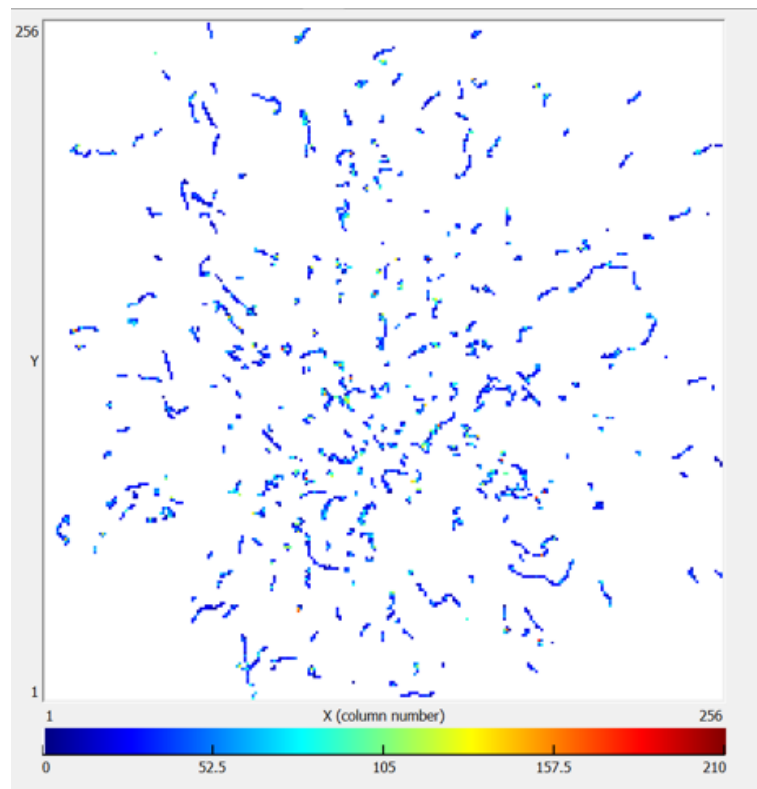


RADIACIÓ NATURAL IONITZANT A LA COMARCA DEL BAIX CAMP

Blanca Álvarez Yustes



Dirigit per Eva Brull

2n Batxillerat A.

Lestonnac L'Ensenyança

TARRAGONA, 09/12/2022

AGRAÏMENTS

Vull agrair a la meva tutora que m'animà a aprofundir en aquest camp, em recolzà i va ser tan amable de contactar amb en Daniel Parcerisas, del projecte Admira, facilitant-ho tot. Gràcies Eva!

Vull agrair als meus pares que m'han fet de xofer, auxiliars de camp i *coaching* per no defallir en les prop de 20 sortides de camp a ple estiu. Gràcies pares!

Vull agrair l'empresa Alquilerinstrumentos.com i a en Josep, la facilitat, l'eficiència i el recolzament moral. Gràcies Josep!

Vull agrair molt en Daniel Parcerisas per la seva disposició a deixar-me el comptador Minipix en un gest realment generós. Les seves explicacions em van ser eficaç des del minut zero. Gràcies Daniel!

ABSTRACT

Les radiacions ionitzants són la causa d'un gran nombre de malalties sovint mortals. Pot ser d'origen electromagnètic o de partícules i la principal font de radiació ionitzant és la naturalesa, les fonts artificials són menys importants i més controlables. La radiació natural pot originar-se al cosmos, sent més intensa a major altura, o a les roques presents al sòl (geològica). La comarca del Baix Camp té zones qualificades de risc radioactiu per gas Radó i Centrals Nuclears. Es fan mesures en 39 punts corresponents a diferents sostrats geològics, a diferents alçades i a prop de la central nuclear. Es va utilitzar un comptador Geiger (μSv) i un comptador Minipix (MeV i imatges). Es va crear un mapa (Mymaps) amb les ubicacions, fotos i dades geològiques. Els resultats mostren que els nivells de radiacions no son perillosos, que la Central Vandellós II es troba en una zona de molt baixes emissions, que la diferència d'alçada entre el punt més alt i el més baix no es reflecteix en diferent nivell de radiació i que les zones de risc radioactiu estan relacionades amb el substrat geològic.

ABSTRACT

Ionizing radiation is the cause of a large number of frequently fatal diseases. They can be of electromagnetic or particle origin and the main source of ionizing radiation is nature. Artificial sources are less important and more controllable. Natural radiation can originate in the cosmos, being more intense at higher altitudes, or in the rocks present in the ground (geological). The Baix Camp region has areas classified as radioactive risk due to Radon gas and Nuclear Power Plants. Measurements are made at 39 points corresponding to different geological substrates, at different heights and near the nuclear power plant. A Geiger counter (μSv) and a Minipix counter (MeV and images) were used. A Mymaps map was created with the locations, photos and geological data. The results show that the radiation levels are not dangerous, that the Vandellós II Power Plant is located in an area of very low emissions, that the difference in height between the highest point and the lowest point is not reflected in a different level of radiation and that radioactive risk zones are related to the geological substrate.

ABSTRACT

Las radiaciones ionizantes son la causa de un gran número de enfermedades frecuentemente mortales. Pueden ser de origen electromagnético o de partículas y la principal fuente de radiación ionizante es la naturaleza. Las fuentes artificiales son menos importantes y más controlables. La radiación natural puede originarse en el cosmos, siendo más intensa a mayor altura, o en las rocas presentes en el suelo (geológica). La comarca del Baix Camp tiene zonas calificadas de riesgo radiactivo por gas Radón y Centrales Nucleares. Se realizan medidas en 39 puntos correspondientes a diferentes sustratos geológicos, a diferentes alturas y cerca de la central nuclear. Se utilizó un contador Geiger (μSv) y un contador Minipix (MeV e imágenes). Se creó un mapa Mymaps con las ubicaciones, fotos y datos geológicos. Los resultados muestran que los niveles de radiaciones no son peligrosos, que la Central Vandellós II se encuentra en una zona de muy bajas emisiones, que la diferencia de altura entre el punto más alto y el más bajo no se refleja en distinto nivel de radiación y que las zonas de riesgo radiactivo están relacionadas con el sustrato geológico.

ÍNDIX

1.- INTRODUCCIÓ	5
1.1.- ANTECEDENTS:	5
1.2.- OBJECTIUS:	5
1.3.- METODOLOGIA:	6
2.- FONAMENTS TEÒRICS	7
2.1.- ESTRUCTURA ATÒMICA	7
2.2.- RADIACIÓ I RADIOACTIVITAT	7
2.3.-DESCOMPOSICIÓ ATÒMICA O DECAIMENT RADIOACTIU	8
2.4.- TIPUS DE RADIACIÓ	9
2.5.- RADIACIÓ NATURAL I ARTIFICIAL	11
2.6.- RADIACIÓ I GEOLOGIA	14
2.7.- MESURA DE LA RADIOACTIVITAT	18
2.8.- APARELLS DE MESURA EMPRATS	19
2.8.1.- COMPTADOR GEIGER.....	19
2.8.2.- MINIPIX PROJECTE ADMIRA.....	20
2.9.- EFECTES SOBRE LA SALUT	21
3.- TREBALL DE CAMP: MESURES DE RADIACIÓ IONITZANT NATURAL AL BAIX CAMP	23
3.1.- APARELLS DE MESURA	24
3.2.- PUNTS DE MESURA	24
3.3.- TRACTAMENT DE LES DADES.....	27
3.4.- DEPURACIÓ DE PANTALLES	27
3.5.- HIPÒTESIS	28
4.- RESULTATS	29
4.1.- HIPÒTESI 1.- LA RADIACIÓ CÒSMICA I DEL TERRA ESTAN COMPOSTES PELS TRES TIPUS DE RADIACIONS, ALFA, BETA I GAMMA.	30
4.2.-HIPÒTESI 2.- ELS NIVELLS DE RADIACIÓ A DIVERSES ZONES DEL BAIX CAMP ESTAN LLUNY DE SER PERILLOSOS TOT I QUE ZONES DEL BAIX CAMP ES DESCRUIEN COM DE RISC DE RADÓ (CSN CARTOGRAFIES DE EXPOSICIÓ AL RADÓN) I DE RADIACIÓ GAMMA (MARNA MAPA DE RADIACIÓ GAMMA NATURAL EN ESPAÑA) I TROBAR-S'HI I UNA CENTRAL NUCLEAR.	32

4.3.- HIPÒTESI 3.- LA CENTRAL NUCLEAR DE VANDELLÓS ESTÀ INSTAL·LADA EN UNA ZONA DE MOLT BAIXA RADIACIÓ PER TAL D'EVITAR INTERFERÈNCIES EN EL CONTROL.	34
4.4.- HIPÒTESI 4.- LES ROQUES GRANÍTIQUES DEL BAIX CAMP SON MÉS RADIOACTIVES QUE LES SEDIMENTÀRIES. LA CLASSIFICACIÓ DE DETERMINATS MUNICIPIS COM A ZONES D'ACTUACIÓ PRIORITÀRIA, DEGUT AL RESULTAT DE MESURES A L'INTERIOR DELS HABITATGES, ES RELACIONA DIRECTAMENT AMB AL SOL GRANÍTIC.	35
4.5.- HIPÒTESI 5.- LA DIFERÈNCIA D'ALÇADA ENTRE EL PUNT MÉS ALT (LA MUSSARA) I EL NIVELL DEL MAR AL BAIX CAMP ES TRADUEIX EN UNA DIFERÈNCIA DETECTABLE AMB ELS MEUS APARELLS	43
5.- CONCLUSIONS	44
BIBLIOGRAFIA	45

1.- INTRODUCCIÓ

1.1.- ANTECEDENTS:

Des de el moment que vaig aprendre l'estructura del àtom a la ESO vaig quedar captivada per l'aparent senzillesa de la matèria. Absolutament tot el que coneixia estava format per unes partícules petitíssimes. Des de l'estel més gran i lluent de l'espai fins a la més petita de les formigues, tot estava compost pel mateix: els àtoms. Després vaig aprendre que els àtoms estaven construïts per altres partícules "encara" més petites: les partícules subatòmiques.

Els àtoms poden irradiar molta energia que pot ser perillosa pels éssers humans. Com era possible que una partícula tan infinitament petita pogués ser tan perillosa? Em vaig fixar que molts casos de càncer són produïts per aquesta energia. Però alhora, aquesta mateixa energia pot utilitzar-se per tractar certs tumors, radioteràpia, i es fa servir en el diagnòstic de malalties. Em semblava meravellós que les coses més ordinàries com el sol o el taulell de granit de la meva cuina també irradiaven aquesta misteriosa energia.

Em vaig adonar que nosaltres mateixos vivíem a prop d'una central nuclear i vaig començar a pensar que podia no ser massa segur, i més en saber que hi havia radioactivitat natural provinent de l'espai exterior i del propi terra, essent tots els municipis amb potencial radioactiu per Radó de Tarragona, pertanyents a la Comarca del Baix Camp !!.

1.2.- OBJECTIUS:

Vaig escollir aquest tema per veure si la zona on vivia era segura, intentant demostrar que:

- Comprovar que els nivells de radiació a diverses zones del Baix Camp estan lluny de ser perillosos tot i que zones del Baix Camp es descriuen com de risc de radó i de radiació gamma i trobar-s'hi i una central nuclear.
- Esbrinar si les roques granítiques del Baix Camp son més radioactives que les sedimentàries i que la classificació de determinats municipis com a zones d'actuació prioritària, degut al resultat de mesures a l'interior dels habitatges, es relaciona directament amb al sol granític. El fet que un municipi es consideri

de risc no implica que tot el terme estigui afectat. La radiació varia en pocs metres segons el sol.

- Visualitzar que la radiació còsmica i del terra estan compostes pels tres tipus de radiacions, alfa, beta i gamma.
- Mesurar que la diferència d'alçada entre el punt més alt (La Mussara) i el nivell del mar al Baix Camp es tradueix en una diferència detectable amb els meus aparells
- Assegurar-me que la Central Nuclear de Vandellós està instal·lada en una zona de molt baixa radiació per tal d'evitar interferències en el control

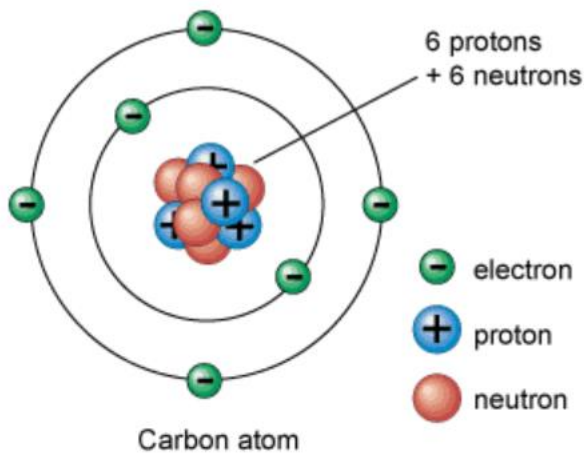
1.3.- METODOLOGIA:

Per fer-ho vaig llogar un Comptador Geiger per mesurar dosi en μ Sievert i el Sr. Daniel Parcerisas em va cedir un comptador de fotons MINIPIX per comptar energia i visualitzar la radiació. Vaig fer servir un mapa geològic per triar que els punts de mesura compreguin diversos sostrats geològics. Vaig realitzar mesures a 1 cm del terra, a 1 m i en direcció al cel per captar radiació del sòl i còsmica. Vaig tractar les dades amb EXCEL per complir els objectius esmentats.

2.- FONAMENTS TEÒRICS

2.-1.- ESTRUCTURA ATÒMICA

Al segle V aC, Demòcrit va teoritzar que si dividim la matèria en parts cada vegada més petites arribaríem a una part final indivisible, que va anomenar "Àtom", que son partícules indivisibles per mètodes químics convencionals que formen la matèria. Estan formats per un nucli on es troba quasi tota la massa i és carregat positivament, i una escorça, electrons girant al voltant del nucli, carregada negativament. El nucli està format per partícules anomenades protons – càrrega elèctrica positiva - i neutrons – sense càrrega -, i l'escorça per electrons – càrrega elèctrica negativa -. Quan l'àtom es troba en estat neutre, ambdues càrregues, del nucli i de l'escorça, son iguals i de signe contrari, positiu i negatiu.



Imatge 1 Estructura atòmica Font: Oriol Planas.

Quan un àtom perd o guanya electrons, a la vegada canvia la seva càrrega elèctrica, ja que canvia la relació protons/electrons. Son els diferents ions d'un mateix element.

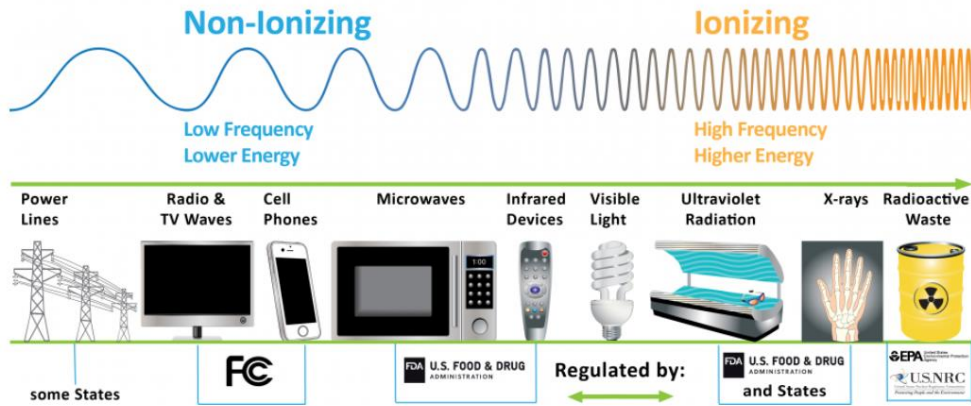
2.2.- RADIACIÓ I RADIOACTIVITAT

El concepte central és la Ionització: formació d'electrons lliures degut a que un àtom ha estat ionitzat i ha perdut alguns dels seus electrons orbitals.

Per tal que un àtom s'ionitzi ha de exposar-se a un material radioactiu, que emet radiació electromagnètica o per partícules amb la suficient energia com per ionitzar un àtom. Si no té prou energia se'n diu Radiació no ionitzant (p.e. ones de radio). La radiació pot ser:

1.- La radiació electromagnètica: combinació de camps elèctrics i magnètics que es propaga transportant energia però no partícules. Quant més gran és la freqüència, més energia transmet.

Electromagnetic Spectrum



Imatge 2. Espectre electromagnètic. Font: EPA. Agència de protecció ambiental de Estados Unidos

2.- La radiació per partícules amb massa, està composta per partícules subatòmiques movent-se a gran velocitat i amb molta energia. Es considera sempre ionitzant. És deguda a la “desintegració” del nucli o per certa radiació còsmica impactant a l’atmosfera

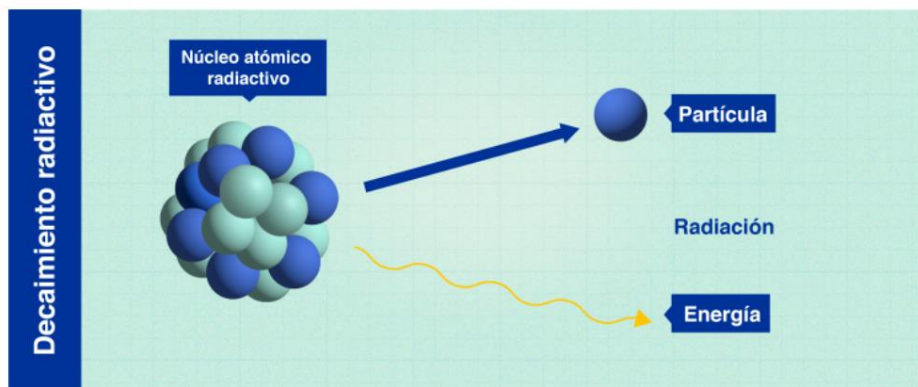
Si la Radiació és el procés, podríem dir que la Radioactivitat fa més referència a la font de radiació.

2.3.-DESCOMPOSICIÓ ATÒMICA O DECAIMENT RADIOACTIU:

L’estructura atòmica es manté unida per diferents forces. Les forces naturals fonamentals són quatre ordenades de menys a més intensitat:

1. **Interacció gravitatòria** és l’atracció que es dona entre masses i per exemple, manté el sistema solar.
2. **Interacció electromagnètica** es dona entre cossos carregats elèctricament i és la que intervé en les reaccions químiques.
3. **Interacció nuclear dèbil** és la que intervé en l’estabilitat de l’àtom.
4. **Interacció nuclear forta** és la que manté unit el nucli, és a dir els protons i els neutrons. És la més intensa

Quan les forces que mantenen unides les partícules subatòmiques (nuclear dèbil i forta) no són prou fortes, els àtoms es tornen inestables, es descomponen alliberant gran quantitat d'energia com ones electromagnètiques o partícules. Aquesta emissió d'energia i partícules se'n diu **radiació**. El material que la produeix és **Radioactiu**. El fet d'emetre Radiació és **Radioactivitat**. La inestabilitat del nucli allibera partícules Alfa i Beta, però també per acció de les forces electromagnètiques allibera radiació Gamma sense partícules.

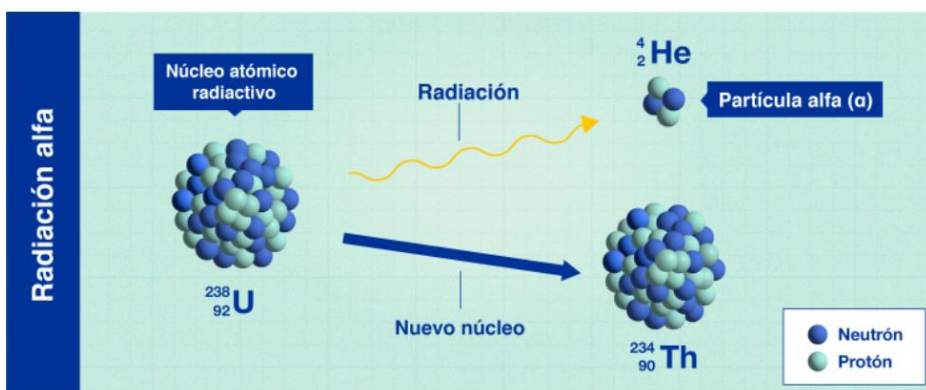


Imatge 3. Decaïment radioactiu. Font: IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica. Qué es la Radiación?

2.4.- TIPUS DE RADIACIÓ

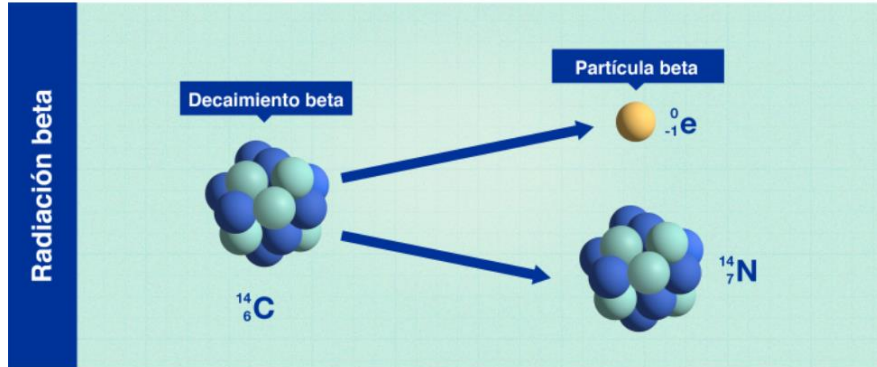
Els tipus de desintegració radioactiva són:

1.- Les desintegracions alfa estan compostes de dos protons i dos neutrons (nuclis d'Heli). són molt energètiques i surten a gran velocitat però són poc penetrants (una fulla de paper les pot aturar). La seva capacitat de penetració en el cos humà és nul·la però si s'ingereixen o respiren i entren en contacte amb cèl·lules de l'organisme intern, són molt perilloses.



Imatge 4. Radiació alfa. Font: IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica.

2.- Les desintegració beta son l'emissió d'electrons o positrons (partícula Beta), per ajustar la relació protons/neutrons del nucli i estabilitzar-lo. Tot i ser partícules més penetrants, també son fàcils d'aturar per materials com l'alumini, uns cm d'aigua o uns metres d'aire



Imatge 5 Radiació Beta. Font: IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica.

3.- Els raigs X no tenen partícules associades i son part de l'espectre electromagnètic. Tenen menys energia que la radiació Gamma. No son radiacions produïdes al nucli com si ho son la resta, son degudes a complexes reaccions d'elèctrodes i el nucli

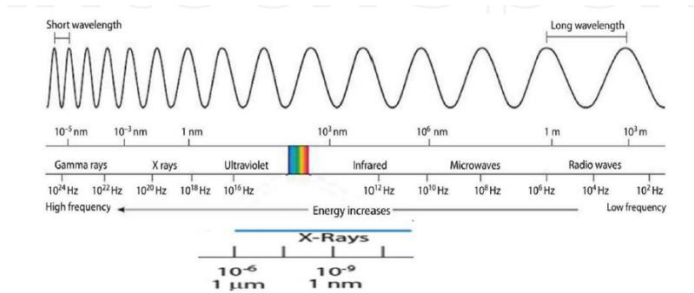
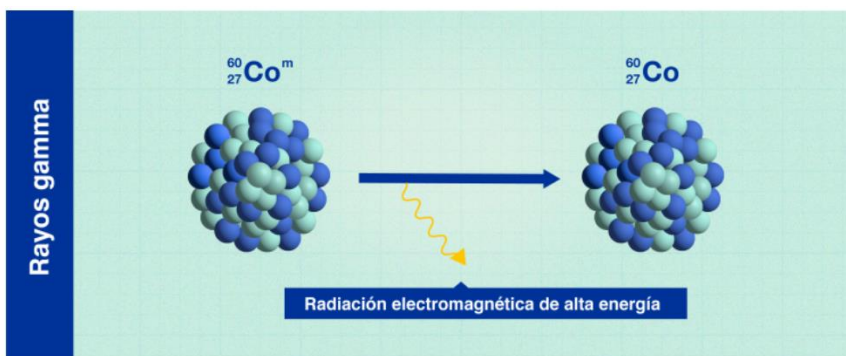


Figure 1. The spectrum of the electromagnetic radiation with different kinds of oscillators and frequencies.

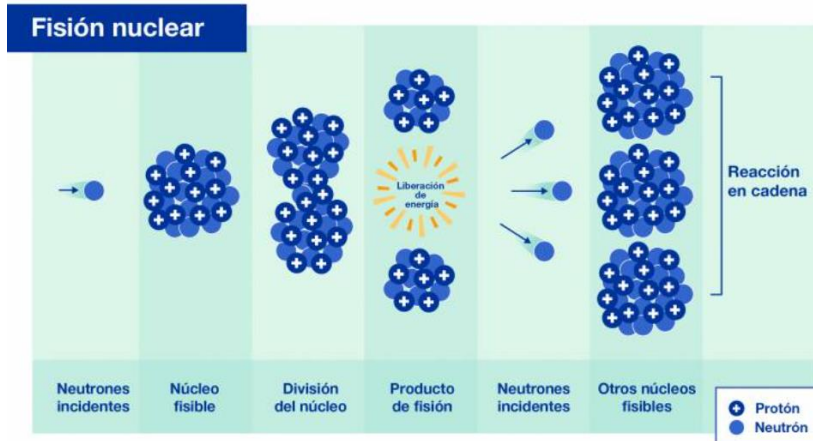
Imatge 6. Espectre raigs X. Font: Behavior of X-Ray Analysis of Carbon Nanotubes

4.- La radiació Gamma tampoc té partícules associades, s'origina en fenòmens subatòmics i en realitat és una emissió de fotons de la mateixa naturalesa que la llum però molt més energètica. Son molt més penetrants (200 m d'aire o 40 cm de terra)

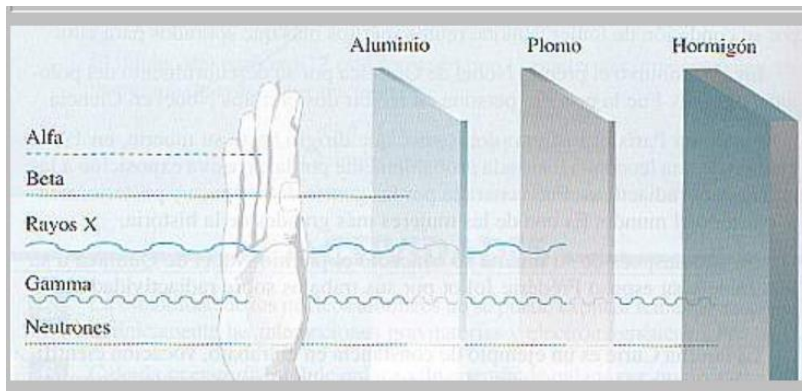


Imatge 7. Raigs Gamma. Font: IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica.

5.- Neutrons. Tot i no ser ionitzants per si mateixos en no tenir càrrega, els neutrons poden interactuar amb els àtoms de la matèria produint radiació alfa, beta, gamma o X, que sí son ionitzants. Per tant son ionitzadors indirectes. Son molt penetrants i es produeixen als reactors nuclears o als acceleradors.



Imatge 8. Fisio nuclear. Font: IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica



Imatge 9 : Tipus de Radiació. Font: Fundació Thales

2.5.- RADIACIÓ NATURAL I ARTIFICIAL

La radiació prové majoritàriament de fonts naturals. La radiació artificial és fruit de l'activitat de l'home. Prop del 80 % de la radiació ionitzant rebuda pels éssers humans correspon a fonts naturals i només un 20 % a les artificials.

Radiació Artificial. Pot ser:

- a.- No ionitzant controlada: telèfons, antenes, forns microones...
- b.- Ionitzant controlada: emprada en medicina per proves diagnòstiques o tractaments antitumorals o a les centrals nuclears per obtenir energia elèctrica.

c.- Ionitzant no controlada: bombes nuclears o els accidents en centrals nuclears

La radiació natural, objecte d'aquest treball, inclou:

- Radiació còsmica
- Les substàncies radioactives del sòl

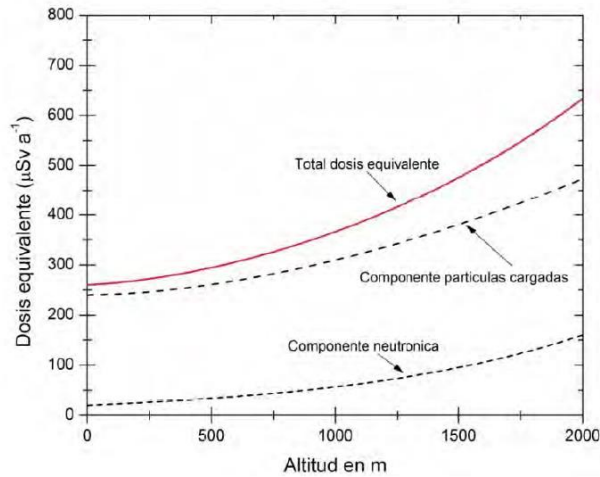
Radiació còsmica és la que prové directament de l'espai exterior com ara del sol (Radiació còsmica primària) o indirectament després d'interaccionar amb els nuclis atòmics de l'atmosfera (radiació còsmica secundària), generant partícules i radiació electromagnètica.

La radiació còsmica primària És molt penetrant, tot i que la pròpia atmosfera actuaria com un blindatge, i és d'alta energia cinètica. Està composta de:

- Protons d'alta energia (89%)
- Ions de 4He. (9%)
- Altres partícules pesades, electrons, fotons, y neutrins, en proporcions molt baixes

La densitat de la radiació còsmica primària depèn de:

- La distància al sol que ha variat molt poc als darrers 109 anys
- L'alçada sobre el nivell del mar, ja que l'atmosfera actuaria com a blindatge.
- L'activitat solar, que canvia en cicles d'11 anys,
- La latitud: donat que el camp magnètic de la terra desvia cap a l'espai part de la radiació còsmica, que és molt baixa a l'equador i augmenta amb la latitud cap als pols,



Imatge 10. Font: Arnedo Ayensa, MA. Evaluación del fondo radiactivo natural de las Islas Canarias Orientales, implicaciones radiológicas sobre la población.

En aquest estudi tractarem de comprovar la diferència de radiació còsmica segons l'alçada sobre el nivell del mar que és la variació més important de les esmentats.

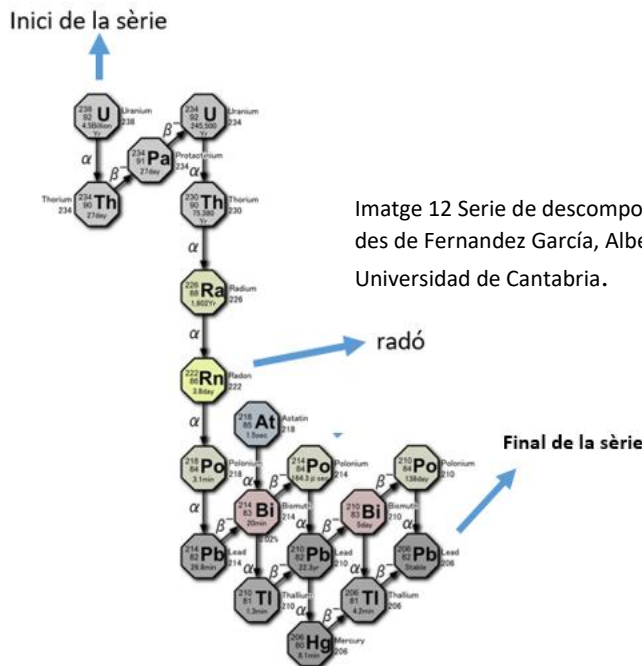
Substàncies radioactives del sòl. Son la principal contribució a la radioactivitat natural terrestre. Les roques contenen des de la formació del planeta, material radioactiu que se'n diu primari. Aquest material emet **radiació primària** que irradia altres materials que passen a la seva vegada a ser radioactius (secundaris) que emeten **radiació secundària**. La **radiació terciària** seria deguda als raigs còsmics que irradien material de la terra que es converteix en radioactiu (terciari) emetent radiació terciària.

Radiació primària. A les roques del terra es troben isòtops radioactius que es descomponen donant lloc a un nucli més estable i alliberant radiació (energia i/o partícules). Aquest nucli passa a un estat més estable, però no del tot i també es desintegra i emet radiació. Això succeeix un nombre de vegades fins que el nucli ja és estable. Acaba aquí la "Sèrie radioactiva" o "família Radioactiva". Es coneixen 4 sèries radioactives, tres son naturals i una és deguda a l'activitat humana, en realitzar proves nuclears. Aquestes sèries produeixen radiacions alfa, beta i gamma

NºMásico	Cadena del	Padre	Semivida (años)	Producto final
4n	Torio	Th-232	1.41 10 ¹⁰	Pb-208
4n+1	Neptunio	Np-237	2.14 10 ⁶	Pb-209
4n+2	Uranio-Radio	U-238	4.51 10 ⁹	Pb-206
4n+3	Uranio-Actinio	U-235	7.18 10 ⁸	Pb-208

Imatge 11. Series Radioactives. Font: Societat Thales

Les substàncies radioactives van disminuint la seves emissions amb el temps fins que finalment es tornen totalment estables. Destaca per la seva importància sobre la salut el gas radó (Rn-222) del qual se'n parla més endavant. La sèrie del Neptuni (encerclat en taronja) és l'artificial deguda a l'activitat de proves atòmiques humanes.



Imatge 12 Serie de descomposició de l'urani radi. Font: El-laboració pròpia des de Fernandez García, Alberto Màster en Física y Tecnologías Físicas. Universidad de Cantabria.

2.6.- RADIACIÓ I GEOLOGIA

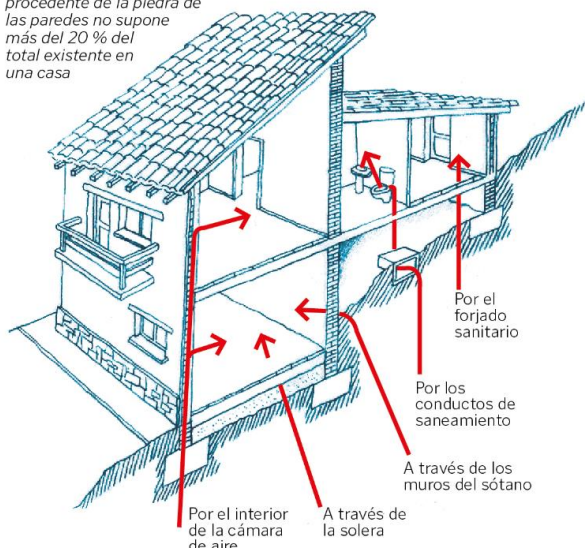
El tipus de roques i minerals del sòl determinen la radiació emesa per aquest i per tant la dosi que pot rebre qui hi viu. No existeix una regla infal·libre que relacioni el tipus de roca i la quantitat de radiació. Tot i així donat que les estructures cristal·lines àmplies allotgen més fàcilment els grans cations radioactius de Potassi (K), Urani (U) i Tori (Th) es molt probable que:

- Les roques ígnies provinents del magma de la terra refredat, continguin elements radioactius. (granit, pegmatita, riolita...)
- Les roques metamòrfiques, que sorgeixen de roques sotmeses a altes pressions o temperatures, mantinguin la radioactivitat original de les originals. basalt, calcàries, dipòsits de guix i sals, quercites, marbres.
- De vegades, les roques sedimentàries (conglomerats, argiles, arenisques...) poden ser radioactives per allotjar U i Th als seus porus

Gas Radó. El principal perill de la radioactivitat terrestre és la presència de Gas radó Rn-222, producte de la cadena de desintegració de U-238. És per tant molt abundant en sols que presentin aquest radioisòtop, per exemple el granit. En emetre radiació alfa, és molt poc penetrant tant als edificis com a l'organisme, ja que no passa la pell i es dispersa ràpidament a l'aire.

Vías posibles de entrada a los edificios

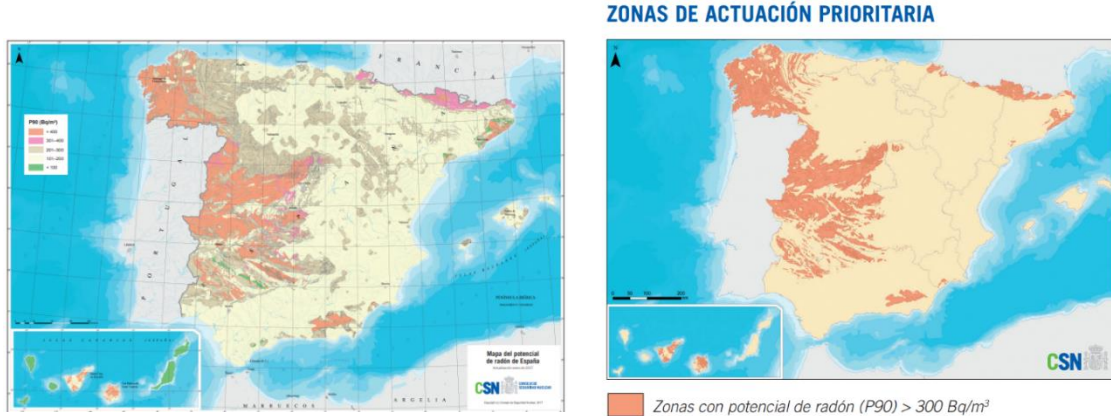
El radón procede del subsuelo sobre el que se edifica la casa cuando las rocas son ricas en uranio, como es el caso de Galicia. Sin embargo, el procedente de la piedra de las paredes no supone más del 20 % del total existente en una casa



Imatge 13. Font: La Voz de Galicia

Però el gas s'emet contínuament i es filtra per qualsevol esclletxa tant del terreny com de les edificacions. Es pot acumular al seu interior si no es ventila. En ser respirats els seus productes de desintegració (radiació alfa), entrarien en contacte directe amb els pulmons, convertint-se en la segona causa, després del tabaquisme, de mort per càncer de pulmó, i la primera en no fumadors.

La legislació europea (Directiva 2013/59) exigeix que es realitzin plans d'acció especial en zones on un percentatge dels habitatges presentin nivells superiors a 300 Bq/m^3 . El Consejo de Seguridad Nuclear, ha establert un mapa de potencial de Radó assenyalant les zones en què un 10 % dels edificis presenta més de 300 Bq/m^3 .



Imatge 14. Zones de potencial de Radón. Font: CSN, cartografia del potencial de Radón en España.



Imatge 15 Zones de potencial de Radó per municipis. Font: CSN, cartografia del potencial de Radón en España.

Al mapa de municipis (imatge 15) es destaca en color aquells en que $> 75\%$ de la població resideix en zones d'actuació prioritària. El llistat dels Municipis amb risc de concentracions de radó superiors al màxim es pot trobar al Reial decret 732/2019, de 20 de desembre. A Tarragona son tots ells del Baix Camp: *Alforja, Almoster, Botarell, Castellvell del Camp, l'Aleixar, Les Borges del Camp Maspujols, Riudecanyes, Riudecols, Vilanova d'Escornalbou i Vilaplana*. Si comparem aquests mapes amb el geològic de Catalunya veurem com coincideix amb les zones on el sol es classifica com granític.

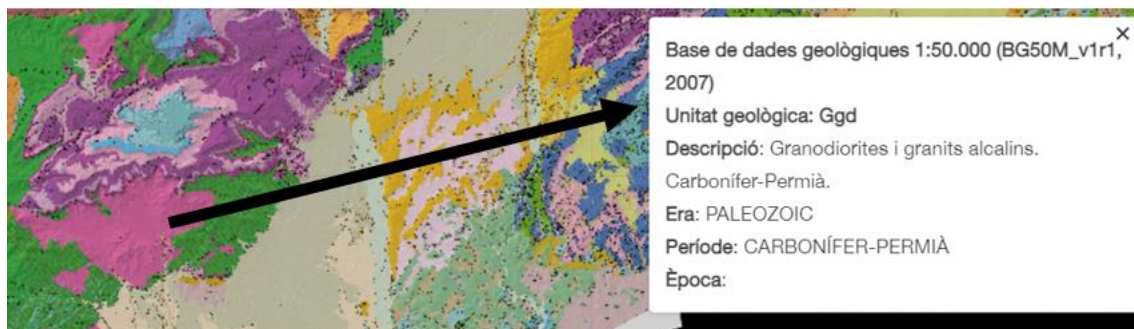


Imatge 16. Font: El-laboració pròpia des de Mapa geològic de Catalunya

En ser un mapa Interactiu, al situar-nos sobre una zona concreta, podem triar entre diverses capes:

- tipus de sol (substrat geològic)
- foto aèria
- mapa de carreteres i terme municipal.

Observem la coincidència de les zones de potencial de radó amb sòls de granits



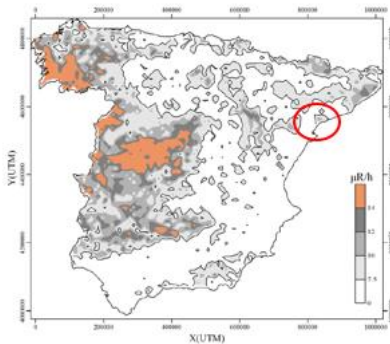
Imatge 17. Font: Mapa geològic de Catalunya

Una altra font de radiació potencialment perillosa es la Gamma natural. El Centro de Seguridad Nuclear, mitjançant les seves mesures estableix un mapa, amb certa coincidència amb el de potencial de radó, novament centrat al Baix Camp.



Imatge 18. Font: Mapa de radiación gamma natural en España (MARN)

Aquesta relació entre radiació gamma, radiació alfa, radó i granit, queda demostrada en la figura següent d'exposició gamma, destacant la zona granítica del Baix Camp



Imatge 19. Font: M García-Talavera et al 2013 J. Radiol. Prot. 33 605 Mapping radon-prone areas using γ -radiation dose rate and geological information

2.7.- MESURA DE LA RADIOACTIVITAT

Les principals unitats son:

- **La radioactivitat** mesura la quantitat de radiació ionitzant emesa per un material. La unitat és el **becquerel (Bq)**. 1 Bq equival a una desintegració per segon.
- **La Dosi Absorbida** es la quantitat de radiació absorbida per un material que s'està irradiant. La unitat és el **gray (Gy)**, (equivalent a 1 joule per kg de substància)
- **La Dosi Efectiva** és la quantitat absorbida pels teixits humans però tenint en compte el tipus de radiació i l'efecte sobre els òrgans. La unitat és el **sievert (Sv, Unitat Internacional)** i el mSv (millisievert) i µSv (microsievert)

- **L'energia** es mesura en **electronVolts (eV)**. En ser molt petita es fa servir megaelectronvoltio (MeV). Mesura la variació d'energia d'un electró movent-se entre dos punts amb una diferència de potencial d'1 V.

2.8 .- APARELLS DE MESURA EMPRATS

2.8.1.- COMPTADOR GEIGER

És un aparell elèctric inventat el 1928 per Geiger i Muller. Consta d'un tub metàl·lic carregat negativament, amb un fil metàl·lic carregat positivament i disposat a tot el llarg al seu interior. El camp elèctric entre paret i fil és de 1000 v .

L'espai està compost per un gas inert (Argó, Heli o Neó) capaç d'ionitzar-se. Quan penetra radiació ionitzant al gas, es produeixen ions (3×10^4 pars d'ions per cada MeV de radiació). En estar el gas en un camp elèctric, els ions positius es dirigeixen al cilindre (càtode) i els ions negatius al fil central (ànode) produint un senyal elèctric.

Els comptadors Geiger tenen l'avantatge de ser econòmics, molt sensibles - detecten nivells baixos- i detecten alfa, beta i gamma tot i que que no les diferencia. No és útil per dosi de radiació molt elevades.

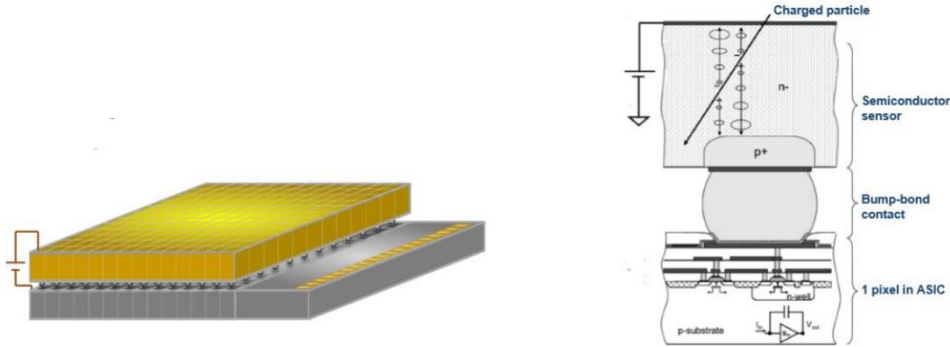
2.8.2.- MINIPIX PROJECTE ADMIRA

El projecte ADMIRA (**A**ctivitats amb **D**etectors **M**edipix per **I**nvestigar la **R**adiació a l'**A**ula) facilita l'aprenentatge i l'interès per la física als Instituts de Secundària. En col·laboració amb el CERN (Organització Europea per a la Recerca Nuclear), l'Institut de Ciències del Cosmos i el Departament de Física Quàntica i Astrofísica de la Universitat de Barcelona preparen un munt d'activitats al voltant de la Física de partícules, molt destacadament facilitant l'ús dels equips Minipix als estudiants de secundària tant per fer pràctiques a l'Aula com per Treballs de Recerca de Batxillerat. Mitjançant el Sr. Daniel Parceries vàrem poder disposar tant de l'equip com de l'assessorament necessari.

Es tracta d'un detector de partícules i radiació de dues capes:

- Primera capa és un sensor MiniPix de 256x256 píxels. Les partícules o la radiació gamma travessen el material i en dipositen energia. Aquesta energia ionitza el material semiconductor del sensor.

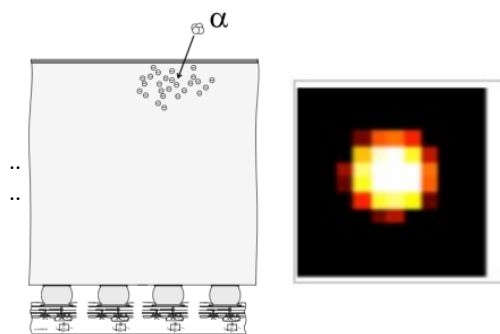
- La segona capa es l'amplificadora del senyal i consta d'un transistor per cada píxel de la primera capa. Emet un senyal elèctric processat per un xip que envia el senyal a un xip.



Imatge 20. Detector Minipix. Font: Projecte ADMIRA. Documentació sobre el MiniPix

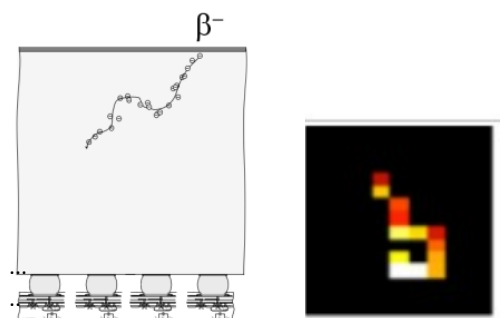
El senyal elèctric es interpreta per un software (PixetPro). El dispositiu pot actuar com a comptador dels píxels impactats o com a mesurador d'energia irradiada al detector. A banda es poden visualitzar al software, els impactes radioactius.

Les partícules alfa deixen només un punt ja que no es mouen pel sensor en ser fàcilment retingudes. En ser d'alta energia el color resultant és blanc (es pot canviar en configurar-ne el software)



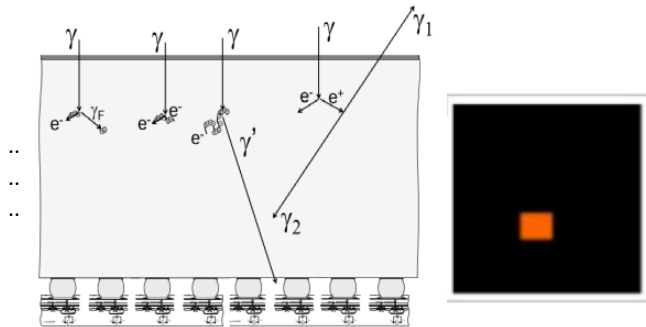
Imatge 21. Interacció d'una partícula alfa al sensor i imatge del software. Font: Projecte ADMIRA: Documentació sobre el MiniPix

Les partícules Beta es mouen pel detector amb un camí molt lineal. El color també és funció de l'energia que en el cas de les partícules beta pot ser molt variable



Imatge 22. Interacció d'una partícula beta al sensor i imatge del software. Font: Projecte ADMIRA . Documentació sobre el MiniPix

El rastre de la radiació gamma és molt petit però poden excitar electrons més llunyans. En ser baixa energia deixa poca imatge amb un color característic.

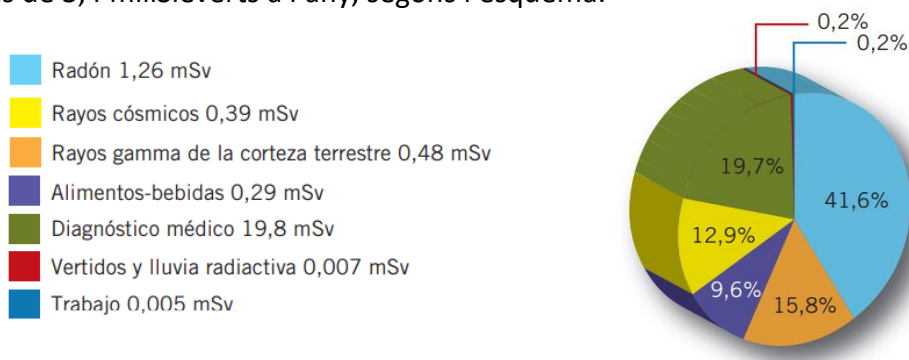


Imatge 23. Interacció d'una radiació gamma al sensor i imatge del software.
 Font: Projecte ADMIRA.
 Documentació sobre el MiniPix

2.9.- EFECTES SOBRE LA SALUT

Quan la radiació ionitzant interactua amb material biològic ric en aigua, aquesta s'ionitza formant radicals lliures molt reactius químicament i modificant les molècules dels teixits. Si la molècula alterada és ADN ens trobarem amb la possible aparició de cèl·lules alterades per exemple amb un creixement desordenat donant lloc a un tumor cancerigen (efecte estocàstic). També pot produir la mort cel·lular directament (efecte determinista)

La unitat per mesurar els efectes és el Sievert. Els aparells de mesura detecten els microsivert per hora, i així es pot passar a d'altres períodes de temps com per exemple dosi anual. La dosi normal que pot rebre una persona a causa de totes les fonts de radiació és de 3,4 miliSieverts a l'any, segons l'esquema:



Imatge 24. Font: CSN. Protección Radiológica.

Alguns exemples d'efectes van des de 0.1 µSv per menjar una banana, 20 µSv en una radiografia de tòrax, 40 µSv en un vol en avió de 5 hores, 3 650 µSv dosi mitja anual del

fons natural, 5 000 000 μSv dosi que mata a un ésser humà amb probabilitat del 50% en 30 dies.

Els efectes varien segons:

Tipus de Radiació Els efectes de les partícules més pesades (neutrons, protons, alfa) son més greus (20 vegades més les alfa, 2 els protons) que els dels fotons gamma o Rx (ICRP Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica)

Teixit afectat: les cèl·lules que encara tenen capacitat de multiplicació ràpida son les més afectades. Segons Margarita Núñez (2008):

- Altament sensible: Sistema hematopoyètic i limfàtic. Sistema reproductor. Fetus.
- Molt Sensible: Sistema Gastrointestinal
- Relativament sensible: Pell. Òrgans sòlids
- Resistent: Sistema Nerviós Central

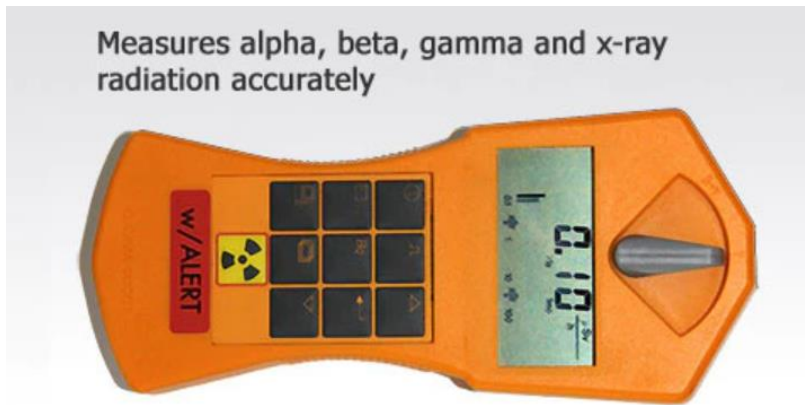
Via d'entrada al cos: , la pell actua com a barrera protectora sobre tot en el cas de les de tipus alfa, i en tots els casos quan la via d'entrada és ingesta, respiració o injecció, l'afectació és major.

Ritme: una dosi relativament baixa en un interval de temps curt no té efecte, però si és continuada es produeix un afecte acumulatiu i pot ser greu

3.- TREBALL DE CAMP: MESURES DE RADIACIÓ IONITZANT NATURAL AL BAIX CAMP

3.1.- APARELLS DE MESURA

El comptador Geiger utilitzat al treball és llogat i el modelé es GammaScout (<https://www.gammascout.com/>).



Imatge 25. Comptador Gamma Scout. Font: <https://www.gammascout.com/>

El rang de mesures és de 0.01 a 1000 $\mu\text{Sv/h}$. Detecta radiació alfa a partir de 4 MeV, beta 0,2 MeV i gamma 30 keV.

El comptador de fotons MINIPIX, cedit pel professor Daniel Parcerisas, és de doble capa i 256x256 píxels. Pot mesurar energia o comptar les interaccions.



Imatge 26 Detector Minipix. Font: ADVACAM.com

3.2.- PUNTS DE MESURA

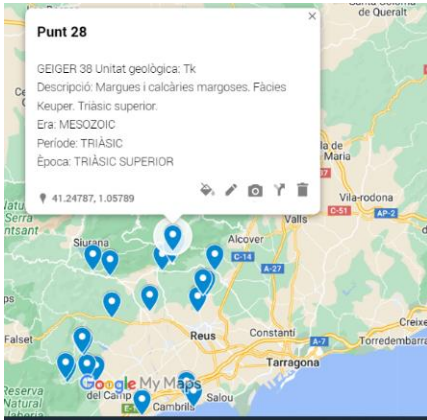
Per triar els municipis he fet servir un mapa de risc de Radó del Centre de Seguretat Nuclear (CSN), i per triar els punts concrets a cada Municipi he fet servir el mapa Geològic de Catalunya de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. He triat diversos tipus geològics (Roques ígnies, Metamòrfiques i Sedimentàries) per relacionar-ho amb el nivell de radiació. He pres mostra al punt més alt i més baix del Baix Camp per veure si hi ha diferència en la radiació còsmica. He pres mesures al voltant de la Central Nuclear Vandellós II per veure si és segura. He fet servir Google Maps tant per triar exactament el punt de mesura com per elaborar un Mymaps amb els punts i la informació de cadascun, quedant:

- 39 localitzacions del Territori
- 1.- Graves i Sorres Cambrils
 - 2.- Peu de mont Cambrils
 - 3.- Gresos mare de Deu Mont-roig
 - 4.- Granodiorites i granits alcalins Vilanova d'Escornalbou
 - 5.- Granodiorites i granits alcalins Vilanova d'Escornalbou
 - 6.- Granodiorites i granits alcalins Cuarcites Alforja
 - 7.- Argiles Arbolí - Alforja
 - 8.- Margues i calcàries Castellvell
 - 9.- Conglomerats matriu argilosa Castellvell
 - 10.- Metamorfisme de contacte Almofter
 - 11.- Granodiorites i granits alcalins (no es veuen) Almofter
 - 12.- Granodiorites i granits alcalins (no es veuen) Almofter
 - 13.- Metamorfisme de contacte La Selva del Camp
 - 14.- Granodiorites i granits alcalins Vilaplana
 - 15.- Granodiorites i granits alcalins Vilaplana
 - 16.- Calcàries Vilaplana
 - 17.- Dolomies Vilaplana
 - 18.- Filons de pòrfirs granodiorítics Mina Barritina Riudecanyes
 - 19.- Gresos rogencs Escornalbou Riudecanyes

- 20.- Metamorfisme de contacte (granits?) Escornalbou Riudecanyes
 - 21.- Granodiorites i granits alcalins Prades
 - 22.- Dipòsits al·luvials Nuclear
 - 23.- Dolomies Negres Vandellós platja
 - 24.- Granodiorites i granits alcalins. Granit Les Borges
 - 25.- Granodiorites i granits alcalins Les Borges
 - 26.- Filons de pòrfirs granodiorítics Riudecols
 - 27.- Gresos mare de Deu Mont-roig
 - 28.- Granodiorites i granits alcalins Vilanova d'Escornalbou
 - 29.- Calcàries Coldejou
 - 30.- Argiles Coldejou
 - 31.- Graves i sorres Cambrils
 - 32.- Peu de mont Cambrils
 - 33.- Metamorfisme de contacte La Selva del Camp
 - 34.- Granodiorites i granits alcalins Vilaplana
 - 35.- Granodiorites i granits alcalins Vilaplana
 - 36.- Calcàries Vilaplana
 - 37.- Dolomies i calcàries Vilaplana
 - 38.- Margues i calcàries margoses. Mussara
 - 39.- Sediments de platja Cambrils
- Tres mesures en cada lloc per mesurar radioactivitat geològica i còsmica:
 - A 1 cm de la superfície
 - A 1 m, de la superfície
 - Orientada al cel
 - Cada mesura és d'1 minut i repetides 6 vegades per tal de visualitzar que son molt variables.
 - L'aparell Geiger recull uSv/hr i nombre de pulsos i el Minipix keV, nombre de pulsos i imatges de les radiacions.

- Es realitza un mapa (mymaps de Google) on es penjen les localitzacions amb les dades de cadascuna i fotos (copiar enllaç i obrir en Chrome)

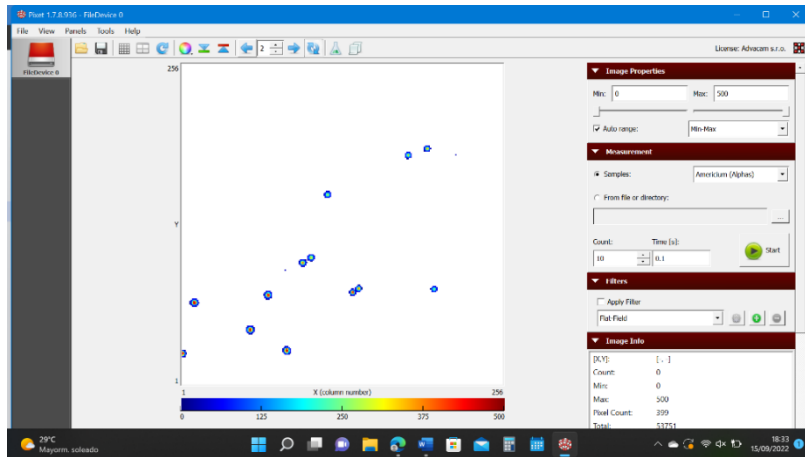
[Còpia de Còpia de: RADIATIVITAT BAIX CAMP - Google My Maps](#)



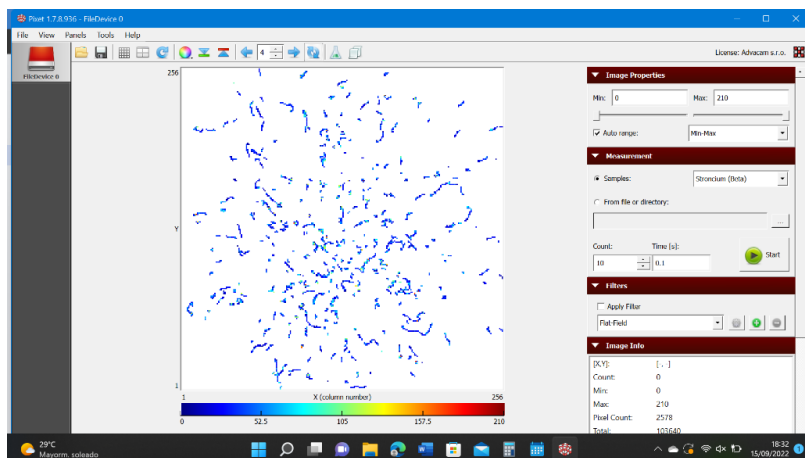
Imatge 27 Mymaps

Les radiacions es visualitzen segons el tipus:

alfa



Beta i Gamma



Imatge 28. Frames del Pixetpro obtingudes a l'estudi

3.3.- TRACTAMENT DE LES DADES

Es passen totes les dades numèriques a un Excel on les tracto per donar resposta a les hipòtesi plantejades

Geiger: descarregant un software de gammascout.com i connectant l'aparell a l'ordinador podem obtenir un excel amb les mesures i l'hora exacte en què es van prendre. Del Minipix les dades s'introdueixen manualment a l'EXCEL

No. GE	Hora: desde	Hasta	nº P	Tasa de	DOSIS		DATOS
1	08.07.2022 18:40:10	08.07.2022 18:41:10	23	0,383	0,21109	0,185736	Media
	08.07.2022 18:41:10	08.07.2022 18:42:10	17	0,283	0,151871	0,055935	DT
	08.07.2022 18:42:10	08.07.2022 18:43:10	15	0,25	0,134964	0,11534	CV
	08.07.2022 18:43:10	08.07.2022 18:44:10	21	0,35	0,155698	0,99395	CORR
	08.07.2022 18:44:10	08.07.2022 18:45:10	24	0,4	0,21957		
	08.07.2022 18:45:10	08.07.2022 18:46:10	13	0,217	0,118097		
	08.07.2022 18:46:10	08.07.2022 18:47:10	31	0,517	0,2719		

Tipus de mesura i coordenades mapa

Localització al mapa hora nº pulsos pulsos/min MicroSievert Mitjana, Coeficient de variació i correlació entre pulsos i Microsievert

Imatge 29. Dades Geiger

mev	pixels	sum mev	sum pixels
50415	336		
56863	338		
62113	313		
39849	302		
34683	323	61452	297

MEDIPIX

Imatge 30. Dades Minipix

Energia píxels afectats (diferent de partícules, una partícula afecta diversos píxels)

Suma d'energies (en aquest cas no es fa la mitja sinó tota l'energia rebuda en els 5 minuts)

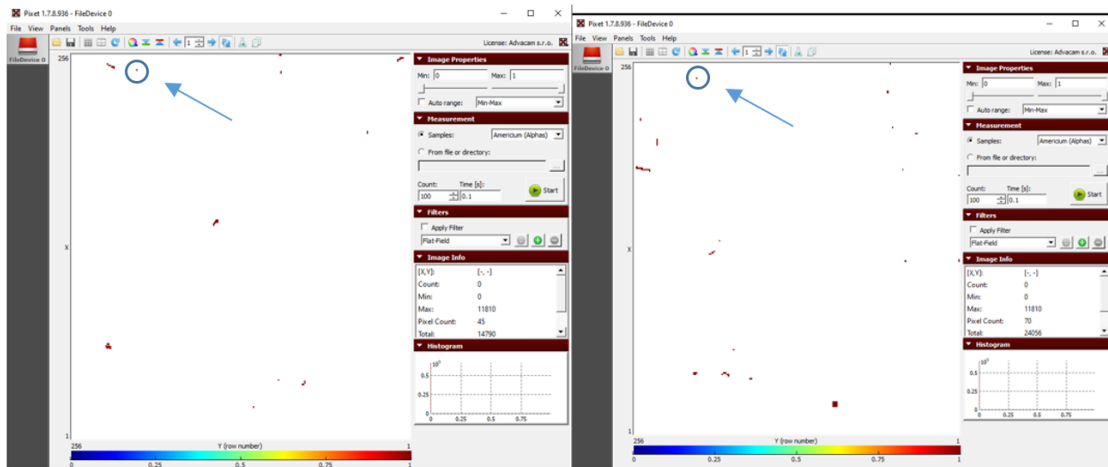
Suma de píxels afectats (el mateix)

3.4.- DEPURACIÓ DE PANTALLES

S'ha fet un total de 312 mesures amb. Els 312 frames s'han revisat un per un trobant-hi dues incidències:

1. Impacte de radiació solar, que donava molts píxels afectats. S'ha hagut de retallar aquesta zona dels frames afectats quan no es podia repetir la mesura.

2. He trobat que en alguns casos que hi havia un “impacte” amb energia molt elevada (11810) que es repetia en les següents lectures exactament a la mateixa localització. Consultat el Sr. Parcerises, em confirma que és un píxel danyat que marca el màxim d’energia i l’he restat allà on apareixia. Per exemple als sols calcaris de Coldejou surten de cop i volta lectures molt altes (normalment serien baixos). Analitzant un per un cada frame es veu que a partir de la segona lectura totes presenten la mateixa radiació amb la mateixa energia (11810) i mateixes coordenades (184,251).



Imatge 31. Pixels danyats

3.5.- HIPÒTESI

Es planteja la demostració de les següents Hipòtesis:

Hipòtesi 1.- La radiació còsmica i del terra estan compostes pels tres tipus de radiacions, alfa, beta i gamma.

Hipòtesi 2.- Els nivells de radiació a diverses zones del Baix Camp estan lluny de ser perillosos tot i que zones del Baix Camp es descriuen com de risc de radó (CSN cartografies de exposició al Radón) i de radiació gamma (MARNA Mapa de radiació gamma natural en España) i trobar-s’hi i una central nuclear.

Hipòtesi 3.- La Central Nuclear de Vandellós II està instal·lada en una zona de molt baixa radiació per tal, potser, d’evitar interferències en el control.

Hipòtesi 4.- Les roques granítiques del Baix Camp son més radioactives que les sedimentàries. La classificació de determinats municipis com a zones d’actuació

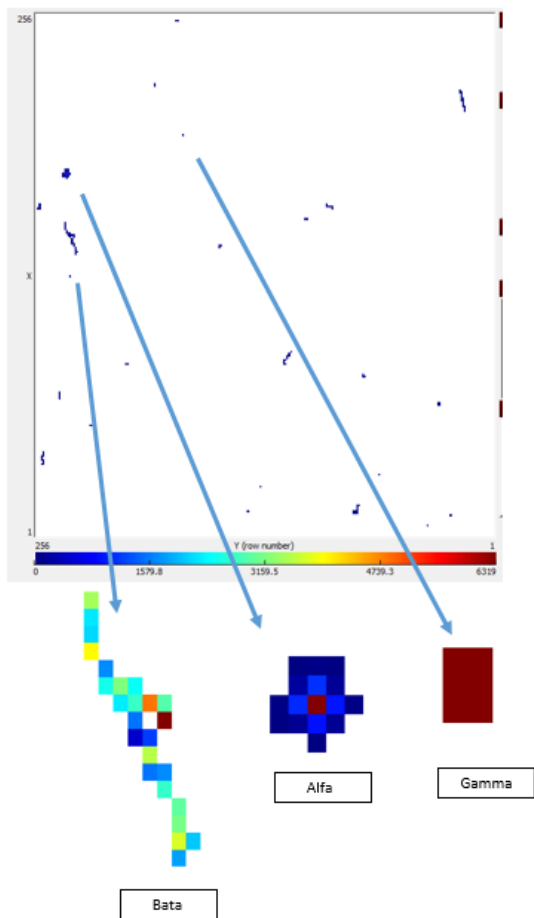
prioritària, degut al resultat de mesures a l'interior dels habitatges, es relaciona directament amb al sol granític.

Hipòtesi 5.- La diferència d'alçada entre el punt més alt (La Mussara) i el nivell del mar al Baix Camp es tradueix en una diferència detectable amb els meus aparells

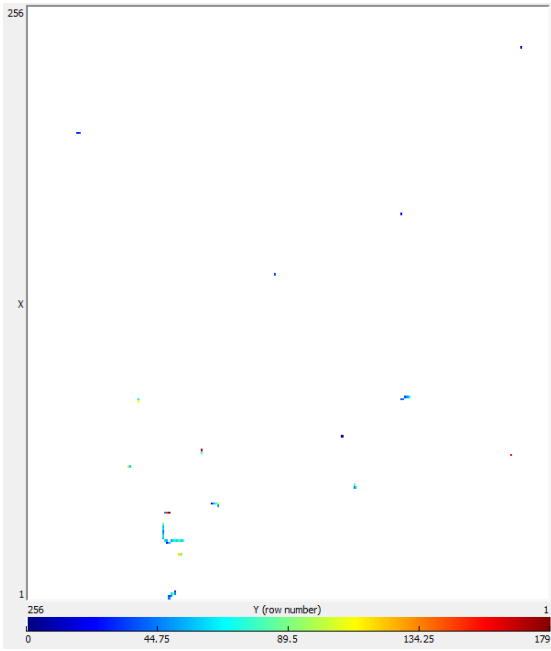
4.- RESULTATS

4.1.- HIPÒTESI 1.- LA RADIACIÓ CÒSMICA I DEL TERRA ESTAN COMPOSTES PELS TRES TIPUS DE RADIACIONS, ALFA, BETA I GAMMA.

Amb el Minipix podem veure el tipus de radiació. Les partícules alfa presenten un senyal petit i de molt alta energia, les beta un recorregut pel detector més llarg i una energia intermitja, les gamma finalment son de baixa energia. Apareixen els tres tipus de partícules a les lectures 1 cm, 1 m i Aire. Per exemple al punt 33 trobo a 1 cm una energia de 18837 MeV dels quals la partícula alfa assenjala 11159; la beta 1708 i la gamma 80:



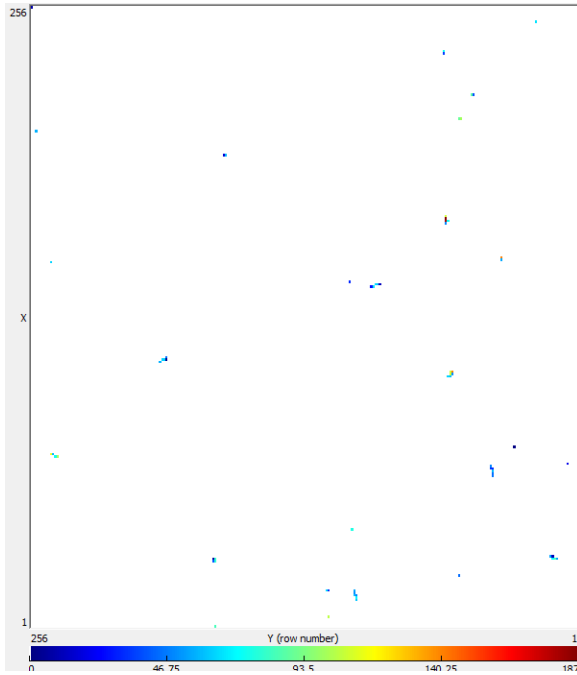
Imatge 32. Punt 33 a 1 cm amb els tres tipus de radiació



Imatge 33. Punt 33 a 1m sense alfa (3623 MeV)

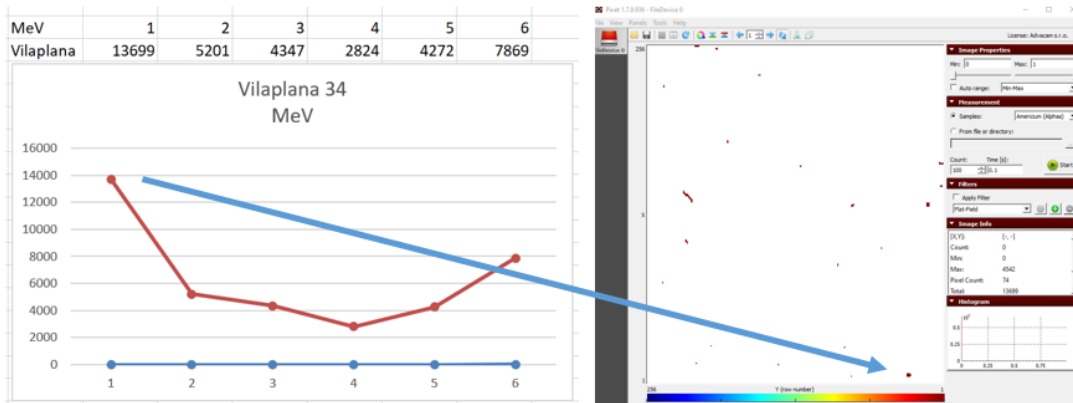


Imatge 34. Punt 33 Aire amb alfa (13699 MeV dels quals 4788 MeV de la partícula alfa assenyalada):



Imatge 35. Punt 33 sense alfa (4347 MeV)

Les partícules alfa són menys freqüents però en ser de tan alta energia, quan es detecten fan variar tota la sèrie de mesures. Per exemple a les 6 mesures “Aire” fetes al punt 34 (Les Borges del Camp) trobo que degut a l’aparició de partícula alfa la mesura 1 minut, fa augmentar la mitjana de les 6 mesures:



Imatge 36. Variacions degudes a partícules alfa

Quan més temps duri la mesura més fiable serà, ja que en mesures curtes podrien no aparèixer les partícules alfa.

Es confirma la Hipòtesi: apareixen partícules alfa, beta i radiació gamma a 1cm, a 1 m i a l’aire.

4.2.-Hipòtesi 2.- Els nivells de radiació a diverses zones del Baix Camp estan lluny de ser perillosos tot i que zones del Baix Camp es descriuen com de risc de radó (CSN cartografies de exposició al Radón) i de radiació gamma (MARNA Mapa de radiación gamma natural en España) i trobar-s’hi i una central nuclear.

Els resultats globals de les mesures son:

1 cm	µSv/h	MeV	mSv/any	Dosi total mitja mSv/any	Dosi natural mitja mSv/any	Dosi mitja de l'Escorça
mitjana	0,198977	44088,11	1,743038	3,7	2,4	1,74
max	0,388317	79382	3,401658			
min	0,079221	16262	0,693977			
1m						
mitjana	0,174971	32124,94	1,532745			
max	0,295886	80638	2,591958			
min	0,088	8850	0,77088			
AIRE						
mitjana	0,166314	30614,86	1,456913			
max	0,318937	69201	2,793888			
min	0,092404	11391	0,809455			

Taula 1: resultats globals

COMPARACIÓ AMB DOSIS MITJANES

La dosi mitjana que rep una persona a Espanya (Dosi de Radiación CSN 2010) és 3,7 mSv/any i la provinent de fonts naturals (mundial) és 2.4 mSv/any. La dosi provinent de l’escorça seria 1,74 mSv/any i la còsmica 0,39 mSv/any (CSN Protección radiológica)

Multiplicant els valors trobats al TDR per 8760 hores /any i dividint per 1000 (transformar µSv a mSv) observem valors de 1,74 mSv/any de mitjana amb màxim de 3,4 mSv/any. Les dades obtingudes coincideixen en les referents a escorça (1,74) però son molt superiors en quant a còsmica. Hi ha localitzacions per sobre de la mitjana, tot i que lluny del llindar de perill.

COMPARACIÓ AMB DOSIS PERILLOSES

No he trobat una xifra única sobre quina és la dosi anual que comença a ser perillosa, serien per exemple (OMS Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección, 2016):

síndrome d'irradiació aguda 1000 mSv (interval curt)

augment risc de càncer 100 mSv

augment de risc de càncer infants 50 mSv

En professions exposades a radiació, com poden ser les graveres del Baix Camp, el *Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes* estableix dosi màxima pels treballs de risc:

Públic			Treballador exposat		
General	Cristal·li	Pell	General	Cristal·li	Pell
1	15	50	50*	150	500

*Màxim 100 en 5 anys

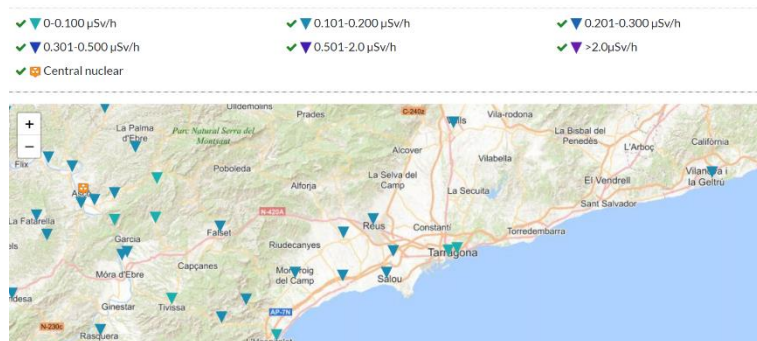
Taula 2: Valors màxims d'exposició per professions de risc (Font: Decreto 783/2001)

Podem concloure que les dosis mesurades al TDR no son perilloses en cap cas. Tot i això s'ha d'esmentar que hi ha localitzacions per sobre de la mitjana de l'Estat i on el risc per radó és present en cas de que no es construeixi adientment.

COMPARACIÓ AMB ALTRES MOSTREJOS

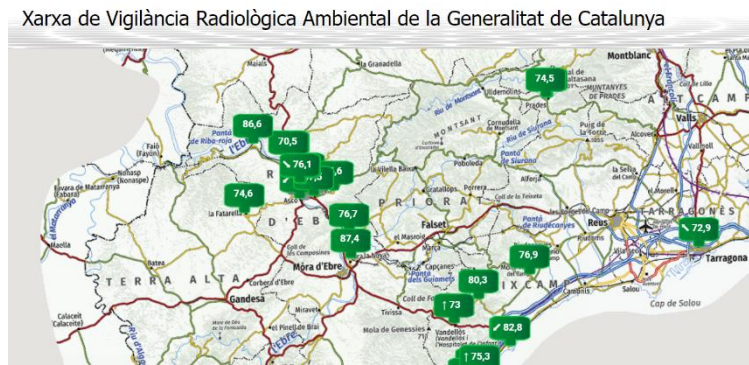
No he trobat dades a la bibliografia de la major part dels punts de mostreig que he fet.

A la Red de Alerta de Radiactividad (RAR) de protección civil (Protección Civil RAR) <https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/redes/rar> surten valors similars per la zona de Cambrils (0,101 a 0,200µSv/h, al TDR 0,119µSv/h) i Hospitalet de l'Infant (0 a 0,100 µSv/h al TDR la zona del Torn 0,092µSv/h), però la major part de la zona mostrejada al TDR no surt



Imatge 37: Red Alerta radiactivitat Font: protección civil RAR

La Xarxa de vigilància radiològica ambiental de la Generalitat de Catalunya (XVRAC) no dona tampoc resultats de gran part de la zona que he analitzat. Conté dades en nSv/h de mesures ambientals: Prades 74,5 nSv/h (0,0745 µSv/h); Mont Roig 76,9 (0,0769 µSv/h) i Central Nuclear 70 (0,070 µSv/h)



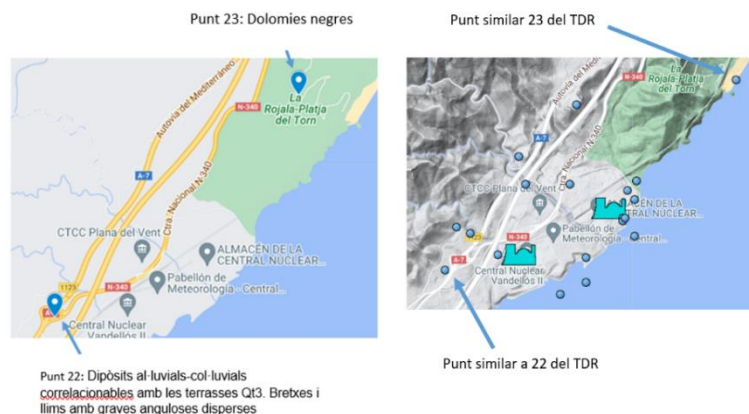
Imatge 38: Xarxa de vigilància radiològica ambiental de la Generalitat de Catalunya (XVRAC)

Observant el mapa XVRAC, veiem que excepte la Central Nuclear, les mostres estan preses al casc urbà i son difícils de comparar amb les del TDR, que em surten més altes. A banda no hi ha dades de gran part de la zona mostrejada al TDR.

Es confirma la hipòtesi que la radiació natural al Baix Camp no assoleix nivell perillós.

4.3.- HIPÒTESI 3.- LA CENTRAL NUCLEAR DE VANDELLÓS ESTÀ INSTAL·LADA EN UNA ZONA DE MOLT BAIXA RADIACIÓ PER TAL D'EVITAR INTERFERÈNCIES EN EL CONTROL.

Es realitzen mesures amb els dos aparells en dues zones geològiques a les rodalies de la Central Nuclear de Vandellós. Es pot apreciar com els punts mesurats (esquerra) son quasi idèntics als del “Resultados de Vigilancia radiològica ambiental de España” (CSN Vigilancia Radiològica) per poder comparar-les



Imatge 39: Resultados de Vigilancia radiològica ambiental de España (CSN Vigilancia Radiològica)

Els resultats mostren els nivells més baixos en mSv/any de tot el TDR:

	$\mu\text{Sv/h}$	MeV	mSv/any
1 cm			
22	0,09	17193,00	0,81
23	0,08	21829,00	0,69
mitjana TDR	0,20	44088,11	1,72
1 m			
22	0,10	13617,00	0,83
23	0,09	17149,00	0,77
mitjana TDR	0,17	32124,94	1,53
Aire			
22	0,10	No es disposen	0,86
23	0,09	11391,00	0,81
mitjana TDR	0,17	30614,86	1,46
Xarxa			
Similar 22			0,614*

*Dosimetria radiació gamma desembre 2021 Del punt similar a 23 no hi ha dades de dosimetria

Taula 3: Resultats central Nuclear propis i de CSN (Vigilancia Radiològica)

Es confirma la hipòtesi de que al voltant de la Central Nuclear de Vandellós II es registren les dosi més baixes de tot l'estudi, comparables a les registrades pel CSN. Això és degut a que es trien zones per instal·lar centrals nuclears amb poca radiació de fons per poder detectar qualsevol fuga sense interferències.

4.4.- HIPÒTESI 4.- LES ROQUES GRANÍTIQUES DEL BAIX CAMP SON MÉS RADIOACTIVES QUE LES SEDIMENTÀRIES. LA CLASSIFICACIÓ DE DETERMINATS MUNICIPIS COM A ZONES D'ACTUACIÓ PRIORITÀRIA, DEGUT AL RESULTAT DE MESURES A L'INTERIOR DELS HABITATGES, ES RELACIONA DIRECTAMENT AMB AL SOL GRANÍTIC.

Comparació amb dosi mitjana arreu segons CSN

Els resultats del TDR ordenats de més a menys dosi efectiva en $\mu\text{Sv/h}$ a 1cm es presenten a la Taula. Segons CSN (Protección radiològica) la dosi mitjana rebuda per una persona del públic d'origen geològic és de 1,74 mSv/any (Radó 1,26 mSv i Gamma 0,48 mSv). Transformat serien 0,199 $\mu\text{Sv/h}$ (línia vermella). Analitzant les localitzacions:

- Totes les dosi mesurades es troben lluny de les considerades perilloses
- Per sobre de la línia vermella trobo:
 - roques ígnies (granits i pòrfids), que donades les seves característiques estructurals és més probable que presentin isòtops radiactius.
 - roques metamòrfiques per contacte que, com ja s’ha dit, mantenen la radiactivitat de les originals.
- Per sota de la línia vermella trobo:
 - algunes granidiorites i granits alcalins però en observacions fetes en prendre la mostra ja vaig anotar que no es veia granit.
 - materials sedimentaris: argiles, gres, dolomies, calcàries, graves, sorres , sediments de platja i peu de mont

Comparació amb zones d’especial risc de Radó

Jo he mesurat $\mu\text{Sv/h}$ i no concentració de radó. El radó és la font més important de radiació del terra (41,6%, CSN Protección radiològica). Relaciono així mSV amb radó provinent del terra. El Reial decret 732/2019 assenyala els municipis amb d’alt risc de Radó (CSN, cartografia del potencial de Radón en España) dividits en dues zones:

Zona I: $1 - 2 \times 300 \text{ Bq/m}^3$	Zona II: $> 300 \text{ Bq/m}^3$
---	---------------------------------

Taula 4: Zones I i II Font: Reial decret 732/2019

Dels meus resultats:

- Prades: no es troba al llistat ni de zona I ni zona II, tot i presentar nivells alts al meu estudi. Altres mesures fetes al casc urbà de Prades i no exposades al TDR també marquen nivells alts. A banda l’estudi del mapa geològic mostra Prades com zona Granítica. Penso que potser s’hauria d’incloure.
- Nivells alts trobo a Alforja, Riudecanyes, les Borges, Riudecols, Vilanova d’Escornalbou i Vilaplana, tots ells a Zona II i La Selva del Camp que és Zona I
- Just al Límit (línia vermella) hi ha Cambrils que és Zona I
- Trobo nivells baixos en algunes localitzacions de Municipis Zona II (Vilaplana, Almofter, Riudecanyes, Castellvell). Això vol dir que dins d’un mateix municipi podem trobar zones granítiques amb alt risc i zones calcàries, argiloses o

dolomies amb baix risc. He trobat al Castell d'Escornalbou que en pocs metres canvia molt la dosi (punts 19 i 20 a banda i banda del pàrquing)

En conclusió respecte a la hipòtesi 4:

- la delimitació de zones del reial Decret podria revisar-se per incloure Prades tot fent les mesures adients. Això és transcendent ja que obligaria a determinades accions en construir edificis.
- esmentar al reial decret un Municipi com d'alt risc no vol dir que tot el terme municipal estigui afectat, sinó que depèn de la geologia de cada punt.
- La Radiació depèn de la geologia, sent les roques ígnies (Granit) i metamòrfiques de contacte les més radioactives i les sedimentàries les menys.



Imatge 40: Resultats 1 cm. i dosi mitjana d'origen geològic (línia vermella) Font: pròpia i CSN Protección radiológica

Estudi de les dades MeV a 1 cm

Localit	$\mu\text{Sv/h}$	MeV	Descripció
23	0,079221	21829	Dolomies Negres Vandellós platja
22	0,092321	17193	Dipòsits al·luvials Nuclear
36	0,125114	20384	Calcàries Vilaplana
29	0,125174	16262	Calcàries Colldejou
37	0,127723	33645	Dolomies i calcàries Vilaplana
27	0,137081	17667	Gresos mare de Deu Mont-roig
39	0,14624	51276	Sediments de platja Cambrils
32	0,163953	49981	Peu de mont Cambrils
30	0,175847	52920	Argiles Colldejou
31	0,202639	30476	Graves i sorres Cambrils
24	0,208697	66003	Granodiorites i granits alcalins. Granit Les Borges
33	0,219583	55415	Metamorfisme de contacte La Selva del Camp
28	0,236511	42898	Granodiorites i granits alcalins Vilanova d'Escornalbou
25	0,241818	41545	Granodiorites i granits alcalins Les Borges
26	0,270449	70956	Filons de pòrfirs granodiorítics Riudecols
34	0,277519	59283	Granodiorites i granits alcalins Vilaplana
35	0,281733	66471	Granodiorites i granits alcalins Vilaplana
21	0,302533	66317	Granodiorites i granits alcalins Prades

Taula 5: resultats MeV Minipix

Ordenant els resultats a 1 cm de Geiger ($\mu\text{Sv/h}$) i ombrejant els resultats per sota de 0,199 $\mu\text{Sv/h}$ (dosi mitja segons CSN Protecció Radiològica) obtinc algunes discrepàncies amb Minipix (MeV).

Els resultats mostren que les roques Ígnies continuen sent les més radioactives i les sedimentàries les menys amb tres excepcions de més de 49000 MeV però per sota de 0,199 $\mu\text{Sv/h}$ (blau): Argiles Colldejou (30); Peu de Mont Cambrils (32) i sediments de platja Cambrils (39).

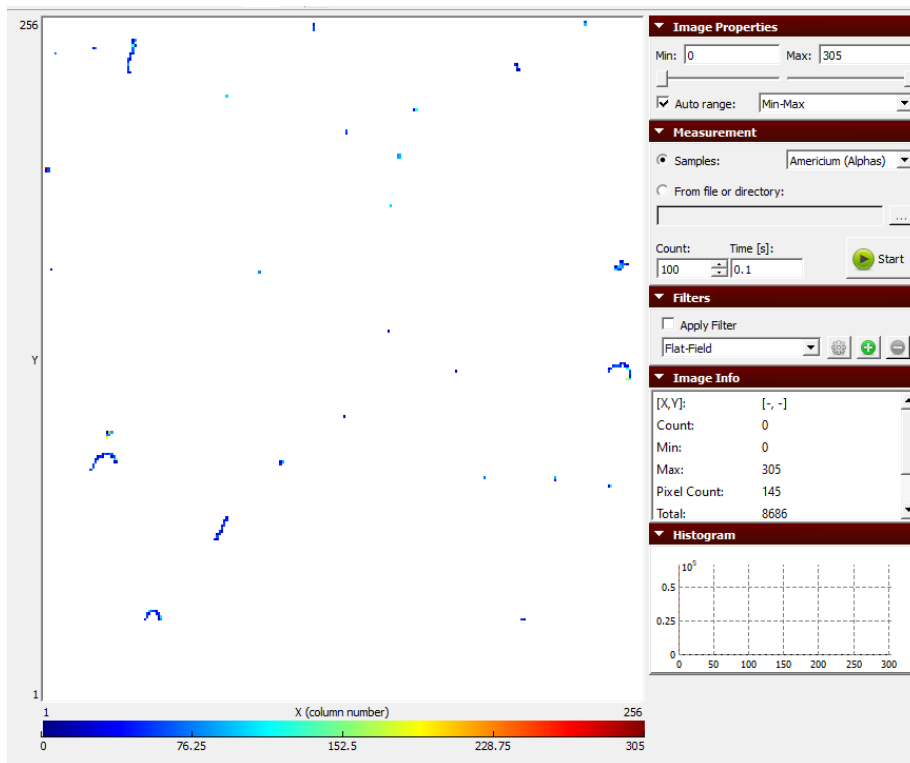
Les sis lectures de cadascun d'aquest punts mostra com hi ha una mesura extraordinària que fa pujar el sumatori.

Minut/Localitz	30	32	39
1	8686	13406	2998
2	6864	8799	21795
3	9176	6490	5520
4	6566	7610	4770
5	7184	7131	4420
6	14444	6545	11773
Suma	52920	49981	51276

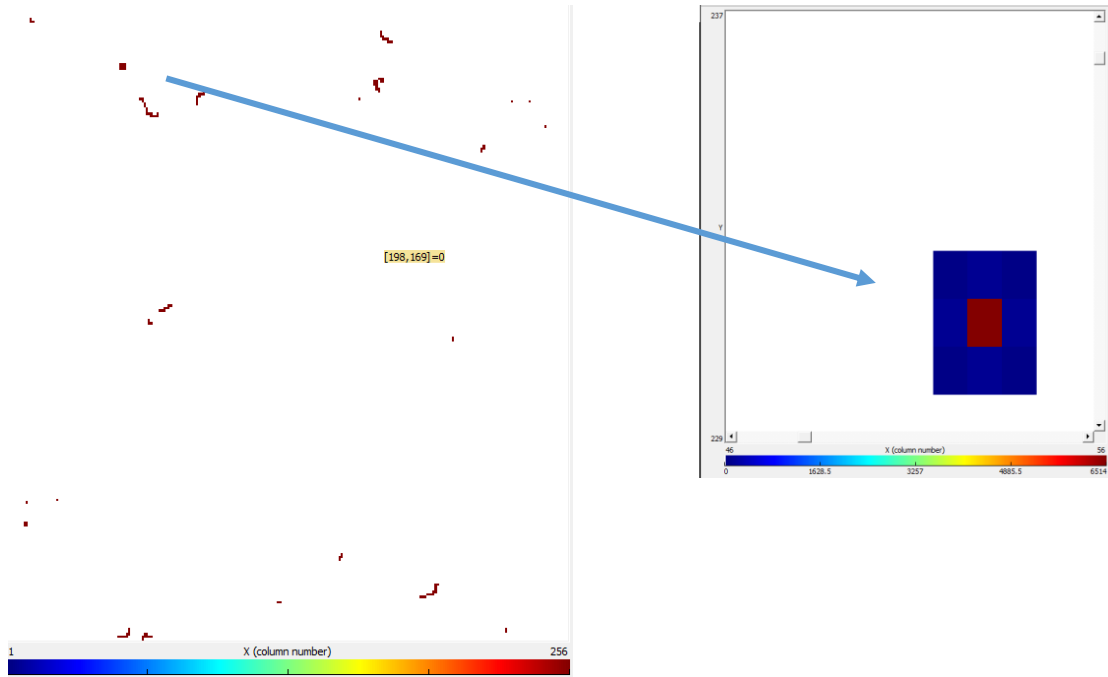
Taula 6: Sèries de lectures amb una més alta

Observant els Frames d'aquestes mesures:

30 Argiles Coldejou:



Imatge 41: Minut 1 sense alfa, 8686 MeV amb màxim de 305



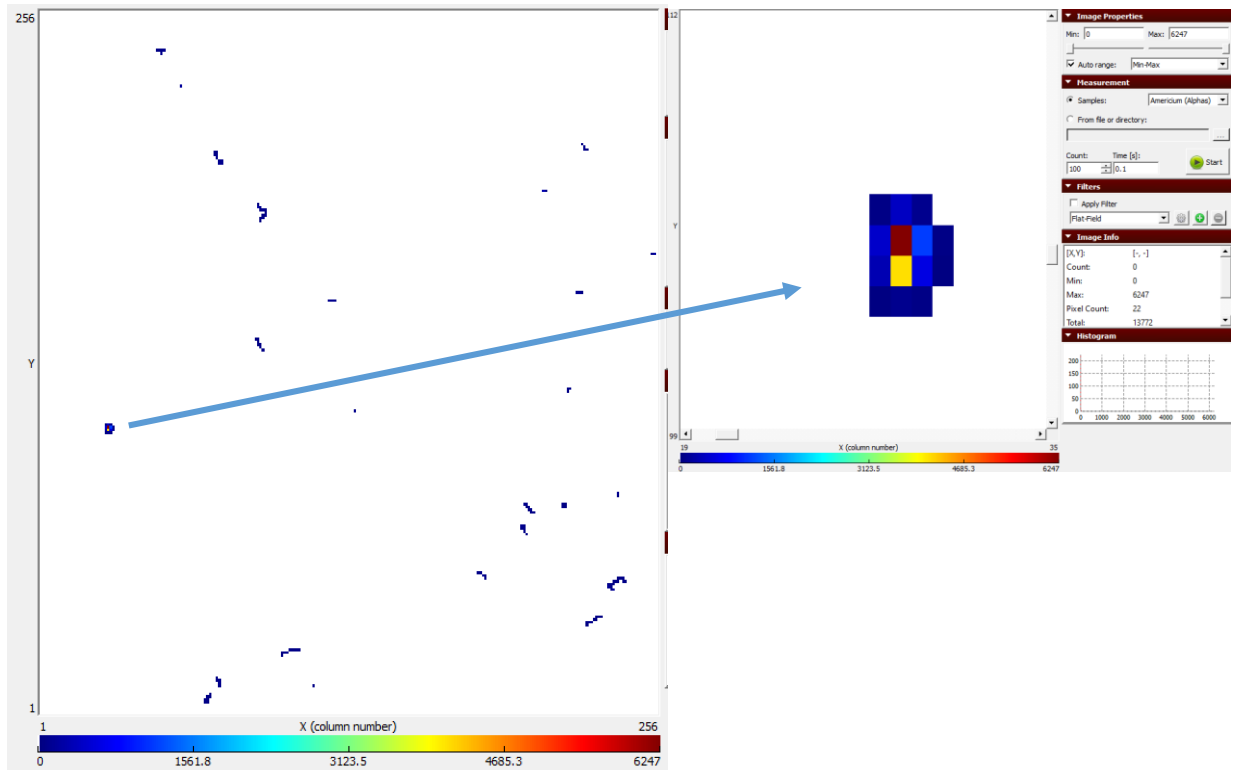
Imatge 42: Minut 6 amb un alfa de 6514

32 Peu de Mont Cambrils



Imatge 43: No es veu cap alfa

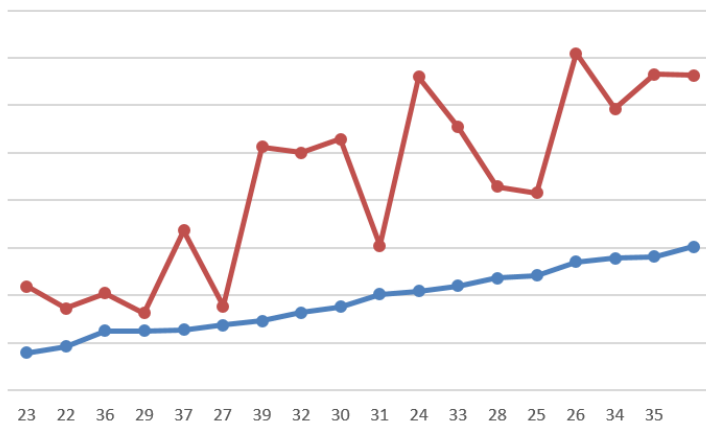
39. Sediments de platja



Imatge 44: min 2 amb una alfa de 13772

En el cas del 30 i 39, la presència d'una partícula alfa fa capgirar el resultat. Per això la importància de mesures llargues.

Al gràfic s'observa que si bé Geiger (blau) i Minipix (vermell) presenten la mateixa tendència, no coincideixen totalment.

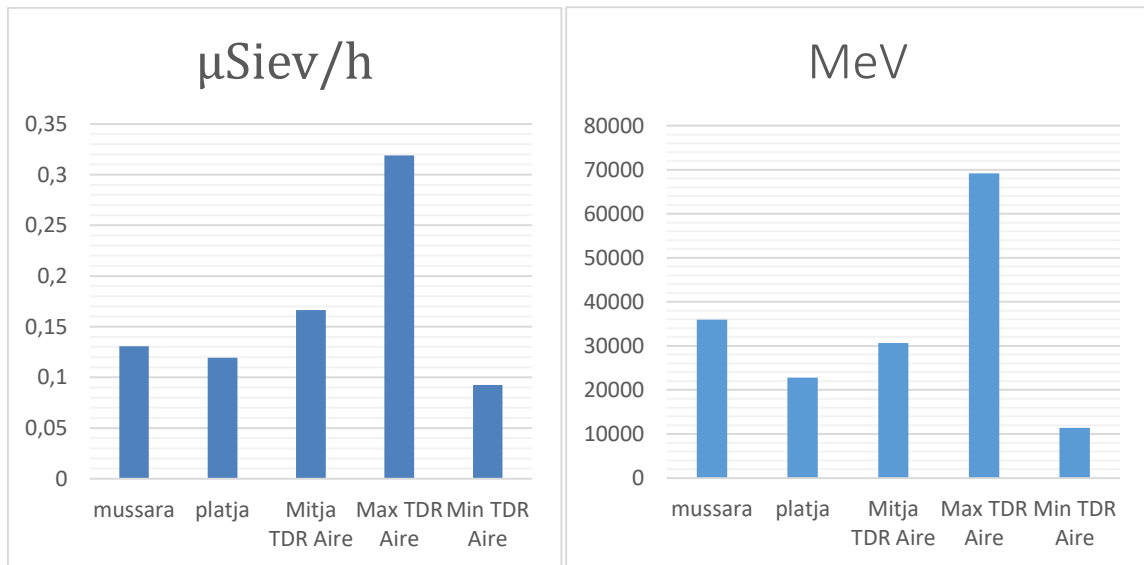


Imatge 45: dades Geiger i Minipix

Hipòtesi confirmada: Les roques granítiques del Baix Camp son més radioactives que les sedimentàries.

4.5.- HIPÒTESI 5.- LA DIFERÈNCIA D'ALÇADA ENTRE EL PUNT MÉS ALT (LA MUSSARA) I EL NIVELL DEL MAR AL BAIX CAMP ES TRADUEIX EN UNA DIFERÈNCIA DETECTABLE AMB ELS MEUS APARELLS

Les mesures obtingudes al punt més alt del B.Camp (La Mussara 980 m.) i el més baix (Platja de Vilafortuny) mostren una diferència, molt petita.



	mussara	platja	Mitja TDR Aire	Max TDR Aire	Min TDR Aire
μSiev	0,130745	0,119321	0,166314	0,318937	0,092404
MeV	35943	22800	30614,8571	69201	11391

Imatge 46: dades Punt més alt i més baix

Tot i que la Mussara mostra xifres més altes, com correspondria degut a ser la màxima alçada, l'efecte pot ser que no sigui per l'alçada ja que és una diferència molt petita comparada amb la resta de resultats del TDR. Trobem una mitja de μSiev i MeV major a la resta del TDR tot i que en teoria la Mussara hauria de ser la màxima. El mateix passa amb els mínims que haurien de ser a la platja. Penso que la diferència d'alçada no es prou important com per influir al resultat detectable amb els meus aparells de mesura. És doncs una Hipòtesi NO confirmada

5.- CONCLUSIONS

He mesurat radiació ionitzant natural tant d'origen còsmic com terrestre al Baix Camp. Sobre la radiació còsmica, amb els aparells emprats, no puc extreure gaires conclusions i concretament no puc detectar diferències entre el punt més alt i el més baix de la Comarca. Els aparells però, si es mostren útils per mesurar la radiació ionitzant - alfa, beta i gamma - d'origen terrestre. La comarca del Baix Camp compren els Municipis amb risc de radiació per gas radó de la demarcació de Tarragona. Les mesures em mostren que els nivells de radiació son molt lluny dels considerats perillosos i que això també val per les rodalies de la Central Nuclear, localització amb els nivells més baixos de tot l'estudi. He pogut comprovar que el risc està relacionat amb el sostrat geològic de roques ígnies, principalment granit. En un mateix municipi, depenent del sostrat, en pocs metres varia molt la mesura de la radiació. Allà on les mesures son elevades, es necessari construir amb tècniques específiques per guarir les persones del risc de càncer. Penso que és molt rellevant el fet que les mesures realitzades al Municipi de Prades revelin un nivell alt de radiació, degut al sostrat granític, però que aquest Municipi no estigui catalogat per l'Estat Espanyol com de risc de Radó.

BIBLIOGRAFIA

Tots els recursos son consultables on line. Els he ordenat per la Institució o autor

- Arnedo Ayensa, MA. Evaluación del fondo radiactivo natural de las Islas Canarias Orientales, implicaciones radiológicas sobre la población. Tesis Doctoral. Universitat las Palmas de Gran Canarias
https://www.researchgate.net/publication/292642151_Evaluacion_del_fondo_radioactivo_natural_de_las_Islas_Canarias_Orientales_implicaciones_radiologicas_sobre_la_poblacion Data consulta: 12/05/2022
- Bulbulian Silvia. Instituto Iberoamericano de la comunicación educativa. Radiactividad
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/42/htm/radiacti.htm> Data consulta: 18/08/2022
- CSN. Monografías. Las Radiaciones. <https://www.csn.es/las-radiaciones#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20es%20la%20emisi%C3%B3n,radiaci%C3%B3n%20infrarroja%20no%20podr%C3%ADamos%20calentarnos.> Data consulta 20/05/2022
- CSN. Protección Radiológica. <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica> Data consulta: 05/09/2022
- CSN. Mapa de radiación gamma natural en España (MARNA) Font: CSN
<https://www.csn.es/mapa-de-radiacion-gamma-natural-en-espana-marna> Data consulta: 12/05/2022
- CSN Vigilancia Radiológica <https://www.csn.es/kprgisweb2/>
- Curso de Biomolècules. Universidad del País Vasco.
[https://www.ehu.eus/biomoleculas/isotopos/isotopos2.htm#:~:text=Los%20is%C3%B3topos%20del%20carbono%20son,6%20protones%20y%20ocho%20neutrones\).&text=En%20el%20caso%20del%20cloro,natural%20es%20de%2035%20C5.](https://www.ehu.eus/biomoleculas/isotopos/isotopos2.htm#:~:text=Los%20is%C3%B3topos%20del%20carbono%20son,6%20protones%20y%20ocho%20neutrones).&text=En%20el%20caso%20del%20cloro,natural%20es%20de%2035%20C5.) Data consulta 06/07/2022
- *Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes*

- Desayuno con Fotones.
<https://desayunoconfotones.org/2014/02/26/minerales-y-rocas-radiactivos/>
Data consulta 15/05/2022
- DIRECTIVA 2013/59/EURATOM DEL CONSEJO de 5 de diciembre de 2013 por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes,
- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02013L0059-20140117> Data consulta 11/09/2022
- El Átomo
http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/el_atomo/historia.htm?1&O
Data consulta 06/07/2022
- EPA. Agencia de protección ambiental de Estados Unidos. Información básica sobre la radiación. <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-la-radiacion> Data consulta 18/08/2022
- EPA, Agencia de Protección ambiental de Estados Unidos. Términos y unidades de la radiación. [https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-y-unidades-de-la-radiacion#:~:text=Las%20unidades%20de%20medici%C3%B3n%20para,\(Bq%2C%20unidad%20internacional\)](https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-y-unidades-de-la-radiacion#:~:text=Las%20unidades%20de%20medici%C3%B3n%20para,(Bq%2C%20unidad%20internacional)) Data consulta 18/08/2022
- Fernández García Alberto. 2016. Datación de sedimentos y evaluación de tasas de sedimentación mediante el análisis de isótopos radiactivos de origen natural y artificial usados como trazadores Màster en Física y Tecnologías Físicas. Universidad de Cantabria.
<https://www.researchgate.net/publication/299560004> Datacion de sedimentos y evaluacion de tasas de sedimentacion mediante el analisis de isoto pos radiactivos de origen natural y artificial usados como trazadores/figures?lo=1 i <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/942> Data consulta 06/07/2022
- Firas Habeb Abdulrazzak, et al. Behavior of X-Ray Analysis of Carbon Nanotubes. Del llibre Perspective of Carbon Nanotubes
<https://www.intechopen.com/chapters/66164> Data consulta 11/09/2022

- García-Talavera M et al 2013 J. Radiol. Prot. 33 605 Mapping radon-prone areas using γ -radiation dose rate and geological information.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23803560/> Data consulta 15/05/2022
- Hurley, B. W. NNSA, 2009. Natural Radioactivity in the Geologic Environment,
https://cemp.dri.edu/cemp/workshop2009/presentations/Hurley-Radioactivity_Geologic_Environ.pdf Data consulta 06/07/2022
- IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica. Qué es es la Radiación.
<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-radiacion> Data consulta 11/09/2022
- ICRP Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. https://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf Data consulta 19/08/2022
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Mapa geològic de Catalunya
https://betaportal.icgc.cat/visor/client_utfgrid_geo.html Data consulta 02/05/2022
- Investigación y Ciencia. Nuclear 3. ¿Cómo se mide la radiactividad y cuáles son sus efectos? <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/24/posts/nuclear-3-cmo-se-mide-la-radiactividad-y-cules-son-sus-efectos-10297> Data consulta 11/09/2022
- LaVoz de Galicia
<https://www.lavozdeg Galicia.es/default/2019/06/25/00161561477183379523630/Foto/gi26p22g1-01.jpg> Data consulta 06/07/2022
- L. Fernández, José. “Interacciones Fundamentales”
<https://www.fiscalab.com/apartado/interacciones-fundamentales#gravitatoria>
- Margarita Núñez. 2008. Efectos biológicos de las radiaciones – Dosimetría. Escuela Universitaria de Tecnología Médica UdelaR, Montevideo, Uruguay Comité de Tecnólogos de ALASBIMN.
https://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Efectos_biologicos_d_e_las_radiaciones.pdf Data consulta 19/08/2022

- Ministerio de Sanidad. Radón.
<https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/medioAmbiente/radon.htm> Data consulta 06/07/2022
- National Institute of Health USA. Medline plus. Temas de Salud. Exposición a la Radiación.
<https://medlineplus.gov/spanish/radiationexposure.html#:~:text=Puede%20ocurrir%20naturalmente%20o%20ser,rayos%20X%20y%20rayos%20gamma> Data consulta 06/07/2022
- Nick Conor. 2020. Qué es el contador Geiger – Detector Geiger-Mueller – Definición. <https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-el-contador-geiger-detector-geiger-mueller-definicion/> Data consulta 02/05/2022
- Nick Conor 2020. Radiationdosimetry. Qué es Sievert. <https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-sievert-unidad-de-dosis-equivalente-definicion/#:~:text=El%20factor%20de%20ponderaci%C3%B3n%20de%20la%20radiaci%C3%B3n%20hace%20que%20el,caso%20de%20los%20rayos%20gamma> Data consulta 02/05/2022
- OMS Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección, 2016 <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>
- Planas, Oriol. “¿Qué es la radioactividad?. 2020” <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/radioactividad#:~:text=La%20radioactividad%20artificial%20es%20toda,radiación%20artificial%20es%20su%20procedencia.&text=En%20ambos%20casos%20las%20radiaciones,desintegración%20beta%20formada%20por%20electrones> Data consulta 12/08/2022
- Projecte Admira. <https://serviparticules.ub.edu/projectes/projecte-admira>
Data consulta 02/05/2022
- Projecte ADMIRA. Documentació sobre el MiniPix.
https://serviparticules.ub.edu/sites/serviparticules/files/2019-11/fitxer2_DocumentacioTimepix.pdf Data consulta 11/09/2022
- Protección Civil la Red de Alerta de Radiactividad (RAR)
<https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/redes/rar>

- Reial decret 732/2019, de 20 de desembre, pel qual es modifica el Codi tècnic de l'edificació. https://www.boe.es/boe_catalan/dias/2019/12/27/pdfs/BOE-A-2019-18528-C.pdf Data consulta 11/09/2022
- Sepúlveda, E. (2016, julio). *Fuerza nuclear débil*. Retrieved from Física en Línea: <http://www.fisicaenlinea.com/06fuerzas/fuerzas13-nucleardebil.html>
Data consulta: 12/08/2022
- Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales
<https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0504-01/series.html> Data consulta: 06/07/2022
- Xarxa de vigilància radiològica ambiental de la Generalitat de Catalunya (XVRAC) <https://analisi.transparenciacatalunya.cat/Medi-Ambient/Xarxa-de-vigil-ncia-radiol-gica-ambiental-de-la-Ge/wpez-cjrc/data>

INDEX IMATGES

Imatge 1 Estructura atòmica Font: Oriol Planas.	7
Imatge 2 Isòtops. Font: Curso de Biomolèculas. Isótopos. Universidad del País Vasco.	8
Imatge 3. Decaïment radioactiu. Font: IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica. Qué es la Radiación?	9
Imatge 4. Radiació alfa. Font: IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica.	9
Imatge 5 Radiació Beta. Font: IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica.....	10
Imatge 6. Espectre raigs X. Font: Behavior of X-Ray Analysis of Carbon Nanotubes	10
Imatge 7. Raigs Gamma. Font: IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica.....	10
Imatge 8: Fisió nuclear. Font: IAEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica	11
Imatge 9 : Tipus de Radiació. Font: Fundació Thales	11
Imatge 10. Font: Arnedo Ayensa, MA. Evaluación del fondo radiactivo natural de las Islas Canarias Orientales, implicaciones radiológicas sobre la población.....	13
Imatge 11. Series Radioactives. Font: Societat Thales.....	14
Imatge 12 Serie de descomposició de l'urani radi. Font: El-laboració pròpia des de Fernandez García, Alberto Màster en Física y Tecnologías Físicas. Universidad de Cantabria.	14
Imatge 13. Font: La Voz de Galicia	15
Imatge 14. Zones de potencial de Radón. Font: CSN, cartografia del potencial de Radón en España.	16
Imatge 15 Zones de potencial de Radó per municipis. Font: CSN, cartografia del potencial de Radón en España.	16
Imatge 16. Font: El-laboració pròpia des de Mapa geològic de Catalunya.....	17
Imatge 17. Font: Mapa geològic de Catalunya.....	17
Imatge 18. Font: Mapa de radiación gamma natural en España (MARNA)	18
Imatge 19. Font: M García-Talavera et al 2013 J. Radiol. Prot. 33 605 Mapping radon-prone areas using γ -radiation dose rate and geological information	18
Imatge 20. Detector Minipix. Font: Projecte ADMIRA. Documentació sobre el MiniPix.....	20
Imatge 21. Interacció d'una partícula alfa al sensor i imatge del software. Font: Projecte ADMIRA: Documentació sobre el MiniPix.....	20
Imatge 22. Interacció d'una partícula beta al sensor i imatge del software. Font: ProjecteADMIRA Documentació sobre el MiniPix	20
Imatge 23. Interacció d'una radiació gamma al sensor i imatge del software. Font: Projecte ADMIRA. Documentació sobre el Minipix.....	21
Imatge 24. Font: CSN. Protección Radiológica.....	21
Imatge 25. Comptador Gamma Scout. Font: https://www.gammascout.com/	23
Imatge 26 Detector Minipix. Font: ADVACAM.com.....	23

Imatge 27. Mymaps.....	26
Imatge 28. Frames del Pixetpro obtingudes a l'estudi.....	26
Imatge 29. Dades Geiger	27
Imatge 30 Dades Minipix.....	27
Imatge 31. Pixels danyats.....	28
Imatge 32. Punt 33 a 1 cm amb els tres tipus de radiació	29
Imatge 33. Punt 33 a 1m sense alfa (3623 MeV)	30
Imatge 34. Punt 33 Aire amb alfa (13699 MeV dels quals 4788 MeV de la partícula alfa assenyalada).....	30
Imatge 35. Punt 33 sense alfa (4347 MeV)	31
Imatge 36. Variacions degudes a partícules alfa.....	31
Imatge 37: Red Alerta radiactivitat Font: protecció civil RAR.....	33
Imatge 38: Xarxa de vigilància radiològica ambiental de la Generalitat de Catalunya (XVRAC). 34	
Imatge 39: Resultados de Vigilancia radiològica ambiental de España (CSN Vigilancia Radiològica).....	34
Imatge 40: Resultats 1 cm. i dosi mitjana d'origen geològic (línia vermella) Font: pròpia i CSN Protecció radiològica.....	38
Imatge 41: Minut 1 sense alfa, 8686 MeV amb màxim de 305 MeV.....	40
Imatge 42: Minut 6 amb un alfa de 6514 MeV	41
Imatge 43: No es veu cap alfa	41
Imatge 44: min 2 amb una alfa de 13772 MeV.....	42
Imatge 45: dades Geiger i Minipix	42
Imatge 46: dades Punt més alt i més baix.....	43

ÍNDEX TAULES

Taula 1 Resultats Globals.....	32
Taula 2 Valors màxims d'exposició per professions de risc (Font: Decret 783/2001).....	33
Taula 3 Resultats Central Nuclear propis i de CSN (Vigilància Radiològica).....	35
Taula 4 Zones I i II font: Reial Decret 732/2019.....	36
Taula 5 Resultats MeV Minipix.....	39
Taula 6 Sèries de lectures amb una més alta.....	40