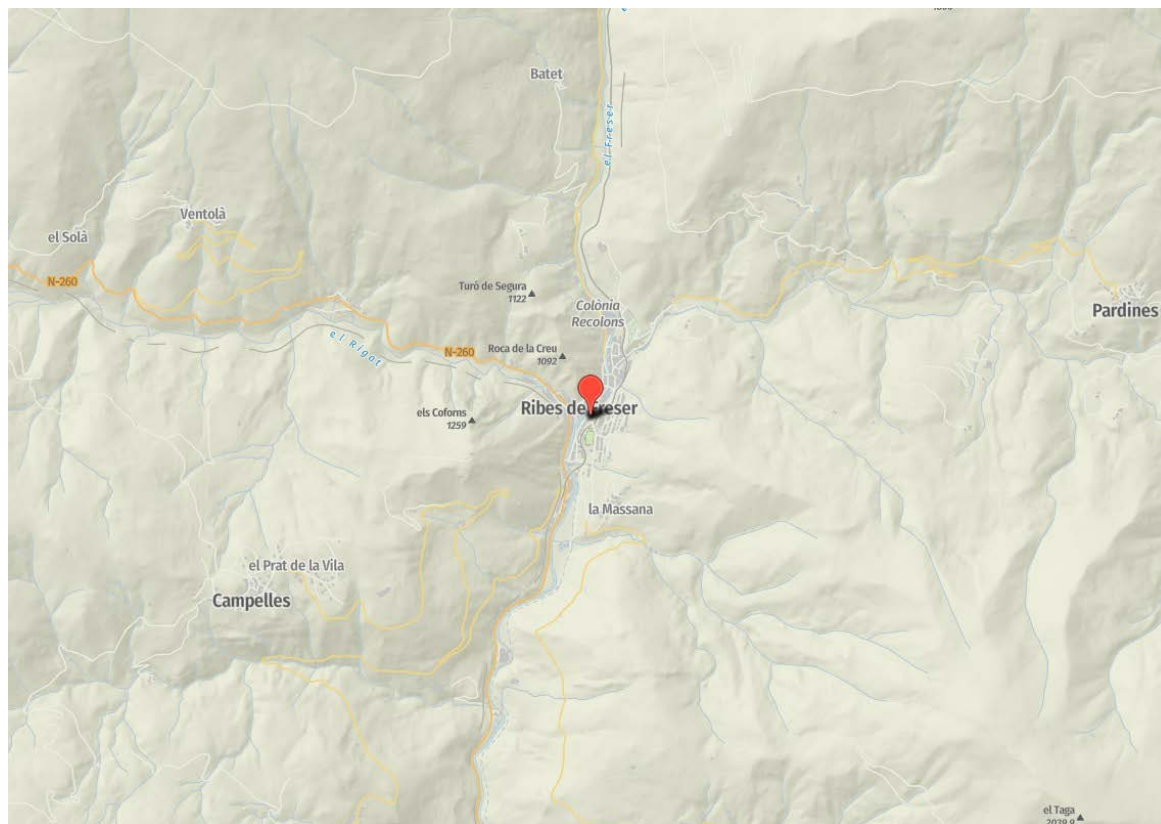
Llegenda del mapa dels aqüífers segons el medi litològic de Ribes de Freser.

Naturalesa dels aqüífers segons el medi litològic	
Codi	Descripció
 A1	Predomini d'aqüífers no consolidats porosos en medis al·luvials i col·luvials amb porositat intergranular
 B1	Predomini d'aqüífers consolidats detrítics amb porositat per fissuració i/o intergranular
 B2	Predomini d'aqüífers consolidats carbonatats amb porositat per fissuració i/o carstificació
 C1	Zones poc permeables amb aqüífers locals amb predomini de dipòsits detrítics i margocalcaris
 C2	Zones poc permeables amb aqüífers locals amb predomini de materials granítics
 C3	Zones poc permeables amb aqüífers locals amb predomini de materials metamòrfics

Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC *Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (MAH250M v1.0, 2017)* (ICGC, 2017). Recuperat de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-hidrogeologica/Mapa-darees-hidrogeologiques-de-Catalunya-1250000-MAH250M-v10-2017>

Figura A3

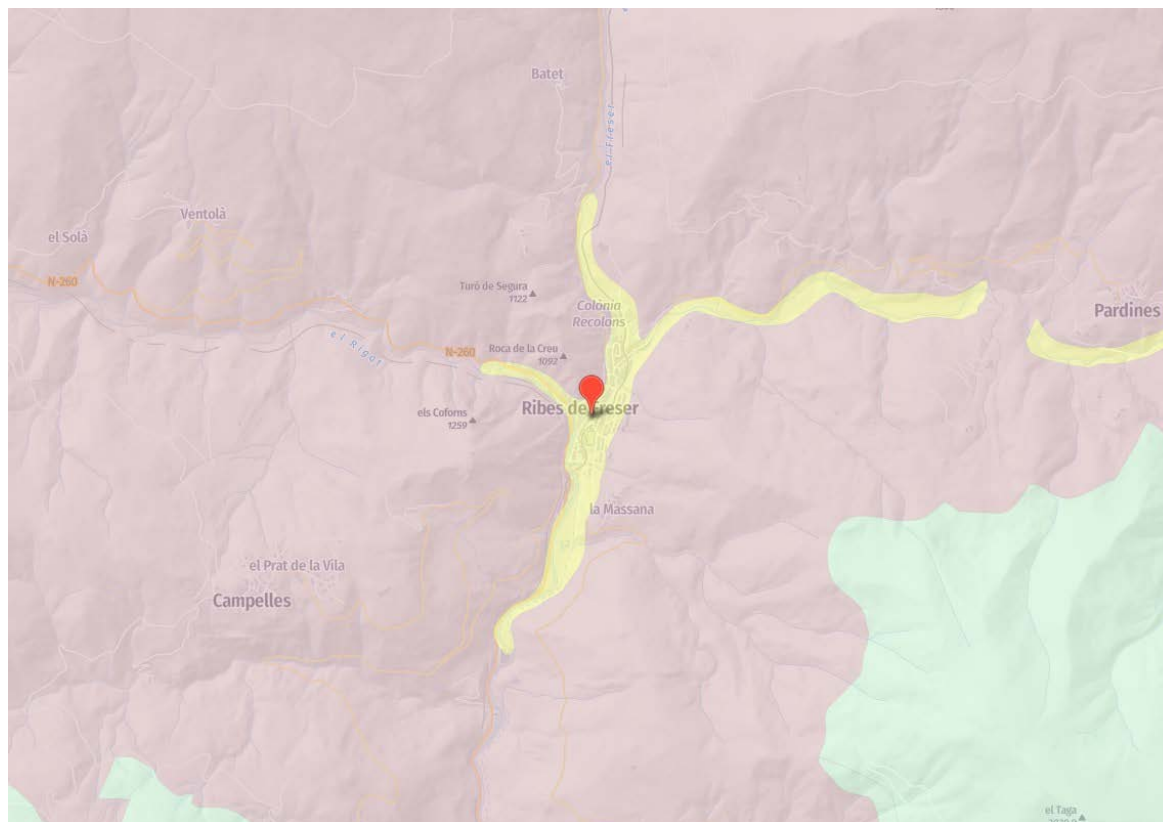
Mapa topogràfic de Ribes de Freser (2).



Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC *Mapa geològic de Catalunya* 1:50.000 (ICGC, 2025). Recuperat de <https://www.icgc.cat/es/Geoinformacion-y-mapas/Datos-y-productos/Geoinformacion-geologica-y-geofisica/Cartografia-geologica/Mapa-geologico-150000>

Figura A4

Mapa de les unitats hidrogeològiques per naturalesa predominant de Ribes de Freser.



Nota: Mapa de les unitats hidrogeològiques per naturalesa predominant amb una opacitat del 50%. Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC *Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (MAH250M v1.0, 2017)* (ICGC, 2017). Recuperat de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-hidrogeologica/Mapa-darees-hidrogeologiques-de-Catalunya-1250000-MAH250M-v10-2017>

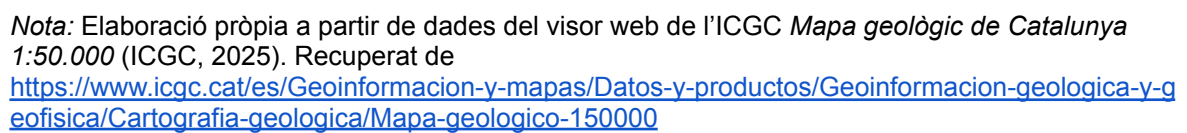
Taula A2

Llegenda del mapa de les unitats hidrogeològiques per naturalesa predominant de Ribes de Freser.

Unitats hidrogeològiques (UH) per naturalesa predominant					
Codi	Nom	Tipus	Comportament hidràulic predominant	Porositat predominant	Descripció del tipus de formacions predominants
110G21	Medi de baixa permeabilitat amb aqüífers locals a les pissarres i granits de Núria-Canigó (Ter)	Aqüiclude	Predominantment lliure	Fissuració	Formacions de gresos, pissarres i esquistos paleozoics
110A11	Aqüífer al·luvial de l'alt Ter i Freser	Aqüífer	Lliure	Intergranular	Formacions de graves, sorres i llims quaternaris
112C51	Sistema aqüífer a les calcàries devonians de la Serra Cavallera (Ter)	Sistema aqüífer	Lliure	Doble porositat: fissuració i carstificació	Formacions de calcàries i dolomies massives

Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC *Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (MAH250M v1.0, 2017)* (ICGC, 2017). Recuperat de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-hidrogeologica/Mapa-darees-hidrogeologiques-de-Catalunya-1250000-MAH250M-v10-2017>

Mapa geològic de Ribes de Freser.



Taula A3

Llegenda del mapa geològic de Ribes de Freser.

Unitats geològiques 1:50.000					
Codi	Descripció	Eó	Era	Període	Potencial de radó
Cagl	Lidites, gresos, lutites, conglomerats i "cherts"	Fanerozoic	Paleozoic	Carbonífer	Baix o variable
CPa	Andesites	Fanerozoic	Paleozoic	Carbonífer-Permià	Baix o variable
CPv	Roques volcàniques	Fanerozoic	Paleozoic	Carbonífer-Permià	Baix o variable
DCc	Calcàries noduloses i lutites. Formació Comte	Fanerozoic	Paleozoic	Devonià	Moderat
Dclv	Alternança de calcàries, lutites i calcàries noduloses	Fanerozoic	Paleozoic	Devonià	Moderat
Dcrb	Calcàries lutítiques, lutites i calcàries massives. Formacions Rueda i Baciver	Fanerozoic	Paleozoic	Devonià	Moderat
EÇOrp	Pissarres micacítiques i pissarres sorrenques	Proterozoic-Fanerozoic	Neo-proterozoic-Paleozoic	Ediacarià-Ordovicià	Moderat
EÇOrcd	Calcàries, dolomies i marbres	Proterozoic-Fanerozoic	Neo-proterozoic-Paleozoic	Ediacarià-Ordovicià	Moderat
EÇOrgl	Alternança centimètrica de gresos i lutites. Formació Jújols	Proterozoic-Fanerozoic	Neo-proterozoic-Paleozoic	Ediacarià-Ordovicià	Baix o variable
EÇOrlv	Lutites verdes	Proterozoic-Fanerozoic	Neo-proterozoic-Paleozoic	Ediacarià-Ordovicià	Baix o variable
KPg	Conglomerats, gresos, lutites i margues. Fàcies garumniana	Fanerozoic	Mesozoic-Cenozoic	Cretaci-Paleogen	Baix o variable
Orbc	Conglomerats quarsítics. Formació Rabassa	Fanerozoic	Paleozoic	Ordovicià	Baix o variable
Orcc	Calcàries amb crinoïdeus	Fanerozoic	Paleozoic	Ordovicià	Moderat
Org	Granòfir de Ribes de Freser	Fanerozoic	Paleozoic	Ordovicià	Alt
Orgm	Gresos, microconglomerats, lutites i roques vulcanoclàstiques	Fanerozoic	Paleozoic	Ordovicià	Baix o variable
Orq	Quarsites	Fanerozoic	Paleozoic	Ordovicià	Baix o variable

Orst1	Lutites carbonàtiques amb restes de nòduls carbonatats dissolts. Esquists "troués"	Fanerozoic	Paleozoic	Ordovicià	Alt
Orvc	Lutites i roques vulcanoclàstiques	Fanerozoic	Paleozoic	Ordovicià	Baix o variable
Orvc1	Roques vulcanoclàstiques	Fanerozoic	Paleozoic	Ordovicià	Baix o variable
Orvd	Diorites	Fanerozoic	Paleozoic	Ordovicià	Baix o variable
Orvr	Riolites	Fanerozoic	Paleozoic	Ordovicià	Alt
PPcc	Calcàries micrítiques i margues	Fanerozoic	Cenozoic	Paleogen	Moderat
PPcm	Lutites vermelles amb intercalacions de calcàries micrítiques	Fanerozoic	Cenozoic	Paleogen	Moderat
Prig	Ignimbrites riolítiques	Fanerozoic	Paleozoic	Permià	Alt
Prbig	Ignimbrites i bretxes piroclàstiques	Fanerozoic	Paleozoic	Permià	Baix o variable
Qco	Argiles amb còdols angulosos dispersos. Dipòsit col·luvial	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
Qgp	Clasts angulosos, sorres i lutites. Dipòsit periglacial	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
Qmm	Bretxes, blocs i argiles. Moviment de massa	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
Qt0-1	Graves, sorres i lutites. Llit actual, plana d'inundació ordinària i terrassa més baixa (0-2 m)	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
Sl	Lutites negres amb graptòlits	Fanerozoic	Paleozoic	Silurià	Alt
T_Qt1	Graves i còdols heteromètrics englobats en una matriu arenosoargilosa. Terrassa fluvial del Ter i afluents, situada entre 2 i 3 m sobre el nivell del riu	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
T_Qt2	Argiles amb còdols dispersos. Terrassa fluvial 2 del Ter i afluents, situada entre 5 i 10 m sobre el nivell del riu	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
T_Qt3	Graves amb còdols heterogenis i molt arrodonits. Terrassa fluvial 3 del Ter i afluents, situada entre 30 i 40 m sobre el nivell del riu	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable

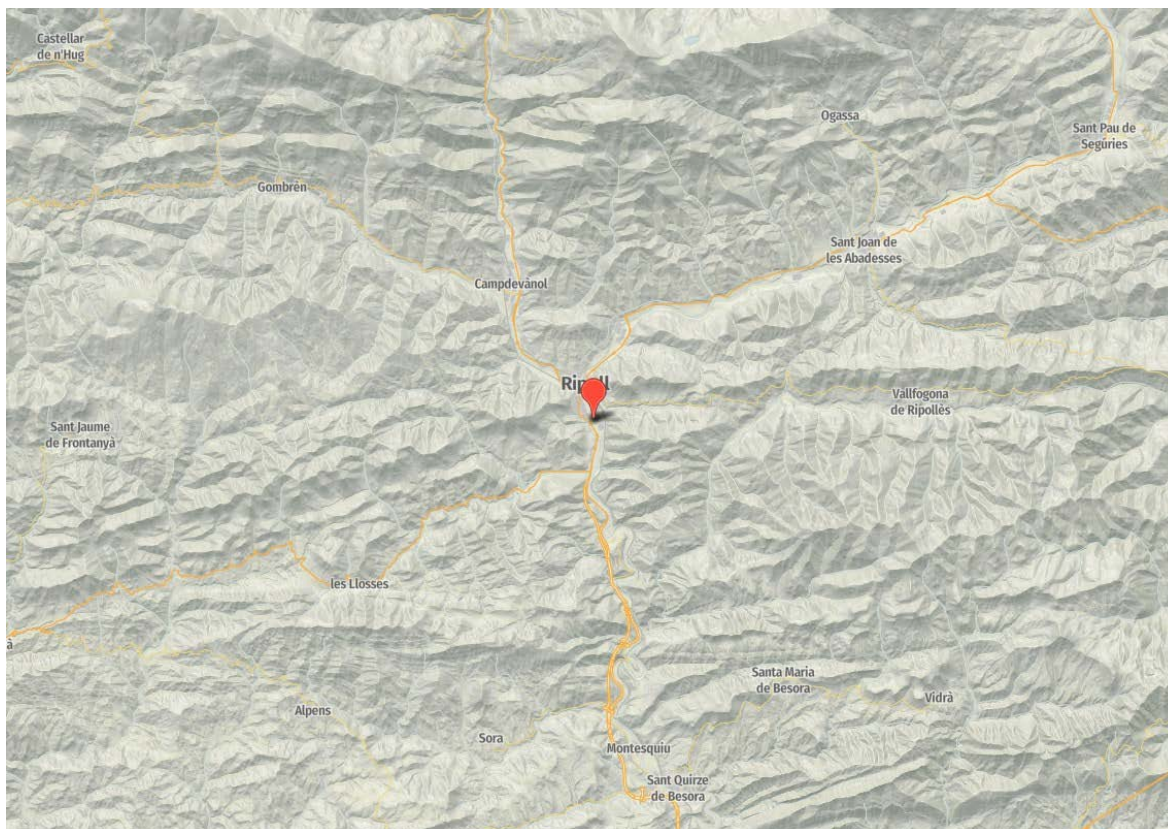
Falles 1:50.000		
Codi	Descripció del tipus	Potencial de radó
ENCV10	Encavalcament major 	Baix o variable
ENCV00	Encavalcament 	Baix o variable
FIND00	Falla indiferenciada 	Alt

Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC Mapa geològic de Catalunya 1:50.000 (ICGC, 2025). Recuperat de <https://www.icgc.cat/es/Geoinformacion-y-mapas/Datos-y-productos/Geoinformacion-geologica-y-geofisica/Cartografia-geologica/Mapa-geologico-150000>

ANNEX B. Mapes de Ripoll

Figura B1

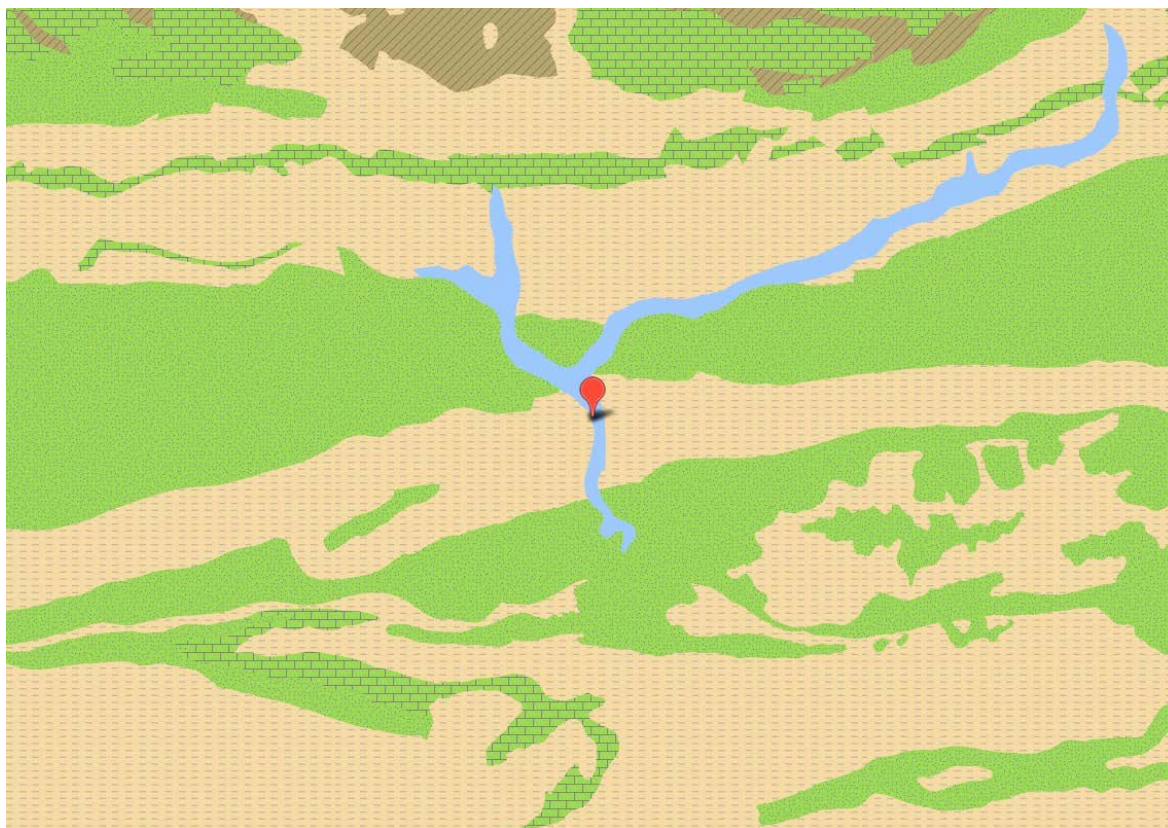
Mapa topogràfic de Ripoll (1).



Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (MAH250M v1.0, 2017) (ICGC, 2017). Recuperat de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-hidrogeologica/Mapa-darees-hidrogeologiques-de-Catalunya-1250000-MAH250M-v10-2017>

Figura B2

Mapa dels aqüífers segons el medi litològic de Ripoll.



Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (MAH250M v1.0, 2017) (ICGC, 2017). Recuperat de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-hidrogeologica/Mapa-darees-hidrogeologiques-de-Catalunya-1250000-MAH250M-v10-2017>

Taula B1

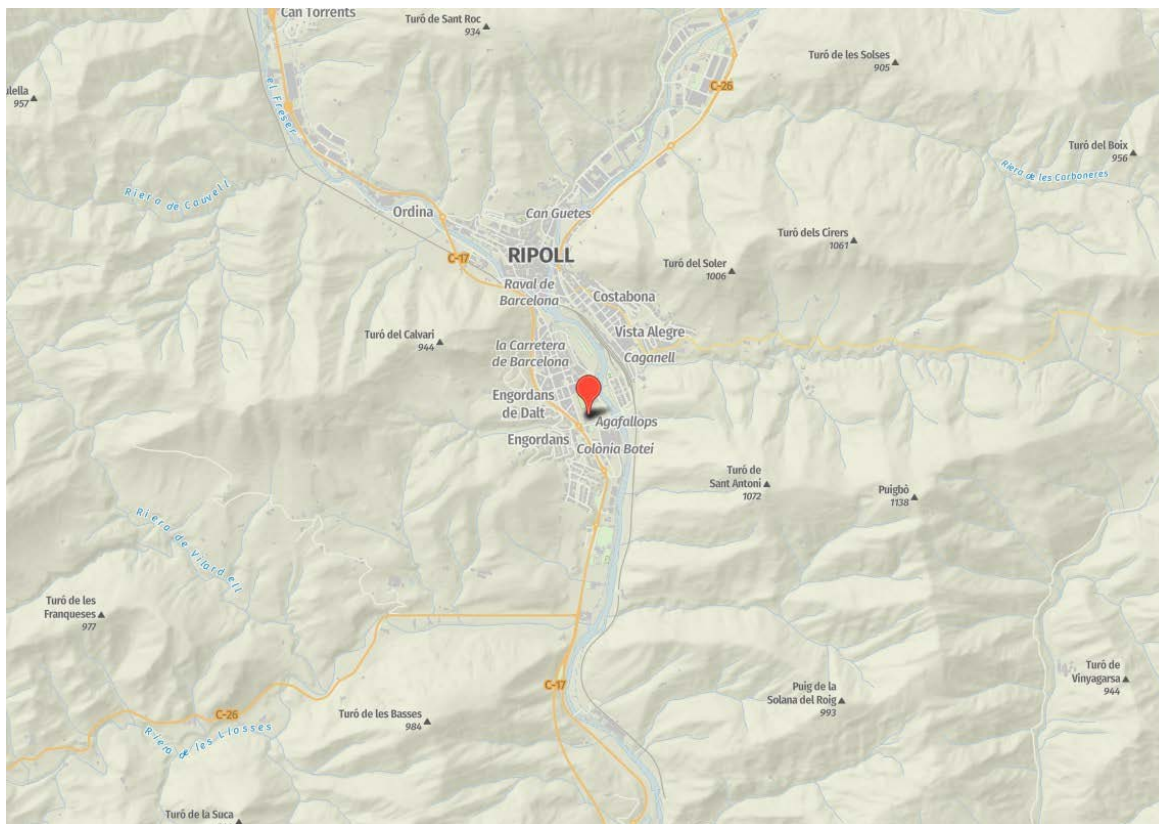
Llegenda del mapa dels aqüífers segons el medi litològic de Ripoll.

Naturalesa dels aqüífers segons el medi litològic	
Codi	Descripció
 A1	Predomini d'aqüífers no consolidats porosos en medis al·luvials i col·luvials amb porositat intergranular
 B1	Predomini d'aqüífers consolidats detrítics amb porositat per fissuració i/o intergranular
 B2	Predomini d'aqüífers consolidats carbonatats amb porositat per fissuració i/o carstificació
 C1	Zones poc permeables amb aqüífers locals amb predomini de dipòsits detrítics i margocalcaris
 C3	Zones poc permeables amb aqüífers locals amb predomini de materials metamòrfics

Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC *Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (MAH250M v1.0, 2017)* (ICGC, 2017). Recuperat de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-hidrogeologica/Mapa-darees-hidrogeologiques-de-Catalunya-1250000-MAH250M-v10-2017>

Figura B3

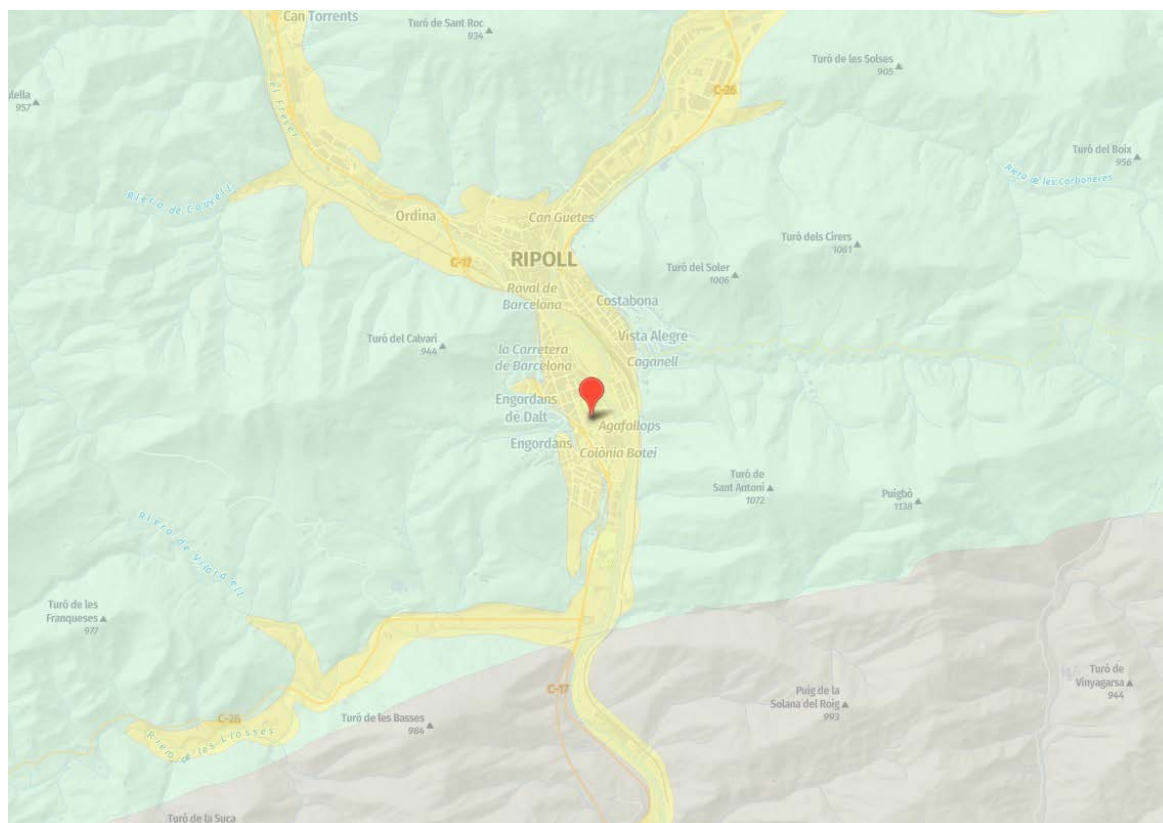
Mapa topogràfic de Ripoll (2).



Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC *Mapa geològic de Catalunya* 1:50.000 (ICGC, 2025). Recuperat de <https://www.icgc.cat/es/Geoinformacion-y-mapas/Datos-y-productos/Geoinformacion-geologica-y-geofisica/Cartografia-geologica/Mapa-geologico-150000>

Figura B4

Mapa de les unitats hidrogeològiques per naturalesa predominant de Ripoll.



Nota: Mapa de les unitats hidrogeològiques per naturalesa predominant amb una opacitat del 50%. Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC *Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (MAH250M v1.0, 2017)* (ICGC, 2017). Recuperat de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-hidrogeologica/Mapa-darees-hidrogeologiques-de-Catalunya-1250000-MAH250M-v10-2017>

Taula B2

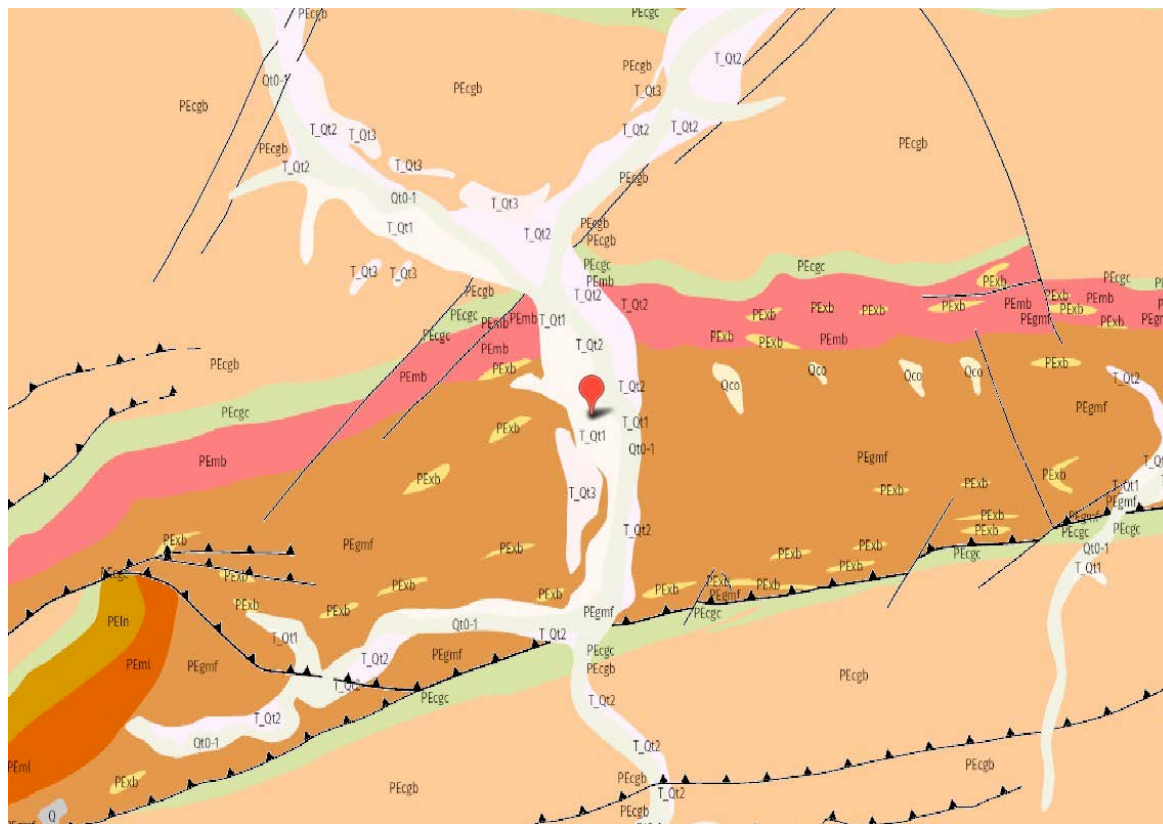
Llegenda del mapa de les unitats hidrogeològiques per naturalesa predominant de Ripoll.

Unitats hidrogeològiques (UH) per naturalesa predominant					
Codi	Nom	Tipus	Comportament hidràulic predominant	Porositat predominant	Descripció del tipus de formacions predominants
115C03	Sistema aquífer a les margues, gresos i calcàries mesozoïques i paleògenes del Cadí-Alt Ter	Sistema aquífer	Predominantment lliure	Carstificació	Formacions de calcàries i dolomies massives
115A11	Aquífer al·luvial del Ter i Freser	Aquífer	Lliure	Intergranular	Formacions de graves, sorres i llims quaternaris
203E21	Medi de baixa permeabilitat amb aquífers locals als gresos i conglomerats de Bellmunt, Puigsacalm i Vidrà	Aquífer	Semiconfinat	Doble porositat: intergranular i fissuració	Formacions de conglomerats, gresos i margues
203A11	Aquífer al·luvial del Ter i el Ges	Aquífer	Lliure	Intergranular	Formacions de graves, sorres i llims quaternaris

Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC *Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000 (MAH250M v1.0, 2017)* (ICGC, 2017). Recuperat de <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Dades-i-productes/Geoinformacio-geologica-i-geofisica/Cartografia-hidrogeologica/Mapa-darees-hidrogeologiques-de-Catalunya-1250000-MAH250M-v10-2017>

Figura B5

Mapa geològic de Ripoll.



Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC Mapa geològic de Catalunya 1:50.000 (ICGC, 2025). Recuperat de <https://www.icgc.cat/es/Geoinformacion-y-mapas/Datos-y-productos/Geoinformacion-geologica-y-geofisica/Cartografia-geologica/Mapa-geologico-150000>

Taula B3

Llegenda del mapa geològic de Ripoll.

Unitats geològiques 1:50.000					
Codi	Descripció	Eó	Era	Període	Potencial de radó
PEcgb	Conglomerats, gresos i argiles vermelles. Formació Bellmun	Fanerozoic	Cenozoic	Paleogen	Baix o variable
PEcgc	Conglomerats i gresos grisos. Part superior de la Formació Coubet - Cal Bernat	Fanerozoic	Cenozoic	Paleogen	Baix o variable
PEgmf	Alternança de gresos i margues amb conglomerats. Tram inferior de la Formació Vallfogona	Fanerozoic	Cenozoic	Paleogen	Baix o variable
PEln	Alternança de gresos amb nummulits, llims i margues	Fanerozoic	Cenozoic	Paleogen	Baix o variable
PEml	Margues i llims. Formació Bracons	Fanerozoic	Cenozoic	Paleogen	Baix o variable
PEmb	Margues i argiles blaves. Formació Margues de Banyoles	Fanerozoic	Cenozoic	Paleogen	Baix o variable
PExb	Guixos laminats i margues. Formació Guixos de Beuda	Fanerozoic	Cenozoic	Paleogen	Baix o variable
Q	Còdols més o menys rodats o angulosos en una matriu més o menys abundant de lutites. Dipòsits de fons de vall, riera i peu de mont	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
Qco	Argiles amb còdols angulosos dispersos. Dipòsit col·luvial	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
Qt0-1	Graves, sorres i lutites. Llit actual, plana d'inundació ordinària i terrassa més baixa (0-2 m)	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
T_Qt1	Graves i còdols heteromètrics englobats en una matriu arenosoargilosa. Terrassa fluvial del Ter i afluent, situada entre 2 i 3 m sobre el nivell del riu	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
T_Qt2	Argiles amb còdols dispersos. Terrassa fluvial 2 del Ter i afluent, situada entre 5 i 10 m sobre el nivell del riu	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable
T_Qt3	Graves amb còdols heterogenis i molt arrodonits. Terrassa fluvial 3 del Ter i afluent, situada entre 30 i 40 m sobre el nivell del riu	Fanerozoic	Cenozoic	Quaternari	Baix o variable

Falles 1:50.000		
Codi	Descripció del tipus	Potencial de radó
ENCV10	Encavalcament major 	Baix o variable
ENCV00	Encavalcament 	Baix o variable
FIND00	Falla indiferenciada 	Alt

Nota: Elaboració pròpia a partir de dades del visor web de l'ICGC Mapa geològic de Catalunya 1:50.000 (ICGC, 2025). Recuperat de <https://www.icgc.cat/es/Geoinformacion-y-mapas/Datos-y-productos/Geoinformacion-geologica-y-geofisica/Cartografia-geologica/Mapa-geologico-150000>

ANNEX C. Fragments d'estudis utilitzats per al desenvolupament de la llegenda

L'anàlisi indica que les dosis gamma més elevades (fins a $0,44 \mu\text{Sv h}^{-1}$) estan associades a concentracions màximes registrades de $6,57 \text{ mg kg}^{-1}$ d'urani i $38,79 \text{ mg kg}^{-1}$ de tori en roques ígnies àcides de composició riolítica. Segons l'estudi, aquestes condicions permeten el transport vertical directe de radó des de la ignimbrita fracturada cap a la zona no saturada granular i, finalment, a la superfície. A més, aquests materials s'han utilitzat en construcció (fonaments d'habitatges i murs). (Ortega-Guerrero, A., 2025, traducció pròpia)

La regió de l'estudi està vinculada a la desintegració radioactiva de minerals amb urani presents en roques riolítiques. L'urani, allotjat en minerals com la uraninita (òxid d'urani), és fàcilment alterable, especialment a prop de la superfície, fet que facilita l'alliberament de gas radó. Aquest gas es difon a través de l'aigua i dels porus del material sedimentari, provocant un increment de la seva concentració. Els resultats de l'estudi suggereixen que la concentració de radó és un producte directe de la desintegració de l'urani present a la riolita. Les zones amb valors més elevats de radó-222 indiquen una major abundància de minerals uranífers associats a roques riolítiques. La permeabilitat de les ignimbrites i riolites és variable i depèn del grau de fracturació local. (Ortega-Guerrero, A., 2021, traducció pròpia)

En general, el contingut d'urani d'un sòl serà aproximadament el mateix que el contingut d'urani de la roca de la qual es va originar el sòl. Alguns tipus de roques amb contingut d'urani superior a la mitjana inclouen roques volcàniques clares, granits, pissarres fosques, roques sedimentàries que contenen fòsfor i roques metamòrfiques derivades. Com més alt sigui el nivell d'urani en una zona, més grans seran les possibilitats que les cases de la zona tinguin nivells elevats de radó interior. Però algunes cases en zones amb molt d'urani al sòl tenen nivells baixos de radó interior, i altres cases sobre sòls pobres en urani tenen nivells alts de radó interior. Clarament, la quantitat de radó dins d'una casa està afectada per més factors que la presència d'urani al sòl subjacent. (Otton, J. K., 1992, traducció pròpia)

Les calcàries ordovicianes i les lutites negres devonians mostren el potencial més alt de radó interior a Kentucky. Aquestes lutites negres, amb alt contingut d'argila i matèria orgànica, contenen traces d'urani i minerals fosfatats. Malgrat que les lutites negres devonians tenen el contingut més alt d'urani, el seu potencial de radó pot ser inferior al d'algunes calcàries amb carst, a causa de la baixa permeabilitat de les lutites, que inhibeix la migració del gas. (Haneberg, W. C., 2020, traducció pròpia)

Rock types that are most likely to cause indoor radon problems include carbonaceous black shales, glauconite-bearing sandstones, certain kinds of fluvial sandstones and fluvial sediments, phosphorites, chalk, karst-producing carbonate rocks, certain kinds of glacial deposits, bauxite, uranium-rich granitic rocks, metamorphic rocks of granitic composition, silica-rich volcanic rocks, many sheared or faulted rocks, some coals, and certain kinds of contact metamorphosed rocks. Rock types least likely to cause radon problems include marine quartz sands, non-carbonaceous shales and siltstones, certain kinds of clays, silica-poor metamorphic and igneous rocks, and basalts. Exceptions exist within these general lithologic groups because of the occurrence of localized uranium deposits, commonly of the hydrothermal type in crystalline rocks or the "roll-front" type in sedimentary rocks. Uranium and radium are commonly sited in heavy minerals, iron-oxide coatings on rock and soil grains, and organic materials in soils and sediments. Less common are uranium associated with phosphate and carbonate complexes in rocks and soils, and uranium minerals (U.S. Geological Survey, 1993, p.5)

The rocks, surficial deposits, and geologic structures of Maine that are most likely to cause high (>4 pCi/L) indoor radon concentrations include: two-mica granite, alkaline and calc-alkalic granite, and granodiorite; pegmatites, faults and shear zones; and carbonaceous schist, slate, and phyllite. Deposits and rocks likely to cause moderate (2-4 pCi/L) to high (>4 pCi/L) indoor radon include soils developed on carbonate rocks, especially the interbedded slates and dolostones in south-central and northeastern Maine; glacial gravels, especially outwash, kames, and eskers; melange; granitic gneiss; high- to medium-grade metamorphic rocks, and contact metamorphosed rocks in the vicinity of plutons. Rocks and deposits with moderate to variable radon potential include felsic metavolcanic rocks, intermediate composition plutonic rocks, and glacial till. Rocks likely to cause low indoor radon (< 2 pCi/L) include metamorphosed coarse-grained clastic sedimentary rocks, mafic metavolcanic rocks, marine clays, and mafic plutonic rocks. (U.S. Geological Survey, 1993, p.41)

Areas with locally high radon potential are those underlain by metamorphic rocks of Proterozoic age, including quartzite; graphite- and pyritebearing schists and slates; migmatitic schist and gneiss; biotite-rich zones in mica schist; and schist and gneiss with high concentrations of the minerals monazite, allanite, and zircon; the Cheshire Quartzite; and local deposits of uranium in veins and fault zones. (U.S. Geological Survey, 1993, p.46)

Most of the uranium/radium concentration in these rocks is found in accessory minerals like zircon, monazite, allanite, and sphene [15]. (Dattola, L., 2024, p.2)

ANNEX D. Informes dels assaigs de radó amb electrets SST

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 1

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Abat Oliba - Aula 003
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	11/04/2025 11:28
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	22/04/2025 11:21
Període d'exposició (dies)	11,00
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	691

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	11/04/2025 11:27	234
RE3854	Final	22/04/2025 11:21	234
RE3787	Inicial	11/04/2025 11:27	181
RE3787	Final	22/04/2025 11:21	181

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SFH978	520	442	1,9240	106,0214	6,7389	6,36%
SHZ460	510	425	1,9166	118,8349	7,2681	6,12%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona I.

Tipus de ventilació: Natural a través dels forats de les finestres.

Planta i orientació: Planta 0, cara sud de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de maó (Solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 2

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Abat Oliba - Magatzem
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	11/04/2025 11:31
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	22/04/2025 11:29
Període d'exposició (dies)	11,00
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	691

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	11/04/2025 11:27	234
RE3854	Final	22/04/2025 11:21	234
RE3787	Inicial	11/04/2025 11:27	181
RE3787	Final	22/04/2025 11:21	181

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SHZ427	452	0	1,7272	849,8282	42,7333	5,03%
SHZ637	476	0	1,7407	889,4033	44,7004	5,03%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona I.

Tipus de ventilació: Limitada, mitjançant petites reixetes, sense accés a l'exterior.

Planta i orientació: Planta 0 (parcialment sota rasant, semisoterrani), al centre de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de maó (Solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 3

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Joan Triadú - Caldera
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	11/04/2025 15:53
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	22/04/2025 8:17
Període d'exposició (dies)	10,68
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	910

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	11/04/2025 15:21	234
RE3854	Final	22/04/2025 16:02	233
RE3787	Inicial	11/04/2025 15:21	181
RE3787	Final	22/04/2025 16:02	180

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SFH921	406	371	1,8684	34,4395	4,3073	12,51%
SHZ348	407	371	1,8687	36,2815	4,3556	12,01%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona II.

Tipus de ventilació: Natural a través dels forats de les finestres.

Planta i orientació: Planta 0, cara sud de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de formigó revestides amb làmines metàl·liques (solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 4

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Joan Triadú - Aula Psico.
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	11/04/2025 16:04
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	22/04/2025 8:11
Període d'exposició (dies)	10,67
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	910

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	11/04/2025 15:21	234
RE3854	Final	22/04/2025 16:02	233
RE3787	Inicial	11/04/2025 15:21	181
RE3787	Final	22/04/2025 16:02	180

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SFH974	426	378	1,8773	58,2196	5,0047	8,60%
SDP545	370	318	1,8367	67,7017	5,3358	7,88%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona II.

Tipus de ventilació: Natural a través dels forats de les finestres.

Planta i orientació: Planta 0, cara est de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de formigó revestides amb làmines metàl·liques (solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 5

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Abat Oliba - Aula 003
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	06/05/2025 11:40
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	14/05/2025 11:29
Període d'exposició (dies)	7,99
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	691

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	06/05/2025 11:23	234
RE3854	Final	14/05/2025 11:29	233
RE3787	Inicial	06/05/2025 11:23	181
RE3787	Final	14/05/2025 11:29	179

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SFH923	386	340	1,8507	84,6166	6,1824	7,31%
SDU935	362	310	1,8305	101,0423	6,8275	6,76%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona I.

Tipus de ventilació: Natural a través dels forats de les finestres.

Planta i orientació: Planta 0, cara sud de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de maó (Solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 6

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Abat Oliba - Magatzem
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	06/05/2025 12:40
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	14/05/2025 11:38
Període d'exposició (dies)	7,96
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	691

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	06/05/2025 11:23	234
RE3854	Final	14/05/2025 11:30	233
RE3787	Inicial	06/05/2025 11:23	181
RE3787	Final	14/05/2025 11:30	179

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SDL281	379	0	1,6813	1017,6512	51,1552	5,03%
SHZ319	396	0	1,6927	1057,2804	53,1250	5,02%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona I.

Tipus de ventilació: Limitada, mitjançant petites reixetes, sense accés a l'exterior.

Planta i orientació: Planta 0 (parcialment sota rasant, semisoterrani), al centre de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de maó (Solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 7

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Joan Triadú - Caldera
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	05/05/2025 16:03
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	13/05/2025 15:48
Període d'exposició (dies)	7,99
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	910

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	05/05/2025 15:57	233
RE3854	Final	13/05/2025 15:45	324
RE3787	Inicial	05/05/2025 15:57	181
RE3787	Final	13/05/2025 15:45	180

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SHZ557	461	436	1,9058	30,3362	4,3447	14,32%
SFH983	393	364	1,8616	41,6995	4,7000	11,27%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona II.

Tipus de ventilació: Natural a través dels forats de les finestres.

Planta i orientació: Planta 0, cara sud de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de formigó revestides amb làmines metàl·liques (solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 8

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Joan Triadú - Aula Psico.
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	05/05/2025 16:11
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	13/05/2025 15:47
Període d'exposició (dies)	7,98
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	910

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	05/05/2025 15:57	233
RE3854	Final	13/05/2025 15:45	324
RE3787	Inicial	05/05/2025 15:57	181
RE3787	Final	13/05/2025 15:45	180

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SDX390	366	328	1,8389	65,3116	5,4903	8,41%
SHZ323	374	337	1,8452	62,4772	5,3886	8,62%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona II.

Tipus de ventilació: Natural a través dels forats de les finestres.

Planta i orientació: Planta 0, cara est de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de formigó revestides amb làmines metàl·liques (solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 9

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Abat Oliba - Magatzem
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	20/05/2025 11:22
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	27/05/2025 11:26
Període d'exposició (dies)	7,00
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	691

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	20/05/2025 07:43	234
RE3854	Final	27/05/2025 11:34	235
RE3787	Inicial	20/05/2025 07:43	179
RE3787	Final	27/05/2025 11:34	181

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SHZ337	389	-1	1,6874	1190,6110	59,7984	5,02%
SHZ339	525	5	1,7687	1522,9146	76,3457	5,01%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona I.

Tipus de ventilació: Limitada, mitjançant petites reixetes, sense accés a l'exterior.

Planta i orientació: Planta 0 (parcialment sota rasant, semisoterrani), al centre de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de maó (Solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 10

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Abat Oliba - Aula de Guàrdia
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	20/05/2025 11:39
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	27/05/2025 11:28
Període d'exposició (dies)	6,99
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	691

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	20/05/2025 07:43	234
RE3854	Final	27/05/2025 11:34	235
RE3787	Inicial	20/05/2025 07:43	179
RE3787	Final	27/05/2025 11:34	181

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SDE438	369	333	1,8419	72,9638	5,9204	8,11%
SFH801	418	379	1,8750	79,6294	6,1411	7,71%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona I.

Tipus de ventilació: Natural a través dels forats de les finestres.

Planta i orientació: Planta 1, cara sud de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de maó (Solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 11

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Abat Oliba - Biblioteca
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	20/05/2025 11:28
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	27/05/2025 11:23
Període d'exposició (dies)	7,00
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	691

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	20/05/2025 07:43	234
RE3854	Final	27/05/2025 11:34	235
RE3787	Inicial	20/05/2025 07:43	179
RE3787	Final	27/05/2025 11:34	181

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SDV661	369	290	1,8254	198,3954	11,1559	5,62%
SHZ336	367	293	1,8258	183,8641	10,5026	5,71%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona I.

Tipus de ventilació: Natural a través dels forats de les finestres.

Planta i orientació: Planta 0, cara est de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de maó (Solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

RESULTATS MESURES DE RADÓ AMB ELECTRET SST

Nº ASSAIG 12

INFORMACIÓ CLIENT

Nom	Joan Del Angel Gascon
Direcció	Carretera de Barcelona, 57, 17500 Ripoll, Girona
e-mail	20joan.delangel@insabatoliba.cat

INFORMACIÓ MESURA

Lloc de la mesura	Institut Abat Oliba - Aula de Música
Inici (dd/mm/aa hh:mm)	20/05/2025 11:43
Fi (dd/mm/aa hh:mm)	27/05/2025 11:26
Període d'exposició (dies)	6,99
Radiació gamma (nGy/hr)	78,7
Altitud (m)	691

CONTROL DE QUALITAT

Electret de referència ID	Tipus de tensió	Data	Valor
RE3854	Inicial	20/05/2025 07:43	234
RE3854	Final	27/05/2025 11:34	235
RE3787	Inicial	20/05/2025 07:43	179
RE3787	Final	27/05/2025 11:34	181

RESULTATS MESURA

Electret ID	Tensió inicial	Tensió final	CF	Rn (Bq/m³)	±(Bq/m³)	Error (%)
SDV349	368	326	1,8389	90,4667	6,5760	7,27%
SDN058	377	333	1,8449	95,8216	6,7779	7,07%

OBSERVACIONS

Ús de l'edifici i classificació del municipi segons el DB HS6: Centre educatiu, Zona I.

Tipus de ventilació: Natural a través dels forats de les finestres.

Planta i orientació: Planta 0, cara nord de l'edifici.

Construcció de l'edifici: Façanes de maó (Solera no confirmada).

Geologia de terreny: Dipòsits quaternaris.

ANNEX E. Respostes completes dels experts consultats

Dr. Xavier Muñoz Gall

- 1. El radó es té prou en compte a les consultes i diagnòstics de càncer de pulmó?**

No. És excepcional que es tingui en compte a Catalunya. Només a la Comunitat de Galícia, on és un problema que es coneix des de fa més temps es té present. Només centres molt especialitzats ho tenen present.

- 2. Creus que hi ha prou formació i informació al respecte?**

N'hi ha molt poca. Només centres molt especialitzats en tenen coneixement. Com deia abans a Galícia, on ha estat un problema més freqüent sí que hi ha més informació. Sí que de totes maneres, cada cop hi ha més coneixement i s'està fent més difusió a diferents àmbits de la salut. A la majoria de les consultes de càncer de pulmó d'hospitals de 3r nivell ja se sol tenir present.

- 3. Hi ha símptomes o característiques que es puguin atribuir al càncer de pulmó causat per radó?**

No. Un cop tens un càncer de pulmó, els símptomes i la mateixa evolució solen ser independents de la causa d'aquest. Pensa que la causa de llarg més freqüent de càncer de pulmó és el tabac, després hi ha exposicions ocupacionals (asbest, sílice, alguns químics ...), també s'ha de tenir en compte exposicions ambientals (la contaminació ambiental i el radó) i finalment, també, factors genètics.

- 4. Hi ha evidències que relacionin radó i incidència de càncer? (Algunes informacions parlen de fins a un 14% de càncers de pulmó a causa de l'exposició a radó) Coneixes fonts fiables al respecte aquestes dades o algun grup de treball sobre el tema amb què em pugui posar en contacte?**

Sí que hi ha prou evidències, però tot això millor que ja t'ho contesti el Dr. Javier González Barcala. Ja he parlat amb ell i estarà encantat de respondre el que li demanis.

Francisco Javier González Barcala

1. **¿Existen evidencias que relacionen radón e incidencia de cáncer? (Algunas informaciones hablan de hasta un 14% de cánceres de pulmón a causa de la exposición a radón). ¿Conoces fuentes fiables al respecto de estos datos?**

Hay muchas publicaciones que sustentan la relación del radón con el cáncer de pulmón. Durante la mañana te envió algunas.

2. **¿Es verdad que el problema no es tanto el radón, sino los elementos que se originan con su descomposición radioactiva?**

El radón al descomponerse libera partículas radiactivas que son las que hacen el daño.

3. **¿Crees que hay normativas insuficientes o desconocimiento por parte del sector?**

Sin duda hay poco conocimiento y poca normativa. Probablemente, uno de los motivos sea económico, ya que el gasto para eliminar o reducir la exposición al radón es alto. En mi caso, que vivía en una casa con niveles altos de radón, la obra para reducir los niveles costó cerca de 100.000 euros, y lo pude hacer porque vivía en una casa con jardín y no dependía de nadie más.

4. **¿Crees que hay comunidades que están haciendo más bien las cosas que otras? ¿Cataluña dónde estaría?**

Sin duda, hay diferencia entre comunidades. Galicia es una de las que va por delante porque hace más de 30 años un joven investigador, Juan Barros Dios, empezó con eso, hizo muchos estudios y puso el problema en evidencia.

Muchas cosas dependen del esfuerzo personal de alguien.

En Cataluña no tengo ni idea de como están las cosas.

5. **Para el trabajo me gustaría proponer un plan de actuación (sellado de cierres, mejora de la ventilación...) para mi instituto, donde he hecho las medidas, para reducir los niveles de gas radón. Concretamente en el almacén, donde han salido bastante altos. ¿Piensas que es importante hacer este plan de actuación para disminuir los niveles? También agradecería que me dijeras si se te ocurre algún aspecto a tener en cuenta para hacer el plan de actuación.**

El plan de actuación es complejo. Requiere un aislamiento activo del subsuelo porque por mucho que ventiles sigue entrando y no bajan los niveles. Te podría enviar los planos de lo que hicimos en mi casa. En resumen fue excavar casi un metro de profundidad, poner 4 capas de diferentes materiales, uno de ellos una tela anti-radón, y dejar un hueco por debajo del suelo, que abarque toda la superficie, donde se genera una corriente de aire horizontal, con un pequeño motor en una punta de la casa y una rejilla en la otra que funciona de forma similar al flujo laminar de los quirófanos.

Figura E1

Llistat de solucions que va implementar el Dr. Francisco Javier González Barcala

Esta solución comprenderá los siguientes trabajos:

- Levantando del pavimento actual, peldaños y sus rodapiés.
- Demolición de la solera actual y su encachado.
- Levantado de la red enterrada de saneamiento (colectores y arquetas).
- Nivelación y refino manual de sub-base.
- Instalación de nueva red de saneamiento horizontal.
- Vertido de hormigón de limpieza de espesor 10 cm.
- Instalación de conductos y rejillas de ventilación bajo solera ventilada.
- Ejecución de solera ventilada tipo Caviti C-5, armada y hormigonada.
- Instalación de barrera protectora formada por lámina Texself GS 1,5.
- Tendido de capa separadora antipunzonante Danofelt PY 150.
- Instalación de aislamiento térmico de poliestireno extruído 60 mm.
- Tendido de capa separadora antipunzonante Danofelt PY 150.
- Ejecución de recrecido de mortero de cemento y arena 4 cm.
- Solado de plaqueta de gres porcelánico o tarima flotante, i/ rodapié.
- Instalación de conductos vistos de ventilación, extractor y chimenea.
- Instalación de hidroconvectores Knapen en muro de mampostería.
- Ejecución de inyecciones de barrera capilar en muros de mampostería.
- Pintado de paramentos interiores y carpinterías.

Nota: fotografía facilitada por el Dr. Francisco Javier González Barcala.

6. Comentaste que hay normativas insuficientes y desconocimiento: ¿Qué cambios introducirías? ¿Niveles de referencia más bajos?

Me parece fundamental hacer medidas de los niveles de radón en diversos puntos de cada provincia, área geográfica, que permitan elaborar un mapa de los niveles reales de exposición.

Los niveles de referencia creo que son válidos, pero teniendo en mente que cuanto menos mejor.

7. ¿Más exigencia en la aplicación de medidas anti-radón en los municipios de actuación prioritaria?

Sin duda.

8. ¿Debería insistirse más a tener siempre en cuenta la exposición al radón en consultas de neumología o similares, o solo en centros especializados?

Probablemente, sea mejor tener centros de referencia por áreas geográficas, ya que los medidores son fáciles de transportar y no requieren grandes conocimientos para manejarlos. Tampoco hace falta mucho personal para atender a un área como puede ser todo Cataluña.

9. Por otro lado, en relación con mi trabajo: en un espacio no habitable del instituto —un almacén en el centro del edificio, semisótano— se han detectado concentraciones de hasta 1500 Bq/m³. En las aulas, en cambio, los niveles no superan los 200 Bq/m³. ¿Crees que, aun así, sería conveniente proponer un plan de mitigación en el almacén como medida preventiva, por la posible transferencia de radón hacia espacios habitables?

Pensando que cuanto menos mejor, yo sí que realizaría obras, si es posible, para reducir estos niveles, incluso en el almacén.

Y desde luego no pondría a nadie a trabajar en un sitio con 1500 bq.

En mi casa ha sido relativamente fácil, en realidad gran obra y económicamente costosa, ya que una vivienda unifamiliar con la acera delante y un jardín grande detrás permite hacer la obra sin depender de nadie más, además de ser técnicamente viable.

Puede ser más difícil en otro tipo de viviendas.

David Ureta (transcripció dels correus electrònics rebuts)

Et deixo alguns comentaris que espero que t'ajudin a complementar el coneixement sobre el radó.

- Quan comentes que s'han registrat concentracions de fins a 1500 Bq/m³, podries explicar amb més detalls? És a dir, és una mida puntual, és la mitja registrada després de tres mesos de mesura, quin tipus de sensor (estàtic o dinàmic)?*
- Tot això t'ho comento perquè amb el tema del radó l'important és el valor mitjà i no pas els pics. Per això el CTE HS6 té un apartat als annexos que parla de com s'han de fer les mesures "reglades". El que hi ha darrere d'això és entendre que tenir pics elevats no ha de ser forçosament perillós, el que sí que ho és l'exposició a llarg termini (valor mitjà). De totes maneres, sent un soterrani, ja té sentit que sigui la zona més delicada pel tema radó*
- El TD-SILENT ECOWATT és una bona opció. El TD-EVO PF ECOWATT és un xic més sorollós, però és més eficient, utilitza un 85% de plàstics reciclats i és el que té la millor estanquitat (aprox. 1% de fuites) que és important pel tema radó especialment en el circuit d'extracció.*

Les teves preguntes:

- 1. Les 3 r/h es recomana sobretot quan parlem d'espais amb volums grans. En el teu cas, no és massa, per tant, jo en faria una mica més. Ja que fas impulsió i extracció mecànica, et recomano provocar que el soterrani quedi en sobrepressió que ajudarà a mitigar l'entrada del radó. Per tant, un bon compromís podria ser 5 r/h per calcular el cabal i conducte d'impulsió i 3 r/h pel d'extracció. A l'hora de dimensionar el conducte necessari, si aquest no passa per aules o similars, pots dimensionar a raó de 6 m/s. Si passa per dintre d'aules, hauries d'evitar passar de 4 m/s pel soroll.*
- 2. Contestada més amunt. Jo ficaria el mateix tipus de ventilador en els dos conductes. El d'impulsió serà més potent que el d'extracció.*
- 3. Si l'espai no és habitable, és a dir, que ningú hi serà de forma habitual allà treballant o fent quelcom, jo no ficaria bateria. Tema filtre, idem, si no és una zona habitable, tampoc el posaria. Les normes que regulen el tema filtre (RITE) fan sempre referència a espais habitables. Un magatzem d'entrada esporàdica quedaria fora.*

Nota: Al final, mirant el croquis, és important aclarir que tant el TD SILENT ECOWATT com el TD-EVO PF ECOWATT són per ser instal·lat a interior. Si han d'estar instal·lats a la intempèrie, llavors hauríem de mirar altres opcions tipus caixes.

Els ventiladors se seleccionen per cabal (m^3/h) i per pressió (Pa). La pressió es calcula depenent de longitud conducte, secció, colzes, reixes... Si et dones d'alta a EasyVent, hi ha una part que es diu EasyCalc que t'ajudarà a obtenir la pèrdua de càrrega (PdC) per a posteriorment poder seleccionar el ventilador per cabal@pressió. Alhora, tindràs un justificant del càlcul realitzat. Els diàmetres dels conductes estan normalitzats: 125/150/160/200/250/315/355/400... <https://easyvent.solerpalau.com/>

ANNEX F. Fonaments de l'estructura atòmica i la radioactivitat

1. L'àtom

Qualsevol substància present a la naturalesa està constituïda per àtoms o per molècules (grups d'àtoms enllaçats químicament). El tipus d'àtoms i la manera com es combinen determinen les propietats físiques i químiques que tindrà una substància. (Martina Llugany & Alex Vargas Irlles, 2022)

Un àtom és la unitat més petita de la matèria que conserva les propietats químiques d'un element químic. Els àtoms estan constituïts per tres partícules subatòmiques: protons, neutrons i electrons. Segons el model atòmic actual, el de Schrödinger, es distingeixen dues parts principals:

- **El nucli atòmic:** format per protons (càrrega positiva (+1e), massa ≈ 1 u) i neutrons (càrrega neutra, massa ≈ 1 u). El nucli concentra gairebé tota la massa de l'àtom.
- **El núvol electrònic:** format per electrons (càrrega negativa (-1e), massa $\approx 1/1836$ u). Aquests electrons es distribueixen al voltant del nucli en nivells d'energia, que es divideixen en subnivells. Cada subnivell conté orbitals, que descriuen la regió on és més probable trobar els electrons.

1.1. Identificació de l'àtom

- **Nombre atòmic (Z):** és el nombre de protons que té un àtom al seu nucli. Aquest valor determina a quin element químic correspon.
- **Nombre màssic (A):** és el nombre de nucleons, és a dir, la suma del nombre de protons i de neutrons que té el nucli d'un àtom.

1.2. Isòtops

El nombre de protons és fix per a tots els àtoms d'un mateix element químic, mentre que el nombre de neutrons pot variar. Aquests àtoms amb el mateix nombre de protons, però diferent nombre de neutrons, s'anomenen isòtops.

1.3. Ions

Un àtom amb el mateix nombre de protons que d'electrons és neutre. No obstant això, un àtom o grup d'àtoms pot guanyar o perdre electrons i adquirir càrrega elèctrica, el que s'anomena ió. N'hi ha de dos tipus:

- **Catió:** és un ió amb càrrega positiva, que s'origina per la pèrdua d'electrons.
- **Anió:** és un ió amb càrrega negativa, que s'origina per la captura d'electrons.

1.4. Configuració electrònica i valència

La configuració electrònica ens explica com distribuïm els electrons d'un àtom en els orbitals. Cada nivell d'energia (1, 2, 3, 4...) es divideix en subnivells (s, p, d o f), que contenen un nombre concret d'orbitals.

Taula F1

Nombre d'orbitals i nombre màxim d'electrons que conté cada subnivell

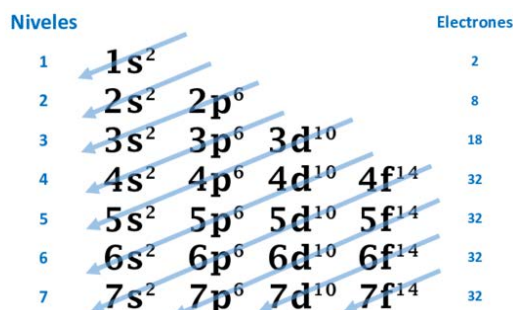
Subnivell	s	p	d	f
Nombre d'orbitals	1	3	5	7
Màxim d'electrons	2	6	10	14

Nota: elaboració pròpia.

Cada orbital pot tenir un màxim de 2 electrons. Aquesta distribució segueix la regla de Madelung (el diagrama de Moeller és una representació gràfica d'aquesta regla).

Figura F1

Diagrama de Moeller



Nota: Academia. (s. d.). Diagrama de Moeller. Regla de las diagonales. Recuperat de https://www.academia.edu/44142747/DIAGRAMA_DE_MOELLER_Regla_de_las_diagonales

La valència d'un àtom es determina pel nombre d'electrons que un àtom ha de perdre, guanyar o compartir per completar el seu últim nivell d'energia i aconseguir així l'estabilitat. Aquest nombre descriu la capacitat dels àtoms per formar enllaços químics amb altres àtoms. En el cas dels gasos nobles, tenen l'últim nivell d'energia ple, fet que els fa químicament estables i molt poc reactius.

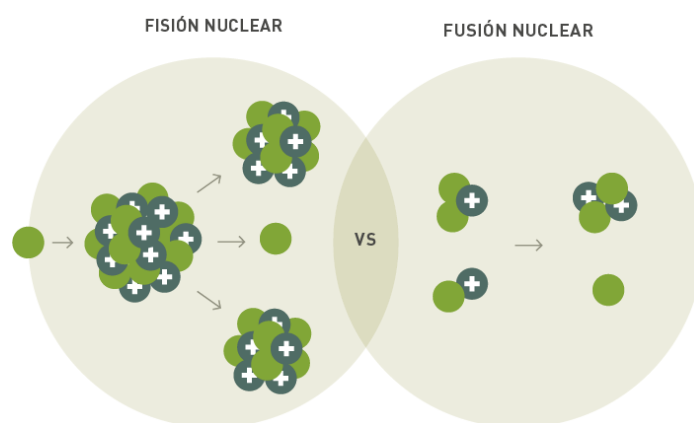
1.5. Energia i reaccions nuclears

L'energia nuclear està relacionada amb les forces que mantenen unides les partícules del nucli (protons i neutrons), vencent la repulsió entre protons, tots amb càrrega positiva. Aquesta energia s'allibera o s'absorbeix en les reaccions nuclears, com la fusió nuclear o la fissió nuclear.

- **Fissió nuclear:** és una reacció en què el nucli d'un àtom pesat, en capturar un neutró, es torna inestable i es divideix en dos o més nuclis d'àtoms més lleugers. Aquesta reacció provoca un alliberament de grans quantitats d'energia i l'emissió de neutrons. És la base del funcionament de les centrals nuclears.
- **Fusió nuclear:** és una reacció en què dos nuclis d'àtoms lleugers s'uneixen formant un nucli més pesant. La massa del nucli resultant és inferior a la suma de les masses dels dos nuclis inicials. Aquesta diferència de massa s'allibera en forma d'energia. Aquest és el procés que té lloc a les estrelles.

Figura F2

Fissió nuclear i fusió nuclear



Nota: Sociedad Nuclear Española. (s. d.). ¿Qué es la energía nuclear? Recuperat de <https://www.sne.es/que-es-la-energia-nuclear/>

1.6. Radiació

La radiació és l'emissió, propagació o transferència d'energia en qualsevol medi en forma d'ones electromagnètiques o partícules. (traducció pròpia, CSN, s. d., p. 1)

Les partícules d'un àtom es mantenen fortament unides en condicions normals. Malgrat això, un excés o manca de neutrons pot trencar aquest equilibri. Llavors, els àtoms es converteixen en inestables i tendeixen a transformar-se en altres elements, mitjançant el trencament dels enllaços existents i la formació de nous. Aquest procés s'anomena desintegració radioactiva, i allibera energia en forma d'ones electromagnètiques o partícules, que anomenem radiació. (traducció pròpia, CSN, s. d., pp. 1-2)

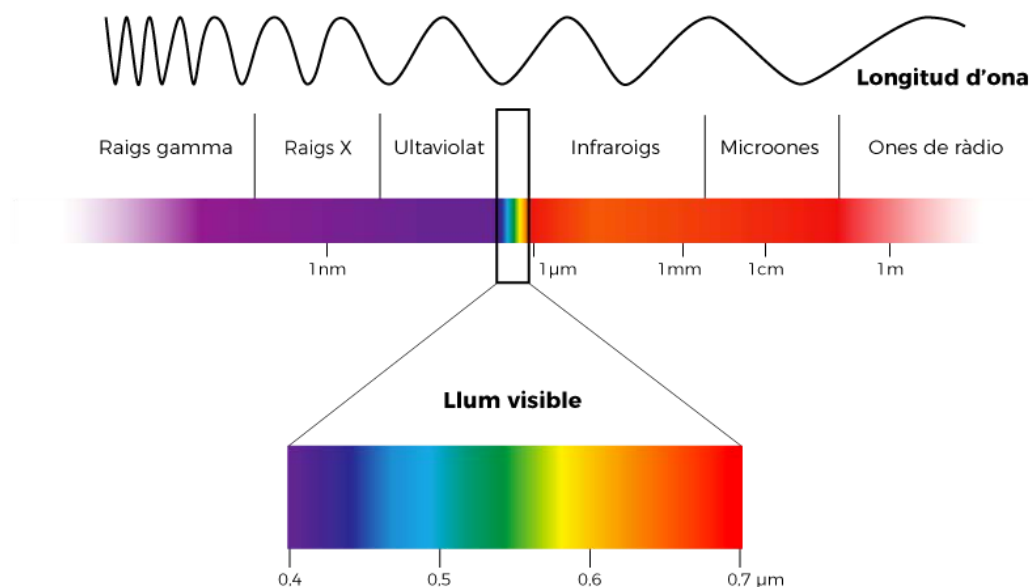
Classificació de la radiació

Podem distingir la radiació segons si és **radiació no ionitzant**, que no té prou energia per arrancar electrons d'un àtom o molècula, és a dir, per ionitzar-los, o **radiació ionitzant**, que sí que té prou energia per produir la ionització d'un àtom i trencar els enllaços atòmics. (traducció pròpia, CSN, s. d., p. 2) Distingim quatre tipus de radiació ionitzant:

- **Radiació alfa (α):** són nuclis d'heli-4, formats per dos neutrons i dos protons. Té molta massa i és molt més energètica que les radiacions beta i gamma. Com que és menys penetrant (un full de paper o la pell humana són suficients per protegir-nos dels seus efectes), allibera tota la seva energia en un recorregut molt menor. (traducció pròpia, CSN, s. d., p. 2; traducció pròpia, Ministerio de Sanidad, 2021)
- **Radiació beta (β):** són fluxos d'electrons (beta negatives) o positrons (beta positives). Tenen menys massa que les alfas, encara que són una mica més penetrants: poden traspasar entre un i dos centímetres de teixit viu, però no poden penetrar una làmina d'alumini. (traducció pròpia, CSN, s. d., pp. 2-3)
- **Radiació gamma (γ) i raigs X:** són radiacions electromagnètiques, i no tenen càrrega ni massa. Les radiacions gamma procedeixen dels nuclis inestables d'alguns elements radioactius, i els raigs X procedeixen de les capes externes de l'àtom, on hi ha els electrons. Aquest tipus de radiacions són força penetrants, i per frenar-les cal una làmina de plom de gruix suficient. (traducció pròpia, CSN, s. d., p. 3)
- **Neutrons:** és una radiació molt penetrant. Com que no tenen càrrega elèctrica, els neutrons penetren fàcilment l'estructura de determinats àtoms i en provoquen la fissió. Es poden absorbir amb determinats elements químics, com el cadmi o el bor. (traducció pròpia, CSN, s. d., p. 3)

Figura F3

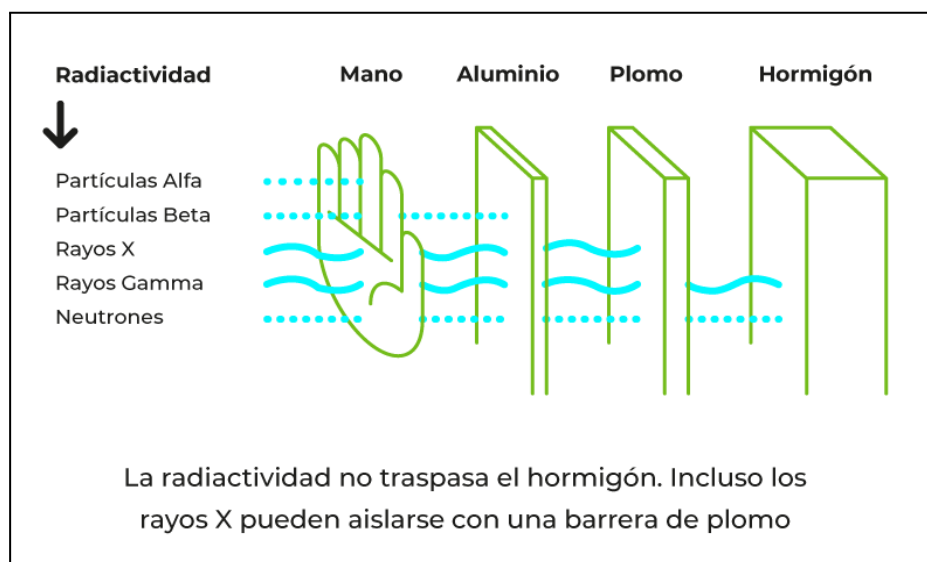
Espectre electromagnètic: tipus de radiació i longitud d'ona



Nota: Edu-Sat. (s. d.). Espectre electromagnètic. Recuperat de https://www.edu-sat.com/wp-content/uploads/2021/02/infografia3_espectre-visible.png

Figura F4

Capacitat de penetració de diferents tipus de radiació en diversos materials



Nota: Foro Nuclear. (s. d.). ¿Qué sabes de la radiación? Recuperat de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-proteccion-radiologica-y-radiacion/que-sabes-de-la-radiacion/>

La radiació, quan penetra en la matèria, sobretot quan es tracta de partícules carregades (alfa, protons, fragments de fissió i electrons), pot arrencar electrons dels àtoms propers mitjançant un procés anomenat ionització, que pot actuar sobre les cèl·lules a través de dos mecanismes: acció directa i acció indirecta. (traducció pròpia, CSN, s. d., p. 2)

- **Acció directa:** es produeix quan l'energia de la radiació és absorbida directament per estructures clau de la cèl·lula, com l'ADN, els cromosomes, el nuclèol, les membranes o diversos orgànuls citoplasmàtics (ribosomes, mitocondris, membrana cel·lular). L'absorció d'aquesta energia provoca ionitzacions i excitacions que poden provocar un dany cel·lular. (Oriol Puig Llorens & Jaume Ferrer Jori, 2019)
- **Acció indirecta:** es produeix quan l'energia de la radiació és absorbida per les molècules d'aigua, que constitueixen la major part de les cèl·lules i dels éssers vius. La ionització de l'aigua origina ions i radicals lliures altament reactius, els quals poden alterar molècules importants, com l'ADN. Aquestes alteracions poden provocar defectes biològics i anomalies en les cèl·lules (Oriol Puig Llorens & Jaume Ferrer Jori, 2019).

Radiacions segons la seva procedència

La dosi mitjana anual de radiació rebuda per una persona resident a Espanya és de 3,7 mSv. D'aquests, 2,4 mSv provenen de la **radiació natural**, i la resta, 1,3 mSv, provenen de la **radiació artificial**. Formen part d'aquesta radiació artificial els raigs X i gamma utilitzats en la indústria i la medicina, per exemple, en l'esterilització d'aliments, en el control de plagues o en el diagnòstic de malalties, inclòs el càncer. (traducció pròpia, CSN, s. d., p. 4). Les radiacions naturals provenen de tres fonts:

- **La radiació còsmica:** es genera en les reaccions nuclears de l'interior de les estrelles. L'atmosfera és capaç de filtrar aquests raigs i protegir-nos dels seus efectes. Quan pugem a una muntanya o viatgem amb avió, aquesta protecció disminueix. (traducció pròpia, CSN, s. d., p. 4). A més, els raigs còsmics primaris, formats principalment per protons (86%), partícules alfa (12%) i nuclis més pesants (2%), interaccionen amb els nuclis de les capes altes de l'atmosfera (per sobre dels 15 km). Això genera raigs còsmics secundaris (muons, neutrins, pions i raigs gamma) i, a més, radionúclids cosmogònics com el N-14, el Be-7, el H-3 (triti) i el C-14 (emprat en tècniques de datació). (Martina Llugany & Alex Vargas Irlés, 2022)

- **L'escorça terrestre:** procedent principalment del gas radó, que té descendents de curta vida (com el poloni-218) amb un impacte significatiu sobre la salut humana, ja que emeten partícules alfa. Es genera a conseqüència de la desintegració de l'urani-238 present en les roques. Aquest gas forma part dels radionúclids primordials, presents a l'escorça des de l'origen del sistema solar. Tot i que molts isòtops radioactius d'aquella època ja han desaparegut i no contribueixen a la radiació natural, alguns amb períodes de semidesintegració molt llargs encara hi contribueixen. Són els que donen lloc a les tres sèries radioactives naturals: la del tori (Th-232) i les dues de l'urani (U-238 i U-235). (traducció pròpia, CSN, s. d., p. 4; Martina Llugany & Alex Vargas Irlles, 2022)
- **Els aliments i l'ésser humà:** múltiples aliments, l'aigua i, fins i tot, els humans, emmagatzemen isòtops naturals radioactius. (traducció pròpia, CSN, s. d., p. 4). En seria un exemple el potassi-40, que no forma part de cap cadena de desintegració. (Martina Llugany & Alex Vargas Irlles, 2022)

Factors dels quals depèn rebre més o menys dosis de radiació

La dosi de radiació rebuda per un individu depèn principalment de tres factors:

- **Distància a la font de radiació:** la dosi rebuda disminueix proporcionalment segons augmenti la distància entre font i individu.
- **Temps d'exposició:** la dosi rebuda augmenta a més temps d'exposició a la radiació.
- **Blindatge interposat:** redueix l'exposició a les radiacions ionitzants (paper, plom...).

Mesura de la radioactivitat

- **Becquerel (Bq):** mesura l'activitat radioactiva. $1 \text{ Bq} = 1$ desintegració atòmica per segon.
- **Gray (Gy):** mesura la dosi absorbida de radiació. $1 \text{ Gy} = 1$ joule d'energia absorbida per quilogram de matèria ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$).
- **Sievert (Sv):** mesura la dosi efectiva de radiació. És una unitat derivada del gray, que estima el dany biològic, ponderada per un coeficient que té en compte el tipus de radiació i la sensibilitat de cada teixit i l'òrgan exposat, ja que cada teixit i òrgan és danyat de manera diferent. El més habitual és parlar de mil·lisievert ($1 \text{ mSv} = 0,001 \text{ Sv}$).

Semidesintegració radioactiva

La semidesintegració radioactiva es refereix al temps necessari perquè el nombre de nuclis inicialment presents en una mostra es redueixi a la meitat per desintegració radioactiva. (Termcat, s. d.-a)

Per exemple, el radó-222 té un període de semidesintegració de 3,8 dies. Això vol dir que, després d'aquest període, la meitat dels àtoms de radó presents en una mostra inicial s'hauran transformat en el següent element de la cadena de desintegració, el poloni-218.

Estabilitat del nucli

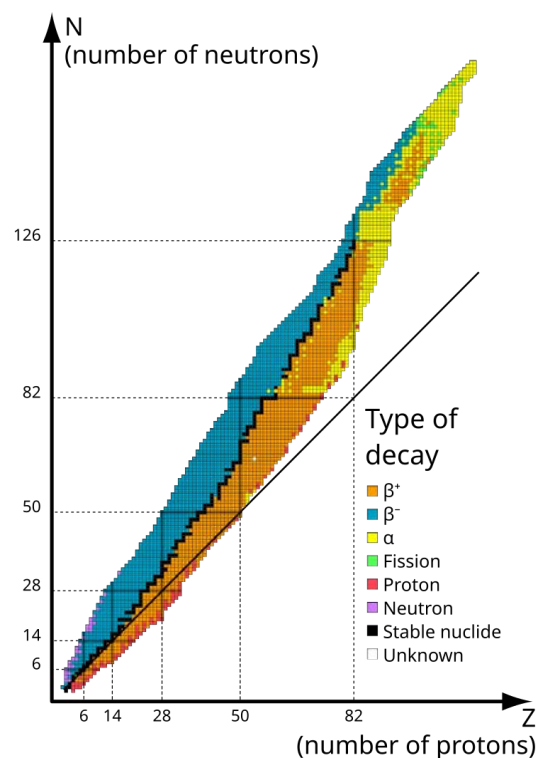
Un nucli és estable quan no és radioactiu, és a dir, quan no tendeix a desintegrar-se i, per tant, no emet radiació.

Perquè això sigui així, la relació entre el nombre de neutrons (N) i el nombre de protons (Z) no pot ser qualsevol. Per aconseguir l'estabilitat en nuclis lleugers, la relació entre N i Z ha de ser aproximadament 1 ($N \approx Z$). En canvi, pels nuclis pesants, l'estabilitat s'aconsegueix amb una relació que pot arribar a ser de fins a 1,54 ($N/Z = 1,54$).

El diagrama que trobem a continuació mostra el tipus de desintegració dels isòtops segons el nombre de protons, a l'eix d'abscisses, i el nombre de neutrons, a l'eix d'ordenades. (Martina Llugany & Alex Vargas Irlles, 2022)

Figura F5

Representació gràfica dels isòtops i els seus tipus de desintegració



Nota: Wikipedia. (s. d.). Núclid màgic.
Recuperat de https://ca.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAclid_m%C3%A0gic

ANNEX G. Conceptes de geologia

Les roques es classifiquen segons el seu origen i procés de formació. Es distingeixen 3 grans grups de roques:

- **Roques ígnies:** són aquelles formades per la solidificació del magma que tendeix a ascendir cap a la superfície terrestre.

Es poden classificar en dos grans grups. Si es formen a l'interior de l'escorça s'anomenen intrusives (plutòniques quan són molt profundes o hipabissals quan cristal·litzen als conductes intermedis), mentre que, quan es formen a la superfície terrestre, s'anomenen extrusives (o volcàniques).

Les roques plutòniques formen cristalls visibles a ull nu (indicant que els magmes s'han refredat lentament). Les roques volcàniques i les hipabissals solen formar cristalls de mida més petita (indicant un refredament més ràpid).

Les classificacions de les roques ígnies es basen en la composició mineralògica, la composició química, el tipus de jaciment o la textura. Per exemple, es poden classificar segons el "grau d'acidesa", que es basa en la quantitat de quars (SiO_2).

(ICGC, s. d.-a)

- **Roques sedimentàries:** són aquelles formades per l'acumulació de sediments, per precipitació química o pel creixement d'organismes. Quan els sediments no consolidats s'enterren i es compacten pel pes dels dipòsits superiors, es transformen en roques mitjançant la cimentació, la recristal·lització i altres processos (diagenesi). És habitual que continguin restes d'organismes.

Les roques sedimentàries detrítiques es formen mitjançant fragments de roques preexistents, que han estat transportats, acumulats i cimentats. En són exemples els conglomerats, gresos i lutites. Les roques formades pel creixement d'organismes solen ser carbonàtiques, però comparteixen característiques amb les roques sedimentàries detrítiques. En canvi, la cristal·lització d'elements químics dissolts a l'aigua de la mar o dels llacs formen les roques sedimentàries per precipitació química.

Tot i això, la classificació no és rígida, ja que hi ha roques que es formen per dos o més d'aquests processos.

(ICGC, s. d.-b)

- **Roques metamòrfiques:** són aquelles que produeixen canvis en la mineralogia, la textura i, en alguns casos, en la composició química, de roques ígnies o sedimentàries que ja existeixen, per haver-les sotmès a esforços tectònics o canvis de temperatura i pressió.

Es formen a l'escorça terrestre, sota temperatures que van des dels 200 °C fins als 1.000 °C, i es classifiquen com a regionals o de contacte.

El metamorfisme regional afecta franges de roques de grans mides, i es produeix a llocs amb elevada pressió tectònica. En canvi, el metamorfisme de contacte afecta franges locals, i té lloc quan les roques experimenten un fort augment de temperatura a causa d'una font de calor local (sovint magma). Aquest procés fa que les roques esdevinguin dures i massives.

La classificació té en compte els minerals i les textures. Per exemple, les pissarres, fil·lites, esquists i gneissos provenen de pelites sotmeses per metamorfisme regional, i alguns gneissos deriven de roques granítiques.

(ICGC, s. d.-c)