



RADIOACTIVITAT I CONCENTRACIÓ DE RADÓ ALS HIPOGEUS DE MATARÓ

Alumne: Davor Castaño

Tutor/a: Eugènia Nicolàs

Curs: 2015/2016

Data d'entrega: 15/01/2016

ÍNDEX:

1.	INTRODUCCIÓ.....	1
1.1	Justificació de la tria del tema	1
1.2	Hipòtesi del treball.....	2
2.	RADIOACTIVITAT	3
2.1	Història de la radioactivitat	4
2.2	Partícules i radiacions radioactives	6
2.3	Magnituds que caracteritzen la radioactivitat	10
2.4	Radioactivitat natural i artificial	14
3.	RADÓ	16
3.1	Origen del radó-222	18
3.2	Efectes del radó sobre la salut	19
3.3	Quins nivells de radó es consideren elevats?.....	19
3.4	Efectes ambientals del radó.....	20
4.	HIPOGEUS DE MATARÓ	23
4.1	Hipogeu als quals es varen dur a terme mesures.....	24
5.	RECOPIACIÓ DE MESURES	29
5.1	Aparell mesurador de radó <i>RAD7 de DURRIDGE</i>	29
5.2	Mesures obtingudes.....	31
6.	CONCLUSIONS DE LA PART EXPERIMENTAL	37
7.	OBERTURA DELS HIPOGEUS AL PÚBLIC	40
8.	CONCLUSIONS GENERALS DEL TREBALL.....	43
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	45

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Justificació de la tria del tema

El tema escollit ha estat el de *Radioactivitat i mesura de la quantitat de radó als hipogeus de Mataró*.

En un principi jo tenia clar que el meu Treball de Recerca aniria al voltant del tema de la radioactivitat, ja que aquesta qüestió em sembla molt interessant i, com que és un tema sobre el qual a la ESO i Batxillerat se'n fa una introducció però no es profunditza, tenia la intenció de fer una petita presa de contacte amb ell.

El problema va sorgir a l'hora de plantejar la part pràctica del treball. No sabia què fer. Va ser aleshores quan la meua mare va dir-me que ella tenia contacte amb professors i investigadors de la Universitat Autònoma de Barcelona, gent que si ho necessitava podia donar-me idees per al meu treball. Així doncs, gràcies a ella vaig entrar en contacte amb un professor, en Dr. Jordi García-Orellana, del Grup de Física de les Radiacions de la Facultat de Ciències de la UAB, qui va donar-me un conjunt de propostes per a fer, i entre elles estava la de fer mesures de radó als hipogeus de Mataró, unes galeries subterrànies de les quals parlaré en detall més endavant.

Aquesta idea em va encantar, tot i que abans de res havia de parlar amb l'arqueòleg municipal de Mataró, el Sr. Joaquim Garcia per a demanar-li permís per a fer aquestes mesures. Vaig trobar el seu número de telèfon a la web de l'ajuntament de Mataró i vam parlar. Va accedir-hi a que fes les mesures i fins i tot es va oferir per a facilitar-me l'entrada a uns quants hipogeus privats.

Finalment, una vegada arribats a aquest punt, en Jordi García, professor a la UAB, em va proporcionar l'aparell necessari per a fer les mesures i em va ensenyar a utilitzar-lo.

Ja estava llest per a començar el treball.

1.2 Hipòtesi del treball

La hipòtesi és la següent:

Com el sòl mataroní és granític (per tant els hipogeus són d'origen granític), penso que segurament l'interior d'aquestes excavacions presentaria una concentració bastant elevada de radó.

Més tard s'explicarà que el radó-222 (isòtop radioactiu del radó) prové de la sèrie de desintegració de l'urani-238, abundant a zones on el sòl està format per roques sedimentàries i/o granítiques.

Com aquests hipogeus (galeries subterrànies) no compten amb una ventilació adequada, el radó anirà acumulant-se gradualment al seu interior, i podria arribar a constituir un perill per a la salut de les persones que estiguessin exposades a l'aire del seu interior d'una manera regular.

Si jo entrés a fer mesures de la concentració de radó a l'interior d'un hipogeu, no correria cap risc ja que el temps al qual estaria exposat al radó-222 seria molt baix encara que la concentració de radó fos elevada.

2. RADIOACTIVITAT

La radioactivitat es defineix com l'emissió espontània de partícules, radiacions o d'ambdues a la vegada, procedents de la desintegració de determinats isòtops d'alguns elements.

Aquesta desintegració es produeix degut a que aquests isòtops, anomenats radioactius, són inestables, tenen un excés d'energia interna, i els seus nuclis busquen aquesta estabilitat mitjançant l'emissió de partícules o radiacions, transformant-se en altres nuclis més estables.

La radioactivitat pot ser natural (emesa per materials que es troben a la natura) i artificial (emesa per materials creats per l'home).

Els elements químics compten amb diferents isòtops, que poden ser tant estables com radioactius. Els isòtops d'un element químic són àtoms amb el mateix nombre atòmic (Z) però diferent nombre màssic (A), tal i com s'expressa a continuació:



On: A = Z + neutrons
Z = protons
X = símbol de l'element

És a dir, els seus nuclis atòmics tenen el mateix nombre de protons però diferent nombre de neutrons. Això vol dir que els diferents isòtops d'un element també tenen diferent massa atòmica. Per exemple, l'hidrògen (veure Figura 1) té tres isòtops:

Proti: H amb 1 protó. Massa atòmica: 1 u (unitat de massa atòmica).

Deuteri: H amb 1 protó i 1 neutró. Massa atòmica: 2 u.

Triti: H amb 1 protó i 2 neutrons. Massa atòmica: 3 u.

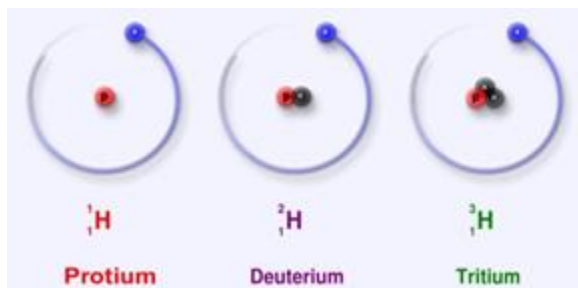
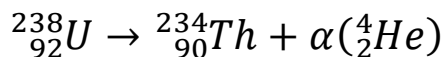


Figura 1. Diferents isòtops de l'hidrogen.

https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Is%C3%B3topos_de_hidr%C3%B3geno

Un exemple de reacció de desintegració es mostra a continuació, a on un nucli d'urani amb $Z = 92$ i $A = 238$ es transforma, mitjançant l'emissió d'una partícula alfa en un nucli de tori (Th) amb $Z = 90$ i $A = 234$, ja que una partícula alfa és un nucli d'heli (He) amb $Z = 2$ i $A = 4$



2.1 Història de la radioactivitat



Figura 2: Henry Becquerel

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-bio.html

El fenomen de la radioactivitat fou descobert casualment per Henry Becquerel (Figura 2) l'any 1896. Estudiava els fenòmens de fluorescència i fosforescència, per el qual col·locava un cristall de Pechblenda (un mineral que conté urani i que és fins i tot més radioactiu que aquest) a sobre d'una placa fotogràfica embolicada en paper negre i exposada al sol. Quan desenrotllava la placa fotogràfica la trobava velada, fet que atribuïa a la fosforescència del cristall. Els dies següents no va haver-hi sol, i va deixar a un calaix la placa embolcallada amb paper negre i sal d'urani a sobre. Quan va extreure la placa fotogràfica, estava vetllada, i no

podia ser degut a la fosforescència ja que no havia estat exposada al sol. La única explicació era que la sal d'urani emetia una radiació molt penetrant.

Era difícil per als científics creure que emanaven radiacions de l'urani, i per aquesta raó la radioactivitat fou afegida juntament amb els raigs catòdics i els raigs X a la llista de "problemes sense resoldre".

Resultats tan importants com inesperats no podien ser entesos perquè al final del segle XIX no es tenien els coneixements bàsics per a comprendre'ls. Aquests coneixements es varen anar adquirint i desenvolupant al llarg del segle XX, sobretot en les primeres dècades, molt riques en descobriments.

Quan Becquerel va publicar els resultats de les seves investigacions, la parella Pierre i Marie Curie (Figura 3), que eren amics seus, van interessar-se molt en aquest fenomen.

Marie Curie pensà que aquest tema seria útil per a desenvolupar la seva tesi doctoral, amb la qual culminaria els seus estudis a la Universitat.



Figura 3: Marie i Pierre Curie

https://en.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie

Marie i Pierre Curie van buscar radiacions, ja no en els elements purs, sinó a minerals d'urani en els que aquest es trobava barrejat amb altres metalls i minerals. Durant algun temps van mesurar la intensitat de les radiacions emeses pels minerals d'urani. Algunes mostres emetien radiacions amb major intensitat que els composts d'urani purs.

Sabien que l'urani era només part del mineral que estaven estudiant i que el material estava format també per altres elements. Així doncs, Marie Curie va començar a separar els diversos elements mitjançant processos químics. En cada pas del procés de separació, la seva mostra es tornava més petita, però s'adonava que la intensitat de la radiació emanada era major, quedant un producte que emetia unes radiacions centenars de vegades més intenses que les que emetia l'urani. A més, va observar que les radiacions emeses eren capaces de travessar paper, fusta i fins i tot plaques de metall.

Aquest producte contenia un element químic desconegut fins llavors, que els Curie varen identificar a mitjans de 1898 i van anomenar poloni, en honor de la pàtria de Marie.

Una vegada separat el poloni dels residus del mineral, aquests seguien emetent radiació, fet pel qual els Curie van concloure que encara havia de contenir un altre element diferent al poloni i l'urani, però amb la mateixa propietat d'emetre radiacions. Finalment van trobar un altre element i el van denominar radi.

Una vegada aïllats aquests dos nous elements, Marie Curie va anomenar a la propietat que tenien aquests dos i altres elements inestables d'emetre radiacions espontàniament al desintegrar-se, radioactivitat .

Com a conseqüència d'aquests descobriments, al 1903, Pierre i Marie Curie van compartir ell Premi Nobel de Física amb Henry Becquerel.

Marie Curie va rebre, al 1911, el seu segon premi Nobel, aquest cop en l'àmbit de la Química, i en solitari, en reconeixement pels seus serveis en l'avenç de la Química, pel descobriment dels elements radi i poloni, l'aïllament del radi i l'estudi de la naturalesa i compostos d'aquest element. Va ser la primera persona en guanyar dos Premis Nobel.

2.2 Partícules i radiacions radioactives

Els diferents tipus de partícules i radiacions que emeten alguns dels isòtops radioactius es mostren a la Figura 4 i a la Figura 5:

Partícules	Alfa
	Beta
	Neutró
Radiacions	Gamma
	Captura K o electrònica

Figura 5:Tipus de partícules i radiacions

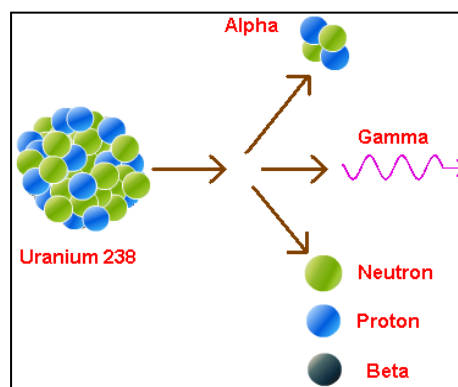


Figura 4:Tipus de partícules i radiacions emeses per isòtops radioactius

<http://energia-nuclear.net/definiciones/radioactividad.html>

A continuació es detallen les seves característiques, però abans hem de definir un parell de conceptes:

-Poder ionitzant: Capacitat d'una partícula o radiació d'ionitzar àtoms o molècules, és a dir, carregar-les elèctricament degut a una falta o excés d'electrons respecte el mateix àtom o molècula en estat estable.

-Poder de penetració: Capacitat d'una partícula o radiació de penetrar a més o menys profunditat en un determinat cos.

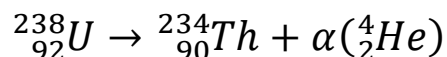
Partícules:

- **Alfa:** Formades per nuclis d'Heli, és a dir, àtoms d'He sense la capa d'electrons. Consten de 2 protons i 2 neutrons confinats a un volum equivalent al d'una esfera de 10^{-5} m de radi.

Característiques: Són partícules molt pesades, de $6,68 \cdot 10^{-27}$ kg, casi 8000 vegades més que els electrons, que pesen $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, i 4 vegades més que els protons, que pesen $1,6 \cdot 10^{-27}$ kg. Tenen carrega positiva (+2) degut a la manca d'electrons i són desviades per camps elèctrics i magnètics. Arriben a velocitats de 15.000 km/s.

Tenen un alt poder ionitzant, tot i que una molt baixa penetració, de l'ordre d'algunes micres.

A mode d'exemple es repeteix la reacció de desintegració de l'urani-238:



- **Beta:** Les partícules beta són electrons movent-se a gran velocitat, pròxima a la de la llum (0'98 c), sabent que la velocitat de la llum o c és de $3 \cdot 10^8$ m/s.

Característiques:

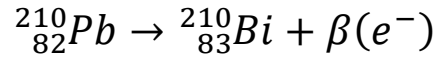
La massa d'una partícula beta en repòs és 2.000 vegades menor a la d'un protó.

Tenen càrrega negativa (-1) i al igual que les partícules alfa, també són desviades per camps elèctrics i magnètics.

L'energia que transporta una partícula beta procedeix del pas d'un isòtop radioactiu en estat inestable a un altre estat també excitat, és a dir, amb més energia que en el qual es trobava.

Malgrat tenir un poder ionitzant menor que les partícules alfa, compten amb un poder de penetració major ja que la seva massa i grandària són menors que les de les partícules alfa.

Un exemple de desintegració amb emissió d'una partícula beta es dona a continuació:



- **Neutró:** La radiació per neutrons és una classe de radiació ionitzant que consisteix en neutrons lliures produïts com a resultat de reaccions nuclears, tals com la fusió o la fissió, a partir d'isòtops estables.

Un neutró lliure és un neutró que existeix fora d'un nucli atòmic. Mentre que els neutrons poden ser estables quan estan units dins dels nuclis, els neutrons lliures són inestables i es desintegren amb una vida mitja de 886 segons, uns quinze minuts.

Malgrat no ser un element químic, el neutró lliure s'inclou sovint en taules d'isòtops. De ser el cas, es considera que aquest posseeix un nombre atòmic (Z) de 0 i un nombre màssic (A) de 1.

Característiques:

La massa d'un neutró és de $1,6 \cdot 10^{-27}$ kg.

Els neutrons tenen un poder ionitzant molt baix, tot i que un gran poder de penetració.

Radiacions:

- **Gamma:** Les ones gamma són radiacions electromagnètiques, ones que acompanyen les emissions de partícules alfa o beta.

Característiques:

No tenen massa en repòs i es mouen a la velocitat de la llum.

Degut a que no compten amb càrrega elèctrica, no són desviades ni per camps elèctrics ni per magnètics.

Són ones com les de la llum però molt més energètiques, fins i tot més que els raigs X.

Tenen un poder ionitzant baix, tot i que són molt penetrants i les més energètiques.

L'espectre electromagnètic de les radiacions gamma es pot veure a la Figura 6.

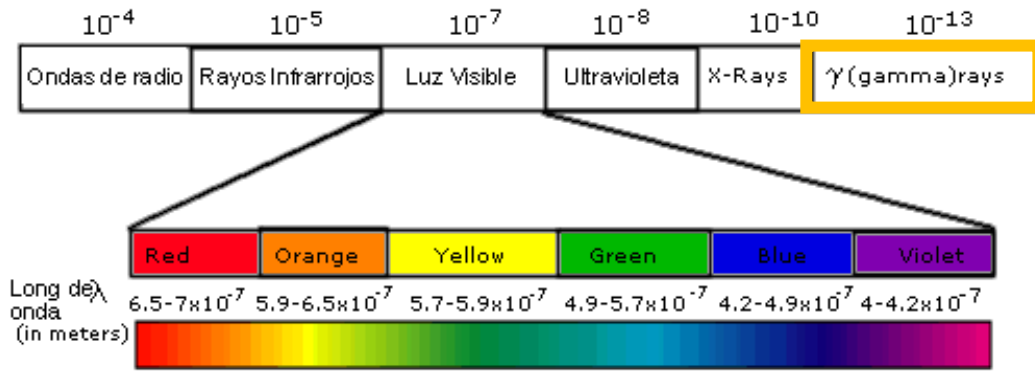


Figura 6: Espectre electromagnètic

http://sdcetionala-emat.mex.tl/2131516_Fenomenos-con-las-ondas.html

- **Captura K o electrònica:** Procés en el qual un nucli ric en protons d'un àtom elèctricament neutre absorbeix un electró atòmic d'una capa interior (normalment la capa K), transformant així un protó en un neutró i al mateix temps causant l'emissió d'un neutrí de l'electró. Tot seguit, un electró extern substitueix al que fou captat i s'emet un fotó de raigs X.

A la captura electrònica, el nombre atòmic de l'àtom disminueix una unitat sense que disminueixi la massa.

És un procés alternatiu a la desintegració beta amb emissió de protons.

El producte de la desintegració sol crear-se en un isòtop en estat excitat, pel que es solen originar cascades de radiació gamma fins que s'arriba a l'estat fonamental.

El poder de penetració de cadascuna de les radiacions es mostra a la Figura 7.

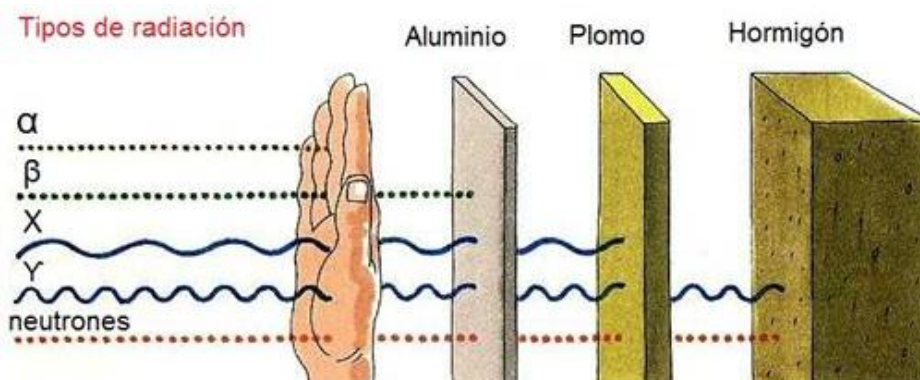


Figura 7: Imatge dels diferents poders de penetració dels diferents tipus de partícules i radiacions que emeten alguns isòtops radioactius

<http://www.monografias.com/trabajos103/ciencia-y-tecnologia-radiaciones/ciencia-y-tecnologia-radiaciones.shtml>

2.3 Magnituds que caracteritzen la radioactivitat

Quan un nucli es desintegra, emet una radiació determinada i es transforma en un altre nucli a una certa velocitat. La velocitat de desintegració depèn del nucli inicial, i dona lloc a la definició de determinats paràmetres per poder quantificar la durada i la intensitat de la radiació.

La llei de desintegració radioactiva ens dona els nuclis que queden sense desintegrar (N) a cada moment (t) si sabem els nuclis que teníem inicialment (N_0) y la constant de semidesintegració del isòtop en qüestió (λ):

$$N = N_0 e^{-\lambda \cdot t}$$

Per a arribar a fer-nos una petita idea del que és la radioactivitat hem de tenir presents uns quants conceptes bàsics:

Vida mitja (τ): La vida mitja representa el promig de vida d'un nucli atòmic d'una mostra radioactiva.

És el temps, calculat estadísticament, que un nucli radioactiu d'una mostra pot romandre sense transformar-se en un altre.

Tenint en compte la llei de desintegració radioactiva anterior, podem expressar la vida mitja en funció de la constant de semidesintegració λ , com:

$$\tau = 1/\lambda$$

Període de semidesintegració ($T_{1/2}$): Se'n diu període de semidesintegració al temps que triguen en transmutar-se la meitat dels àtoms radioactius d'una mostra: és el temps necessari per a que el nombre N_0 d'àtoms inicials passin a ser $N_0/2$, és a dir, es redueixin a la meitat. En aquest temps es formen $X/2$ àtoms diferents, transmutats dels inicials. Degut a la forma exponencial de la desintegració, la mostra pot trigar molt temps en passar a ser inactiva.

Això unit a que no es poden accelerar els processos de desintegració, desemboca en un dels perills de la radioactivitat.

Tenint en compte la llei de desintegració radioactiva que hem posat abans, és fàcil calcular el període de semidesintegració en funció de la constant λ :

$$N = N_0 e^{-\lambda \cdot t}$$

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda \cdot T_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot T_{1/2}}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda \cdot T_{1/2}$$

$$(\ln \frac{1}{2}) / (-\lambda) = T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$$

Per tant la relació entre el temps de vida mitja i el període de semidesintegració és:

$$T_{1/2} = \ln 2 \cdot \tau$$

Així, un element com l'Urani-238, amb una vida mitja de 4,47 milers de milions d'anys triga 3,0843 milers de milions d'anys en reduir a la meitat la seva radioactivitat, mentre que un element com el Radó-222, amb una vida mitja de 3,82 dies triga 2,64 dies en reduir a la meitat la seva radioactivitat.

La Figura 8, mostra l'evolució dels nuclis de 238-U i 222-Rn en funció del temps, aplicant la llei de desintegració radioactiva. S'hi aprecia clarament que l'activitat provinent de l'Urani-238 perdurará molt més temps que la del Radó-222.

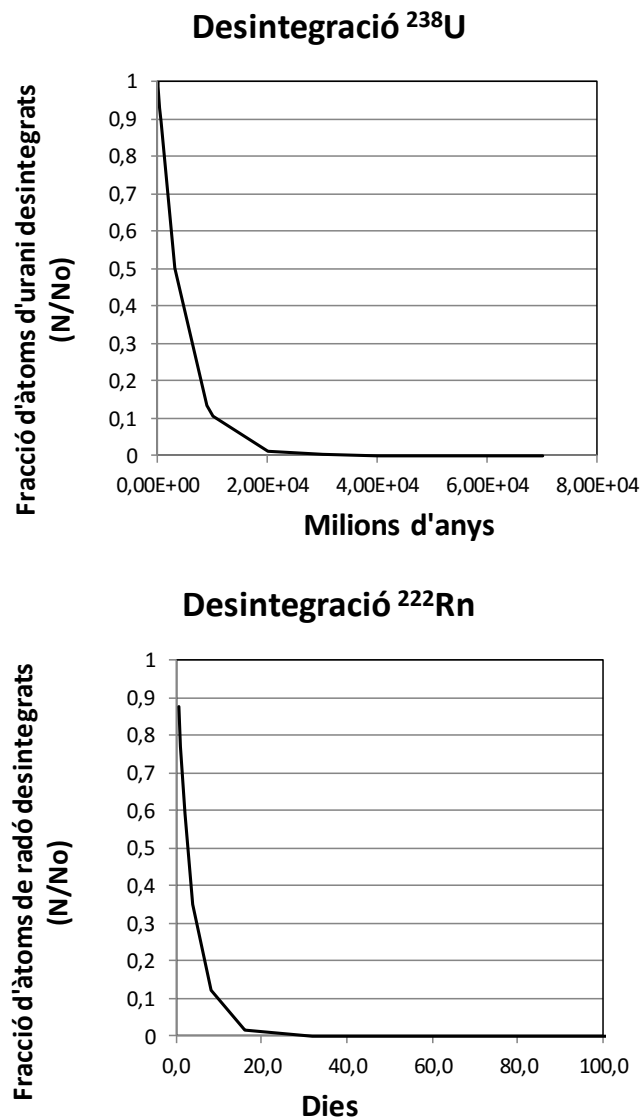


Figura 8: Gràfiques on es mostra l'evolució d'àtoms desintegrats d'Urani-238 i Radó-222 respecte el temps

A més, hem de saber que la radioactivitat és una magnitud, i per tant és mesurable. Aquesta es mesura en Becquerels (Bq). S'anomena Becquerel a la quantitat de nuclis que es desintegren en un segon exacte. Hi ha una unitat alternativa al Becquerel, que es diu Curie (Ci), en honor als descobridors de la radioactivitat, que és l'activitat d'un nucli de Radi, i que equival a $3,7 \cdot 10^{10}$ Becquerels.

Així doncs, podríem mesurar la quantitat de radioactivitat que té un gram d'una determinada substància, per exemple, del Cr-51:

- Si sabem que el crom-51 té un període de semidesintegració de 27,8 dies, dividim aquesta xifra per 0,693 (logaritme neperià de dos):

$$27,78 \div \ln(2) = 40,106$$

Obtenint així la vida mitja del Cr-51 (40,1 dies). Si també sabem que la radioactivitat d'una mostra és la quantitat de radioactivitat que té un nucli multiplicat per la quantitat de nuclis que conté aquesta mostra, caldrà calcular primer la quantitat de nuclis (nombre d'àtoms) que conté la mostra.

- Tenint 1 gram de Cr-51, podem calcular el nombre de mols en un gram de Cr-51 dividint 1 entre 51 (massa molar del Cr-51):

$$\frac{1 \text{ gram}}{51 \text{ grams/mol}} = 0,0196 \text{ mols}$$

Obtenint 0,0196 mols, i si aquesta xifra la multipliquem pel nombre d'Avogadro ($6,023 \cdot 10^{23}$) obtindrem la quantitat d'àtoms i per tant de nuclis que hi ha a un gram de Cr-51:

$$0,0196 \text{ mols} \times 6,023 \times 10^{23} = 1,18 \times 10^{22} \text{ àtoms}$$

- Com l'activitat d'un nucli és igual a la inversa de la vida mitja d'aquest, podem calcular el nombre d'àtoms desintegrats en un dia si dividim el nombre de nuclis ($1,18 \cdot 10^{22}$) per la seva vida mitja (40,29 dies):

$$\frac{1,18 \times 10^{22} \text{ nuclis}}{40,29 \text{ dies}} = 2,93 \times 10^{20} \text{ desintegracions al dia}$$

- És a dir, es produiran $2,93 \cdot 10^{20}$ desintegracions al dia. Com a pas final hem d'utilitzar factors de conversió per a passar de dies a segons, ja que la radioactivitat es mesura en Becquerels i un Becquerel és una desintegració per segon:

$$\frac{2,93 \times 10^{20} \text{ desintegracions}}{1 \text{ dia}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hores}} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minuts}} \times \frac{1 \text{ minut}}{60 \text{ segons}} = 3,39 \times 10^{15} \text{ Becq}$$

Per tant, la quantitat de radioactivitat present a un gram de Cr-51 és de $3,29 \cdot 10^{15}$ Becquerels.

També és mesurable la dosi de radiació que arriba a la matèria viva, és a dir, per exemple, que el nostre cos pot arribar a absorbir. Aquesta altra magnitud es mesura en Sieverts (Sv). Un Sievert equival a 1 joule (J) entre 1 quilogram (kg) de matèria, és a dir, $J \cdot kg^{-1}$.

2.4 Radioactivitat natural i artificial

Hi ha dos tipus de radioactivitat, l'artificial i la natural:

Radioactivitat artificial: Es produeix la radioactivitat induïda quan es bombardegen certs nuclis estables amb les partícules apropiades. Si l'energia d'aquestes partícules té un valor adequat, aquestes penetren dins el nucli bombardejat i formen un de nou que, en cas de ser inestable, es desintegrarà després radioactivament.

Radioactivitat natural: La radioactivitat natural és aquella que existeix a la natura sense intervenció humana, és a dir, aquella radioactivitat que ens arriba procedent del medi ambient. La major part de la radiació a la qual l'ésser humà està exposat és natural.

Les diverses fonts de radiació naturals són:

-Els raigs còsmics: Provenen de l'activitat solar i de la resta d'estrelles. Són altament energètics i ionitzants, i la dosi mitja que rep una persona a l'any és de 0,3 mSievert (mSv). Un Sievert equival a un Joule/kg, i dona la dosi d'energia absorbida per la matèria viva.

-Materials a l'escorça terrestre: És un grup format per elements naturals radioactius que integren l'escorça terrestre (U, Th, Ra). Són menys ionitzants i menys energètics que els raigs catòdics. La dosi mitja que rep una persona a l'any és de menys de 0,6 mSv.

-Radiació interna: A l'aire que respirem, als aliments que ingerim i a l'aigua que bevem hi ha aquest tipus de radiació, ja que prové del triti, C-14 o el K-40 i d'elements resultants de la desintegració del U-238 i el Th-232, que hi són presents a la natura. La dosi mitja que rep una persona a l'any és d'aproximadament 0,6 mSv.

-**Radó:** És la font més important de radiació natural. És un gas invisible, inodor i insípid. Es concentra a zones tancades i poc ventilades. La dosi mitjana que rep una persona a l'any és d'1 mSv.

Podem veure la importància del radó com a font de radioactivitat natural a la Figura 9.

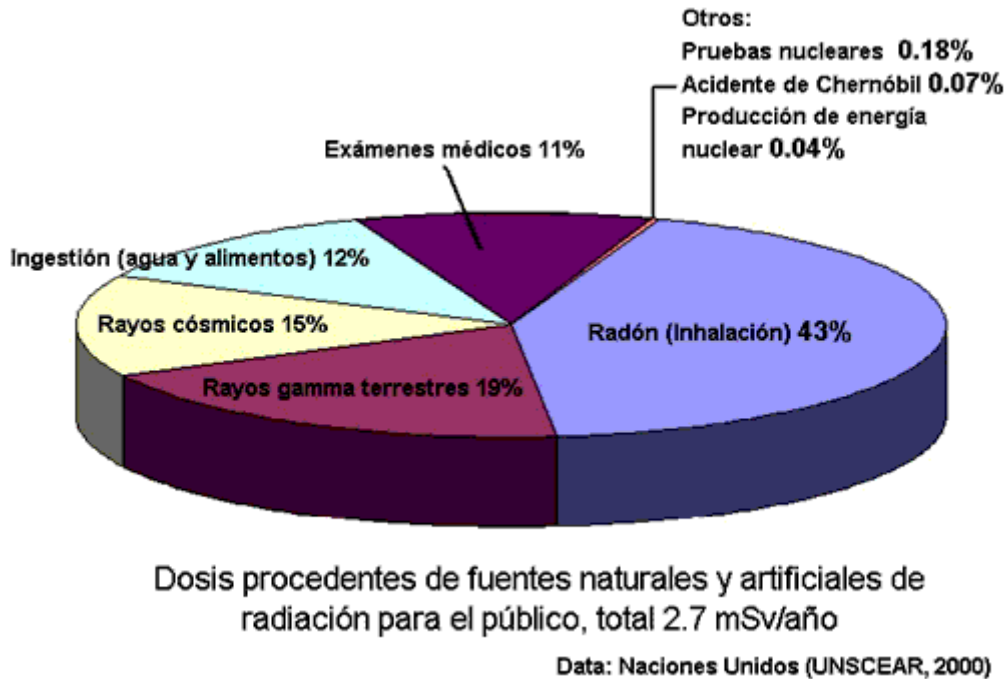


Figura 9. Gràfic on s'aprecia clarament la gran quantitat de radiació que rebem procedent del radó a diversos països europeus

<http://www.radiansa.com/radon/index.htm>

3. RADÓ

El radó (Rn) és un element químic pertanyent als gasos nobles. Té un nombre atòmic de 86 i una massa atòmica de 222 g/mol. És una emanació gasosa producte de la desintegració radioactiva del radi. És un element amb isòtops molt radioactius, és a dir, molt inestables i amb molta energia interna. Els seus nuclis busquen aquesta estabilitat mitjançant l'emissió de partícules alfa i gamma, transformant-se en altres nuclis més estables.

La seva configuració electrònica és $[Xe].4f^{14}.5d^{10}.6s^2.6p^6$ (veure Figura 10)

Grupo→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
↓ Período																				
1	1 H																	2 He		
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo		
				Lantánidos																
				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
				Actínidos																
				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

Figura 10. Taula periòdica dels elements on s'indica la posició del Radó

https://es.wikipedia.org/wiki/Tabla_peri%C3%B3dica_de_los_elementos

El radó té tres isòtops naturals, i a més té uns altres 22 isòtops que han estat sintetitzats de manera artificial. Tots els isòtops del radó són radioactius amb una vida mitja curta.

Els tres isòtops naturals del radó són (Figura 11):

-L'actinó: isòtop radó-219. Té una vida mitja de 3,92 segons. Es produeix a la cadena de desintegració de l'urani-235 i resulta de la desintegració natural de l'actini (Ac).

-El toró: isòtop radó-220. Té una vida mitja de 54,5 segons. Prové de la desintegració del tori-232.

-El radó: Isòtop radó-222. Té una vida mitja de 3,82 dies. Sorgeix de la desintegració de l'urani-238 passant pel radi-226.

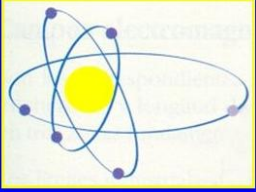
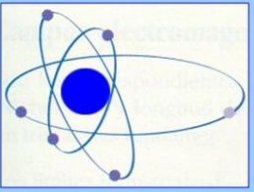
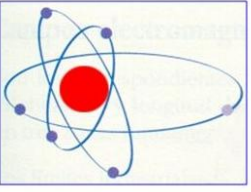
RADON - 222 (RADON)	RADON - 220 (TORÓN)	RADON - 219 (ACTINON)
86 PROTONES 136 NEUTRONES	86 PROTONES 134 NEUTRONES	86 PROTONES 133 NEUTRONES
		
$T_{1/2} = 3,82 \text{ días}$ (330.300 s)	$T_{1/2} = 54,5 \text{ s}$	$T_{1/2} = 4 \text{ s}$

Figura 11: Isòtops naturals del radó

https://es.wikipedia.org/wiki/Tabla_periodica_de_los_elementos

L'isòtop més estable del radó és el radó-222, i és també el més abundant. Gairebé el 100% del radó està format per aquest isòtop.

Per tant, aquest isòtop radó-222 és en el qual ens centrarem a partir d'ara.

Podem veure l'abundància relativa dels isòtops de radó a la Figura 12.

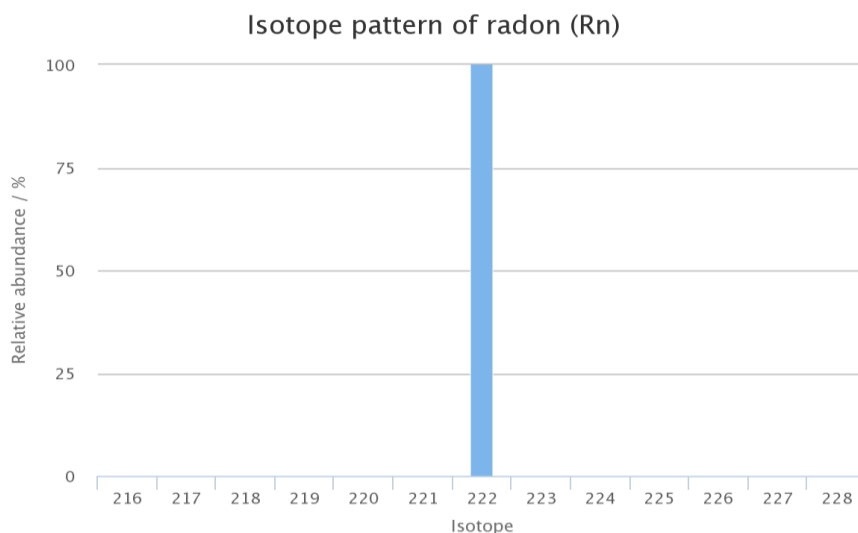


Figura 12. Gràfica on es mostra l'abundància relativa dels isòtops de radó

<http://www.webelements.com/radon/isotopes.html>

3.1 Origen del radó-222

El radó-222 és un isòtop que prové de la sèrie de desintegració de l'urani-238, observable a la Figura 13 a continuació, juntament amb el tipus de radiació que emet cada substància, el seu període de semidesintegració i l'estat més habitual en el qual es troben a la natura.

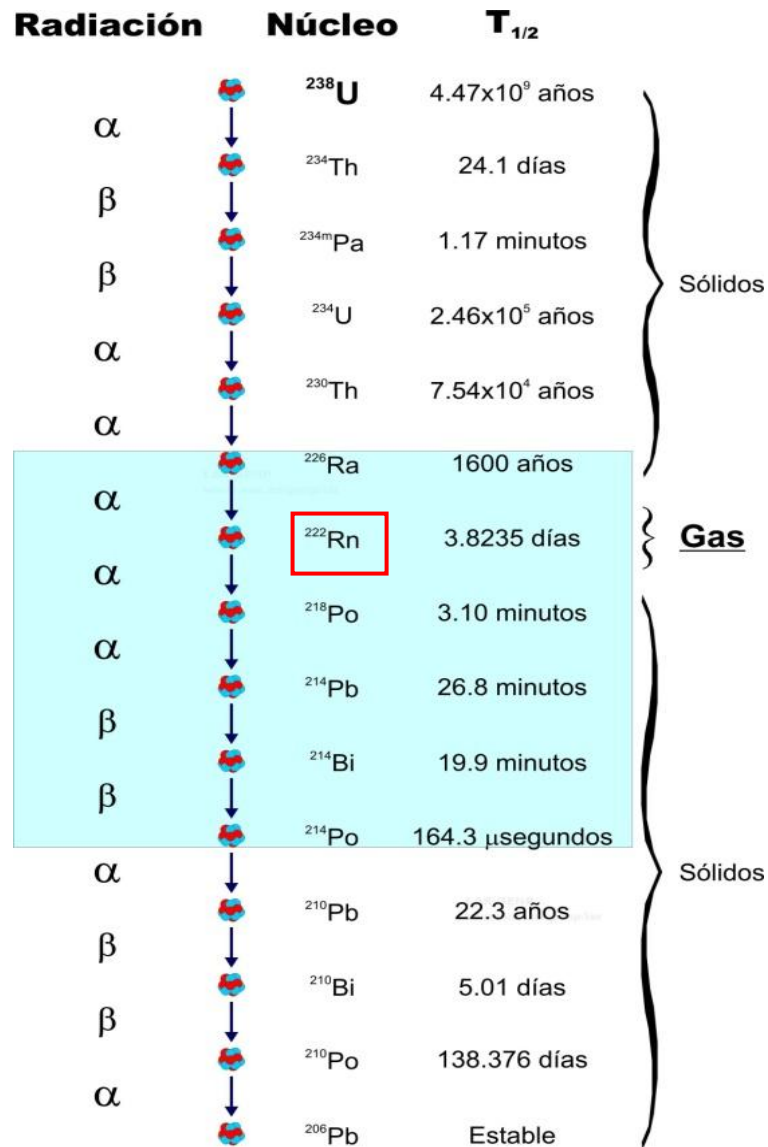


Figura 13: Sèrie de semidesintegració de l'urani-238

http://fpsalmon.usc.es/lar/esp_old/servicios/servicioradon/inforadon.php

3.2 Efectes del radó sobre la salut

El radó és una emanació gasosa, per tant, els éssers vius estem exposats a ell per mitjà de la respiració.

Els nivells de fons de radó a l'aire exterior són generalment bastant baixos, fet que produeix que a zones ben ventilades el radó no sigui un problema, però a àrees tancades els nivells de radó a l'aire poden ser més elevats.

Es sap que els àtoms radioactius que el radó emet al desintegrar-se poden adherir-se a partícules de pols i quedar atrapades als pulmons quan s'inhalen juntament amb l'aire que respiren els éssers vius. A mesura que es continuen desintegrant a l'interior dels pulmons, els àtoms radioactius emeten petites explosions d'energia que poden fer malbé els teixits del pulmó i causar càncer. Segons el comitè científic de les Nacions Unides sobre els efectes de la radiació atòmica (UNSCEAR), el radó és la font de radiació més important a la qual està exposat el públic general, contribuint amb un 43% de la dosi total que rep. Segons l'associació *American Cancer Society*, molts investigadors han coincidit en què aproximadament el 9% dels càncers de pulmó a Europa es poden atribuir a aquesta exposició:

3.3 Quins nivells de radó es consideren elevats?

El nivell de radó que es considera "segur" a l'aire a Espanya és de prop de 40 Bq/m³, encara que cap nivell de radó és absolutament segur. Estudis poblacionals duts a terme durant els 80 i els 90 van demostrar que un nivell elevat de radó domiciliari augmenta el risc de patir càncer de pulmó, així doncs, diversos organismes van decidir prendre mesures i fixar els anomenats nivells d'acció.

La normativa espanyola posa un límit de 300 Bq/m³ a l'aire interior de vivendes ja construïdes i de 100 Bq/m³ a vivendes noves.

Segons un estudi realitzat per la USC (Universitat de Santiago de Compostela), aquesta normativa coincideix bastant amb la normativa nord-americana, que recomana que els nivells mínims de radó siguin d'uns 150 Bq/m³, encara que no són obligatoris i pot variar segons l'estat en el qual ens trobem.

Estudis recents demostren que el risc a patir càncer de pulmó augmenta un 16% per cada 100 Bq/m³.

3.4 Efectes ambientals del radó

Bona part dels compostos del radó trobats al medi ambient provenen de les activitats humanes. El radó arriba al medi ambient a través del sòl, principalment per les mines d'urani i fosfat, i per la combustió del carbó.

Una part del radó que es troba al sòl es mourà a la superfície i passarà a l'aire a través de la difusió a partir de la desintegració de l'U-238.

Com que el radó té una vida radioactiva mitja de quatre dies, significa que la meitat de una quantitat donada de radó es degradarà en uns altres components, normalment menys perjudicials, en quatre dies.

Degut a que el radó-222 prové de l'urani-238, aquest es trobarà a zones on l'urani-238 sigui abundant. Aquestes zones seran zones properes a fàbriques de processat de fosfats o fertilitzants, a instal·lacions on es van fabricar armes nuclears, properes a centrals tèrmiques de carbó, a instal·lacions de mines d'urani o a instal·lacions d'enriquiment d'urani per a combustible. D'altra banda, l'urani-238 també és abundant a zones de sòl format per roques granítiques i sedimentàries (els silicats són un tipus de roca sedimentària), degut al procés de cristallització d'aquestes, per tant a aquestes zones, el radó-222 també serà abundant.

Podem veure el mapa de radiació gamma a Espanya (recordem que la majoria de radiació gamma era emesa pel radó) a la Figura 14, tot comparada amb un mapa on es mostra el tipus de sòl a Espanya a la Figura 15.

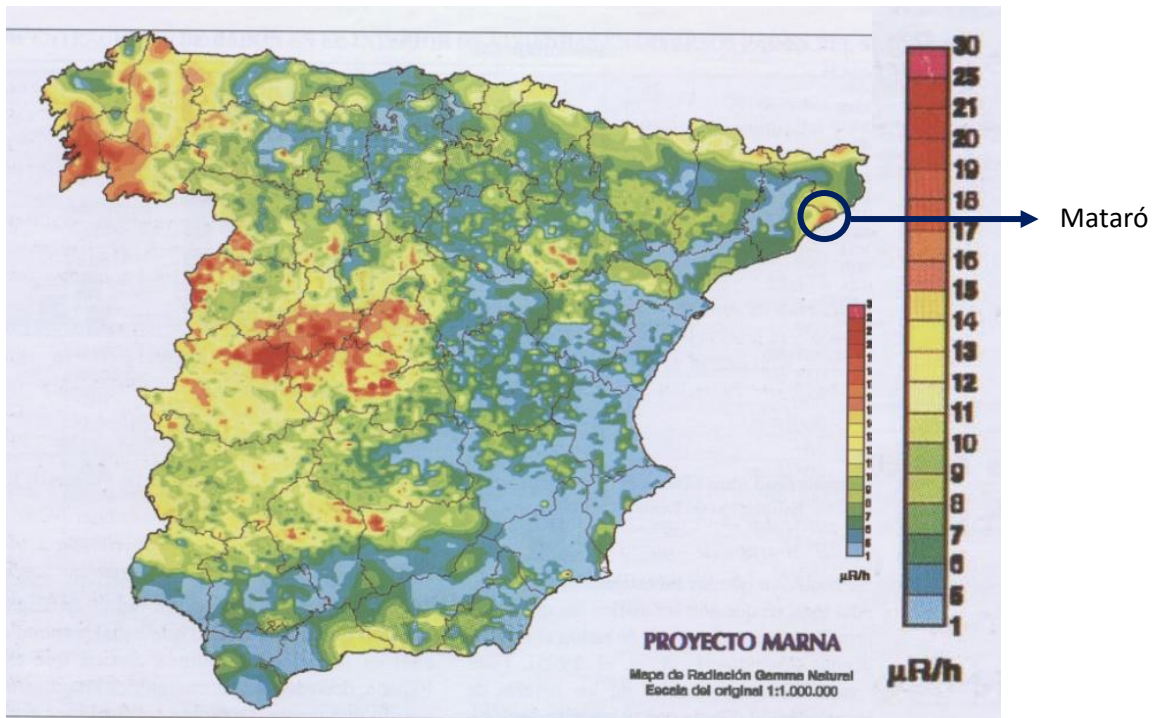


Figura 14: Mapa de la radiació gamma a Espanya

<https://arquitecturasaludable.wordpress.com/category/radiaciones/>

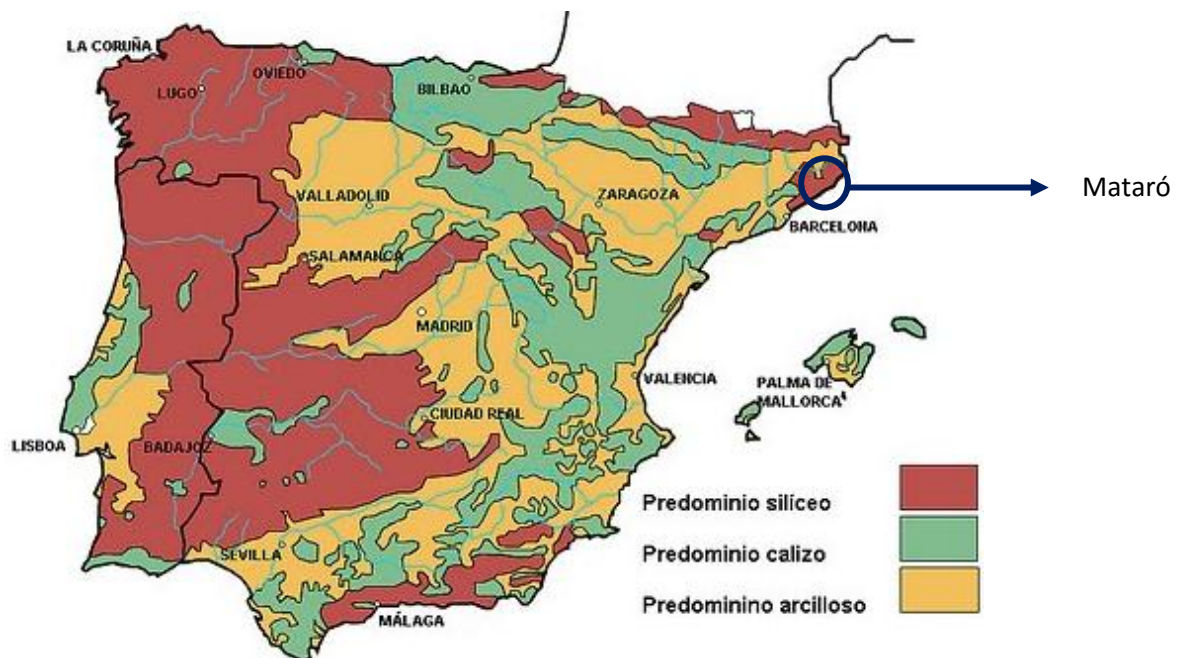


Figura 15: Mapa del tipus de sòl a la Península Ibèrica

<https://humanidadesquercus.wordpress.com/2014/10/28/tipos-de-suelo-y-vegetacion-en-la-peninsula-iberica/>

Així doncs, s'observa clarament que a les zones on el sòl és silícic la concentració de radó és molt superior que a altres zones amb sòls de diferent origen, sobretot a Extremadura, Castella i Lleó, Galícia i l'est de Catalunya (on es troba Mataró).

Degut a aquesta relació detectada pel projecte Marna, i al descobriment de galeries subterrànies a Mataró, anomenades hipogeus, aquest treball s'ha centrat en determinar els nivells de radó a alguns d'aquests indrets que, darrerament, s'estan obrint al públic ja que es consideren d'interès cultural arqueològic.

4. HIPOGEUS DE MATARÓ

Durant els últims anys s'han descobert a Mataró una sèrie de galeries subterrànies dispersades per arreu de la ciutat.

Es tracta d'unes excavacions al subsòl, d'origen granític i sauló (Figura 16), al casc antic de la ciutat de Mataró. Es troben, en la majoria dels casos sota les antigues muralles de la ciutat. No són fàcils de datar, ja que trobem una barreja molt marcada de temps històrics diferents, cosa que indica que s'han reutilitzat durant segles per a diversos usos.



Figura 16: Tipus de sòl a les parets dels hipogeus

S'especula amb la possibilitat de que, donat que són adherits a la muralla (feta durant el segle XVI) el seu origen hauria d'estar entre aquest segle i l' actualitat. Poden haver estat utilitzats des de rebost fins a un refugi puntual en cas d'emergència, a més d'un amagatall per a productes procedents de l'estraperlo (contraban) o per defugir impostos en general.

Avui dia la gran majoria d'aquests hipogeus són privats ja que al llarg dels anys s'ha anat edificant sobre ells, de manera que els propietaris del sòl són també propietaris dels hipogeus. És per això perquè va ser difícil anar a fer mesures a alguns d'ells, ja que per a entrar a aquests havíem de parlar primer amb els seus propietaris. Tan sols un dels seixanta-dos hipogeus que s'han trobat és públic.

4.1 Hipogeus als quals es varen dur a terme mesures

Malgrat l'abundància d'aquesta mena de galeries arreu de Mataró, només va ser possible entrar a 4 d'elles. Aquests hipogeus pertanyien a l'Escola Sagrat Cor de Maria, a la Basílica de Santa Maria (2) i al Casal Nova Aliança de Mataró.

Encara que aquests emplaçaments es troben tots quatre bastant propers entre ells, es creu que les mesures obtingudes són fiables, és a dir, representatives per a qualsevol altre hipogeu més allunyat d'aquests, ja que el sòl és idèntic a tot Mataró.

A continuació es descriuran els 4 hipogeus en els quals es va mesurar la quantitat de radó:

Escola Sagrat Cor de Maria:

Es troba al carrer La Riera, numero 58. Es tracta d'una escola cristiana d'educació infantil, primària i ESO, i va ser fundada l'any 1862 per sis religioses gironines.

El seu hipogeu es troba situat a un racó del pati, ben senyalitzat per a que el jovent no s'hi acosti massa i tapat amb unes làmines de ferro molt pesants.

L'entrada de l'hipogeu es mostra a la Figura 17. Consta d'uns 10 metres d'escales que s'internen fins aproximadament uns 5 metres de fondària i després un passadís d'aproximadament 15 metres més i desemboca en una petita cúpula. Cap al final d'aquest passadís és impossible caminar dempeus ja que no compta amb més d'1,5 metres d'alçada.

Com estava tancat i no es trobava acondicionat per accedir-hi, es va haver d'entrar amb llanternes.



Figura 17: Entrada a l'hipogeu de l'Escola Sagrat Cor de Maria

Basílica de Santa María:

Es troba a la plaça de Santa María. Està declarada com Bé Cultural d'Interès Nacional. Està documentada des de l'any 1054. Era possiblement una petita església preromànica o romànica que perdurà fins a finals del segle XIV, quan es construí el temple gòtic, substituït posteriorment per l'edifici que ha arribat als nostres dies.

El primer hipogeu (1) es troba dins la mateixa basílica, a una petita estança. L'entrada a aquest hipogeu és una cavitat gran a la paret (Figura 18) amb uns 15 metres d'escales que serpentegen i s'endinsen al subsòl fins a uns 10 metres. A continuació hi ha un passadís estret i baix que continua 10 metres més.

A aquest hipogeu també es va haver d'entrar amb llanternes, perquè a més de no tenir instal·lació elèctrica, les escales no es trobaven en bones condicions (els esglaons es trobaven en un estat molt precari).



Figura 18: Entrada a l'hipogeu de la Basílica de Santa María (1)

El segon hipogeu (2) es troba fora de la basílica, a un pàrquing que pertany a la casa parroquial adjacent a la basílica. Personalment, aquest és l'hipogeu que més em va agradar ja que l'entrada a aquest és bastant impactant. Fou el de més difícil accés.

Com es veu a la Figura 19, l'entrada a l'hipogeu no és res més que un forat d'1 metre quadrat al terra i d'uns 2 metres i mig de fondària per on s'havia de baixar amb unes escales extensibles. Una vegada s'arribava al fons, s'havia de baixar uns 10 metres d'escales bastant verticals que baixen uns 5 metres. Seguidament hi ha un passadís curt amb el sostre baix que desemboca en una petita estança circular amb una paret al mig.

També es va haver de baixar amb llanterna.



Figura 19: Entrada a l'hipogeu de la Basílica de Santa Maria (2)

Casal Nova Aliança de Mataró:

Està situat al carrer de Bonaire número 25. Compta amb un parell de plantes. A la planta baixa de l'edifici hi ha una sala d'exposicions artístiques i l'hipogeu. Aquest estava reconstruït, és a dir, els desperfectes que havia pogut patir al llarg del temps havien estat reparats i gran part d'aquest comptava amb il·luminació.

Aquest hipogeu comptava amb una porta metàl·lica pròpia i unes escales d'uns 10 metres ben il·luminades que baixaven 3-4 metres (Figura 20). Una vegada s'acaben les escales ja no hi ha il·luminació, i es va haver de recórrer l'últim tram format per un passadís d'uns 10 metres de llarg amb llanternes.

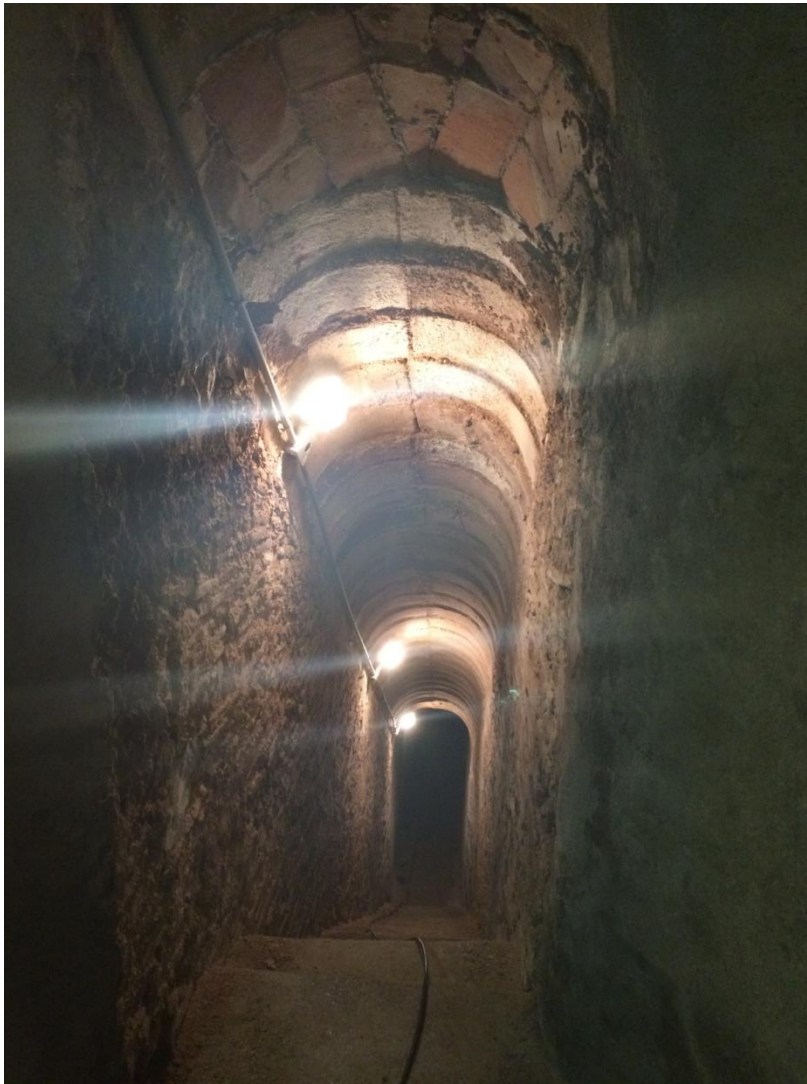


Figura 20: Entrada a l'hipogeu del Casal Nova Aliança

5. RECOPILOCACIÓ DE MESURES

5.1 Aparell mesurador de radó RAD7 de DURRIDGE

L'aparell amb el qual es varen fer les mesures de la quantitat de radó es diu RAD7 (Figura 21). Em va ser proporcionat pel Dr. Jordi García, professor a la UAB, i fou ell també qui em va ensenyar a utilitzar-lo.

L'aparell compta amb diverses parts:

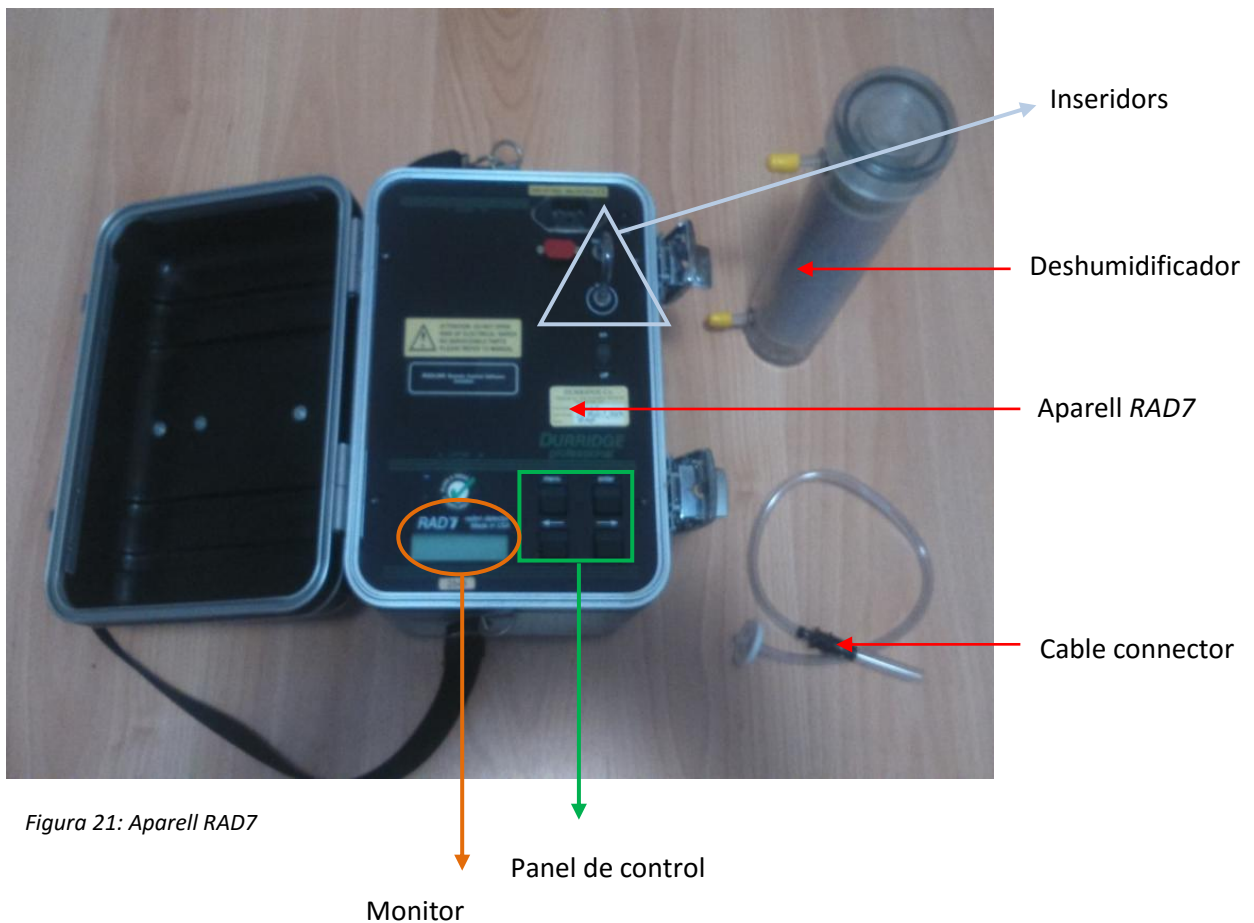


Figura 21: Aparell RAD7

El RAD7 DURRIDGE utilitza un detector d'estat sòlid alfa. Un detector d'estat sòlid és un material semiconductor (silici en general) que converteix la radiació alfa directament en un senyal elèctric.

Un avantatge important dels mecanismes d'estat sòlids és la robustesa. Un altre avantatge és la capacitat per determinar electrònicament l'energia de cada partícula alfa.

L'aire que enregistri l'aparell ha d'estar completament deshumidificat, si no ho estigués, aquest detectaria partícules alfa que s'aturen amb les molècules d'aire i aigua, i si tinguéssim una gran quantitat d'aigua en el sistema, aquest no estaria ben calibrat. Per això és que compta amb un tub deshumidificador amb una sal de cobalt al seu interior, per on es fa passar l'aire abans de que arribi a la màquina. La sal de cobalt canvia de color amb la humitat, de manera que a mida que l'anem fent servir passa d'un color blau (sal deshidratada) a un color rosa (sal hidratada). D'aquesta manera, és fàcil identificar quan la columna s'ha de regenerar i hem de canviar la sal que s'ha humitejat per una sal seca.

El deshumidificador es connecta a l'aparell per mitjà d'un cable que fa que l'aire que surt del deshumidificador entri directament a l'aparell perquè es pugui valorar la concentració de radó.

Per mitjà del panell de control es selecciona la freqüència amb la qual es vol que l'aparell enregistri dades i el temps durant el qual aquest estarà mesurant.

Una vegada finalitzada la presa de dades, aquestes apareixeran al monitor per a que es puguin valorar.

Les seqüències introduïdes a l'aparell per a dur a terme les mesures foren que prenguéssim mostres cada hora durant un dia o dos, depenent de si ens donaven o no permís per a deixar l'aparell més temps. Així tindríem mostres preses durant un temps suficientment perllongat per a obtenir un resultat fiable, ja que si fos menor el temps durant el qual s'està prenent les mesures, els resultats podrien ser imprecisos ja que no hauria passat el temps necessari des de l'entrada i sortida del personal a l'hipogeu per a que l'ambient s'estabilitzés una altra vegada.

Una vegada s'entrava a l'hipogeu i s'arribava al fons d'aquest, només s'havia de muntar l'aparell, engegar-lo i deixar aquest a terra fins que es tornès per a recollir-lo.

5.2 Mesures obtingudes

Hipogeu Escola Sagrat Cor de Maria:

Vam deixar l'aparell RAD7 mesurant durant aproximadament les 48 hores del cap de setmana del 30 de setembre i l'1 d'octubre de 2015.

A la Figura 22 es mostra el gràfic on apareixen les mesures obtingudes:

Hipogeu Escola Sagrat Cor de Maria

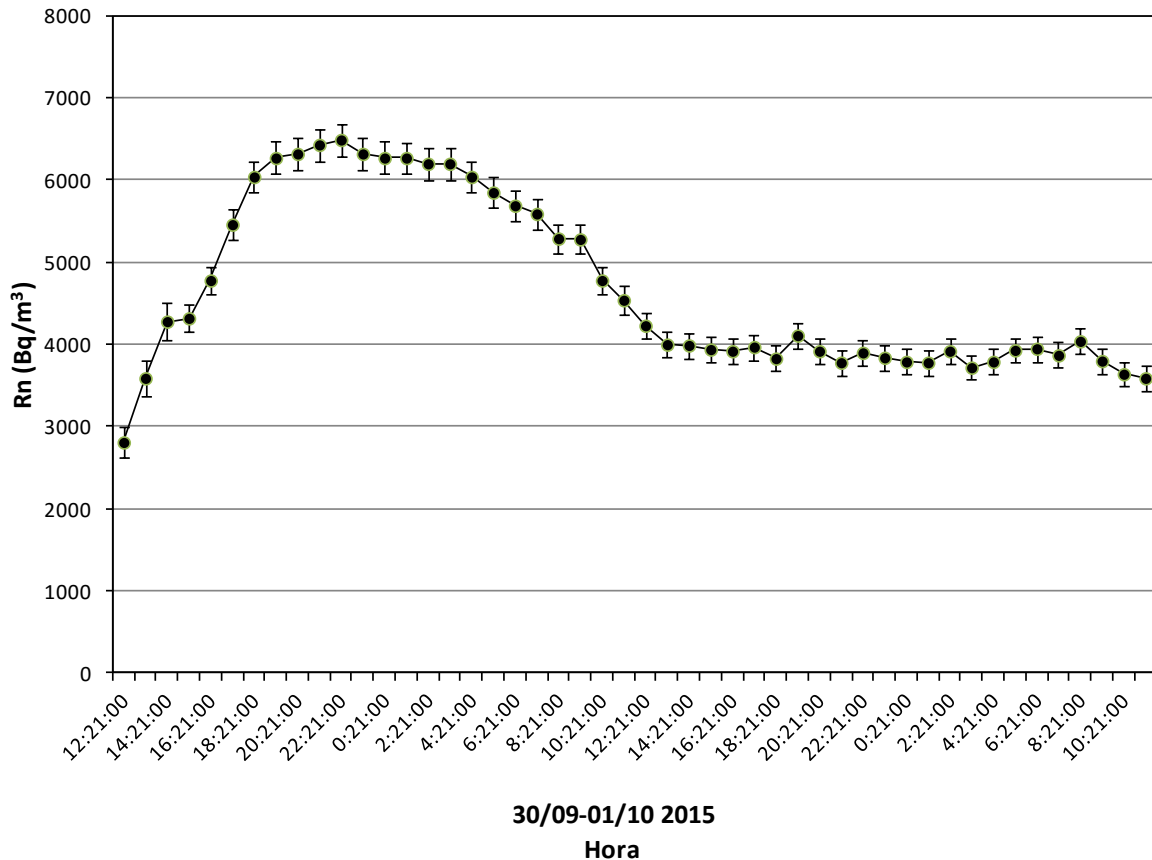


Figura 22: Mesures en Bq/m³ a l'hipogeu Escola Sagrat Cor de Maria respecte el temps.

El gràfic mostra com al principi la concentració de radó es dispara. No és fins passades 5 hores que la concentració comença a estabilitzar-se en 6100-6200 Bq/m³, tot i que la concentració disminuirà entre les 2:21 i les 12:21 fins a estabilitzar-se de nou en 4000 Bq/m³.

El motiu pel qual la concentració de radó es dispara al començament de la presa de dades és molt probablement que l'aparell no hagués deshumidificat del tot l'aire que entra al seu interior, i que acabés de fer-ho entre les 18 i les 20 del mateix 30 de setembre. Seguidament el RAD7 mesura concentracions molt elevades, aproximadament de 6000 Bq/m^3 perquè portava bastant temps sense ser obert ni airejat. Per últim, la causa de que la concentració baixés d'uns 6000 Bq/m^3 a uns 4000 és que al obrir l'hipogeu per entrar a dur a terme les mesures vam airejar-lo, permetent que la concentració disminuís.

Hipogeu Basílica de Santa Maria, interior (1):

L'aparell RAD7 va ser dipositat durant unes 18 hores a l'hipogeu, els dies 2 i 3 d'octubre del 2015. A la Figura 23 es mostra el gràfic on apareixen les mesures obtingudes.

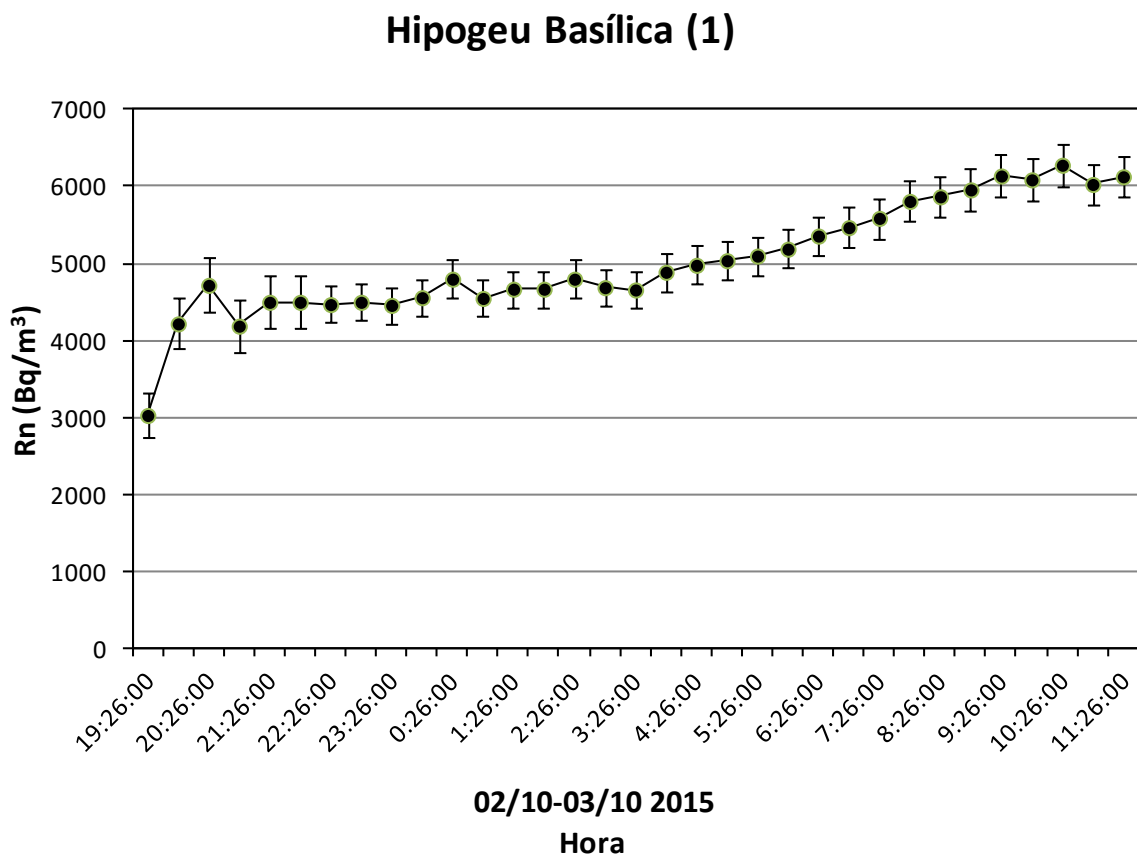


Figura 23: Mesures en Bq/m^3 a l'hipogeu Basílica de Santa Maria (1)

En aquest cas, no vam comptar amb molt de temps per dur a terme les mesures de radó a aquest hipogeu. A la gràfica observem com la concentració de radó incrementa fins aproximadament les 9 del dia 3 d'octubre, quan comença a estabilitzar-se la mesura al voltant dels 6000 Bq/m³.

El motiu pel qual la concentració de radó durant la major part de la presa de dades augmenta és el mateix que l'anterior, l'aparell no va deshumidificar del tot l'aire fins les 9 aproximadament del 3 d'octubre. També podria ser degut a la pertorbació creada per nosaltres al entrar al hipogeu a dipositar l'aparell, ja que duent a terme aquesta acció es ventila l'interior i la concentració de radó no retorna a uns nivells habituals fins passades unes hores.

Hipogeu Basílica de Santa Maria, pàrquing (2):

La mesura de radó a aquest altre hipogeu es va dur a terme casi simultàniament que el de l'altre hipogeu de la basílica gràcies a que vam poder comptar amb un altre aparell proporcionat pel Dr. García de la Universitat Autònoma de Barcelona.

L'aparell va estar mesurant el mateix temps que al primer hipogeu esmentat de la basílica, pràcticament durant 18 hores els dies 2 i 3 d'octubre del 2015.

A la Figura 24 es mostra el gràfic on apareixen les mesures obtingudes.

Hipogeu Basílica (2)

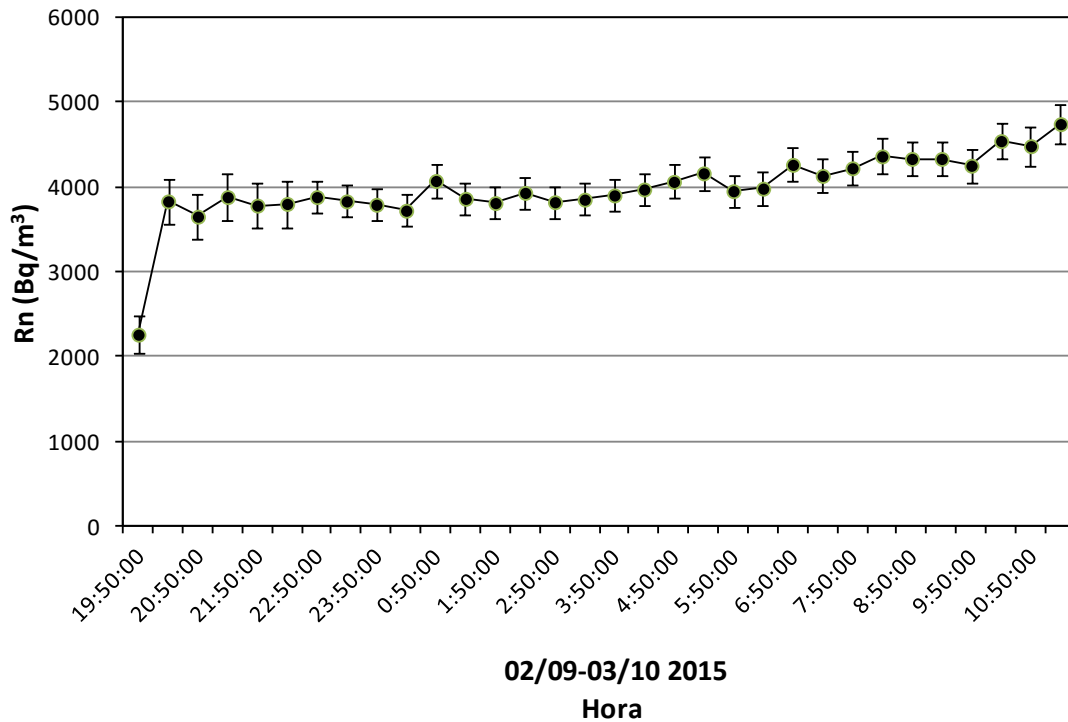


Figura 24: Mesures en Bq/m^3 a l'hipogeu Basílica de Santa Maria (2)

Com en el cas anterior, no vam comptar amb gaire temps per dur a terme les mesures, això va produir que no s'estabilitzessin les mesures, encara que podem deduir que s'estabilitzaria al voltant d'uns $5000 Bq/m^3$.

També com en els anteriors casos, veiem com la concentració de radó incrementa durant les primeres mesures. Aquest fet és degut també a que l'aparell no va acabar de deshumidificar del tot l'aire que enregistrava, encara que també pot ser degut a que al entrar a l'hipogeu airegèssim aquest i la concentració de radó disminuís.

Hipogeu Casal Aliança de Mataró:

El RAD7 va estar mesurant en aquest hipogeu durant els dies 3 i 4 d'octubre de 2015 durant unes 19 hores. Hauria estat més però la bateria es va esgotar al voltant de les 7 del matí del dia 4 d'octubre.

Aquest hipogeu comptava amb una porta metàl·lica amb esclatxes que deixaven passar l'aire i per tant esperàvem una concentració de radó menor que a la dels altres hipogeu.

A la

Figura 25 es mostra el gràfic on apareixen les mesures obtingudes.

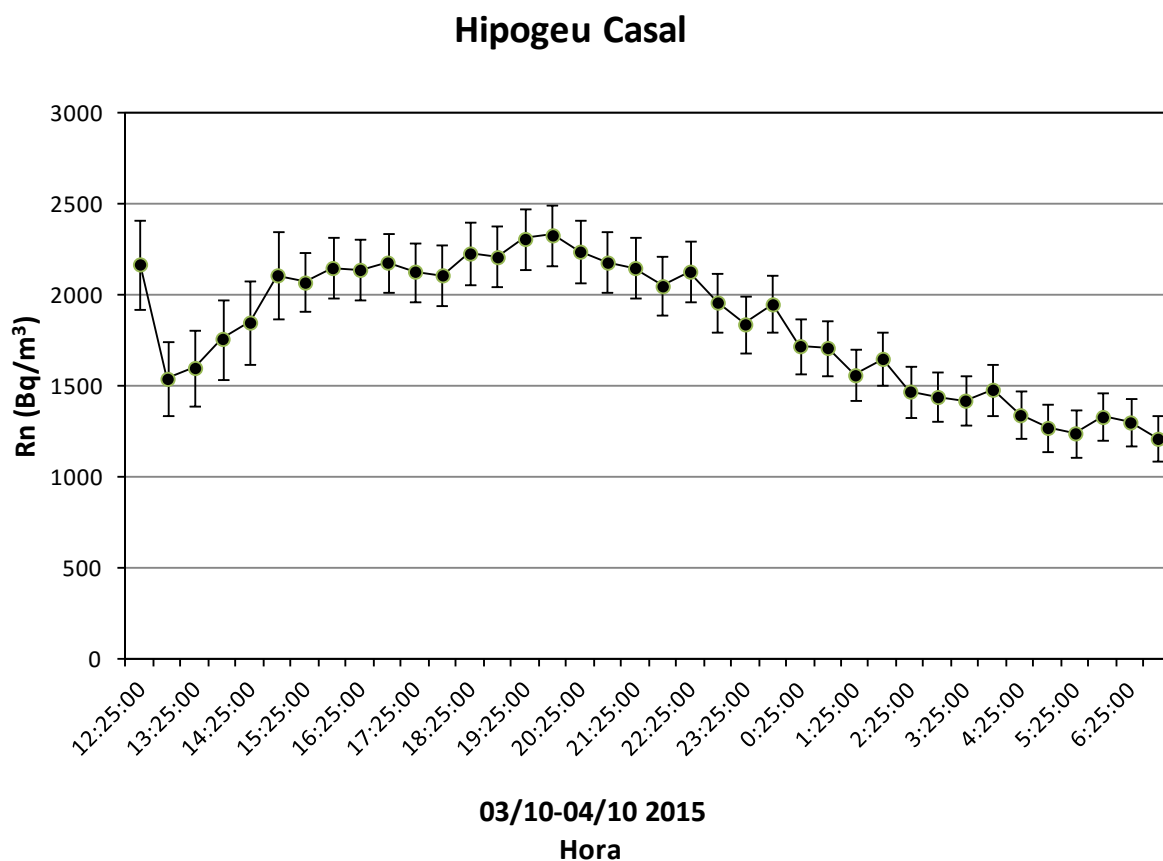


Figura 25: Mesures en Bq/m³ a l'hipogeu hipogeu Casal Aliança

Degut a que la bateria de l'aparell va esgotar-se passades 18 hores, no es va mesurar durant el temps suficient per a que les mesures s'estabilitzessin, però es dedueix que tendiria a fer-ho al voltant de 1000 Bq/m³.

A més de fer les mesures als hipogeus, es va dur a terme una cinquena mesura a un habitatge de Vilassar de Mar, que podem considerar valors de fons ja que les mesures estan preses a un indret airejat, per a així poder comparar els resultats obtinguts, mostrats a la Figura 26 amb els exposats anteriorment.

Habitatge Vilassar de Mar:

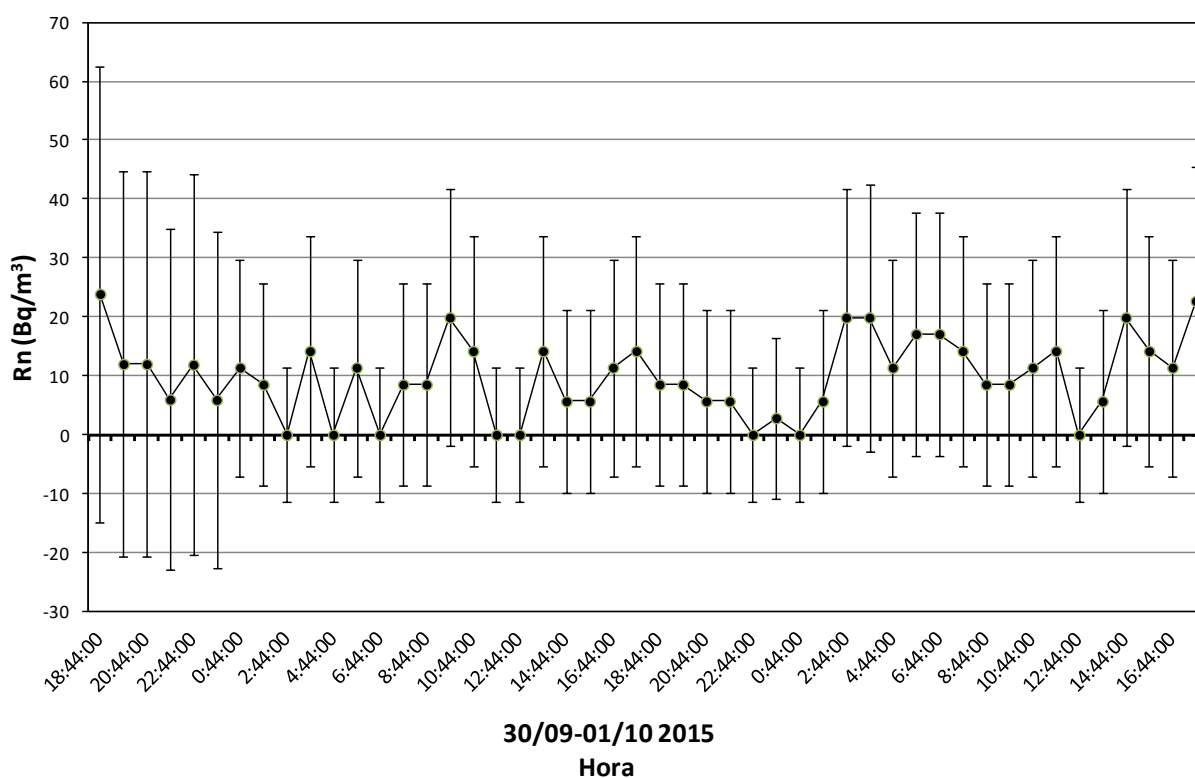


Figura 26: Valor de fons de mesura de radó a una vivenda vilassarenca

A aquest gràfic s'observa com els nivells de radó són molt baixos, la mesura més alta de radó és de 24 Bq/m³, tenint en compte que el possible error en aquesta mesura és d'uns 35 Bq/m³.

Segons Quindòs et al. (1991) la concentració mitja de Rn a habitatges espanyols és de 41 Bq/m³, per tant, el valor que es mostra a la Figura 26 es pot considerar com un valor de fons per comparar amb les mesures dels hipogeus obtingudes.

6. CONCLUSIONS DE LA PART EXPERIMENTAL

A continuació, les dades obtingudes a les mesures dutes a terme a l'interior dels hipogeu seran contrastades amb les dutes a terme a l'habitatge (Figura 27):

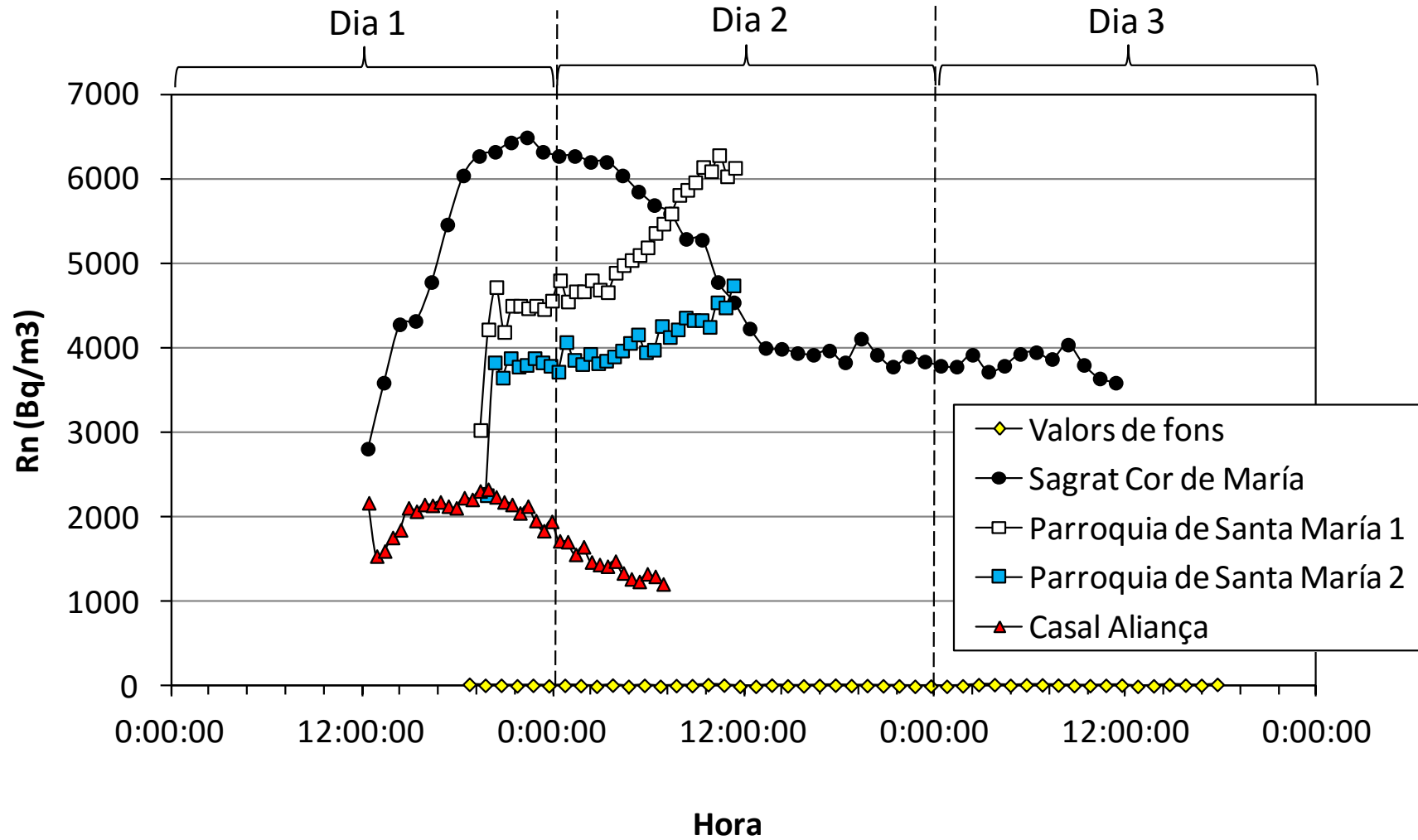


Figura 27: Gràfic comparativa

Els nivells de radó mesurats a l'interior dels hipogeus són molt superiors als nivells mesurats a la vivenda, mentre els nivells mesurats als hipogeus estan compresos entre els 1000 i els 7000 Bq/m³, les mesures obtingudes a la vivenda no superen mai els 50 Bq/m³. Aquestes últimes comptaven amb un error de mesura d'aproximadament igual valor al de la concentració de radó mesurat, fet que ens porta a negligir la concentració de radó a la vivenda. Podem extrapolar, doncs que la concentració de radó sigui nul·la a l'aire de la zona, és a dir, Vilassar de Mar, i per tant també a l'aire mataroní degut a la proximitat entre aquestes dues poblacions.

Això confirma l'hipòtesi plantejada a l'inici del treball, que exposava que ja que el sòl mataroní és d'origen granític, per tant els hipogeus, al ser unes galeries que es troben al subsòl, també ho seran, i els hipogeus són uns habitacles que no compten amb una bona ventilació, la concentració de radó a l'interior d'aquests soterranis serà molt elevada respecte a la concentració d'aquest a l'aire lliure i a altres habitatges que es trobin a la superfície.

7. OBERTURA DELS HIPOGEUS AL PÚBLIC

Per a finalitzar el treball, he decidit plantejar un cas hipotètic en el qual es decideix obrir aquests hipogeus per a que el públic interessat pugui anar a fer una visita guiada pel seu interior.

En aquest cas s'hauria de contractar a un treballador que fes de guia a cada hipogeu, per a garantir la seguretat del públic, i encara que és segur que mentre aquest estigui fent les explicacions que cregui convenients abans d'entrar a l'hipogeu ni ell ni els visitants patiran cap risc, el treball obligaria a aquest guia a romandre a l'interior de l'hipogeu durant moltes hores diàries, així doncs: Seria segura aquesta situació per a l'empleat? Quina seria la dosi de radó que captaria i quant augmentaria el risc a patir alguna mena de càncer per culpa d'aquest radó?

Aquestes preguntes podem contestar-les gràcies a un calculador de dosi de la pàgina web (<http://www.wise-uranium.org/rdcrn.html>):

Suposem que la concentració de radó a l'interior d'aquest hipogeu és d'aproximadament 4000 Bq/m³ (una concentració molt probable ja que a l'interior de pràcticament tots els hipogeus on es van prendre mesures s'arribava).

Si aquest treballador tingués una jornada de 8 hores diàries, i treballés 5 dies a la setmana durant 43 setmanes de les 52 que conté un any (és a dir, 1720 hores a l'any), durant aquest any hauria acumulat una dosi de 51,85 mSv i el risc de patir càncer augmentaria un 0,216% segons el calculador de dosi de la pàgina web esmentada abans.

- Podem fer una gràfica comparativa per a que es vegi clarament la dosi que rebria aquest treballador pel fet de dur a terme la seva feina a l'interior dels hipogeus durant un any amb la dosi que rep una persona al fer-se una radiografia de tòrax, un escàner (TAC), segons la pàgina web "<http://salud.ccm.net/faq/4706-radiactividad-producida-por-los-examenes-medicos>" o amb la dosi que rep després d'un any d'alimentació estàndard segons la Figura 9 (Figura 28):

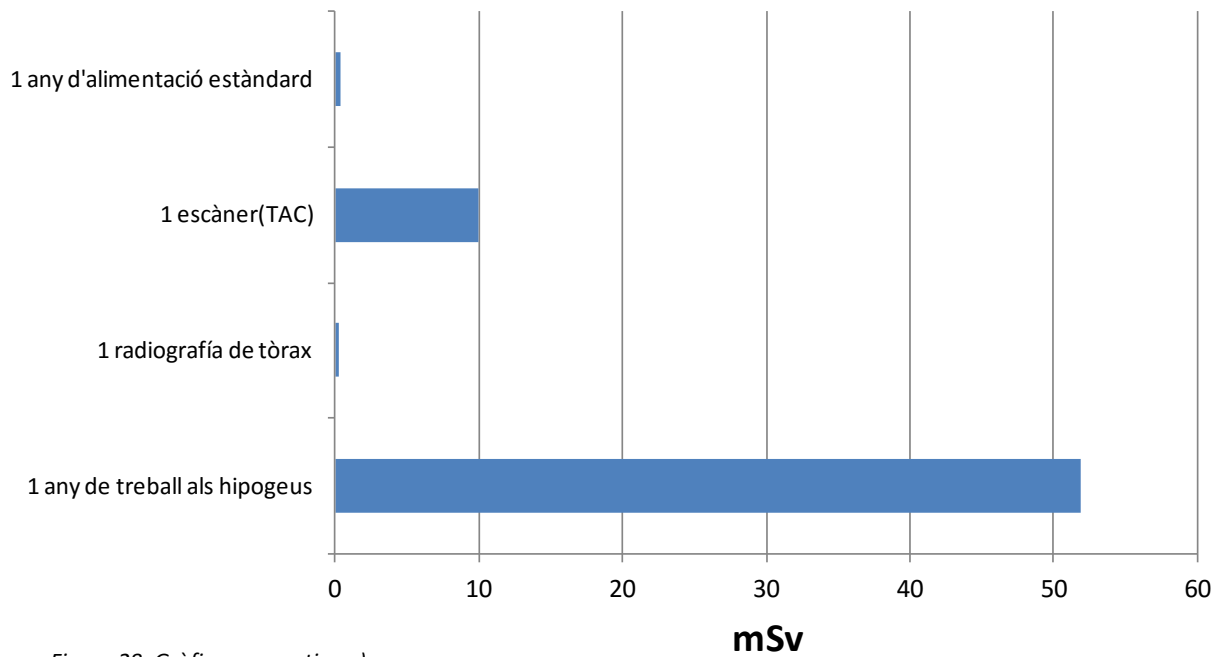


Figura 28: Gràfic comparativa a)

- També podríem comparar-la amb la dosi que rep una persona que viu a un edifici el qual es troba als màxims permessos de concentració de Rn (300 Bq/m^3) i que passa cada dia aproximadament 12 hores al seu interior al llarg d'un any sencer (Figura 29):

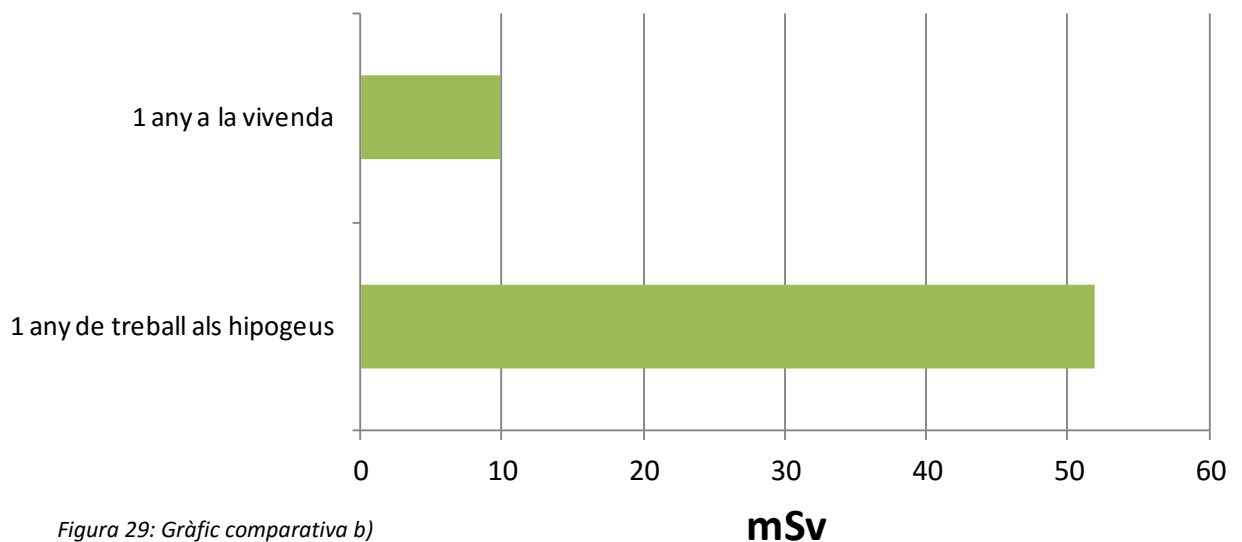


Figura 29: Gràfic comparativa b)

Si aquest treballador estigués treballant com a guia als hipogeus durant 40 anys (temps aproximat durant el qual una persona és activa laboralment), durant aquests 40 anys hauria acumulat una dosi de 2,07 Sv i el risc de patir càncer hauria augmentat fins a un 8,64%.

Així doncs, s'haurien de fer algunes modificacions per tal que el treballador pogués dur a terme la seva feina sense córrer cap risc:

Una possible solució al problema seria contractar a quatre o cinc treballadors per a cada hipogeu per a que es dividissin les hores de treball i així dividir el risc de patir càncer entre el número total de treballadors a cada hipogeu, encara que augmentaríem el nombre de persones exposades al risc. Una solució costosa econòmicament i no gaire eficaç, ja que continuaria existint un determinat risc per als treballadors, arguments segons els quals jo no aplicaria aquesta solució.

Una altra solució al problema plantejat podria ser augmentar la taxa de ventilació a l'interior dels hipogeus per a que així l'aire s'anés renovant i canviant per l'aire lliure exterior, amb una concentració de radó ínfima. Això es podria fer mitjançant un petit extractor d'aire que es situés a l'entrada de l'hipogeu. Aquesta solució seria més senzilla i viable econòmicament que l'anterior, i encara que segurament continuaria existint un cert risc per als treballadors, aquest seria d'un percentatge tant baix que pràcticament el podríem negligir.

8. CONCLUSIONS GENERALS DEL TREBALL

Estic molt satisfet amb el treball realitzat i la organització d'aquest. Encara que abans d'iniciar el treball esperava que la realització d'aquest fos feixuga i avorrida, m'he anat adonant de que m'ho passava bé fins i tot buscant informació (cosa que pot semblar una mica pesada). A més, els resultats han estat els esperats i penso que la investigació s'ha dut a terme de manera molt correcta encara que vaig haver de superar alguns problemes que van sorgir mentre aquesta avançava.

El primer problema que va aparèixer va ser que no va ser fàcil el coordinar-se amb altres persones i institucions, com per exemple amb l'arqueòleg municipal, en Joaquim García. Això va produir que la temporització del treball no depengués només de mi. El segon problema fou que al dur a terme la primera presa de dades a l'hipogeu situat a l'escola Sagrat Cor de Maria, la concentració de radó no arribava a estabilitzar-se ja que el temps durant el qual va estar mesurant va ser molt curt (aproximadament 14 hores), i vam haver de tornar uns dies després a repetir la mesura, aquesta vegada durant un cap de setmana complet. Un altre dels problemes que van sorgir va ser que l'aparell RAD7 que es va portar a fer la mesura al Casal Aliança de Mataró no li quedava bateria, i vaig adonar-me just quan em disposava a deixar-lo allà per a que mesurés. Així doncs es va haver de tornar un altre dia amb l'aparell carregat completament. Un problema diferent que també es va presentar va ser que el segon aparell RAD7 amb el que comptàvem va patir una avaria en els comandaments, fet que va impossibilitar llegir les dades que aquest havia recopilat. Es va poder plantar cara a aquesta dificultat sorgida gràcies al professor Jordi García-Orellana, que molt amablement ens va rebre al seu despatx de la UAB per a mirar d'extreure les dades de l'aparell per a que poguessin ser llegides.

Malgrat estar molt content amb el treball resultant, si l'hagués de tornar a fer de nou miraria de mesurar a més hipogeus per comptar amb el màxim número de dades possible. També, si fos possible, intentaria que les seqüències de la presa de dades fossin més llargues, aproximadament totes d'entre dos i tres dies per a així poder fer-nos una millor idea de la variació de la concentració de radó a l'interior dels hipogeus.

També, si hagués estat possible comptar durant un marge més ampli de temps amb els aparells RAD7, hauria ampliat el treball duent a terme mesures a diferents pàrquings de l'àrea metropolitana mataronina i comparant aquests resultats amb els obtinguts a l'interior dels hipogeus.

Al meu parer, realitzar el treball de recerca ha sigut molt profitós, ja que m'ajudarà a fer els possibles treballs que hagi de fer en un futur. A fi de comptes, penso que el temps invertit a dur a terme el treball ha estat molt positiu.

9. BIBLIOGRAFÍA

Adolfo Figueiras, USC. Los Mapas de Radón, experiencias Internacionales. Presentació en diapositives.

Quindós L. S., Soto J., Fernández P.L. (1991). Medida de la concentración de radón en el interior de viviendas españolas. Revista Española de Física, 5 (1).

San Andrés Rodenas, Roger. Còpia del Treball de Recerca: *Radioactivitat per Rn a les fonts de la Serralada Litoral. Factors que influeixen en la concentració*. Facilitat per Jordi García Orellana, professor de la UAB.

Fonts bibliogràfiques web:

JULIOL 2015:

Dia 23:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Radiactividad>

<http://energia-nuclear.net/definiciones/radioactividad.html>

Dia 30:

<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0504-01/radiactividad.html>

<http://www.fbfqf.unt.edu.ar/institutos/quimicaanalitica/radioquimica/objetos/Historia%20de%20la%20radiactividad.pdf>

AGOST 2015:

Dia 09:

<http://unidadderadiactividad.blogspot.com.es/p/historia.html>

Dia 11:

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Is%C3%B2top>

http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/partalfa/partalfa.html

<http://www.fullquimica.com/2010/10/particulas-subatomicas-fundamentales.html>

<https://grupo1radiobradiop.wordpress.com/2012/04/01/poder-de-penetracion-de-las-particulas-alfa-beta-y-gama/>

Dia 12:

https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_por_neutrones

https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_capture

Dia 17:

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/rn.htm>

<http://garzon.narod.ru/02espanol.html>

Dia 19:

<http://www.cordemariamataro.cat/>

https://ca.wikipedia.org/wiki/Bas%C3%ADlica_de_Santa_Maria_de_Matar%C3%B3#Hist.C3.B2ria

<http://www.santlluc.org/Sala%20al%20Casal%20CAT.html>

Dia 26:

<http://www.ugr.es/~amaro/radiactividad/tema7/node10.html>

<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0504-01/fnaturales.html>

<http://html.rincondelvago.com/radiactividad-artificial-y-natural.html>

SETEMBRE 2015:

Dia 2:

<http://javierpancorbo.blogspot.com.es/2011/11/aguas-radiactivas-iii-termalismo-y.html>

Dia 3:

<http://www.radiansa.com/radon/index.htm>

<http://www.cancer.org/espanol/cancer/queesloquecausaelcancer/otrosagentescancerigenos/radon-carcinogeno>

<http://www.webelements.com/radon/isotopes.html>

NOVEMBRE 2015:

Dia 21:

http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/vidamedia/vidamedia.html

http://newton.cnice.mec.es/newton2/Newton_pre/escenas/fisicamoderna/periodosemidesintegracion.php

Dia 29:

http://www.durridge.com/products_rad7.shtml

DESEMBRE 2015:

Dia 20:

<http://www.durridge.com/documentation/RAD7%20Manual.pdf>

Dia 27:

<http://salud.ccm.net/faq/4706-radiactividad-producida-por-los-examenes-medicos>

Agraïments:

M'agradaria molt, abans d'acabar el treball, agrair l'ajuda rebuda durant la realització d'aquest. Hi ha hagut una gran quantitat de gent sense l'ajuda de la qual aquest treball hauria estat impossible de realitzar, així que intentaré no allargar-me massa.

En primer lloc m'agradaria donar les gràcies a la meva mare. Va ser ella qui em va donar la idea de fer un treball relacionat amb la radioactivitat, qui em va ajudar a buscar informació i a qui acudia si tenia qualsevol dubte.

També he de donar les gràcies a la Eugènia Nicolàs Ponsico, la meva tutora, pel seu esforç i paciència a l'hora de corregir els esbossos d'aquest treball que li enviava i per les seves idees, i al Jordi García-Orellana, ell fou qui em donà la idea per fer la part pràctica del treball, qui em va donar telèfons de contacte per a que pogués trucar i qui va subministrar-me els aparells necessaris per a poder realitzar la investigació. Moltes gràcies a tots dos.

Finalment, agrair la important ajuda de l'arqueòleg municipal de Mataró, en Joaquim García, que va proporcionar-me els contactes dels propietaris de tots els hipogeus on es va investigar. També la del Patronat de la Fundació Privada Cor de Maria Mataró, especialment a la Montse i a en Miquel, a la Núria, del Casal Aliança de Mataró, i a en Pepe, qui em va ajudar a la Basílica de Santa Maria de Mataró.

Moltíssimes gràcies a tots, aquest treball és en gran part vostre.