Impacte medioambiental de l'ús de la radioactivitat en l'àmbit hospitalari: UN TREBALL DE CAMP

Joan Ramos Masdeu
Miguel Reina Campos

2n BTX C/T
3-Gener-2008

Traducció: 22 Maig 2008

Impacte mediambiental de l’ús de la radioactivitat a l’àmbit hospitalari: un treball de camp.

Joan Ramos Masdeu
Miguel Reina Campos

ACRÓNIMS	
HCP	Hospital Clínic y Provincial
cpm	Comptes per minut
Cps	Comptes per segon
Sv / mSv / µSv	Sievert / Milisiverts/ Microsievert
dps	Desintegracions per segon
dpm	Desintegracions per minut
Gy / CGy	Gray / Centigray
Bq	Becquerel
REVIRA	Red de Vigilancia Radiológica Ambiental
eV / MeV	Electronvolt / Megaelectró-volt
CSN	Consell de Seguretat Nuclear
RD	Real Decret

En les discussions que ens van dur a escollir el tema del treball, que plantegem a continuació, centrem el nostre interès a conèixer si activitats comunes en el nostre entorn, com la pròpia activitat hospitalària, podrien ser una font de contaminació radioactiva. Per a poder abordar aquestes preguntes hem emprat nombroses fonts d'informació, tant llibres, com fullets informatius de la *CSN (Consell de Seguretat Nuclear), documents *acadèmics com publicacions d'organismes oficials de la Generalitat de Catalunya, etc. obtingudes en paper o a través d'Internet. És de destacar la col·laboració desinteressada i generosa d'algunes de les persones que hem visitat i que s'han prestat a respondre a les nostres preguntes. Volem destacar aquí al Dr. A. Biete, cap de servei de radiologia, a la Dra. M. Esteban, cap de radioprotecció, ambdós de l'Hospital Clínic i Provincial de Barcelona (HCP) i a la Dra. M. Ribas, Cap de Radioprotecció de l'Hospital de San Pau així com a la Dra. Carmen Benito, supervisora de la Instal·lació Radioactiva de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona.

Gràcies a la informació que ens han aportat, a les seves explicacions detallades, als documents que ens han prestat i al seu amable interès hem pogut entendre millor el context en el qual es desenvolupa la manipulació, l'ús i l'eliminació del material radioactiu en les instal·lacions hospitalàries on és una eina crítica per al diagnòstic i tractament de nombroses patologies.

El treball que presentem a continuació està organitzat en dues parts. En la primera responem a preguntes bàsiques sobre la radioactivitat i la seva naturalesa, les seves aplicacions i les dificultats i riscos que suposa la seva manipulació. És una primera part teòrica en la qual recollim els conceptes més importants que hem après al realitzar el treball. En la segona part s'aborda experimentalment, amb els recursos que disposem, la mesura de la radioactivitat en l'entorn d'una de les majors instal·lacions hospitalàries de Barcelona, l'Hospital Clínic i Provincial de Barcelona. L'objectiu és esbrinar si a causa de la utilització de radioactivitat en medicina els nivells en la via urbana són més elevats. Per a la realització d'aquesta segona part hem necessitat ajuda tècnica tant per a aconseguir els equips de mesura (comptador Geiger, comptador de centelleig líquid), com els vials, reactius, i molt especialment les solucions radioactives que han estat sempre manipulades per personal qualificat i en ambient controlat en el Departament de Biologia Cel·lular de la Universitat de Barcelona.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ 1

Part 1. Introducció teòrica i conceptual

2. ¿QUÉ ÉS LA RADIOACTIVITAT? 4

2.1 CARACTERÍSTIQUES DE LES RADIACIONS IONITZANTS 5

2.1.1 Tipus de Radiacions 5

2.1.2 Lleis generals de las radiacions 8

2.1.3 El poder de penetració 9

2.1.4 Període de semidesintegració 10

2.1.5 L'activitat d'un radioisòtop 10

2.2 QUANTIFICACIÓ DE LA RADIACIÓ I ELS SEUS EFECTES 11

2.3 RADIACIÓ EXTERNA 13

2.4 IRRADIACIÓ I CONTAMINACIÓ 17

2.5 EFECTES BIOLÓGICS 19

3. RADIOPROTECCIÓ 20

3.1 PROTECCIÓ CONTRA LA IRRADIACIÓ EXTERNA 21

3.2 PROTECCIÓ CONTRA LA CONTAMINACIÓ 22

3.3 NORMES GENERALS 26

3.4 APARELLS DE MESURA 28

3.5 ORGANISMES REGULADORS 29

4. INSTAL·LACIONS RADIOACTIVES I ELS HOSPITALS 31

4.1 INSTAL·LACIONS RADIOACTIVES 31

4.1.1 Classificació de les instal·lacions radioactives 31

4.1.2 Instal·lacions radioactives hospitalàries estudiades 33

4.2 ÚS MÈDIC DE LES RADIACIONS IONITZANTS 35

4.2.1 Radioteràpia 35

4.2.1.1 Radioteràpia externa 37

42.1.2 Radioteràpia interna 38

4.2.2 Radiodiagnòstic 39

4.2.2.1 Els rajos X 39

4.2.3 Medicina Nuclear 43

4.2.3.1 Radiofàrmacs 45

4.2.3.2 Tractaments en medicina nuclear 48

4.2.3.2.1 Protocol d'actuació d'un pacient tractat amb radiofàrmacs 49

Part 2. Mesura de la radioactivitat en l'ambient: un treball de camp.

7. TREBALL DE CAMP 50

7.1 EQUIPS DE MESURA 51

7.1.1 Comptador Geiger 51

7.1.2 Comptador de Centelleig Líquid 52

7.2 DETERMINACIÓ DE LA SENSIBILITAT DEL COMPTADOR GEIGER AL LABORATORI 55

7.2.1 Objectius 56

7.2.2 Introducció Teòrica 56

7.2.3 Material 58

7.2.4 Càlculs 58

7.2.5 Esquema del muntatge 59

7.2.6 Procediment 59

7.2.7 Resultats 60

7.2.8 Conclusions 61

7.3 DETERMINACIÓ DELS NIVELLS DE SOROLL DE FONS I CONTROL POSITIU PER RADÓ 62

7.3.1 Objectiu 62

7.3.2 Material 63

7.3.3 Procediment 63

7.3.4 Resultats 63

7.3.5 Conclusions 64

7.4 MOSTREIG AMBIENTAL A L'ENTORN DE L'HOSPITAL CLÍNIC 65

7.4.1 Objectiu 65

7.4.2 Material 65

7.4.3 Procediment 65

7.4.4 Resultats 66

7.4.5 Conclusions 68

7.5 PRESA DE MOSTRES DE CONTACTE 69

7.5.1 Objectiu 69

7.5.2 Material 69

7.5.3 Procediment 70

7.5.4 Resultats 71

7.5.5 Conclusions 74

8. DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS FINALS 74

9. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCCIÓ

El present treball d'investigació va néixer amb la idea d'estudiar d'una manera més completa, precisa i aplicada el que ja havíem estudiat a l'institut sobre la radioactivitat. El tema d'investigació seria doncs el procés físic de la radioactivitat, els àtoms, les partícules radioactives, l'equilibri entre protons i neutrons, la desestabilització del nucli, les radiacions ionitzants, etc.

Pensant que potser estàvem enfocant el treball d'una manera equivocada, ja que es tracta d'un treball d'investigació, se'ns va ocórrer la idea que, basant la introducció del treball en la radioactivitat, podríem realitzar un treball de camp en el qual mesuraríem els nivells radioactius que hi ha al carrer. Ens vam adonar de seguida que no seria tan fàcil fer mesures pel carrer, així que vam haver de pensar llocs concrets on fessin ús de la radioactivitat amb algun propòsit. Arran d'això va sorgir la idea de fer les mesures al voltant d'un hospital. Però no ens servia qualsevol hospital, necessitàvem un que disposés d'instal·lacions radioactives d'un cert nivell. Vam escollir l'Hospital Clínic i Provincial per la seva grandària i activitat assistencial i per la seva proximitat.

Animats amb la idea de l'hospital vam decidir que seria interessant aprofundir en el camp de les aplicacions de la radioactivitat en medicina, però després de dues setmanes recopilant informació, la quantitat era tal que per a fer un treball amb un mínim de profunditat sobre tots els camps necessitaríem almenys 200 fulles i una mica més de temps i com això no és possible i tampoc estava en la idea inicial ho vam acabar rebutjant. Però encara que no vam utilitzar de forma directa tot el que hem trobat si que ens ha servit per a tenir més coneixements per a continuar el treball.

Per començar ens vam entrevistar amb el Dr. Biete, Cap del Servei de Radiodiagnòstic de l'Hospital Clínic. Li vam explicar les idees en les quals volíem basar el treball perquè ens orientés d'alguna manera. Li explicarem la nostra intenció d'amidar els nivells de radiació, i ell, com la resta de les persones consultades, ens va dir que estava segur que no trobaríem res fora

del normal. A més ens va facilitar un llibre de radiodiagnòstic molt complet. Ens va explicar la dificultat del que preteníem i com s'estructuraven els diferents departaments que apliquen radiació dintre de l'hospital, entre el que seria radiodiagnòstic, o ús de la radiació per a diagnosticar patologies (RAJOS X, etc.) i la radioteràpia (o ús de la radiació per a tractar patologies). Aquestes aplicacions depenen de departaments diferents, i usen equips i protocols diferents. A més en l'hospital existeix un Departament de Radioprotecció que s'ocupa del control de les fonts radioactives empleades, dels residus, etc. Ens va suggerir que, atès que una part fonamental del treball era el mesurament de la radioactivitat en l'ambient el més apropiat seria posar-nos en contacte amb el Departament de Radioprotecció de l'hospital perquè ens digués com ho podríem fer, pel que ens va facilitar el contacte amb la Dra. Mariana Esteban, Cap de Protecció Radiològica de l'Hospital Clínic. A través d'una entrevista amb la Dra. Mariana Esteban, i posteriorment mitjançant correu electrònic, ens va facilitar informació i un guió de treball, que encara que no hem seguit, ens ha aportat idees i resolt nombrosos dubtes.

Al començar a redactar el treball ja ens vam adonar que fer la introducció teòrica era el més senzill, unes pinzellades a la història, i una breu explicació sobre les característiques i el funcionament físic de la radioactivitat obtinguda de les nombroses fonts bibliogràfiques consultades. Podíem fer-lo sense massa problemes, encara que ens ha costat més de tres mesos localitzar la informació especialitzada i sintetitzar-la. També vam començar a ser conscients que la segona part, les mesures de camp, no estaven tan clarament definides.

Per a desenvolupar tota la part de radioprotecció vam decidir escollir un segon hospital i així poguérem contactar amb la Cap del Servei de Radioprotecció i Radiofísica de l'Hospital de San Pau, la Dra. Montserrat Ribas. Vam elaborar unes preguntes que li enviàrem per e-mail. A causa de la complexitat de les respostes ens va proposar contestar-nos-les en persona així que vam tenir una entrevista amb ella en la qual ens va aclarir punts clau del treball com per exemple el protocol d'actuació donat als pacients de medicina nuclear que no superen la taxa per a quedar ingressats, instal·lacions

radioactives que depenen de l'hospital, com funcionaven quant a mesures de seguretat i moltes altres coses.

Al mateix temps vam contactar amb el Servei de Coordinació d'Activitats Radioactives de la Generalitat de Catalunya, organisme que té transferides algunes de les competències del CSN (Consell de Seguretat Nuclear) a Catalunya. Gràcies a la documentació que ens va enviar vam aconseguir la informació necessària per a completar el treball amb detalls sobre les xarxes de vigilància mediambiental establertes a Espanya i Catalunya.

Per a abordar la segona part vam aconseguir que el grup Celltec-UB del Departament de Biologia Cel·lular de la Universitat de Barcelona ens prestés un equip de monitoratge de radioactivitat, un comptador Geiger. Se'ns va ocórrer que abans de començar amb la presa de mesures en l'hospital i el seu entorn havíem de fer una sèrie de preparatius com la mesura del soroll de fons i un control positiu. Vam pensar a fer el control positiu en un lloc on l'acumulació de Radó (que és radioactiu) ens donés la mostra desitjada, però després de morir-nos de fred en una planta -2 d'un pàrquing, desistim i ens vam adonar que no seria tan fàcil. Vam decidir anar segurs i fer el control positiu amb fòsfor 32 en el laboratori.

Finalment vam planificar les mesures en el carrer definint en un plànol entorn de l'Hospital Clínic una sèrie de punts de mostreig que visitaríem en dies festius en els quals no havia activitat hospitalària i en dies laborables en els quals el tràfec de pacients podria donar-nos una major oportunitat de detectar radioactivitat fora de l'hospital. A més vam decidir prendre mostres de superfícies que haguessin pogut ser contaminades accidentalment, com per exemple els urinaris dels bars pròxims a l'hospital, amidant la radioactivitat recollida en aquestes mostres. Aquestes mesures es van fer en les vacances de Nadal per a poder disposar de temps suficient sense l'aclaparament del treball al institut, les classes i els exàmens.

Part 1. Introducció a la radioactivitat, origen, conceptes bàsics y aplicacions clíniques. Organismes reguladors de l'ús de radioactivitat.

L'objectiu d'aquest apartat és ordenar els conceptes bàsics sobre la radioactivitat, el seu origen i tipus així com les aplicacions d'aquesta en l'àmbit hospitalari. Finalment s'exposa la naturalesa i l'organització dels òrgans responsables del seu control i seguiment.

2. ¿QUÈ ÉS LA RADIOACTIVITAT?

La radioactivitat va ser descoberta per Antoine Henri Becquerel en l'any 1896, quan va fer la primera observació d'un fenomen purament nuclear, 15 anys abans que Rutherford deduís l'existència del nucli. Becquerel va observar que els compostos d'urani produeixen llamps invisibles o radiacions que poden travessar un recipient opac i impressionar una emulsió fotogràfica.

El descobriment va donar lloc a un gran nombre d'investigacions sobre el tema. Potser les més importants van ser les realitzades pel matrimoni Pierre i Marie Curie, qui van descobrir el poloni i el ràdio, ambdós molt mes intensament radioactius que l'urani, en 1898. AL cap de poc temps, es van descobrir algunes propietats importants de la radiació. Una placa de plom d'una polzada o més d'espessor, deté la majoria de la radiació d'una font d'urani, de manera que pot fer-se una placa amb un petit forat per a formar un feix de radiació.

Més tard, la naturalesa de la radiació emesa i el fenomen de la radioactivitat van ser estudiats a Anglaterra per Ernest Rutherford, principalment, i per Frederick Soddy. Com resultat aviat es va saber que la radiació emesa podia ser de tres tipus: alfa, beta i gamma, i que al final del procés l'àtom radioactiu original s'havia transformat en un àtom de naturalesa distinta. També es diu que l'àtom radioactiu ha experimentat una desintegració.

Avui sabem que la radioactivitat és una reacció nuclear de "descomposició espontània"; és a dir, un nucli inestable es descompon en altre més estable que ell, alhora que emet una "radiació". El nucli fill (el qual resulta de la desintegració) pot no ser estable, i llavors es desintegra en un tercer, el qual pot continuar el procés, fins que finalment s'arriba a un nucli estable. Es diu que els successius nuclis d'un conjunt de desintegracions formen una sèrie o família radioactiva.

Diguem, per acabar, que són radioactius tots els isòtops dels elements amb nombre atòmic igual o major a 84 (el poloni és el primer d'ells), i que avui s'obtenen en el laboratori isòtops radioactius d'elements els isòtops naturals dels quals són estables; és l'anomenada radioactivitat artificial. El descobriment de la radioactivitat artificial la va portar a terme en 1934 el matrimoni francès Joliot-Curie, format per Fréderic Joliot i Irene Curie, filla dels esposos Curie.

2.1 CARACTERÍSTIQUES DE LES RADIACIONS IONITZANTS

2.1.1 Tipus de radiacions

Sabem que la radiació emesa per una desintegració radioactiva pot ser de tres tipus: la radiació alfa, la radiació beta i la radiació gamma, a més actualment també es considera com a tal l'emissió de neutrons com un quart tipus de radiació.

- **La radiació alfa**(a) està formada per nuclis del isòtop 4 d'Heli, és a dir està constituïda per una radiació corpuscular, en la qual cada corpuscle està format per dos protons i dos neutrons. Això significa que té una massa atòmica de 4 unitats i una càrrega elèctrica de 2 unitats positives. És un tipus de radiació poc penetrant que pot ser detinguda per una simple fulla de paper.

  Aquest tipus de radiació l'emeten nuclis d'elements pesats situats al final de la taula periòdica (A >100). Aquests nuclis tenen molts protons i la

repulsió elèctrica és molt forta, pel que tendeixen a obtenir N aproximadament igual a Z, i per a això emet una partícula alfa. En el procés es desprèn molta energia que es converteix en l'energia cinètica de la partícula alfa, és a dir que aquestes partícules surten amb velocitats molt altes.

En el procés un nucli qualsevol (X) de nombre màssic A i nombre atòmic Z, es converteix en altre nucli I amb nombre màssic A-4 i nº atòmic Z-2, i s'emet una partícula alfa.

$$ {}_{Z}^{A}X \text{ ----> } {}_{Z-2}^{A-4}Y + He^{2+} $$

Com a exemples tindríem les següents desintegracions:

$$ {}^{235}U \text{ -----> } {}^{231}TH + He^{2+} $$
$$ {}^{226}Ra \text{ ----> } {}^{222}Rn + He^{2+} $$
$$ {}^{210}Po \text{ ----> } {}^{206}Pb + He^{2+} $$

• La radiació beta (ß) està constituïda per electrons, el que significa que és també de naturalesa corpuscular, en la qual cada corpuscle té una massa atòmica de 1/1800 aproximadament, i una càrrega de 1 unitat negativa. Té un poder de penetració major que les alfa. Són frenades per metres d'aire, una làmina d'alumini o uns cm. d'aigua. Existeixen tres tipus de radiació beta: radiació beta menys, radiació beta mes i captura electrònica.

La radiació beta menys apareix per a qualsevol tipus de nucli, però és típica de nuclis amb excés de neutrons, és a dir N>Z. És un mecanisme usat pels nuclis per a arribar a la línia d'estabilitat (N aproximadament igual a Z).

La radiació beta menys consisteix en l'emissió espontània d'electrons per part dels nuclis, però en el nucli només hi ha protons i neutrons, de manera que hem de suposar que en la desintegració beta

menys un neutró es transforma en un protó, un electró i un antineutrí mitjançant la reacció:

$$n^0 \text{ ----> } p^+ + e^- + \text{antineutrí}$$

L'emissió de beta menys dóna com a resultat un altre nucli diferent amb un protó més, la reacció seria:

$$_Z^AX \text{ ----> } _{Z+1}^AY + e^- + \text{antineutrí}$$

La radiació beta mes es produeix quan un nucli emet espontàniament positrons, i+. (Antipartícules de l'electró d'igual massa però amb càrrega elèctrica oposada)

El que ocorre és que un protó del nucli es desintegra donant lloc a un neutró, un positró o partícula Beta+ i un neutrí. Així el nucli es desprèn dels protons que li sobren i s'acosten a la línia d'estabilitat (N=Z). Per això es dóna en nuclis amb excés de protons. La reacció seria:

$$_Z^AX \text{ ----> } _{Z-1}^AY + e^+ + \text{neutrí}$$

Alguns exemples són:

$$^{30}P \text{ ----> } ^{30}Si + e^+$$
$$^{40}K \text{ ----> } ^{40}Ar + e^+$$
$$^{53}Fe \text{ ----> } ^{53}Mn + e^+$$

La captura electrònica es dona en nuclis amb excés de protons. El nucli captura un electró de la escorça electrònica, que s'uneix a un protó del nucli per donar un neutró.

$$p^+ + e^- \text{ ----> } n^0 + \text{neutró}$$
$$_Z^AX + e^- \text{ ----> } _{Z-1}^AY + \text{neutrí}$$

- ***La radiació gamma*** és de naturalesa electromagnètica, semblant a la llum ordinària, però amb una longitud d'ona molt més petita. És, per tant, de naturalesa ondulatòria, freturosa de massa en

repòs i de càrrega (rajos gamma, fotons molt energètics). Aquesta radiació tampoc existia abans en el nucli, sinó que és energia que s'emet com a conseqüència d'un reajustament energètic del nucli, és a dir, mitjançant aquesta radiació el nucli es desprèn de l'energia que li sobra per a passar a altre estat d'energia més baixa. Aquest tipus d'emissió acompanya a les radiacions alfa i beta.

És una radiació molt penetrant, travessa el cos humà i només es frena amb planxes de plom i murs gruixuts de formigó. Al ser tan penetrant i tan energètica, dels tres tipus de radiació és la més perillosa.

$$_{Z}^{A}X^{*} \text{ ----> } _{Z}^{A}X + \text{gamma}$$

- **La fissió espontània**, així com en la fissió induïda i en altres reaccions nuclears, es produeix una *radiació de neutrons*, formada per aquestes partícules, amb massa d'1 unitat de massa atòmica i sense càrrega.

2.1.2 Lleis generals de les radiacions

1. Llei de Grotus-Draper: nomes causa efectes aquella radiació la energia de la qual és absorbida pel medi. La que travessa sense cedir energia no causa cap efecte.

2. Llei de Bunsen y Roscoe: el producte de la intensitat pel temps és una constant. Així que en un màquina la intensitat d'emissió de la qual sigui 50 cGy/min, el temps necessari per administrar una dosi de 200 cGy serà de 4 minuts. En una altra que tingui una intensitat de 200 cGy/min, serà suficient un minut d'exposició. En ambdós casos els efectes seran els mateixos.

3. Llei del quadrat de la distancia: la intensitat del flux de radiació disminueix respecte el quadrat de la distancia. A una distància doble nomes es rep la quarta part de la intensitat del feix.

$$I d^2 = I' d'^2$$

Aquesta llei té una importància fonamental en radioprotecció ja que ens indica que el risc d'exposició a una font radioactiva disminueix molt ràpidament al distanciar-nos d'aquesta.

4. Llei del cosinus de Lambert: la intensitat d'un feix es màxim quan el seu angle d'incidència és perpendicular a una superfície. Per això, en radioteràpia clínica es busca que els feixos siguin perpendiculars, no obliqües, a les superfícies corporals.

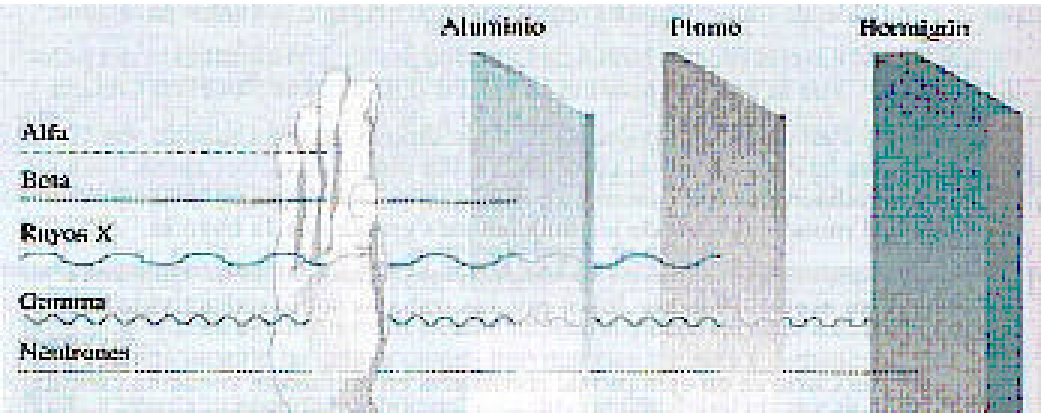


Fig. 1: Esquema que mostra el blindatge necessari per a cada tipus de partícula radioactiva. L'abast de las partícules alfa es de pocs mm en el aire i el blindatge de les partícules emeses per exemple per ^{125}I requereixen 0,5 cm de plomo. (Ref. 2.6.)

2.1.3 El poder de penetració

El poder de penetració de la radiació en la matèria (inerta o viva), depèn del tipus de radiació (a, ß, ?, X...) i de la seva energia. Aquesta última s'amida en electronvolts (eV), quilo electronvolts (KeV) i mega electronvolts (MeV)

ABAST DE LES PARTÍCULES ALFA I BETA EN L'AIRE (0º, 760^{tor}) I EN EL TEIXIT BIOLÒGIC				
ENERGÍA MÀXIMA (MeV)	PARTÍCULES ALFA		PARTÍCULES BETA	
	AIRE (mm.)	TEIXIT (mm.)	AIRE (mm.)	TEIXIT (mm.)
0,05	0,60	-	27,00	0,04
0,10	1,00	-	93,30	0,14
1,00	5,20	$7,9 \cdot 10^{-3}$	2920,00	4,00
1,50	10,10	$1,4 \cdot 10^{-2}$	4760,00	6,50
2,00	16,70	$2,2 \cdot 10^{-2}$	6590,00	9,50
3,00	25,00	$3,1 \cdot 10^{-2}$	10200,00	15,00
4,00	30,00	$3,6 \cdot 10^{-2}$	13700,00	20,00

Taula 1. Abast de les partícules alfa i beta en l'aire i a traves dels teixits biològics en funció de l'energia d'emissió. (Ref. 2.6.)

Tècnicament l'electronvolt correspon a l'energia que pren un electró quan es troba en una diferencia de potencia d'1 volt en el buit.

2.1.4 Període de semidesintegració

La vida activa d'un radioisòtop s'avalua pel seu període de semidesintegració, que és el temps necessari per a reduir a la meitat el nombre d'àtoms radioactius. Així en el cas del ^{131}I (molt utilitzat per al tractament de càncer de tiroides) és suficient deixar transcórrer 8 dies perquè la quantitat inicial es trobi reduïda a la meitat.

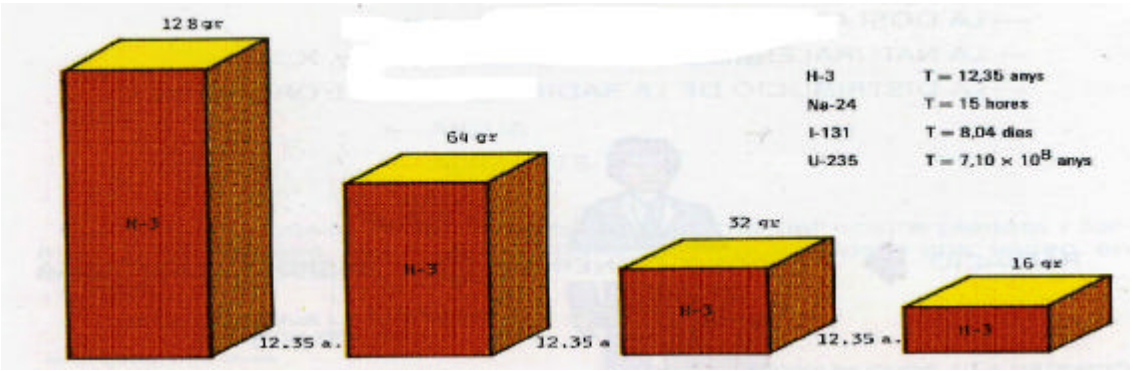


Fig. 2: Variació del nombre de nuclis radioactius de H3 al llarg de 4 períodes de semidesintegració. Temps de semidesintegració de ^{3}H, ^{24}Na, ^{131}I y ^{235}U. (Ref. 2.6.)

Com és lògic, en tractaments amb radiofàrmac en medicina nuclear, el radioisòtop injectat ha de tenir un període de semidesintegració molt curt perquè el pacient pugui eliminar-lo ràpidament i es redueixi en tant que sigui possible el temps d'exposició al mateix.

2.1.5 L'activitat d'un radioisòtop

És la mesura del nombre de desintegracions produïdes per segon. En la figura es mostra el cas d'una substància radioactiva la qual en un segon dóna lloc a cinc desintegracions, per tant la seva activitat és de cinc desintegracions per segon. Cada desintegració per segon (dps) es coneix pel nombre de becquerel (1 dps= 1 Bq)

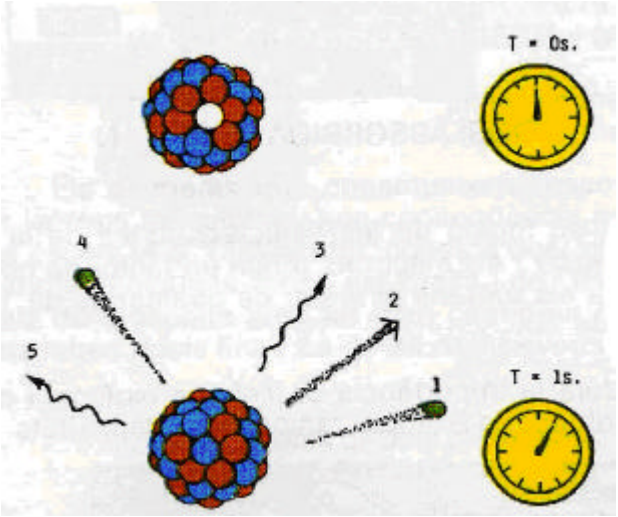


Fig. 3 Substància radioactiva que dona lloc a 5 desintegracions per segon de manera que la seva activitat és de 5 Becquerels. (Ref. 2.6.)

1 curi (Ci) = 37000000000 Becquerels ; 1 milicuri (mCi) = 37000000 Becquerels ; 1 microcuri (µCi) = 37000 Becquerels

2.2. QUANTIFICACIÓ DE LA RADIACIÓ I DELS SEUS EFECTES

La incidència de la radiació ionitzant sobre un mitjà material li produeix un dipòsit d'energia, que en el cas d'un ésser viu, pot tenir com a conseqüència una resposta biològica.

L'efecte de les radiacions sobre la matèria inerta o sobre els éssers vius s'amida mitjançant el concepte de la dosi absorbida i la dosi equivalent.

La dosi absorbida expressa l'energia cedida per la radiació per unitat de massa irradiada. S'utilitzen com unitats el Gray (Gy) i el rad (1 gray = 100 rads). Una quantitat de 4 Grays representa aproximadament absorció d'una energia equivalent a 1 caloria per cada kg. de massa (1 Gy = 1 J/kg = 0,2389 calç/kg).

Els efectes biològics de la radiació depenen de:

- La dosi absorbida
- La naturalesa de la radiació
- La distribució sobre l'organisme

Fig. 4: Esquema general del que succeeix en la exposició d'un ésser viu a radiacions ionitzants. També fa referència a la llei de Grotus-Draper. (Ref. 2.6.)

Per a amidar els efectes biològics s'utilitza el concepte de dosi equivalent, que té com unitats el Sievert (Sv) i el rem (rem). La relació entre els dos és de 1 Sv=100 rem.

Per a obtenir la dosi equivalent en Sieverts hem de multiplicar el valor de la dosi absorbida en Gy i multiplicar-la per dues constants que són Q i N.

Igualment podem obtenir la dosi equivalent en rem si multipliquem la dosi absorbida, en rad, per la constant Q i la constant N.

$$X \text{ rem} = Y \text{ rad} \cdot Q \cdot N$$

La constant Q és un factor de qualitat en funció de les característiques de la radiació. Els rajos-X , els rajos-? i els electrons tenen un factor de qualitat de 1, per als neutrons i els protons el factor de qualitat és de 10 i per a les partícules a és de 20.

La constant N és un factor que considera la importància de l'efecte biològic i corregeix la desigual distribució dels isòtops radioactius dipositats en l'organisme.

Exemple: En la Irradiació d'una superfície epidèrmica amb una dosi d'1 Gy; els efectes biològics produïts són de 20 Sv si la radiació és alfa o de 1 si la radiació és gamma. Per això a igualtat en la dosi absorbida els efectes biològics són vint vegades superiors.

Aquestes unitats són molt grans, ja que una dosi equivalent d'alguns Sieverts en poc temps pot arribar a ser mortal per a un home, per això s'utilitzen els seus submúltiples; els més utilitzats són: El milisievert (mSv) i microsievert (µSv)

1 mSv = 0,001 Sv
1 µSv = 0,000001 Sv

2.3. RADIACIÓ EXTERNA

Dintre de la radiació externa podem trobar la radiació que té un origen artificial i la qual té un origen natural. Els tipus que es descriuen a continuació són d'origen natural.

- Rajos còsmics: procedeixen de l'exterior del nostre planeta i estan formats principalment per nuclis d'àtoms, provoquen dosis que varien en funció de l'altitud i la latitud.

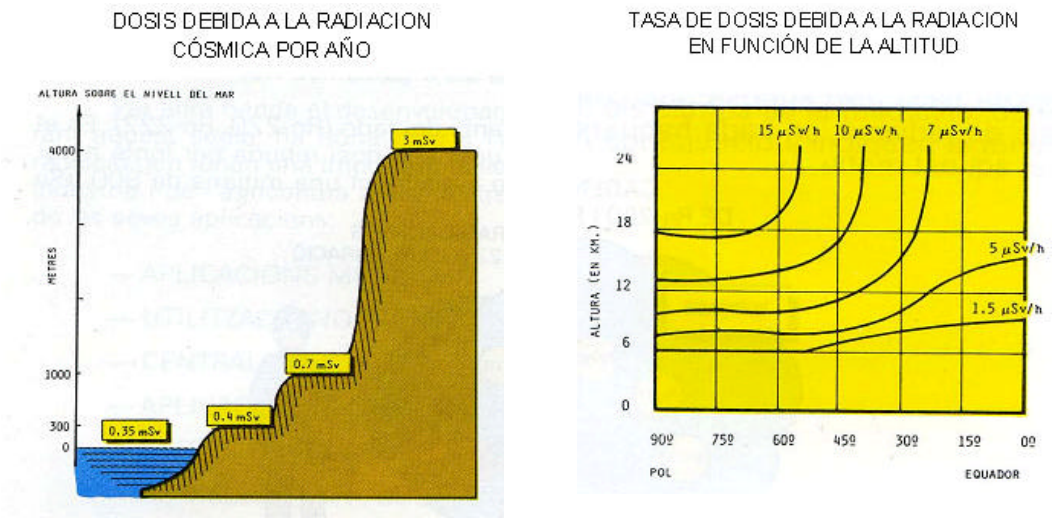


Fig. 5: Radiació natural còsmica en funció de l'altitud (A) y de la latitud (B) (Ref. 2.6).

- **Escorça terrestre:** Els elements que constitueixen l'escorça terrestre contenen isòtops radioactius, i en conseqüència contribuïxen a la dosi rebuda pels éssers vius. Malgrat tot, aquesta dosi varia molt d'un lloc a un altre, per exemple, en algunes zones del Brasil i de la Índia, on existeixen dipòsits naturals de monocita amb un gran contingut de terres rares i Tori, els habitants reben dosis de fins a 26 milisieverts per any.

TAXA DE DOSI D'IRRADIACIÓ GAMMA				
TIPUS DE ROCA	DOSI ANUAL EN mrad/any DEGUTA			
	Ra^{226}	U^{238}	Th^{232}	K^{40}
Roques ígnees	24	25,8	36,8	34,6
Roques sedimentàries				
Mars	13	7,7	18,4	14,6
Esquists	20	7,7	30,6	36
Roques Callàries	7,7	8,4	4	3,6

Taula 2. Contribució de la dosi d'irradiació gamma procedent de minerals de l'escorça terrestre degut a la presència d'isòtops radioactius (Ref. 2.6)

Els materials usats en la construcció dels nostres edificis, al ser constituïts amb materials d'origen natural contenen petites quantitats d'isòtops radioactius, el que suposa una contribució a les dosis que rebem.

- Aire: La desintegració contínua dels elements radioactius que existeixen en la terra dóna lloc a alguns productes gasosos, també radioactius, que s'incorporen a l'aire i ocasionalment a organismes vius.

Aquest és el cas dels descendents del Radó (220Rn, 222Rn). En el nostre país, això suposa una contribució a la dosi rebuda per fonts naturals de radiació, on cada habitant rep anualment una mitjana de 800 µSv per aquest motiu.

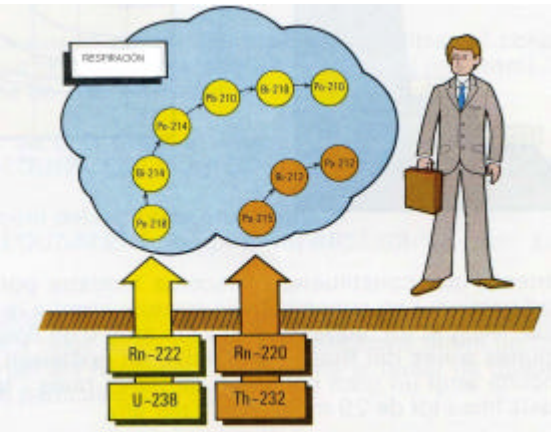


Fig. 6: Esquema dels isòtops derivats del radó en l'aire que inhalem. (Ref. 2.6)

Els derivats del radó no s'incorporen a l'ésser viu doncs no tenim traces però sí s'inhalen i poden emetre radiació.

- Aigua i aliments: Pel fet d'incorporar o nodrir-se de productes existents en la terra i en l'aire també contenen elements radioactius, una part dels quals s'incorpora als organismes vius. La dosi rebuda per aquest concepte depèn dels hàbits alimentaris i varia molt d'un lloc a un altre. En el nostre país sense comptar amb la contribució del Radó, rebem 370 micro Sv dels quals 170 correponen al potassi (^{40}K).

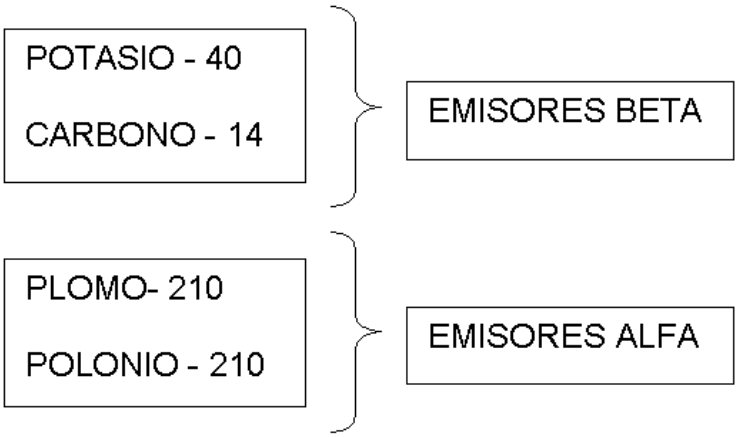


Fig. 7: Esquema dels isòtops més comuns en l'aigua i els aliments i el tipus de radiació que emeten. (Ref. 2.6).

Com a resultat de la radiació natural el cos humà rep una dosi anual, que en el nostre cas és aproximadament de 1820 µSv per persona.

D'altra banda el desenvolupament tecnològic i científic produït ha donat lloc a l'obtenció i l'ús de fonts artificials de radiació que tenen una important aplicació en els camps de la medicina, de la indústria i de l'agricultura entre uns altres.

Aquestes fonts addicionals de radiació proporcionen una dosi anual que en el nostre cas, és aproximadament 519 µSv. Els usos que contribuïxen a aquesta dosi són molt variats i s'indiquen en la taula que va a continuació

DOSI ANUAL MITJANA PER ALS INDIVIDUS DEL PÚBLIC EN GENERAL PROCEDENTS DE DIFERENTS FONTS ARTIFICIALS DE RADIACIÓ EN ESPANYA	
PROCEDÈNCIA	DOSI (µSv)
Ús mèdic	500
Proves nuclears estratègiques	10
Descargues radioactives en l'ambient	1
Personal professionalment expossat	3
Altres procedències	5
TOTAL	**519**

Taula 3. Mostra la dosi anual mitjana procedent de diferents fonts artificials a Espanya. (Ref. 2.6)

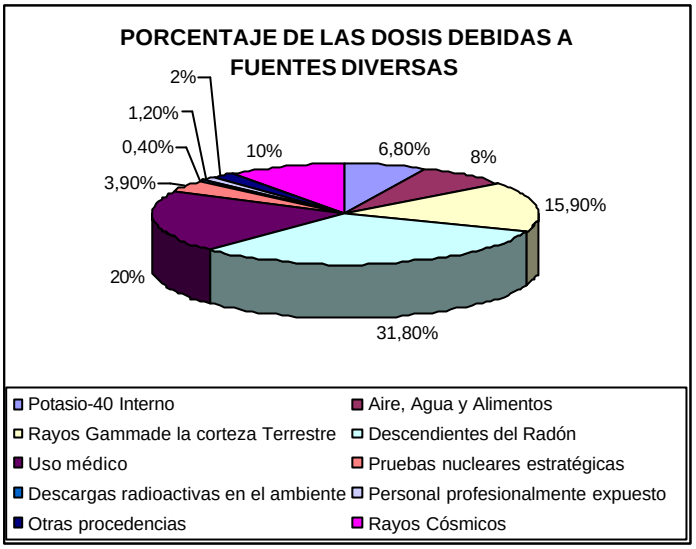


Fig. 7: Esquema que mostra el percentatge de les dosis radioactives rebudes degut a fonts diverses (Ref. 2.6).

Com es pot observar en la taula 3 la principal font de radiació artificial són les aplicacions mèdiques. Això dóna una especial importància a la radioprotecció en el camp de la medicina. L'especialitat de radioprotecció en l'àmbit mèdic és la radiofísica.

En les aplicacions de la radioactivitat en general, i també en les aplicacions en l'àmbit de la medicina, s'empren dos tipus de fonts radioactives classificades pel seu grau de contenció, són les anomenades fonts encapsulades i no encapsulades. Les fonts encapsulades són aquelles que estan en l'interior d'un contenidor que no permet el seu alliberament al medi, com per exemple una bola de plutoni. Les fonts no encapsulades són aquelles que contenen isòtops radioactius en solució, per exemple la solució de iodur potàssic que s'injecta als pacients afectats per un tumor de tiroides.

2.4. IRRADIACIÓ I CONTAMINACIÓ

La irradiació és el fenomen de transferència d'energia des d'un material radioactiu a un altre material, sense que sigui necessari el contacte físic entre les dues substàncies.

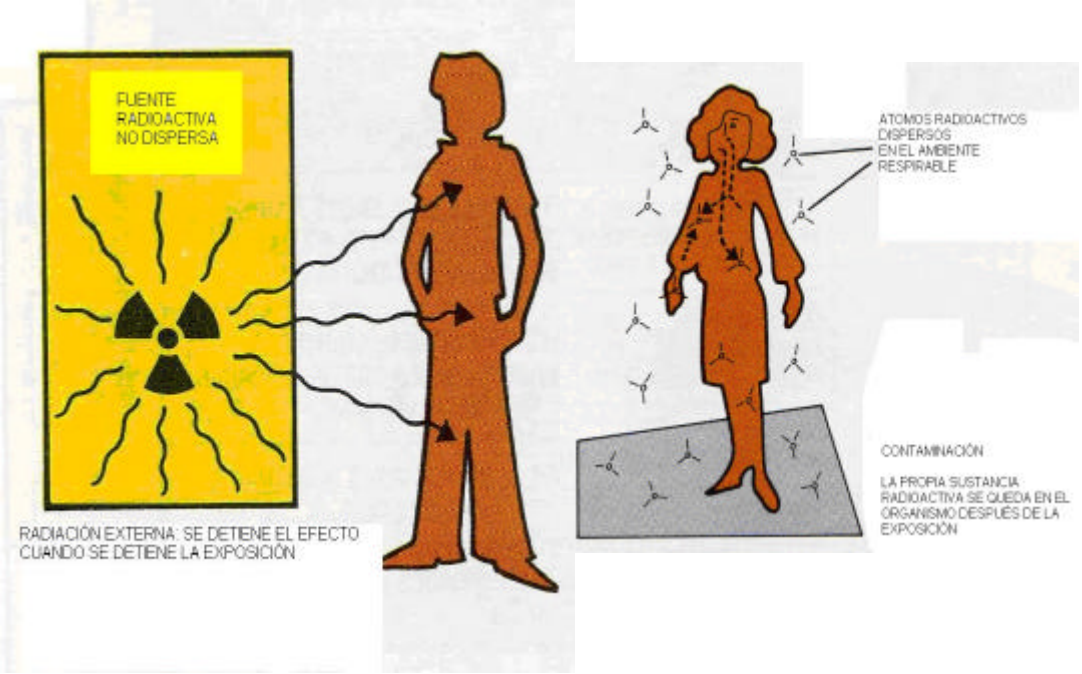


Fig. 8: Esquema que compara el que entenem per irradiació i el que entenem per contaminació. (Ref. 2.6.)

La deposició de partícules radioactives sobre un mitjà material dóna lloc al fet conegut com contaminació radioactiva.

Quan el material radioactiu es diposita sobre la pell, vestits, etc. es parla de contaminació externa mentre que quan penetra en l'interior dels éssers vius es parla de contaminació interna. Evidentment tota la contaminació dóna lloc a la conseqüent irradiació.

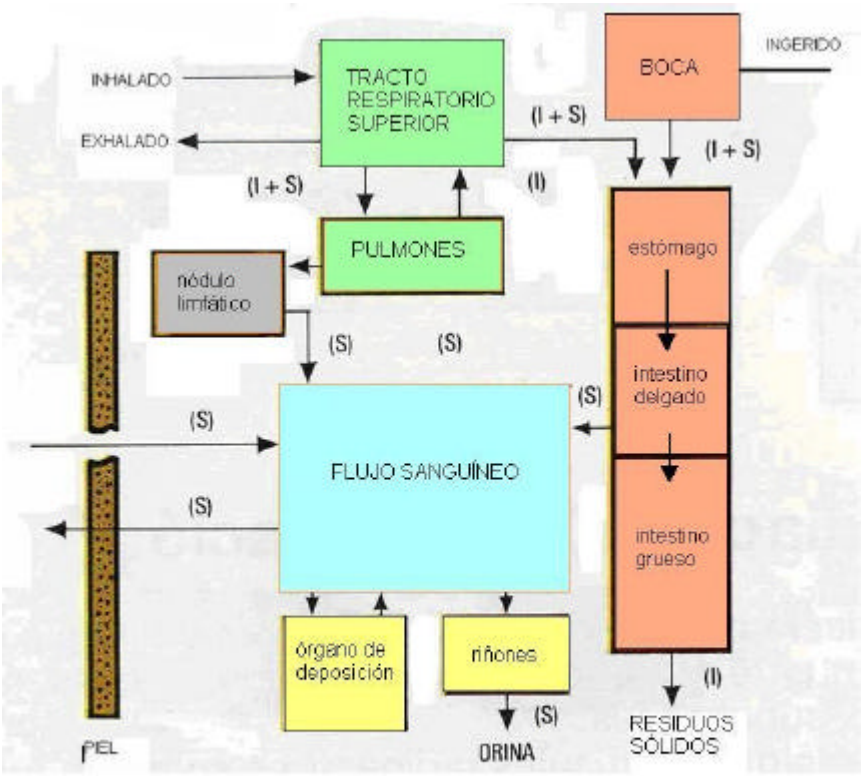
Els valors indicadors límit de la contaminació externa es troben reflectits en la Taula 4. Valors superiors als assenyalats indiquen presència de contaminació.

En els llocs on es treballa amb fonts radioactives no encapsulades com són els Serveis de Medicina Nuclear, de Radioinmunoassaig i de Bioquímicca, presenten fonamentalment risc de contaminació, mentre que en els Serveis de Braquiteràpia i Radioteràpia on es treballa amb fonts radioactives encapsulades, el risc és d'irradiació.

	LLOC DE TREBALL			
	FORA D'UNA ZONA CONTROLADA	DINTRE D'UNA ZONA CONTROLADA	ROBA I VESTITS	PELL
EMISSORS alfa	10^{-5} µCi/cm^2	10^{-4} µCi/cm^2	10^{-5} µCi/cm^2	10^{-5} µCi/cm^2
EMISSORS beta y gamma	10^{-4} µCi/cm^2	10^{-3} µCi/cm^2	10^{-4} µCi/cm^2	10^{-4} µCi/cm^2

Taula 4. Activitat radioactiva per cm^2 en diferents zones de l'hospital i de la persona. (Ref. 2.6.)

L'esquema de la figura 9 indica les principals vies d'accés dels radioisòtops en l'interior de l'organisme i els diferents camins que segueixen fins a arribar a l'òrgan d'acumulació.



I = Insoluble (material incapaz de disolverse en la sangre)
S = Soluble (Material transferido a la sangre

Fig. 9: Rutes d'accés dels *radioisótopos fins a l'òrgan de deposició segons la *via d'ingrés en el sistema sanguini.

- Oral (boca): Ingerim aliments contaminats o partícules radioactives. Des del tracte digestiu poden ser absorbides arribant a el flux sanguini o bé ser eliminades per femta. Encara que siguin eliminades poden haver provocat irradiació del tracte digestiu.

- Respiratòria (pulmons): Inhalem substàncies en suspensió en l'aire o dissoltes (gasos), passen als pulmons, a continuació poden anar al nódul limfàtic i/o al flux sanguini. En ocasions són partícules de pols radioactiva que s'acumulen a diferents altures del tracte respiratori.

- Dérmica (pell): Per contacte directe de la nostra pell amb la substància radioactiva pot quedar en la superfície o penetrar la mateixa arribant a la dermis i entrant en el flux sanguini

2.5 EFECTES BIOLÒGICS

Quan la radiació arriba a l'organisme pot xocar amb les molècules que formen les estructures cel·lulars, les quals poden ser danyades o modificades, o bé poden actuar sobre el mitjà aquós en el qual es troben suspeses. L'acció de la radiació sobre l'aigua dóna lloc a un parell d'ions H+, OH- i als seus corresponents radicals que reaccionen amb altres radicals produint canvis que es tradueixen en lesions.

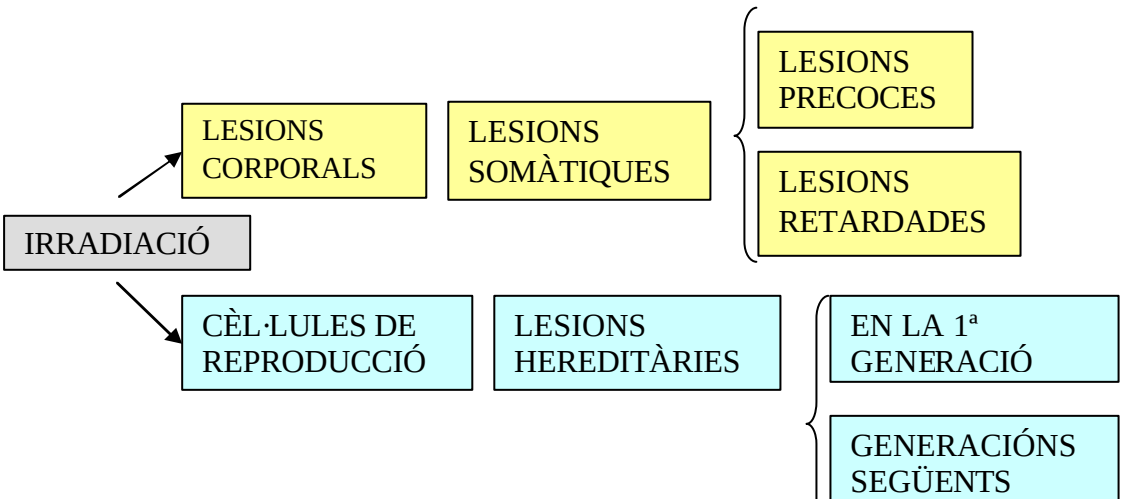


Fig. 10: Esquema de les possibles lesions a causa de la irradiació. En ell podem veure que un ésser viu irradiat pot tenir dues vies d'afectació: la primera li afecta a ell directament ja que els seus teixits són danyats a causa de la radiació i pot ser que els noti al moment o al cap dels anys. L'altra via és que la radiació afecti a les cèl·lules reproductores de manera que les conseqüències les sofrirà la seva descendència, en la primera generació o en la següent (Ref. 2.6.)

Els efectes nocius de les radiacions poden qualificar-se en somàtics i hereditaris segons incideixin directament sobre el cos humà o sobre les cèl·lules reproductores.

quin sigui el moment que es manifestin els efectes nocius de les radiacions, es poden classificar en efectes immediats (mort, eritemes i esterilitat) i diferits (càncer, defectes, alteracions no-malignes, alteracions en el desenvolupament).

També és important remarcar la diferència entre els efectes biològics anomenats no-estocàstics i estocàstics. Els primers es manifesten quan la dosi rebuda sobrepassa uns límits mentre que en el segon cas no existeix límit i la relació dosi-efecte és de tipus probabilística.

Segons la magnitud de la dosi rebuda de forma immediata en la totalitat del cos, els efectes probables que poden tenir lloc varien com es recull en la Taula 5. En aquesta taula es recull la relació entre la dosi de radiació i el seu efecte orgànic.

EFECTES SOMÀTICS DE DOSIS CREIXENTS DE RADIACIÓ GAMMA EN TOT EL COS	
DOSI (Sv)	EFECTE
0,25	No hi ha efectes apreciables sense anàlisis clínics especials
0,50	Lleugeres alteracions de l'hemograma
1,00	Nausees, cansament
2,00	Nausees i cansament accentuat
3,00	Nausees i vómits. 20 % de mortalitat durant 30 dies. Recuperació del 80% restant en 90 diess
4,00	50% de mortalitat en els primers 30 dies
7,00	Mortalitat propera al 100%

Taula 5. Efectes a l'organisme de dosis creixents de radiació (expressats en Sievert) (Ref.2.6).

3. RADIOPROTECCIÓ

L'exercici de les funcions en matèria de protecció radiològica és una meta essencial de tots els països conscients del seu desenvolupament en l'ús de les radiacions ionitzants, tant si són aplicacions mèdiques, com industrials o d'investigació, ja que es deu a la seguretat dels seus habitants, als quals se'ls

deu la màxima protecció possible contra els riscos d'aquests tipus de radiacions.

Freqüentment al parlar de radioprotecció en l'àmbit hospitalari es pensa únicament en la protecció del personal tècnic i facultatiu que manipula fonts radioactives, però aquesta és tan solament una part de la realitat, i el concepte de radioprotecció fa falta considerar-lo com un conjunt de normes destinades a la protecció de:

- Pacients
- Personal tècnic i facultatiu i personal auxiliar (manteniment, neteja,…)
- Població en general

Tota norma de radioprotecció ha de basar-se en tres principis fonamentals:

• No s'adoptarà cap pràctica radiològica, si no implica un benefici clar per a l'ésser humà.

• L'exposició dels individus a les radiacions es mantindrà tan baixa com sigui possible. Tenint en compte els factors humans i socials que això implica.

• La dosi equivalent rebuda pels individus, no podrà superar mai els límits màxims legislats per a cada situació.

3.1. PROTECCIÓ ENVERS LA IRRADIACIÓ EXTERNA

Les normes bàsiques de radioprotecció contra la radiació externa són:

- LIMITACIÓ DEL TEMPS D'EXPOSICIÓ: És una mesura simple, eficaç i econòmica que no sempre s'utilitza suficientment. La planificació prèvia de les operacions, el seu coneixement i assaig, permet en la major part de les ocasions, reduir considerablement la irradiació del personal que intervé, augmentant la rapidesa amb que es realitzen els treballs, eliminant pèrdues de

temps i presència de personal no necessari. Aquest principi està relacionat amb la llei de Bunsen i Roscoe. (veure ap. 2.1.2).

- UTILITZACIÓ DE PANTALLES: Permet reduïr considerablement la dosi rebuda. Això permet protegir al personal professionalment expossat.

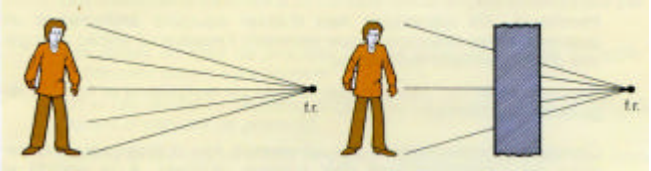


Fig. 11: Reducció de la radiació rebuda per l'efecte del blindatge (pantalles)

- ALLUNYAMENT DEL FOCUS: La dosi es redueix, tal com mostra la Fig. 12, amb el quadrat de la distància, el que significa que a una distància doble es rep la quarta part de la dosi inicial. Aquest principi està relacionat amb la llei del quadrat de la distancia (veure ap. 2.1.2).

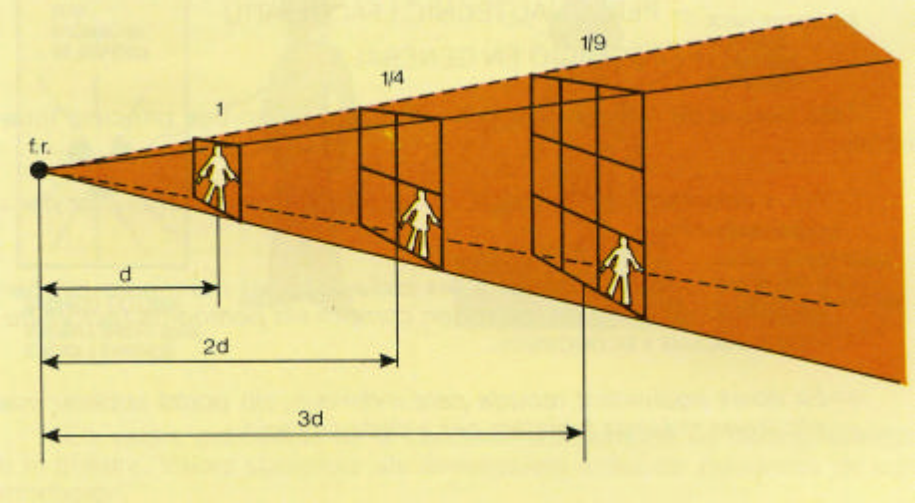


Fig. 12: Efecte que explica la reducció de la dosi rebuda al augmentar la distància al focus radioactiu (Ref. 2.6).

3.2. PROTECCIÓ ENVERS LA CONTAMINACIÓ

És necessari que la protecció estigui adaptada a la radiotoxicitat i a l'activitat de la substància radioactiva.

Per a reduir el risc de contaminació interna s'empren dos tipus de protecció

1. **Equips de protecció personal**, entre els quals s'inclouen els guants, ulleres (protecció facial), mascaretes, bates, pantalles, etc.
2. **Instal·lacions de seguretat o laboratoris radioactius**. En ells s'adopten una sèrie de precaucions que afecten a l'accés (portes tancades, identificació del personal), al blindatge (parets de formigó, capes de plom), de control (descontaminació, monitoratge de superfícies), i de neteja.

Els treballs amb fonts radioactives no encapsulades s'efectuen dintre de laboratoris especials equipats amb dispositius de seguretat. Algunes característiques d'aquests laboratoris són:

- **Revestiment de les superfícies**. Les superfícies han de ser fàcilment descontaminables.
- **Control dels líquids usats en els laboratoris**. Els líquids usats són recollits dintre d'envasos adequats i controlats abans de ser eliminats.
- **Ventilació**. Els laboratoris han d'estar equipats amb caixes de guants, campanes de gasos, o altres dispositius que permetin l'evacuació eficaç dels gasos o dels aerosols radioactius.
- **Resistència** al foc. Les característiques de resistència al foc estan regulades per normes.
- **Controls de contaminació**. Els laboratoris han d'estar equipats segons les característiques dels isòtops utilitzats. El personal ha de controlar la seva contaminació a la sortida i es realitzen controls continus mitjançant monitors de superfície (monitors proporcionals i comptadors Geiger)

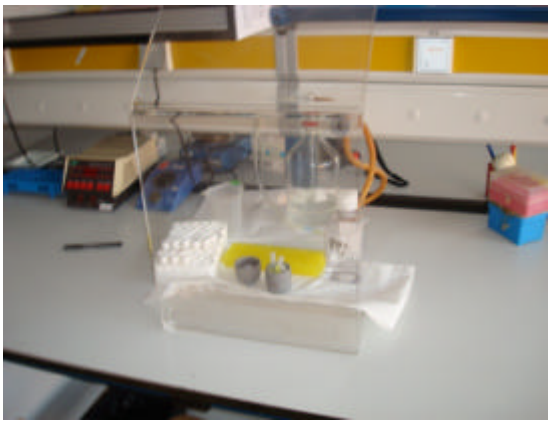
Els equips de protecció personal utilitzats han d'estar adaptats al nivell de risc. A mesura que augmenta el risc cal anar més protegit.

- Vestit especial (bata d'intervenció),
- Guants d'un sol ús.
- Petita màscara.
- Aparell respiratori d'aire comprimit.
- Equip respiratori d'aire comprimit i un equip d'aïllament. Aquest equip només s'empra en ambients on l'exposició per contacte o per aerosol suposi un risc significatiu. I sempre es monitoritzaran amb comptadors i dosímetres abans de canviar-se.

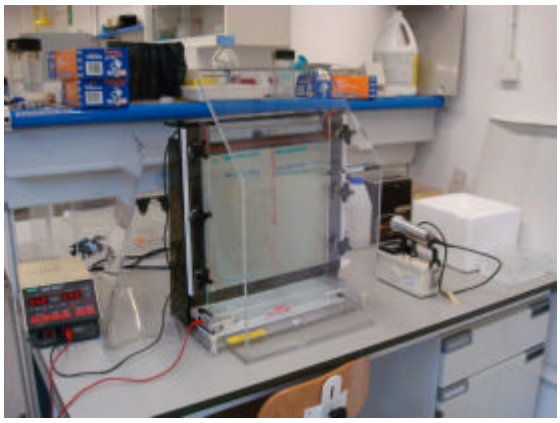
En aquest treball (veure part 2) s'han utilitzat equips ubicats en la instal·lació radioactiva de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona, concretament un equip de comptatge de centelleig beta. Vam poder visitar la instal·lació i rebre les explicacions de la Dra. Carmen Benito supervisora responsable de la mateixa. En aquesta instal·lació vam poder comprovar les característiques que hem descrit prèviament: control d'accessos, blindatges, contenidors per a residus, àrea de manipulació d'isòtops d'elevada activitat. A la Fig. 13 es recullen algunes imatges d'aquesta instal·lació ubicada al soterrani -3 de l'edifici annex de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona.

Així mateix vam utilitzar equips de protecció personal com la bata de la laboratori i els guants d'un sol ús en el treball realitzat en el Departament de Biologia Cel·lular de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona.

Filtres, microbials i guants de làtex



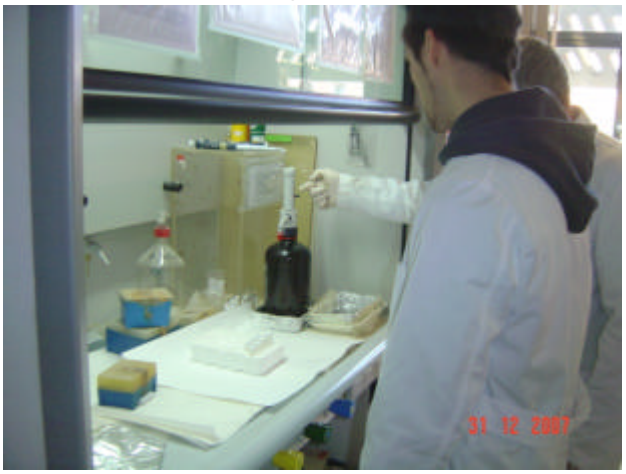
Fonts radioactives darrere d'una pantalla de metacrilat.



Equip de seqüenciació d'ADN. Mostra radioactiva.

Detall del blindatge amb plom dintre d'una cabina d'extracció de gasos.

Equip de protecció personal. Bata i davantal plomat



Col·locació del líquid de centelleig en una campana d'extracció de gasos.

Fig. 13. Imatges dels laboratoris de la Universitat de Barcelona i del Departament de Biologia Cel·lular.

3.3. NORMES GENERALS

L'efecte biològic de les radiacions ionitzants és la raó última que ha fet que es la seva utilització estigui molt regulada. En Espanya es regula el seu ús mitjançant les normes que es detallen a continuació:

Real Decreto 783/2001, de 6 de julio de 2001. B.O.E. nº 178, 26 de julio de 2001. (Ref. 4.1.)

En aquesta norma es defineix tant les condicions d'ús com les dosis màximes i els organismes que són responsables de la supervisió i vigilància. En Espanya l'organisme responsable de la regulació, vigilància i supervisió de l'ús i aplicació de substàncies radioactives és el Consell de Seguretat Nuclear (http://www.csn.es). De la gran quantitat d'informació que conté el Reglament (Ref. 4.1) hem volgut destacar solament alguns aspectes: el concepte de límit anual de dosi, i la classificació i senyalització de les àrees de treball per al personal professionalment exposat.

Un dels paràmetres més importants a radioprotecció és el límit anual de dosi que queda recollit en el Reglament sobre Protecció Sanitària de les Radiacions ionitzants (Ref. 4.1.). Aquests límits corresponen a valors que mai han de ser sobrepassats, podent establir-se nous límits inferiors d'acord amb noves evidències científiques sobre l'efecte biològic de les radiacions. En general el límit anual de dosi per al públic del carrer és una desena part del que es permet al personal professionalment exposat. En general els valors de dosis màximes permeses es podrien resumir en:

<u>En cas d'exposició total homogènia de l'organisme</u>.

- Per a la totalitat de l'organisme, referida a qualsevol període consecutiu de dotze mesos, 50 mSv.

<u>En exposicions parcials</u>

- Per al cristal·lí, 300 mSv.
- Per a la pell, 500 mSv.
- Mans, avantbraços, peus i turmells, 500 mSv.

- Els menors amb edats compreses entre 16 i 18 anys podran rebre quantitats màximes o inferiors al 30% dels límits anuals assenyalats per a cada cas.
- Les dones en edat de maduresa sexual no han de rebre més de 13 mSv a la panxa durant un trimestre, mentre que el fetus no ha de rebre més de 10 mSv, durant el període de gestació.
- Durant la realització d'una operació especial planificada que implica únicament exposició externa, la dosi no ha de superar mai el doble dels límits anuals fixats per a cada cas.

És necessari el control de les zones de treball, tant per la possible contaminació com pel risc d'irradiació. El reglament sobre protecció sanitària de les radiacions ionitzants estableix una classificació de les zones de treball segons la dosi anual tolerada i dels límits anteriors, en: zones vigilades, zones controlades, zones de permanència limitada i zones d'accès prohibit.

Fig. 14: Exemples de cartells senyalitzadors de zones de manipulació radioactiva en funcions de les dosis anuals tolerades (D) en mSv (Ref. 2.6.)

Tota àrea en la qual es manipulin, emmagatzemin o de qualsevol forma s'utilitzin materials radioactius ha d'estar convenientment senyalitzada amb cartells indicadors del seu nivell de classificació com els quals es mostren en la Figura 14

A més en aquestes àrees s'ha de monitoritzar la radioactivitat i per a aquest control calen instruments adequats com són els detectors, ja que no cal oblidar-se que l'ésser humà no és capaç de detectar la radiació ionitzant doncs aquesta **ni es toca, ni s'olora, ni es veu ni s'escolta**. Quan es parla de detectors de radiació, s'entén un conjunt de dispositius capaços no solament d'indicar la presència de la radiació, sinó de subministrar informació quantitativa referent a l'energia de la mateixa, dosis rebudes i acumulades, etc.

3.4. APARELLS DE MESURA

Observant els efectes de les radiacions ionitzants sobre la matèria es poden deduir els mètodes utilitzats per a detectar-los i amidar-los. Un dels mètodes més utilitzats està basat en la ionització dels gasos, ja que, per exemple, una sola partícula alfa procedent del Ràdio pot produir 137000 ions positius i la mateixa quantitat d'electrons, el corrent elèctric que genera pot ser amidada, i per tant dóna informació sobre la radiació, freqüència i energia.

En la segona part d'aquest treball hem emprat dos tipus de sensors de radioactivitat: un monitor de radioactivitat portàtil (comptador Geiger) i un comptador de centelleig líquid, que es descriuen en detall en l'apartat 7.1. Existeixen molts altres equips de detecció de radioactivitat com els comptadors de radiació gamma, els sensors de radioactivitat dels cromatògrafs líquids, etc. Alguns dels quals vam poder observar en la visita a la instal·lació radioactiva de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona.

A més dels grans equips de mesura existeixen comptadors d'ús personal, com per exemple els equips de dosimetria que empra el personal professionalment exposat a la radiació. La legislació obliga que el personal professionalment exposat sigui sotmès una vegada a l'any a una revisió mèdica, així com també és obligatòria la determinació de les dosis rebudes mitjançant els corresponents dosímetres personals sempre que els isòtops emprats siguin detectables amb tals dispositius. En general només els emissors

beta energètics, gamma i de RAJOS X són detectables pels dosímetres/ personals.

Els dosímetres personals són fonamentalment de tres tipus:

- Càmera condensadora de llum directa.
- Placa fotogràfica.
- De termoluminiscència (TLD).

Els dosímetres de càmera condensadora són de molt fàcil maneig, en canvi tenen l'inconvenient que és necessari un equip especial per a la seva lectura. El control *dosimétrico del personal professionalment exposat ha de realitzar-se amb dosímetres de pel·lícula fotogràfica o *TLD.

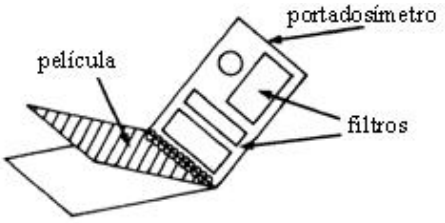


Fig. 15: Esquema d'un dosímetre. Els filtres tenen diferent opacitat als diferents tipus de radiacions. (Ref. 2.6.)

Amb la finalitat que les dosis registrades pels dosímetres/ personals siguin representatives de les dosis rebuda per la persona que els duu, cal tenir en compte unes normes per a la seva utilització:

- Els dosímetres no poden obrir-se, manipular-se ni sotmetre's a condicions ambientals adverses.
- Han de dur-se sempre durant el temps de treball.
- Han de dur-se en la part del cos on es preveu que es pugui rebre una major dosi.
- Cal evitar que es contaminin.
- Els dosímetres de lectura directa poden llegir-se durant el treball, tenint la precaució de no deixar-los caure. AL finalitzar el treball es llegirà deixant que l'encarregat de la instal·lació els posi a zero.

3.5 ORGANISMES REGULADORS

La legislació espanyola atorga al Consell de Seguretat Nuclear (CSN) (http://www.csn.es) la responsabilitat en la gestió, coordinació, formació, autorització i supervisió de les instal·lacions radioactives. Les funcions que té el

CSN s'especifiquen en la Llei de Creació, modificada parcialment per la Llei 40/1997, de 30 de desembre, d'Ordenació del Sistema Elèctric Nacional i per la Llei 14/1999 de Taxes i Preus Públics per serveis prestats pel consell de Seguretat Nuclear.

Aquestes funcions són:

a. Realitzar funcions de vigilància del medi ambient
b. Concedir llicencies al personal professionalment exposat
c. Supervisar els projectes de noves instal·lacions e informar
d. Controlar el funcionament de las instal·lacions radioactives
e. Actuar en cas d'emergéncia radioactiva
f. Controlar la dosimetria del personal professionalment exposat
g. Realitzar y promoure plans d'investigació
h. Proposar reglamentació i normativa

En algunes comunitats autònomes algunes de les funcions del CSN es troben transferides. Catalunya té transferides les funcions executives del CSN a la Generalitat pel que, per exemple, la gestió, supervisió i autorització de noves instal·lacions radioactives és realitzada pel Servei de Coordinació d´Activitats Radioactives de la Direcció General d'Energia i Mines del Departament d'Economia i Finances de la Generalitat de Catalunya.

Cada instal·lació radioactiva en funcionament té un responsable amb una formació reglada pel consell de Seguretat Nuclear i el títol de Supervisor d'Instal·lacions Radioactives. El personal fix permanent d'una instal·lació radioactiva ha de tenir un títol d'Operador d'Instal·lacions Radioactives. Ambdues titulacions s'han de renovar cada 3 anys.

4. INSTAL·LACIONS RADIOACTIVES I ELS HOSPITALS

Com hem pogut comprovar, la major part de la radiació rebuda habitualment per la població dels països desenvolupats és a causa del seu ús mèdic (veure ap.2.2). A continuació descrivim les aplicacions mèdiques que tenen les radiacions ionitzants. Algunes d'aquestes aplicacions es realitzen en moltes instal·lacions mèdiques, no obstant això unes altres són específiques de grans instal·lacions hospitalàries pels requeriments dels costosos equips o instal·lacions. En el nostre estudi escollim com hospital a estudiar en primer lloc l'hospital Clínic, després ens va semblar oportú afegir un segon hospital per a poder comparar, l'Hospital de la Santa Cruz i de San Pablo.

4.1. INSTAL·LACIONS RADIOACTIVES

Les aplicacions mèdiques de les radiacions ionitzants es porten a terme en instal·lacions radioactives. De manera que cada hospital, independentment del nivell que tingui dintre del sistema sanitari, pot disposar d'instal·lacions radioactives sempre que compleixi les condicions establertes per la llei.

En la Taula 6 es resumeix el que es considera una instalació radioactiva.

INSTAL·LACIONS RADIOACTIVES	NO ES CONSIDERARAN INSTAL·LACIONS RADIOACTIVES
Instal·lacions de qualsevol classe que contonguin una font radioactiva	Les instal·lacions que produeixin o on es manipulin o enmagatzemin materials radioactius, de maner que els nuclis emissors tinguin una activitat total de valor inferior al que estableix l'apèndix V del R. D. 53/1992.
Els aparells productors de radiacions ionitzants	Aquelles que encara que els valors siguin superiors als del apéndix V del R. D. 53/1992 reuneixin les mesures de seguretat necesàries per a que el material estigui degudament confinat a unes concentracions molt baixes (0,002 microCi/g), i utilitzi aparells que generin menys de 5 KeV.
Els laboratoris, fàbriques e instal·lacions on es produeixi, manipuli o enmagatzemin materials radioactius.	

Taula 6. Característiques de les instal·lacions radioactives (Ref. 3.5.)

4.1.1 Classificació de les instal·lacions radioactives

- Instal·lacions radioactives de primera categoria

- Les fàbriques de producció d'urani, torio i els seus compostos.

- Les fàbriques de producció d'elements combustibles d'urani natural.

- Les intalacions industrials d¡irradiació.

- Instal·lacions radioactives de segona categoria

- Les instal·lacions on es manipulen o emmagatzemen nuclis radioactius l'activitat total dels quals correspongui als valors que s'especifiquen en l'Apèndix V del RD 53/92.

- Les instal·lacions que utilitzin aparells de rajos-X que puguin funcionar amb una tensió de bec superior a 200 KV.

- Els acceleradors de partícules i les instal·lacions on s'utilitzin fonts de neutrons.

- Instal·lacions radioactives de tercera categoria

- Les instal·lacions on es manipulin o emmagatzemin nuclis radioactius l'activitat total dels quals correspongui als valors que s'especifiquen en l'Apèndix V del RD 53/92.

- Les instal·lacions en les quals s'administren substàncies radioactives a persones amb fins de diagnòstic, tractament o investigació, amb el màxim de dosi recollit en el RD 53/92.

- Les instal·lacions que utilitzin aparells generadors de rajos-X la tensió dels quals de bec sigui inferior a 200KV.

INSTAL·LACIONS RADIOACTIVES			
	Mèdiques	No-mèdiques	Total
Categoria 2	57	149	206
Categoria 3	13	42	55
Total	70	191	

Taua 7. Distribució de les instal·lacions radioactives a Catalunya. Obtingut de la memòria 2006 del Consell de Seguretat Nuclear al Congrés de Diputats. No s'inclouen les instal·lacions específiques de RAJOS X. Tan solament consta una instal·lació de categoria 1 a Catalunya.

De les 70 instal·lacions radioactives d'ús mèdic registrat a Catalunya 42 estan situades en la ciutat de Barcelona segons dades aportades pel Servei de Coordinació d'Activitats Radioactives de la Direcció General de Minis de la Generalitat de Catalunya.

4.1.2. Instal·lacions radioactives hospitalaries estudiades

Per al treball decidim centrar-nos en dos grans centres hospitalaris de la ciutat de Barcelona: l'Hospital Clínic i Provincial i l'Hospital de San Pablo. Hem triat aquests dos perquè són un exemple d'hospitals de tercer nivell que posseïx instal·lacions radioactives de categoria 2 per a ús diagnòstic, terapèutic i d'investigació.

L'Hospital Clínic i Provincial aquesta situat en la calli Villarroel, en el nombre 170. Disposa de quatre instal·lacions radioactives (veure Taula 9) corresponents als diferents serveis hospitalaris. A més una situació ena li centro de la ciutat, envoltada de nombrosos establiments com bars i restaurants ho fan ideal per a provar la nostra hipòtesi. Com a conseqüència del que sabem sobre la manera en la qual s'elimina el radiofàrmac, tenim la hipòtesi que els pacients de medicina nuclear que no hagin quedat ingressats en aïllament en l'hospital per no sobrepassar la taxa establerta, puguin deixar un rastre radioactiu allà per on passen durant les hores en les quals el radiofàrmac encara té activitat.

HOSPITAL CLÍNIC I PROVINCIAL	
FUNDACIÓ	1906
CLASSE	Patronat fundat per l'Estat, la Diputació de Barcelona i la Universitat de Barcelona (pertany a la XHUP)
LLITS	850
PLANTILLA TOTAL	3682
MÈTGES	617 (plantilla), 289 (residentes)
PERSONAL D'INFERMERIA	2168
ALTRES	897
PACIENTS A L'ANY	46274 altes d'hospitalització, 427580 visites ambulatòries, 85384 sessions d'Hospital de Dia i 161816 visites d'urgència
TAXA DE MORTALITAT ANUAL	-
PERCENTATGE DE CIRURGIA AMBULATÒRIA	30%
TEMPS MITJÀ D'ESTANÇA DEL PACIENT (en dies)	5,77
PRESSUPOST ANUAL	-

Taula 8. Mostra les característiques principals de l'hospital. (Ref. 5.2.)

Número IRA	Referencia Industria	Categoría	Dedicada a:
17	29/2007	2	Medicina Nuclear
848	128/2003	2	Esterilización
861	139/2007	2	Laboratorio
870	150/1999	2	Radioterapia

Taula 9. Relació d'instal·lacions radioactives que depenen de manera directa de l'Hospital Clínic. Informació extreta de Servei de coordinació d'activitats *Radioactivas de la Direcció general d'Energia i Mines del departament d'economia i finances de la Generalitat de Catalunya, (Ref. 5.4.)

L'Hospital de la Santa Cruz i San Pablo és un hospital d'alta complexitat que, amb sis segles d'existència i més de 100 anys en la seva localització actual, representa la institució hospitalària degana de l'Estat Espanyol. Anem a utilitzar aquest hospital per a poder contrastar resultats i informació amb el que vam obtenir en l'Hospital Clínic. No obstant això en aquest cas ens hem limitat a esbrinar l'organització de l'ús d'isòtops radioactius i els procediments emprats però no s'han realitzat estudis o mesures de camp.

HOSPITAL DE SANT PAU	
FUNDACIÓ	1401
CLASSE	Concertat (pertany a la XHUP)
LLITS	623
PLANTILLA TOTAL	2778
METGES	666
PERSONAL D'INFERMERIA	1583
ALTRES	529
PACIENTS A L'ANY	32000 ingressats, 150000 urgències, 300000 visites a consultes externes y 60000 usuaris de l'Hospital de Día
TAXA DE MORTALITAT ANUAL	5,0 %
PERCENTAJE DE CIRURGÍA AMBULATÒRIA	53%
TEMPS MITJÀ D'ESTANÇA DEL PACIENT (en dies)	6,5
PRESSUPOST ANUAL	230,9 milions d'euros

Taula 10. Mostra les característiques principals de l'hospital. Informació extreta d'un article de (Ref. 5.2.)

Les instal·lacions radioactives que consten com a propietat de l'Hospital de San Pau es recullen a la Taula 11.

Número IRA	Referència Indústria	Categoria	Dedicada a:
302	117/1994	2	Laboratori
626	66/19975	2	Radioteràpia
726	144/1999	2	Medicina Nuclear
1434	260/1999	2	Laboratori

Taula 11. Relació d'instal·lacions radioactives que depenen de manera directa de l'Hospital de San Pablo. Informació extreta de Servei de Coordinació d'Activitats Radioactives de la Direcció general d'Energia i Mines del Departament d'Economia i Finances de la Generalitat de Catalunya. (Ref.5.4.)

4.2. ÚS MÉDIC DE LES RADIACIONS IONITZANTS

Les aplicacions mèdiques de les radiacions ionitzants es divideixen en tres departaments dintre de l'hospital. El departament de Radioteràpia, el de Radiodiagnòstic i el de Medicina Nuclear. A continuació es detallen les característiques generals de cadascun i les seves funcions.

De tots ells, tan solament el departament de medicina nuclear empra fonts solubles que s'apliquen a pacients que poden o no abandonar l'hospital portant amb si l'isòtop radioactiu. En els altres dos casos, Radioteràpia i Radiodiagnòstic, s'empren fonts encapsulades que formen part d'equips de mesura, imatge o de tractament.

4.2.1. RADIOTERÀPIA

En Espanya, l'especialitat mèdica que s'encarrega de la radioteràpia és l'Oncologia radioteràpica, reconeguda des de 1978 i amb el nom actual des de 1984.

La Radioteràpia és un tipus de tractament oncològic que utilitza les radiacions per a eliminar les cèl·lules tumorals, (generalment canceroses), en la part de l'organisme on s'apliquin (tractament local). La radioteràpia actua sobre el tumor, destruint les cèl·lules malignes i així impedeix que creixin i es reprodueixin.

Aquesta acció també pot exercir-se sobre els teixits normals, no obstant això, els teixits tumorals són més sensibles a la radiació i no poden reparar el dany produït de forma tan eficient com ho fa el teixit normal, de manera que són destruïts a l'impedir-se la renovació cel·lular per bloqueig del cicle cel·lular. La Radiobiologia estudia aquests fenòmens que ocorren en els éssers vius després de l'absorció d'energia procedent de les radiacions.

El paràmetre definitori més emprat en medicina és l'energia del feix. La relació entre la freqüència (v) i l'energia (I) està donada per la fórmula:

$$E = h \cdot v \qquad h = 6{,}625 \cdot 10^{-27} \text{ erg/seg}$$

On **h** és la constant de Planck (mínima quantitat d'energia individualitzable). Veiem que la freqüència i l'energia moguda són directament proporcionals.

L'energia és un paràmetre fonamental en terapèutica, ja que del seu valor depèn la capacitat de penetració del feix. El mateix ocorre en els feixos de radiacions corpusculars, en els quals l'energia depèn de la massa i la velocitat adquirida en l'acceleració, segons la fórmula bàsica:

$$E = 1 / 2\ m \cdot v^2$$

Les energies utilitzades actualment, tant en fotons com electrons, oscil·len entre 4 i 25 MeV (acceleradors lineals) i 1,25 MeV (60Co).

La radiació electromagnètica empleada en Radioteràpia és emesa de forma natural en la desintegració de nombrosos radioisòtops, d'entre els quals els més emprats són 226Ra, el 137Cs, el 192Ir i el 60Co, encara que s'empren així mateix altre tipus de fonts com les quals es detallen a continuació. Les més comunament usades són les radiacions electromagnètiques i electrons.

a. Radiacions electromagnètiques (fotons)

Raigs X (tubs de raigs X, acceleradors lineals)

Raigs ? (bombes de ^{60}Co y ^{137}Cs)

b. Radiacions corpusculars

Electrons (accelerador lineal)

Raigs ß (radioisòtops)

Neutrons* (ciclotró, generadors)

Protons** (acceleradors especials)

Pions** (acceleradors especials)

Nuclis accelerats** (acceleradors especials)

* Ús restringit a uns 20 centres en el món.

** Ús experimental en 5 centres en el món.

En tot tractament és necessari conèixer:

- La naturalesa del feix (fotons electrons, etc.).
- L'energia de la radiació
- La dosi administrada
- El temps total d'administració
- El nombre de fraccions i la dosi per fracció.

Exemple: S'ha administrat una dosi total de 60 Gy en 7 setmanes, a raó de 5 sessions per semana de 2 Gy mitjançant fotons de 6 MeV.

La radioteràpia pot ser externa o interna. En el primer cas la font de radiació se situa externament i es fa incidir sobre l'àrea d'interès. En el segon la font radioactiva es col·loca en l'interior de l'organisme perquè afecti tan sol als teixits que l'envolten.

4.2.1.1. Radioteràpia externa

L'accelerador lineal (LINAC) és l'aparell que s'usa més comunament per a donar radioteràpia de feix extern a malalts amb càncer. Subministra una dosi uniforme de RAJOS X d'alta energia a la regió del tumor; aquests RAJOS X poden destruir les cèl·lules canceroses sense afectar els teixits circumdants normals.

Fig. 16: Accelerador lineal

L'accelerador lineal utilitza microones similars a les d'un radar per a accelerar els electrons en la part de l'accelerador anomenada "guia d'ones", i després permet que aquests electrons xoquin contra un blanc de metall pesat. Com resultat d'aquests xocs, els RAJOS X d'alta energia es dispersen allunyant-se del blanc, i una part d'aquests RAJOS X es recull i conforma per a formar un feix que correspon amb el tumor del pacient. El feix surt per una banda de l'accelerador anomenada “gantry”, que trencada al voltant del pacient, que està recolzat sobre una llitera de tractament mòbil; s'usen llamps làser per a assegurar que el pacient estigui en la posició correcta. La radiació es pot administrar al tumor des de qualsevol angle rotant el *gantry* i movent la llitera.

4.2.1.2 Radioterapia Interna

És una tècnica de tractament que consisteix a introduir en l'interior de l'organisme isòtops radioactius. Aquest material emet radiació i pot tenir formes molt variades: llavors, agulles, fils, forquetes, etc. També es denomina braquiteràpia.

Es poden implantar de forma temporal, o bé de forma permanent en la zona a tractar. Amb la radioteràpia interna s'assoleix administrar altes dosis de radiació a curtes distàncies. D'aquesta forma, arriba molt poca dosi als teixits sans circumdants a l'implant. En la majoria de les ocasions, és necessari ingressar en l'hospital.

Mentre el pacient tingui col·locats els implants, cal que romangui en una habitació preparada especialment per a tal fi, amb parets emplomades i sempre controlat pel personal sanitari responsable a través d'un monitor de televisió.

La durada del tractament depen del tipus d'isòtop que s'empri i de la dosi que es vulgui administrar en la zona del tumor, però generalment oscil·la entre minuts i dies.

4.2.2. Radiodiagnóstic

El radiodiagnòstic és l'especialitat mèdica que té com fi el diagnòstic i el tractament de les malalties, mitjançant la realització i interpretació de procediments que utilitzen com suport les imatges i les dades funcionals, obtinguts amb l'ús de radiacions ionitzants

Fig. 17: Aparells de radiodiagnòstic

L'objectiu del diagnòstic radiològic és proporcionar informació anatòmica al metge sobre l'interior del pacient. Les accions de radiodiagnòstic es fan a la recerca de tumors, malformacions en ossos i trencament d'aquests, malalties de qualsevol tipus que es donin en els òrgans interns, etc.

La Radiologia diagnòstica va néixer com especialitat en l'any 1895 i es va desenvolupar i va ser exercida en comú amb la terapèutica en la majoria dels països.

4.2.2.1 Els Rajos X

L'energia dels RAJOS X en general es troba entre la radiació ultraviolada i els rajos gamma produïts naturalment. Els RAJOS X es produïxen sempre que una substància és irradiada amb electrons d'alta energia.

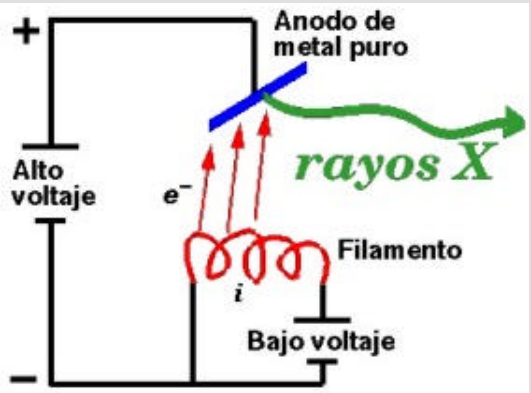


Fig. 18: Generació de Rajos X. (Ref. 3.10.)

Un tub convencional de RAJOS X consisteix bàsicament d'un càtode i un ànode col·locats dintre d'un envàs de

vidre al buit. El càtode consisteix d'un filament de tungstè que al ser escalfat emet electrons. Aquests electrons són accelerats, a causa de una diferència de potencial aplicada entre el càtode i l'ànode, cap a un blanc muntat en l'ànode. Per a tenir un major control en la qualitat del feix de RAJOS X és necessari que els electrons no siguin desviats de la seva trajectòria, i per a això es requereix d'un alt buit. Els electrons al ser frenats bruscament en el blanc, emeten radiació electromagnètica amb un espectre continu d'energies entre 15 i 150 keV, que és el que es coneix com RAJOS X. Els RAJOS X constitueixen una eina ideal per a sondejar, de manera no invasiva, l'interior del cos humà.

No obstant això, durant la formació de la imatge existeixen processos de deposició d'energia en el pacient. Aquests processos duen associat un cert dany biològic que en alguns casos pot afectar a la salut del pacient. En països desenvolupats, aproximadament el 90% de la dosi a la població deguda a radiació causada per l'home, es deu a l'ús dels RAJOS X per al diagnòstic. Encara que les dosis associades a aquest tipus d'exàmens són relativament petites, la freqüència amb que aquests es porten a terme ocasiona que l'impacte social sigui considerable. Atès que el propòsit d'un examen mèdic és proporcionar un benefici directe al pacient, els procediments de radiodiagnòstic han estat optimitzats de tal manera que les dosis siguin el més baixes possibles i al mateix temps permetin obtenir la informació necessària que permeti realitzar un diagnòstic adequat.

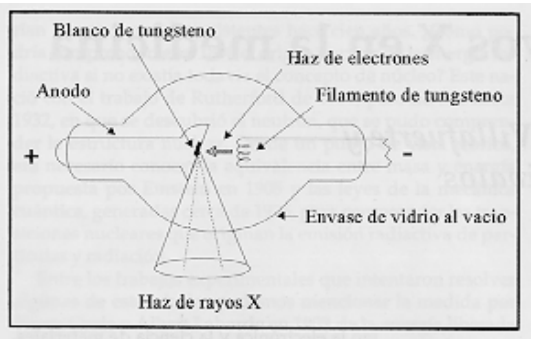


Fig. 19: Esquema del funcionament dels Rajos X (Ref. 3.10.)

Fig. 20: Tubs de rajos X.

	La dosi de radiació efectiva és	Comparable amb la radiació natural de fons
Regió abdominal		
Tomografia axial computeritzada (TAC) – Panxa	10 mSv	3 anys
Tomografía axial computeritzada (TAC) – Cos	10 mSv	3 anys
Pellograma intravenós (PIV) [fluoroscòpia]	1,6 mSv	6 mesos
Radiografia - Tracte digestiu inferior	4 mSv	16 mesos
Radiografia - Tracte digestiu alto	2 mSv	8 mesos
Sistema nervios central		
Mielografia [fluoroscòpia]	4 mSv	16 mesos
Tomografía axial computeritzada (TAC) – Cap	2 mSv	8 mesos
Exàmens pediàtrics		
Cistouretrografia de buidat	5-10 años: 1,6 mSv Bebé: 0,8 mSv	6 mesos 3 mesos

Taula 12. Relació d'assajos de radiodiagnóstic i radiació emprada comparada amb la radiació de fons. La persona terme mitjà en els països desenvolupats rep una dosi efectiva d'aproximadament 3 mSv per any provinent de materials radioactius naturals i de la radiació còsmica de l'espai. Aquestes dosis "de fons" naturals varien segons el país.
[Veure apartat 2.2.1]

Dintre del radiodiagnòstic, es troben aquests diferents tipus de suports i dades, sobre els quals treballar.

La **radiografia convencional**: Una radiografia convencional és una imatge bidimensional d'un objecte tridimensional. Això significa que tota la informació en profunditat es perd. En radiografia convencional el detector més utilitzat consisteix en la combinació d'una pantalla fluorescent acoblada a una pel·lícula fotogràfica. La gran importància de la formació d'imatges planes en radiodiagnòstic, en termes del nombre d'exàmens que es realitzen d'aquest tipus, ha causat que s'inverteixin una gran quantitat de recursos per a tractar de desenvolupar sistemes de radiografia digital que eventualment substitueixin a la pel·lícula radiogràfica. En aquest sentit, els físics han jugat un paper molt

Fig. 21: Radiografia convencional.

important al desenvolupar nous detectors de radiació ionitzant que s'espera permetin disminuir la dosi al pacient, sense pèrdua en la qualitat de la imatge.

Tomografia axial computeritzada: La tomografia axial computeritzada (TAC) és tal vegada la tècnica més sofisticada en l'aplicació dels RAJOS X en medicina. La tècnica de TAC tracta de produir un mapa bidimensional dels coeficients d'atenuació lineal d'un cos tridimensional, a partir d'un nombre molt gran de mesures de transmissió, anomenades projeccions. En termes pràctics, aquest mapa bidimensional correspon a una imatge transversal del pacient. Si un conjunt de mapes bidimensionals són ensamblats, un darrere de l'altre, pot obtenir-se una imatge tridimensional i per tant dóna informació sobre la seva anatomia. Les projeccions s'obtenen irradiant al pacient amb un feix de RAJOS X i amidant la intensitat de la radiació transmesa amb un arranjament de detectors, cadascun dels quals consisteix normalment d'un cristall centejador acoblat a un fotodíode.

Fig. 22: Tomografía axial computerizada

La mamografia: és un mètode diagnòstic específic per a la mama que empra RAJOS X. Les mamografies es fan a la recerca de càncer de mama, que és una de les causes més important de mort per càncer en les dones.

Hi ha dos tipus de mamografies:

- La mamografia de *screening*, que és la realitzada en dones que no tenen símptomes de càncer de mama.
- La mamografia diagnòstica, que és aquella que es fa a dones amb algun símptoma particular, anteriorment descobert. Se centrarà, llavors, en aquest símptoma a la recerca de si realment es dóna el cas de càncer.

No s'usen les radiografies convencionals per a analitzar els pits, perquè la mama per si mateixa està formada per diversos tipus de teixits que tenen densitats molt similars de manera que és molt difícil diferenciar-los. Per tant per

a distingir-los es requereix un tipus especial de feix de RAJOS X, així com una pel·lícula d'especial sensibilitat als RAJOS X.

La **fluoroscòpia**: és una tècnica d'imatge usada en medicina per a obtenir imatges en temps real de les estructures internes dels pacients mitjançant l'ús d'un fluoroscopi. En la seva forma més simple, un fluoroscopi consisteix en una font de RAJOS X i una pantalla fluorescent entre les quals se situa al pacient. Quan els RAJOS X travessen al pacient són atenuats en diversos graus a mesura que interacciona amb les diferents estructures internes del cos, llançant una ombra de les mateixes sobre la pantalla fluorescent. Les imatges de la pantalla són produïdes per les interaccions dels RAJOS X no atenuats amb els àtoms, que mitjançant l'efecte fotoelèctric cedeixen la seva energia als electrons. Encara que gran part de l'energia cedida a aquests es dissipa en forma de calor, una fracció ho fa com llum visible, generant les imatges.

Fig. 23. Taula de rajos X (Ref. 3.10.)

El temps d'exposició depèn de l'exploració a realitzar, havent-se documentat sessions de fins a 75 minuts. A causa de la llarga durada d'algunes proves, a més dels efectes de la radiació com causant ocasional de càncer, s'han observat efectes directes de la radiació, des de eritema suau (equivalent a una cremada solar) fins a cremades més importants. Avanços recents inclouen la digitalització de les imatges capturades i els sistemes detectors de panells plans que reduïxen encara més la dosi de radiació per als pacients.

4.2.3. Medicina nuclear

La Medicina Nuclear és l'especialitat mèdica que té com finalitat dos objectius: el diagnòstic i el tractament, mitjançant l'aplicació al pacient d'un radiofàrmac, normalment per via intravenosa.

Les tècniques de diagnòstic de medicina nuclear proporcionen una informació essencialment funcional de l'òrgan estudiat, a diferència de la resta de les tècniques de diagnòstic per imatge (*TAC, ressonància magnètica, ecografia, *etc) que oferixen informació estructural o anatòmica.

Fig. 24: Gammacamara. (Ref. 3.4.)

Una vegada el radiofàrmac en l'interior de l'organisme es fixa en un teixit, òrgan o sistema determinat i pot realitzar-se el seu seguiment des de l'exterior degut al fet que emet una petita quantitat de radiació gamma que és detectada per uns aparells denominats gammacámeres. Aquest senyal radioactiu emesa és amplificada i transformada en un senyal elèctric que posteriorment és analitzada per un ordinador i convertida en imatges de l'òrgan estudiat.

L'elecció del tipus de raiofàrmac depèn del teixit, òrgan o sistema orgànic a estudiar.

Les exploracions de medicina nuclear són enormement segures ja que els radiofàrmacs d'ús diagnòstic s'administren en dosis molt petites (d'aquí el seu nom de traçadors) el que fa que no tinguin cap acció fàrmac-terapèutica, ni efectes secundaris, ni reaccions adverses greus. Per altra banda, la quantitat de radiació rebuda per un pacient sotmès a una exploració de medicina nuclear és similar o inferior a la rebuda en una exploració radiològica convencional.

Actualment es disposa de prop de 100 tipus d'exploracions en medicina nuclear que permeten el diagnòstic precoç en patologia òssia, cardiologia, oncologia, endocrinologia així com en neurologia, nefrologia i urologia, neumologia, hematologia, aparell digestiu, patologia infecciosa, sistema vascular perifèric i pediatria.

La gran majoria dels estudis en medicina nuclear són estudis *in vivo* en els quals és necessari administrar el radiofàrmac al pacient per a obtenir, mitjançant detecció externa de la radiació, la informació desitjada. Els estudis *in vitro* no precisen de l'administració del radiofàrmaco al pacient i solament es processen mostres biològiques. Finalment existeixen estudis vivo/vitro, basats en la mesura de mostres biològiques després d'haver administrat al pacient un radiofàrmac.

En les últimes dècades del segle XX i començaments del segle XXI s'han desenvolupat noves tècniques en el camp de la medicina nuclear, com li tomografia per emissió de fotó únic (SPECT) o la tomografia per emissió de positrons (PET). Aquests avanços han originat l'aparició de nous radiofàrmacs o noves indicacions per a radiofàrmacs ja existents

4.2.3.1 Radiofàrmacs

Qualsevol producte que quan estigui preparat per al seu ús amb una finalitat diagnòstica o terapèutica, contingui un o més radionuclis (isòtops radioactius).

La Radiofarmàcia és l'aplicació de la pràctica farmacèutica a l'estudi, preparació, control i dispensació dels medicaments radiofàrmacs, tant en el seu vessant industrial com hospitalària.

En general, un radiofàrmac consta de dues parts bé diferenciades: la molècula suport a la qual s'uneix el radionucli i que condiciona la ruta metabòlica del radiofàrmaco dintre de l'organisme i el radionúclid pròpiament aquest que emet radiació permetent la detecció externa del radiofàrmac i la valoració del procés estudiat qualitativa i/o quantitativament. També existeixen radiofàrmacs de caràcter iònic, en els quals el propi radionucli determina la ruta metabòlica del compost.

Els paràmetres que defineixen un radiofàrmac són aquells que relacionen la radioactivitat (activitat) del radionúclid (Bq o Ci) amb la massa del compost químic (mol o g) i el volum total que ho compon.

L'activitat específica està referida a la massa total de l'element o compost químic que constitueix el radiofàrmac. Se sol expressar en Ci/mol, mCi/mmol, µCi/µg o MBq/mol.

La concentració radioactiva referida a la unitat de volum de la solució on es troba dissolt el radiofàrmac. S'expressa en mCi/ml o MBq/ml.

A més de les característiques físic-químiques ja enumerades per als radionúclids, un radiofàrmac ha de posseir les següents:

Vida mitja efectiva curta: l'eliminació d'un radiofàrmac del sistema biològic es produïx per excreció urinària, excreció fecal, respiració, etc., seguint una llei exponencial amb una determinada vida mitja biològica (T1/2b).

$$\frac{1}{T^{1/2}e} = \frac{1}{T^{1/2}f} = \frac{1}{T^{1/2}b}$$

La desaparició del radiofàrmac serà deguda, per tant, als dos processos, el biològic i el decreixement per desintegració físic (T1/2f) expressant-se com vida mitja efectiva (T1/2i).

Elevada fixació en l'òrgan a explorar: els radiofàrmacs han de localitzar-se preferentment en l'òrgan objecte d'estudi, amb nul·la o escassa localització en altres òrgans per a evitar que pugui emmascarar-se la morfologia o alterar la funció d'aquest òrgan. Els radiofàrmac no han de ser metabolitzats abans de la seva fixació en l'òrgan objecte d'estudi per a evitar una pèrdua d'eficàcia en la prova diagnòstica. Aquesta elevada fixació en l'òrgan diana dependrà d'una elecció adequada del radiofàrmac, el disseny de la qual exigeix el coneixement d'una sèrie de factors importants, entre ells: la

compatibilitat entre radionúclid i fàrmac, la estequiometria de la reacció, càrrega i grandària de la molècula, unió a proteïnes, solubilitat, etc.

Estabilitat. *Autoradiolisis: la inestabilitat és un dels majors problemes dels radiofàrmac. La temperatura, pH i llum afecten considerablement a l'estabilitat de molts compostos, pel que és necessari establir les condicions òptimes per a un correcte emmagatzematge.

La radiòlisis és la descomposició d'un compost sota l'acció de les radiacions ionitzants. És un fenomen molt important ja que limita considerablement el seu temps d'utilització. Quan la radiació s'origina en el mateix compost la descomposició es diu "autoradiòlisis".

CARACTERÍSTIQUES D'ALGUNS RADIOELEMENTS UTILITZATS EN MEDICINA NUCLEAR			
ELEMENT	VIDA MITJANA	TIPUS DE DESINTEGRACIÓ (MeV)	ENERGIA DE LA RADIACIÓ GAMMA (MeV)
H-3	12,26 a.	ß⁻ 0,018	-
C-14	5570 a.	ß⁻ 0,155	-
P-32	14,45 d	ß⁻ 1,71	-
Co-62	5,27 a.	ß⁻ 1,48 0,313	? 1,332 1,173
Tc-99 (m)	6 h.	Transició isomètrica	? 0,142 0,140 0,002
Tc-99	$2,1 \cdot 10^5$ a.	ß⁻ 0,29	-
I-131	8,06 d.	ß⁻ 0,81 0,61 0,33 0,25	? 0,72 0,64 0,38 0,28 0,08
Xe-133	5,3 d.	ß⁻ 0,34	? 0,081
Cs-137	30 a.	ß⁻ 1,18 0,514	? 0,662

Taula 13. Mostra les característiques dels isòtops més utilitzats en medicina nuclear. (Ref. 2.6.)

A més de l'efecte primari de la radiació sobre la seva pròpia molècula o molècules pròximes, existeix també un efecte secundari o indirecte de la radiació. La radiació pot descompondre el solucioni produint radicals lliures altament reactius que descomponen químicament a les molècules marcades.

Els estudis realitzats sobre la radiòlisis, demostren que el fenomen és de gran complexitat i que depèn de molts factors com la naturalesa de la substància i el radionúclid, les condicions de conservació (estat físic i temperatura), la presència d'altres substàncies (impureses químiques,

solucionis, oxigen atmosfèric, etc.), la naturalesa de la radiació, etc. El fenomen de la radiòlisis és directament proporcional a l'activitat específica, a l'energia de la radiació, i al període desemidesintegració. Per a incrementar l'estabilitat i preservar la integritat s'afegixen additius que limiten el fenomen de radiòlisis tals com l'àcid ascòrvic i l'àcid gentísic.

Fàcil disponibilitat: els radiofàrmacs han de ser productes als quals es pugui accedir amb relativa facilitat i periòdicament per a assegurar la seva activitat.

Com a conseqüència de la utilització de fonts de radiacions ionitzants, radiofàrmacs i tot el material que queda contaminat, òbviament es deriven residus que han de ser correctament classificats, emmagatzemats i destruïts.

4.2.3.2 Tractament en Medicina Nuclear

Un pacient hospitalari sotmès a teràpia amb radiacions ionitzants haurà de quedar ingressat en aïllament o podrà tornar a casa complint unes normes elementals de radioprotecció en funció de la dosi de radiació que emeti. El valor límit és de 30 µSv/h/m. (m referida a massa en kg)

AÏLLAMENT: Ingrés	**Ambulatori**
1- Taxa > 30 µSv/h/m	1- Taxa < 30 µSv/h/m
2- Entorns desfavorables	2- Normes de radioprotecció

Anteriorment la taxa estava amidada en Ci, és a dir, depenent de l'activitat. El canvi a µSv és degut al fet que aquest és més exacte ja que l'activitat depèn de cada pacient, no tots l'absorbeixen ni responen igual a la mateixa dosi.

Les normes de radioprotecció nomes són donades per un metge especialista en medicina nuclear al seu pacient i a causa de que el tema és força incómode i alarmista són molt curosos a l'hora de publicar-les.

4.2.3.2.1 Protocol d’actuació d’un pacient tractat amb radiofàrmacs

Les normes que s'enumeren a continuació estan basades que la principal manera d'eliminar el radiofàrmac és mitjançant l'orina. La seva durada és de 10 dies i la seva aplicació és simple. Encara que s'adapten a cada pacient els trets generals són els següents:

a- No mantenir relacions sexuals

b- No anar a llocs públics com el metro, el cine, el col·legi…

c- No mantenir contacte amb dones embarassades, amb gent gran ni amb nens

e- Beure tot el líquid possible.

d- Orinar assegut i estirar de la cadena 2 o 3 cops després de fer-ho

Part 2. Mesura de la radioactivitat en l'ambient: treball de camp

L'objectiu d'aquest apartat és realitzar mesures de radioactivitat ambiental en l'entorn hospitalari. Dintre dels recintes hospitalaris existeixen procediments de mesura i supervisió que són responsabilitat del departament de Radioprotecció. Aquest departament vetlla per que se segueixin les normes i s'actuï seguint les normes de seguretat adequades. No obstant, de l'anàlisi de les activitats amb fonts radioactives que es realitzen en l'hospital es dedueix que poden existir algunes activitats, com per exemple els pacients que són tractats en Medicina Nuclear i que no són confinats, que poden treure de l'hospital una quantitat significativa de radioisòtops que poden contribuir com a mínim localment a un augment de la radioactivitat ambiental.

7. TREBALL DE CAMP

Ara que ja hem respost les preguntes que ens fèiem al principi: sabem què és la radiació, d'on prové i amb quins percentatges, com podem protegir-nos i com la mesurem, on s'utilitza i per a què i quins residus genera. Sorgeix l'objectiu de mesurar els nivells de radiació en la via pública procedents de la utilització de radiofàrmacs en l'hospital.

Per a aprovar o desmentir la hipòtesi que **la substància radioactiva continguda en el radiofàrmac pot generar contaminació allí per on passa el pacient durant el temps de vida activa de la substància radioactiva.**

Per a abordar aquest treball de camp s'han de tenir en compte:

- Els instruments de mesura que disposem, que consisteixen fonamentalment en un detector de radioactivitat portàtil (monitor Geiger) i en equips de recompte de radioactivitat beta i gamma en la instal·lació radioactiva de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona.

- L'entorn urbà en el qual es realitza la mesura, per al qual s'ha de definir un procediment de mostreig.

7.1. EQUIPS DE MESURA

7.1.1 Comptador Geiger

El comptador Geiger és un detector portàtil de radioactivitat. L'equip que hem emprat és un equip del Model 3 'Survey Meter' fabricat per Ludlum Measurement Inc de Sweetwater, Texas, EUA que ens va deixar el grup

Fig. 30: comandaments

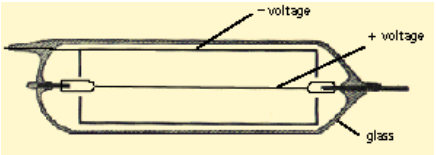


Fig. 31: Esquema del sensor

Fig. 32: Geiger

Celltec-UB del Departament de Biologia Cel·lular de la Universitat de Barcelona. Es tracta d'un equip dissenyat per a la detecció de contaminació radioactiva de superfícies o de mostres situades en la proximitat de la sonda. Només és capaç de detectar aquells isòtops emissors de partícules capaces de penetrar la seva membrana frontal, fonamentalment emissors beta i amb menor eficiència emissors gamma. No detecta partícules alfa.

El comptador Geiger està equipat amb un sensor format, normalment, per un tub metàl·lic que conté un fi fil metàl·lic al llarg del seu centre. L'espai entre ells està aïllat i farciment d'un gas, i amb una diferència de potencial d'uns 1000V entre el fil i el tub.

Quan un ió o electró penetra en el tub (o es desprèn un electró de la paret pels RAJOS X o gamma) es desprenen electrons dels àtoms del gas que, a causa del voltatge positiu del fil central, són atrets cap a aquest. A l'aproximar-se guanyen energia, col·lisionen amb altres àtoms i alliberen més electrons,

generant una cascada d'ionització que produeïx un pols de corrent elèctric detectable. Aquest senyal es converteix en un pols elèctric que sol mostrar-se en un indicador analògic i al mateix temps emetent un pols acústic.

Al instrument se li diu "comptador" degut al fet que cada partícula que passa per ell produeix un pols idèntic, permetent contar les partícules (normalment de forma electrònica) però sense dir-nos res sobre la seva identitat o la seva energia (excepte que haurien de tenir energia suficient per a penetrar les parets del comptador).

El comptador que hem usat està dotat d'un comandament o selector que permet controlar la sensibilitat del sensor, en un rang que va de 0,1x a 100x. L'escala analògica de l'equip emprat va de 0 a 4K. Un senyal de 2 K a 10x indica una quantitat de comptes per minut de 20000 mentre que el mateix senyal 2K a 0,1 x és indicativa d'una quantitat de 200 cpm.

7.1.2 Comptador de Centelleig Líquid

El comptador de centelleig líquid és un aparell que permet mesurar la radioactivitat d'una mostra dipositada en un vial.

El seu funcionament es basa en la propietat de certes molècules d'emetre fotons quan capturen partícules beta o gamma. La mostra a mesurar es diposita en un vial dissolta o en íntim contacte amb una solució que conté les molècules citades i que es denomina “solució de centelleig líquid”. El vial se situa en la proximitat d'un fotodetector que mesura el nombre de centelleigs i la seva intensitat. Així doncs, aquest comptador mesura indirectament la radioactivitat. La forma que es presenta la mostra (sòlid, líquid, en solució aquosa, oliosa,…) i el isòtop determinaran l'eficiència del recompte.

L'aparell que hem emprat és de la marca Packard model Tri-carb 2900TR (UB 206638) de la instal·lació radioactiva de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona, i està equipat amb el programari de gestió i anàlisi de dades “Quanta Smart for the Tricarb Líquid Scintillator Manager” (versió 1.31).

L'aparell consta de diverses parts:

- **Cambra de vials**: part superior de l'aparell que queda descoberta a l'obrir la tapa. És el lloc on cal col·locar els racks amb vials a contar i d'on cal treure'ls una vegada s'han contat. Està dividida en dues parts: en la part de la dreta és on es col·loquen els racks per a contar (si està buida) i en la part esquerra s'acumulen els quals ja s'han contat. [B]

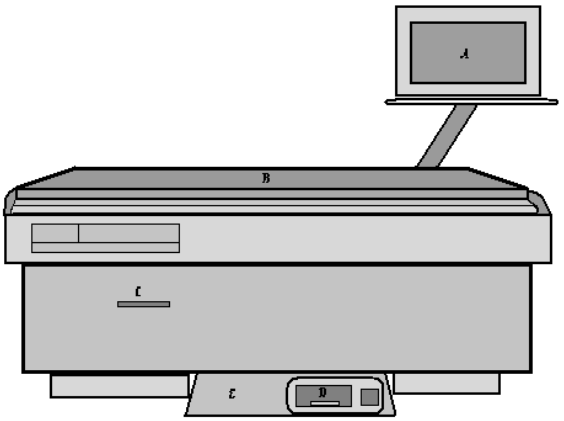


Fig. 33. Dibuix d'un comptador de centelleig líquid.

- **Teclat:** part que serveix per a dialogar i donar instruccions de treball al comptador. Normalment està amagat en la part baixa del comptador, lloc des d'on pot sortir per desplaçament en direcció a l'usuari. [D, I]

- **Pantalla d'ordinador** on es visualitzen les operacions que van tenint lloc. En la pàgina inicial apareixen les dades de la mostra que s'estan quantificant en aquell moment, el llistat dels protocols disponibles i en la part inferior, les tecles amb diferents funcions. [A]

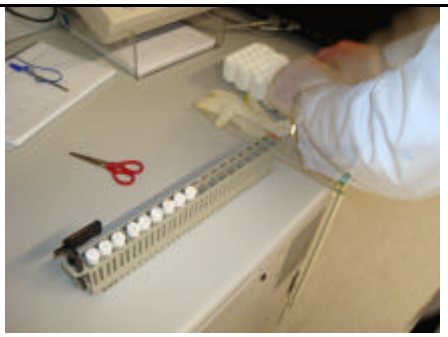
- **Disquetera**: Cada protocol es pot definir de manera que a més d'imprimir els resultats, els emmagatzema en un disquet. El nom que dóna a l'arxiu és SDATA (núm. de protocol). DAT o bé SDATA (núm. de protocol) XXX, on X seran nombres correlatius entre 001 i 999 i és exportable a fulls de càlcul tipus Excel. [C]

- **Impressora:** el dispositiu habitual per a l'emmagatzematge i registre dels resultats

El comptador pot executar nombrós programes de recompte. Un programa (identificat amb una bandereta que precedeix al primer vial de la seqüència. Veure Fig. 34) indica l'isòtop a contar (Llamps d'energia del fotodetector, temps de recompte, nombre de repeticions) així com les opcions d'emmagatzematge de la informació i/o impressió de la mateixa.

Alguns dels paràmetres que pot incloure l'informe de recompte són els següents.

1 . *PID*: nombre identificatiu del rack en la qual s'ha contat aquesta mostra.
2 . *S#:* nombre de la mostra
3 . *Time:* temps de recompte
4 . *cpmA:* recompte de la mostra en cpm al canal A
5 . *2S%A:* % de la desviació estàndard en el canal A. Informa sobre la precisió estadística de la mesura de la mostra.
6 . *cpmB:* recompte de la mostra en cpm en el canal B
7 . *2S%B*: % de la desviació estàndard en el canal B. Informa sobre la precisió estadística de la mesura de la mostra.
8 . *dpm/K*: activitat de la mostra en dpm
9 . *SIS*: valor de quenching de la mostra
10 . *tSIE*: valor de quenching de la mostra amb l'estàndard externa
11 . *%Llum*: percentatge de luminescència.
12 . *Flag*: aquesta columna acostuma a estar buida, però poden aparèixer diferents lletres.

	
Comptadors de centelleig líquid	Preparació del rack

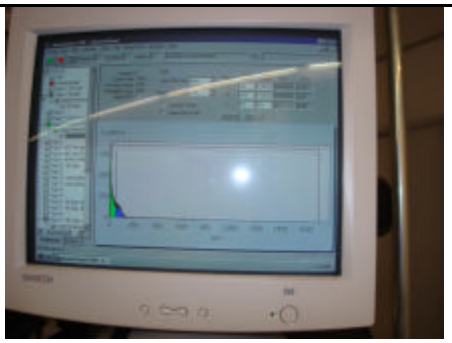
	
Posant el rack dintre de la màquina	Pantalla amb els resultats

Fig. 34. Comptador de centelleig líquid Tricarb 2900TR de Packard.

7.2. DETERMINACIÓ DE LA SENSIBILITAT DEL COMPTADOR GEIGER EN EL LABORATORI.

Tal com s'ha descrit prèviament el comptador Geiger és un equip especialment dissenyat per a detectar presència de radioactivitat en superfícies o en objectes situats en la proximitat de la sonda, però no per a la mesura de senyal radioactiu a distància. En aquest estudi volem detectar:

1 . Els nivells de radioactivitat ambiental
2 . Contaminació radioactiva en superfícies
3. Si pacients de l'hospital, quan hi surten, emeten nivells de radioactivitat detectables.

És necessari per tant conèixer per a poder definir un adequat programa de mostreig:

- Les característiques del detector i el seu maneig
- Quin és el senyal que emet quan detecta una font radioactiva, i com determinar la seva intensitat (indicador i nivells de sensibilitat)
- Quin és la sensibilitat del instrument

Així doncs, l'objectiu d'aquest experiment que es va realitzar en el laboratori de Celltec-UB en el Departament de Biologia Cel·lular de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona es detalla a continuació.

7.2.1 Objectius

- Comprovar el funcionament de l'aparell i la seva sensibilitat.
- Comprovar de forma experimental la llei de radioprotecció que la intensitat disminueix el quadrat de la distància.
- Aprendre a manejar fonts radioactives i a protegir-nos d'elles.
- Obtenir unes dades que ens permetin estimar si les dosis donades als pacients en medicina nuclear són suficientment altes perquè el Geiger pugui detectar-les.

7.2.2. Introducció teòrica

La font radioactiva que anem a utilitzar són 5 µl d'una γ-^{32}P-dCTP de 10 µCi/µl de data de referència 7-12-2007 . El ^{32}P és un emissor de radiació beta amb una energia de 1,71 MeV i un període de semidesintegració d'uns 14 dies. Saber els dies d'antiguitat que té ens permetrà calcular l'activitat radioactiva de la font ja que a causa del període de semidesintegració l'activitat serà menor a mesura que passin els dies.

La radiació que desprèn el fòsfor 32 o qualsevol altre isòtop radioactiu és radial, es desprèn en totes les direccions, de manera que a mesura que separem el detector de la font és més difícil que l'electró després penetri en el tub del Geiger.

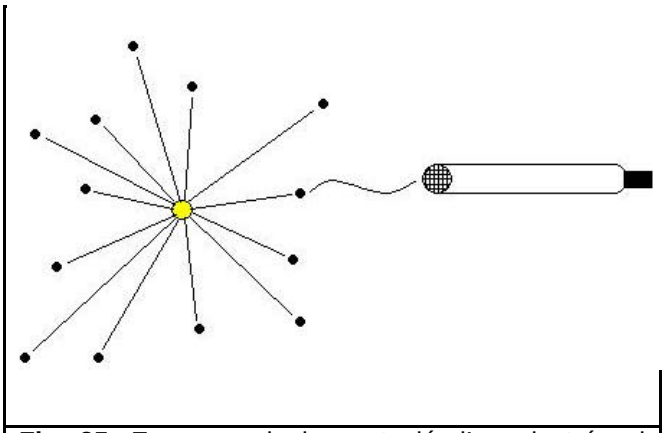


Fig. 35: Esquema de la captació d'un electró pel sensor del Geiger.

En aquest experiment se situarà el sensor del comptador Geiger alineat amb la font radioactiva evitant qualsevol apantallament. La font radioactiva serà en tot moment manipulada per personal especialitzat i se situarà darrere d'una pantalla de metacrilat/plom per a evitar la radiació als experimentadors. El sensor se situarà a distàncies entre els 5 cm i els 4 m anotant el valor mesurat en cada posició.

És d'esperar que es redueixi la senyal a mesura que s'incrementi la distància entre el sensor i la font, fins a un punt en el qual aquest serà incapaç de detectar-la. Aquesta reducció hauria de respondre aproximadament a la llei del quadrat de la distància (ap. 2.1.2). Mitjançant aquest experiment podrem saber com és la sensibilitat de l'aparell. De manera que sabent la quantitat aproximada que posen als pacients de medicina nuclear sabrem si el Geiger és capaç de detectar-lo, o en cas de detectar-lo, fer el camí invers i esbrinar quina quantitat li han posat al pacient.

Característiques físiques del Fósfor

- Vida mitjana: 14,29 dies
- Radiació: Beta
- Max Energia: 1,71 Mev
- Rang en l'aire: 6 metros
- Rang en l'aigua: 8 mm

7.2.3 Material

- Cinta mètrica
- Comptador Geiger
- Pantalla de metacrilat amb plom
- Font radioactiva (5 µl d'una solució de γ-32P-dCTP de 10 µCi/µl de data de referència 7-12-2007)
- Equip de Protecció Personal : Bata de laboratori i guants de làtex d'un sol ús.
-Taula de registre de dades
- Càmera fotogràfica

7.2.4. Càlculs

Hem aconseguit una font radioactiva emissora de 32P de 50 µCi amb 14 dies d'antiguitat respecte a la seva data de referència. Mitjançant els valors de la taula sabem que 14 dies després l'activitat és de 25 microcuris. Si un microcurie equival a $2,2 \cdot 10^6$ dpm, tenim una font amb una activitat aproximada de $55 \cdot 10^5$ dpm.

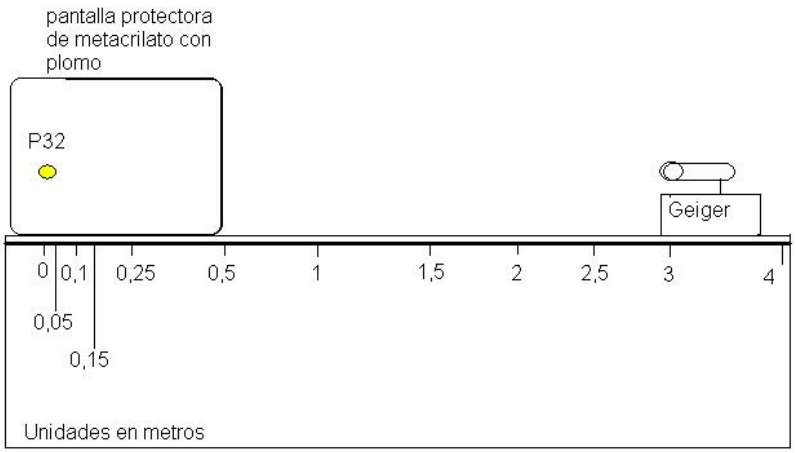
Amersham Biosciences
Part of GE Healthcare

Decay Chart for: ^{32}P

Days	-9 1.547	-8 1.474	-7 1.404	-6 1.337	-5 1.274	-4 1.214	-3 1.156	-2 1.102	-1 1.050	0 1.000
Days	1 0.953	2 0.908	3 0.865	4 0.824	5 0.785	6 0.748	7 0.712	8 0.679	9 0.647	10 0.616
Days	11 0.587	12 0.559	13 0.533	14 0.507	15 0.483	16 0.461	17 0.439	18 0.418	19 0.398	20 0.379
Days	21 0.361	22 0.344	23 0.328	24 0.313	25 0.298	26 0.284	27 0.270	28 0.257	29 0.245	30 0.234
Days	31 0.223	32 0.212	33 0.202	34 0.192	35 0.183	36 0.175	37 0.166	38 0.159	39 0.151	40 0.144
Days	41 0.137	42 0.131	43 0.124	44 0.119	45 0.113	46 0.108	47 0.103	48 0.098	49 0.093	50 0.089
Days	51 0.084	52 0.080	53 0.077	54 0.073	55 0.070	56 0.066	57 0.063	58 0.060	59 0.057	60 0.055
Days	61 0.052	62 0.050	63 0.047	64 0.045	65 0.043	66 0.041	67 0.039	68 0.037	69 0.035	70 0.034
Days	71 0.032	72 0.031	73 0.029	74 0.028	75 0.026	76 0.025	77 0.024	78 0.023	79 0.022	80 0.021
Days	81 0.020	82 0.019	83 0.018	84 0.017	85 0.016	86 0.015	87 0.015	88 0.014	89 0.013	90 0.013
Days	91 0.012	92 0.012	93 0.011	94 0.011	95 0.010	96 0.010	97 0.009	98 0.009	99 0.008	100 0.008

Fig. 36: Taula de "decay" per a ^{32}P.

7.2.5 Esquema del muntatge



7.2.6. Procediment

1- Amb una cinta mètrica anem marcant amb llapis damunt de la taula les distàncies a les quals anem a mesurar (de 5cm a 4 m).
2- Col·loquem el blindatge (pantalla de metacrilat-plom) i posem la font radioactiva darrere d'aquest.
3- Col·loquem el Geiger en un dels extrems i l'encenem comprovant l'estat de la bateria (*bat test*) i situant el selector de sensibilitat en la manera de sensibilitat màxima (0,1 x).
4- Obrim el contenidor blindat que conté la font evitant apantallaments i procurant que estigui en línia amb el sensor del Geiger. Si l'agulla del marcador se surt de les marques és que està saturat, baixem la sensibilitat al següent nivell i així fins que doni un resultat. Esperem uns 30 segons que l'agulla s'estabilitzi i apuntem el resultat en una taula.
5- Repetim el pas 4 en les diferents longituds
6- Repetir la presa de mesures un parell de vegades com a mínim.
7- Es considera correcta la mesura realitzada al nivell de sensibilitat immediatament inferior al de mínima sensibilitat saturada.

7.2.7. Resultats

Data de realització de l'experiment: 28.12.2007

Primera mesura				Distància (m)								
Sensibilitat	0,05	0,1	0,15	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4
0,1 x	Saturat	Saturat	Saturat	Saturat	Saturat	4 K	2 K	0,5 K	0,2 K	soroll	soroll	Soroll
1 x	Saturat	Saturat	Saturat	Saturat	1 K	0,2 K	-	-	-	-	-	-
10 x	Saturat	Saturat	1,8 K	1 K	0,2 K	-	-	-	-	-	-	-
100 x	2 K	0,5 K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Segona mesura				Distància (m)								
Sensibilitat	0,05	0,1	0,15	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4
0,1 x	Saturat	Saturat	Saturat	Saturat	Saturat	4 K	2 K	0,8 K	0,2 K	0,1 K	Soroll	soroll
1 x	Saturat	Saturat	Saturat	Saturat	0,8	0,2 K	0,2	0,1 K	-	-	-	-
10 x	Saturat	Saturat	2,8 K	0,7 K	-	-	-	-	-	-	-	-
100 x	1 K	0,4	0,3 K	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mitja				Distància (m)								
Sensibilitat	0,05	0,1	0,15	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4
0,1 x	Saturat	Saturat	Saturat	Saturat	Saturat	4 K	2 K	0,65 K	0,2 K	soroll	soroll	soroll
1 x	Saturat	Saturat	Saturat	Saturat	0,9 K	0,2 K	0,1 K	0,05 K	-	-	-	-
10 x	Saturat	Saturat	2,3 K	0,85 K	0,1 K	-	-	-	-	-	-	-
100 x	1,5 K	0,45 K	0,15 K	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Distància (m)	0,05	0,1	0,15	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4
Cpm	200000	45000	19000	8500	950	300	150	57,5	20	0	0	0

Tabla 17. Valors de detecció amb el comptador Geiger d'una font radioactiva de P^{32} tal i com es decideix en 7.2.3. a 7.2.5.

Els valors que hem obtingut no coincideixen totalment amb la llei del quadrat de la distància però si que ens donen uns valors molt pròxims. Si a 0,05 m té 200000 cpm teòricament a 0,1 que és el doble, hauria de tenir una quarta part de 200000, és a dir, 50000 i així successivament com es mostra en la taula. (Taula 18)

Distància	0,5	0,1	0,15	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4
Cpm	200000	50000	22222,2	8000	2000	889	500	222	125	80	56	31,25

Taula 18. S'indiquen els resultats teòrics mitjançant la llei del quadrat de la distància. (Elaboració pròpia).

Comparem els dos valors i ens surt la gràfica següent:

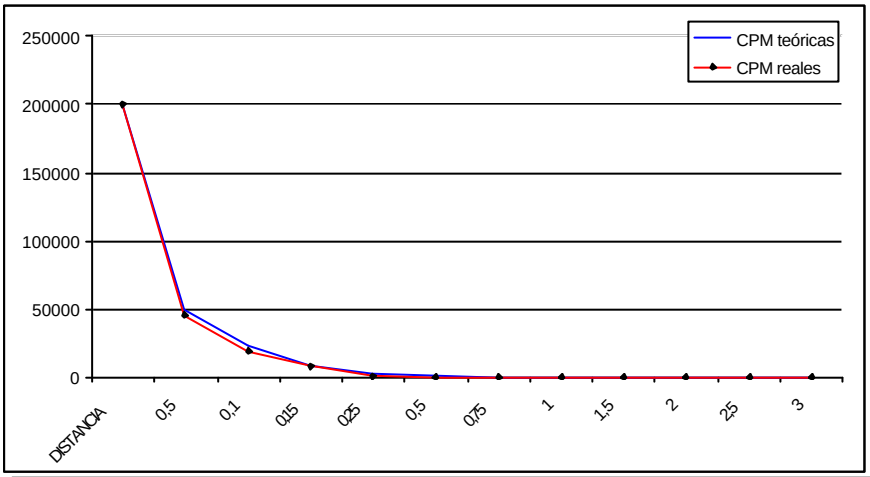


Fig. 37: Representació dels valors mitjans y teòrics aplicant la llei.

Com podem observar les diferències són mínimes i es van accentuant a mesura que ens allunyem perquè el Geiger òbviament perd sensibilitat.

7.2.8 Conclusions

A partir dels resultats obtinguts podem concloure que:

- Hem après a manejar el comptador Geiger, la manera de lectura del senyal radioactiu i a diferenciar un senyal positiu del soroll de fons. Això ens capacita per a realitzar les mesures de radioactivitat

ambiental i de superfícies que volíem realitzar en l'entorn de l'Hospital Clínic.

- El comptador Geiger emprat és capaç de detectar el senyal emès per una font radioactiva fins a un màxim de 1,5 a 2 m. Aquest resultat ens confirma que el comptador Geiger és un detector per a quantificar senyals radioactius pròximes. A partir dels dos metres sense cap tipus de pantalla es comença a confondre el soroll de fons i el causat per la font radioactiva.

- Hem pogut comprovar que la senyal radioactiva decreix com diu la llei del quadrat de la distància.

No obstant això, considerant que la font emprada és d'un emissor beta energètic (1,71 MeV) la seva activitat radioactiva és baixa (25 µCi, 55.106 dpm) comparada amb les aplicades en Medicina Nuclear (dosi de 0,5 a 4 mCi) estimem com possible la detecció de senyal radioactiu en pacients tractats en l'hospital encara que dependrà en tot cas del isòtop i de la dosi i a la distància a la qual es troba del sensor.

7.3 DETERMINACIÓ DELS NIVELLS DE SOROLL DE FONS I CONTROL POSITIU PER RADÓ

Al principi del treball ens plantegem usar el comptador Geiger per tenir una mesura del soroll de fons (control negatiu) i d'una situació en la qual crèiem que podríem detectar una senyal radioactiva deguda a un augment de la radioactivitat natural per Radó. Havíem llegit que el Radó, causant de la major part de la radioactivitat natural s'acumulava en llocs profunds a causa de la seva densitat pel que vam pensar que en la planta -2 d'un pàrquing hi hauria d'haver més Radó i per això més radioactivitat.

7.3.1 Objectiu

- Determinar el soroll de fons (control negatiu)

- Determinar la radioactivitat en la planta -2 d'un pàrquing com control positiu a causa de l'acumulació de Radó.

7.3.2 Material

- Comptador Geiger.
- Fulls de registre
- Càmera fotogràfica

7.3.3 Procediment

1. En el lloc escollit per a la mesura col·locar el comptador Geiger en un lloc estable.

2. Encendre el comptador Geiger i comprovar l'estat de la bateria (bat test): l'indicador ha d'estar dintre de l'àrea de *bat ok*.

3. Col·locar el sensor del comptador en la màxima sensibilitat (0,1 x). Deixar estabilitzar l'agulla durant almenys 30 seg. i anotar la mesura.

4. Canviar a una sensibilitat menor i repetir la mesura.

5. Apagar el comptador Geiger i passar a la nova localització repetint els passos del 3 al 5 les vegades necessàries.

7.3.4 Resultats

LLOC	Nivell màxim registrat durant un minut SENSIBILITAT Comptes per minut			
	X100	X10	X1	X0,1
Interior de casa. Menjador	0	0	0	0,5
Escala. 4º piso.	0	0	0	0,7
Carrer. Davant del pis nº 137. Av. Virgen de Montserrat.	0	0	0	0,7

Taula 19. Resultats control negatiu.

CONTROL POSITIU				
	X100	**X10**	**X1**	**X0,1**
Pàrking al carrer Génova. Planta -2	0	0	0	30 segons→ 0,4 60 segons→ 0,6
Taula 20. Resultats control positiu				

7.3.5 Conclusions

El Resultat indica que, sense cap font de radiació pròxima, els nivells de radiació que detecta el comptador Geiger són gairebé nuls. Només detecta becs de radiació en la manera de sensibilitat màxima (cpm x 0,1) que són atribuïbles a soroll de fons del propi instrument.

La suposició que en el pàrquing, al ser més profund es produiria un augment de la radioactivitat deguda al Radó no és correcta o no vam poder demostrar-la. Creiem, després de discutir-ho que és molt possible que el fenomen d'acumulació només es produeixi a gran profunditat i sigui apreciable només si no es produeix ventilació de l'ambient perquè aquest gas es pugui acumular. El que sembla clar és que amb el comptador Geiger en el pàrquing no vam veure res.

Fig. 38. Joan mesurant al carrer

Fig. 38: Miguel mesurant en l'escala d'una vivenda.

7.4. MOSTREIG AMBIENTAL EN L'ENTORN DE L'HOSPITAL CLÍNIC

Una vegada comprovat el funcionament adequat del comptador Geiger (ap. 7.2) definim una estratègia de mostreig ambiental entorn de l'Hospital Clínic de Barcelona tenint en compte:

- Els instruments que disposàvem : comptador Geiger i comptadors de radioactivitat tipus 'beta counters'

- La naturalesa urbana de l'entorn en el qual havíem de fer les mesures i la sensibilitat del tema radioactiu que ens obligaven a ser discrets

- La dificultat de prendre mesures en l'interior del propi hospital

A més vam tenir en compte que, atès que buscàvem senyals que havien de ser conseqüència de l'activitat hospitalària, hauríem de fer les mateixes mesures en dies en els quals no hagués activitat hospitalària i dies que aquesta fos normal.

7.4.1 Objectiu

- Amidar el senyal radioactiu en l'entorn de l'Hospital Clínic, en una sèrie de localitzacions entorn de les principals sortides del mateix.

7.4.2 Material

- Comptador Geiger
- Fulls de registre
- Càmera fotogràfica

7.4.3 Procediment

Abans d'iniciar el mostreig:

1 . Definir els punts de mostreig entorn de l'hospital

2 . Preparar els fulls de registre de dades

3 . Escollir les dates de mostreig, corresponents a un dia sense activitat hospitalària (26-Desembre-2007) i un dia laborable (28-Desembre-2007).

El dia del mostreig:

1 . En el lloc escollit per a la mesura col·locar el comptador Geiger en un lloc estable.

2 . Encendre el comptador Geiger i comprovar l'estat de la bateria (bat test): l'indicador ha d'estar dintre de l'àrea de *bat ok*.

3 . Col·locar el sensor del comptador en la màxima sensibilitat (0,1 x). Deixar estabilitzar durant almenys 30 seg. i anotar la mesura.

4 . Canviar a una sensibilitat menor i repetir la mesura.

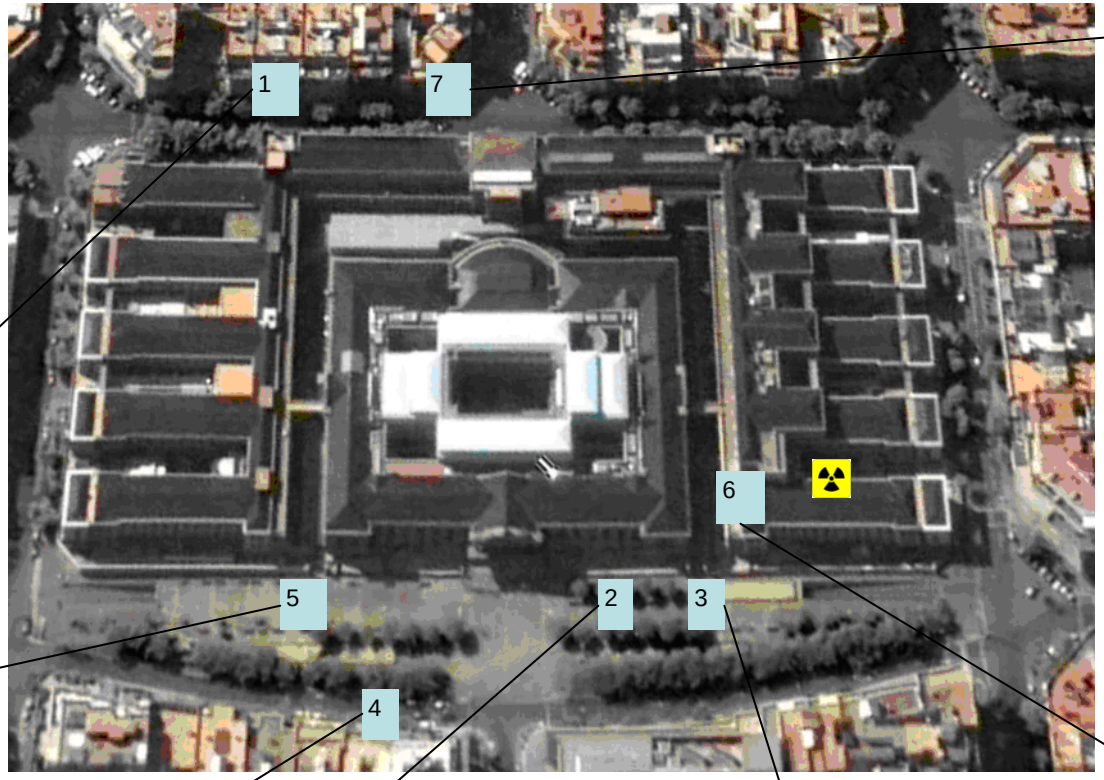
5 . Apagar el comptador Geiger i passar a la nova localització repetint de 3 a 5 les vegades necessàries.

7.4.4. Resultats

Fig. 39: Boca de Metro (7)	**Fig. 40**: Banc molt allunyat de la sortida (5)	**Fig. 41**: Bar Ascot (4)
Fig. 42: Banc davant de la sortida (3)	**Fig. 43**: Banc allunyat de la porta de sortida (2)	**Fig. 44**: Interior del Clínic (6)

LLEGENDA

- Servei de Medicina Nuclear
- CPM per sobre del soroll de fons
- CPM normals



Metro

Dia festiu (26/12/07)	Dia laborable (28/12/07)
40 CPM	20 CPM

Pans&Company

Dia festiu (26/12/07)	Dia laborable (28/12/07)
15 CPM	55 CPM

Banc 1

Dia festiu (26/12/07)	Dia laborable (28/12/07)
50 CPM	30 CPM

Ascot

Dia festiu (26/12/07)	Dia laborable (28/12/07)
20 CPM	80 CPM

Banc 2

Dia festiu (26/12/07)	Dia laborable (28/12/07)
40 CPM	55 CPM

Banc 3

Dia festiu (26/12/07)	Dia laborable (28/12/07)
45 CPM	60 CPM

IRRADIACIÓ

Interior del hospital

Dia festiu (26/12/07)	Dia laborable (28/12/07)
15 CPM	850 CPM

(*) La mostra corresponent a l'interior del clínic va ser presa en el pis 0 en la sala d'espera dels pacients de medicina nuclear. (Veure Fig. 44).

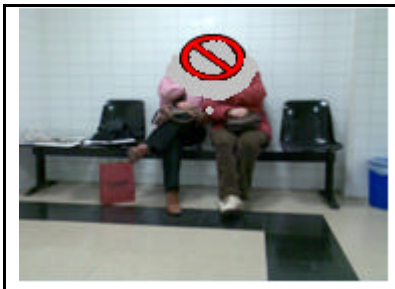
		
Pacients	Col·locació del Geiger	Marcador del Geiger

Fig. 44: Seqüència presa en la sala d'espera de Medicina Nuclear

7.4.5 Conclusions

Els resultats del dia festiu (26/12/2007), en el qual no hi ha activitat en medicina nuclear, indiquen que no hi ha presència de radioactivitat en cap dels punts de mostreig.

Els resultats del dia (28/12/2007), en el qual sí havia servei de medicina nuclear, indiquen que en els punts 1, 2, 3, 5 i 7 no hi ha presència de radioactivitat per sobre del soroll de fons o comparat amb un dia festiu.

El punt de mostreig 4 sembla revelar unes cpm una mica més elevades del normal, però donada la precisió de l'aparell podríem considerar-ho com una casualitat.

El punt de mostreig 6 corresponent a la sala d'espera del servei de medicina nuclear situat en la planta -1 del HCP. indica la presència clara de radioactivitat. Clarament vam poder comprovar que la font de la radioactivitat eren dos pacients assegudes just davant de nosaltres a uns 2 metres i mig. Gràcies al control positiu fet en el laboratori amb fòsfor 32 sabem que la dosi que vam detectar era considerablement més alta a la qual utilitzem nosaltres ja que entre el sensor del Geiger i les pacients hi havien dos metres i mig d'aire i

una fulla de paper de la bossa en la qual dúiem el comptador Geiger i tot i així ens van donar unes cpm molt elevades (saturat a 0,1 x).

7.5. PRESA DE MOSTRES DE CONTACTE

L'objectiu de la presa de mostres de contacte és esbrinar si la persona que ha estat tractada amb un radiofàrmac contamina d'alguna manera els llocs pels quals passa. Com el radiofàrmac s'elimina majoritàriament per l'orina creiem que trobarem rastre de radioactivitat en els lavabos dels bars pròxims a l'Hospital Clínic on els pacients van a prendre una mica entre prova i prova.

Com el Geiger no és un aparell massa exacte, per a les mostres de contacte utilitzarem altre mètode que es basa en la recollida del possible material radioactiu amb un filtre que posteriorment es col·loca en un comptador beta que converteix les desintegracions radioactives en llum podent ser contades.

Els dos bars escollits per a l'estudi són el 'Pans&Company" de la calli Villarroel i el Bar Restaurant "Ascot" que està situat davant de l'entrada principal de la universitat, en el carrer Casanovas. Hem escollit aquests dos bars perquè són els dos més grans dels voltants i en els quals hem pensat que més probabilitats teníem de trobar una mica.

7.5.1 Objectiu

- Mesura de la radioactivitat en superfícies dels serveis de dos bars situats en la proximitat de l'Hospital Clínic.

7.5.2 Material

- Filtres rodons marca Whatmann 3MM de 15 mm de diàmetre
- Microvials de centelleig Packard de 5 ml.
- Retoladors per a marcar
- Guants de làtex

- Líquid de centelleig – ECOLITE Packard

- Comptador Beta de centelleig TRICARB 2900 TR 'Liquid Scintillator Analyzer' de Packard (UB206638) dotat del programa 'Quanta Smart for the Tricarb Liquid Scintillation Manager' v1.31 per a control d'equip i anàlisi de recomptes.

-Comptador Geiger

-Fulls de registre

7.5.3 Procediment

Treball de camp

1- Posar-se els guants de làtex

2- Per a cadascuna de les superfícies a amidar agafar un filtre i refregar-lo en una superfície d'uns cms. del lavabo (llocs adequats són les vores de la tassa, el sòl, els urinaris de paret, o el rentamans, així com els tiradors de les portes o els interruptors de la llum).

3- Posar el filtre en el microvial i tapar-lo bé.

4- Marcar amb un codi el microvial, anotar en la fulla de registre que superfície correspon el vial.

5- Treure els guants i rentar-se les mans

Treball de laboratori

1- Posar-se els guants de làtex i la bata

2- Posar els microvials en una graella.

3- Afegir el líquid de centelleig a cada microvial de la següent forma:

3.1- Encenem la campana de gasos i vam treballar dintre amb el líquid ja que és volàtil

3.2- Obrim el microvial

3.3- Utilitzant unes pinces empenyem el filtre fins al fons

3.4- Afegim 3 ml. de líquid de centelleig (ECOLITE, Packard), suficient per a cobrir el filtre, mitjançant un dosificador d'ampolla ajustat a aquest volum.

3.5- Tapem el microvial

4- Agafem 6 microvials més que estiguin buits i posem en cadascun 3 ml. de líquid de centelleig. Ens serviran per a fer un control negatiu i uns controls positius.

5- Fem un control negatiu en el qual sabem que no hi ha radioactividad. Ho marquem com P0

6- Per a crear els controls positius cal fer el següent.

6.1- Emprem 1 µl d'una -32P-γsolució de dCTP de 10 µCi/µl de data de referència 7-12-2007 (font radioactiva empleada en l'experiment descrit en l'apartat 7.2) i la diluïm en 2 ML de tampó fosfat 0,1 M pH 7,4..

6.2- Col·loquem mitjançant una micropipeta automàtica Gilson del rang apropiat les següents quantitats:

1 microlitre de solució → Vial P1

5 microlitres de solució → Vial P2

20 microlitres de solució → Vial P3

100 microlitres de solució → Vial P4

200 microlitres de solució → Vial P5

7- Col·loquem les 12 mostres en el comptador beta. Seleccionem el protocol 5 de l'equip que correspon al isòtop P32 i encenem el comptador.

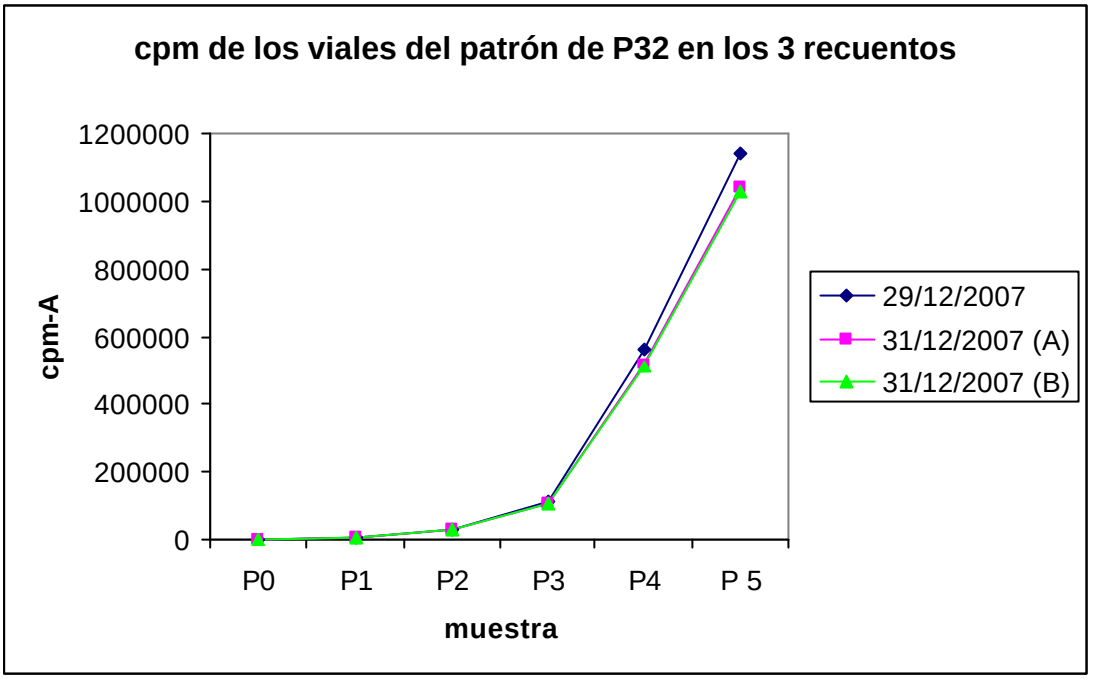
8- Els resultats surten impresos.

7.5.4. Resultats

Mostra	Recompte 1 (cpm) 29-Diciembre-2007 2:36:14 PM	Recompte 2 (cpm) 31-Diciembre-2007 12:01:25 PM	Recompte 3 (cpm) 31-Diciembre-2007 2:39:05 PM
P0	15	14	12
P1	5679	5149	4971
P2	29462	27127	26651
P3	114315	105075	104087
P4	566183	517016	514468
P 5	1142355	1041969	1030797
Ascot 1	0	0	-
Ascot 2	85523	72502	-
Ascot 3	0	0	-
Pans 1	0	0	-
Pans 2	0	0	-
Pans 3	0	0	-
A 1	-	-	0
A 2	-	-	0
A 3	-	-	0
A 4	-	-	0

A 5	-	-	0
A 6	-	-	0
A 7	-	-	0
A 8	-	-	0

Taula 23. **Resultats dels 3 recomptes.**



a- L'equip ha realitzat un recompte correcte com ens mostren els valors obtinguts en les corbes patró. El soroll de fons és de 15 cpm. Vial P0). Les diferències entre recomptes de dies successius són degudes al *decay* del P32.

b- En les mostres preses el dia 31-Desembre-2007 i corresponent a un urinari de cavallers en el bar "Ascot" vam detectar un nombre de cpm elevat. Les diferències observades entre els diferents dies corresponents al propi *decay* del isòtop emprat. Per a confirmar-lo hem presos dues mesures. La primera mesura va ser tornar al lloc de mostreig, i prendre 8 mostres més dels llocs que es detallen a continuació:

- Ascot 1: Tassa del wàter
- Ascot 2: sòl a l'esquerra
- Ascot 3: sòl davant
- Ascot 4: sola a la dreta
- Ascot 5: vàter dempeus

- Ascot 6: sòl del vàter dempeus
- Ascot 7: Meitat dreta del cercle
- Ascot 8: Meitat esquerra del cercle

Els resultats del recompte d'aquestes mostres es recullen en la taula 23 i ens mostren que el servei ha estat netejat i ja no som capaços de detectar cap valor radioactiu.

La segona mesura va ser per a intentar determinar que isòtop havíem trobat.

Possible Isòtop	Període de semidesintegració (dies)	cpmA que tindrien que sortir
P^{32}	14,29	77767
I^{125}	59,24	83196
Ca^{45}	165,04	84348
S^{35}	87,41	83773
Sr^{89}	50,50	82887
Sr^{90}	28,76	84889
Na^{22}	950,82	84886
Na^{24}	14,97	11082
Cr^{51}	27,73	81192
Co^{57}	271,82	84603
Co^{60}	1925,41	84943
Fe^{59}	44,43	82603
Ni^{63}	100,02	84997
Se^{75}	119,71	84102
Br^{82}	35,36	35878
I^{131}	8,02	72544
Po^{210}	138,35	84222
Am^{241}	433,22	84999
P^{33}	25,3	80336
H^{3}	4530,37	84976
C^{14}	5728, 49 anys	84999

Taula 24. Càlcul de la cpm teòriques el 31/12/2007a les 12:00 hores d'un isòtop amb el temps de semidesintegració indicades si el 29/12/2007 tenia una activitat de 85523 cpm.

Utilitzant un programa incorporat en el programari del comptador, "Quantasmart Tricarb Liquid Scintillator" vam estimar les possibles cpm que ens hauria de donar si fossin els següents isòtops. Sabíem que les cpm del vialà 2 eren 85523 a les 2:36:14 PM del dia 29-Desembre-2007. Sabíem també que el segon mesurament la faríem a 12:01:25 PM del 31-Desembre-2007 de manera que teníem el temps transcorregut. Seleccionant l'isòtop té en compte els

períodes de semidesintegració que són comparables amb el resultat del recompte (Veure Taula 24).

Al realitzar el segon recomptes (Veure Taula 24) vam observar que la mostra coincidia amb les cpm benvolgudes per a l'I131.

7.5.5. Conclusions

- Som capaços de detectar traces de radioactivitat en superfícies.
- Hem trobat un punt contaminat corresponent a la zona de mostreig 4, vial Ascot 2
- La contaminació ha estat eliminada no s'ha repetit ja que no s'ha detectat en mostres posteriors. (Veure taula 27. Recompte 3)
- De l'estudi del temps de semidesintegració el resultat és compatible amb una contaminació per I131, això es podria confirmar amb un estudi emprant patrons del recompte d'I131 i no els empleats de P32 per a comparar el seu perfil d'energia. (Veure taula 28)

8. DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS FINALS

L'ús de la radioactivitat en molts àmbits com són el metge o en la investigació desperta recels en la societat per la por que aixeca un agent tòxic que és indetectable per als sentits. Per a assegurar un ús segur existeixen nombrosos organismes que regulen el seu ús, des d'organismes especialitzats que formen a especialistes en el tema, autoritzen l'obertura d'instal·lacions, s'encarreguen de la supervisió, control de tots els centres i de la normativa legal en general fins a xarxes més àmplies i automatitzades de radiovigilància i programes de mostreig, control, supervisió…

A pesar dels riscos que suposa en l'àmbit hospitalari la radioactivitat és una eina de treball indispensable i irreemplaçable. El seu ús ve regulat per un conjunt de normes, aplicades pel servei de Radioprotecció, que s'encarrega que la radioactivitat no es dispersi. Aquest objectiu és possible dintre del recinte

hospitalari, però en canvi, quan els pacients no queden confinats en l'hospital actuen com una font radioactiva sense control, tant contaminant com irradiant.

Mitjançant les nostres observacions als voltants de l'hospital i en el seu recinte confirmem les nostres sospites de la impossibilitat de controlar un pacient que no quedi confinat. A pesar del baix nombre de mostres preses, hem detectat valors de radioactivitat en l'ambient (comptador Geiger) com en mostres de superfícies, en la qual almenys hi ha una que possiblement sigui I131 que és l'usat en aplicacions de Medicina Nuclear.

Llavors, veient aquesta radiació "incontrolable", ens vam preguntar de quina manera aquesta influeix en les persones? És molt probable que no afecti en gran mesura al públic en general i gairebé segur mai arribarà als valors màxims que imposa la legislació, però existeix la possibilitat de controlar aquest tipus d'irradiació i contaminació?

A manera de síntesi podem dir que hem donat resposta i hem après el que ens preguntàvem al principi del treball. Què és la radiació, d'on prové i que percentatges, com podem protegir-nos i com l'amidem, on s'utilitza i per a què i quins residus genera. Gràcies a la informació obtinguda en aquesta part ens va sorgir una hipòtesi i l'objectiu de

- **Mesurar els nivells de radiació en la via pública procedents de la utilització de radiofàrmacs en l'hospital.**

Que s'han complert i ens han aportat les dades que ens permeten confirmar la hipòtesi que: **La substància radioactiva continguda en el radiofàrmac pot generar contaminació i irradiació allí per on passa el pacient durant el temps de vida activa de la substància radioactiva. Genera contaminació perquè deixa una activitat radioactiva després d'haver retirat la font. Genera irradiació per que el isòtop que duu incorporat en l'organisme produeix radiacions que es detenen quan desapareix la font.**

9. BIBLIOGRAFIA

1. LLIBRES

1.1. BIETE, Albert: *Radioterapia en el tratamiento del cáncer.* Edicions Doyma. Barcelona. 1990.

1.2. KANE, J. W.; STERNHEIM, M. M.: *Física.* Ed. Reverté, S.A. 1989 (2ª edición).

2. MONOGRAFIES

2.1. CSN: *La red de Vigilancia radiológica Ambiental. REVIRA*. CSN. Madrid 1993

2.2. CSN: *Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado*. 2006.

2.3. HERRANZ, M. y otros: *Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad en suelos, capa superficial*. CSN, Colección informes técnicos 11.2003

2.4. LUQUE, Sofía y otros: *Programa de vigilancia radiológica ambiental. Resultados 2005.* CSN, Colección Informes Técnicos 17.2006

2.5. PONS, D. J. y otros: *Curso de Capacitación para operadores de instalaciones radiactivas.* Servicio de Hormonología. Servicio de Isótopos Radiactivos (Medicina Nuclear) del Hospital Clínico. Monografía sin fecha

2.6. Servici de Coordinació d'Activitats Radiactives: *Protecció Radiològica a instalacions radiactives.* Departament d'Indústria i Energia. Generalitat de Catalunya.

3. DOCUMENTS ELECTRÒNICS

3.1. Clínica Universitaria de Navarra. *Mamografía*. 7-Septiembre-2007 <http://www.cun.es/areadesalud/pruebas-diagnosticas/mamografia>

3.2. CSN. Consejo de Seguridad Nuclear. 13-Julio-2007. <http://www.csn.es>

3.3. Encyclopaedia Britannica. *Nuclear Medicine.* 2007. Encyclopaedia Britannica online. 26-Octubre-2007. <http://www.britannica.com/eb/article-9056444>

3.4. Molypharma. *Medicina Nuclear*. 2-Noviembre-2007 <http://www.molypharma.es/esp/medicina_nuclear.html>

3.5. PASCUAL, Adoración y GADEA, Enrique: *NTP 303: Instalaciones Radiactivas.* Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. 07-Noviembre-2007. <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_303.htm>

3.6. RadiologyInfo. *La fuente de información sobre radiología para pacientes*. 28-Septiembre-2007. <http://www.radiologyinfo.org/sp/safety/index.cfm?pg=sfty_xray&bhcp=1>

3.7. SERAM. *Programa docente para la formación médica especializada en radiodiagnóstico*. Real decreto 127/1984 y Guía de Formación de Especialistas de Radiodiagnóstico, de 25 de abril de 1986. Secretaria de Estado de Universidades e Investigación del Ministerio de Educación y Ciencia. <http://www.seram.es/formacion.php>

3.8. THALES, Sociedad Andaluza de Educación Matemática: *Radiactividad y ondas electromagnéticas*, *Tipos de radiactividad.* 16-Octubre-2007 < http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0504-01/tipos-rad.html>

3.9. WIKIPEDIA. *Fluoroscopia*. 25-Septiembre-2007 <http://es.wikipedia.org/wiki/Fluoroscopia>

3.10. WIKIPEDIA. *Los Rayos X*. 25-Septiembre-2007 <http://es.wikipedia.org/wiki/Rayos_X>

4. NORMATIVA LEGAL

4.1. España. Real Decreto 783/2001 "Reglamento sobre protección sanitaria de radiaciones ionizantes". Jueves-26-Julio-2001. *Boletín oficial del Estado*, núm. 178.

5. ALTRES DOCUMENTS

5.1. BENITO, Carmen y otros: *Instrucciones de uso de un contador de centelleo líquido marca Packard modelo Tri-carb 2100TR con el número de inventario 156764*

5.2. El PAÍS. *Los cinco hospitales más grandes de Cataluña*. 2-Abril-2007

5.3. PONS, Francesca. *Medicina Nuclear Clínica,* apuntes académicos 2006-2007. Facultad de medicina UB.

5.4. Servicio de coordinación de actividades radioactivas. Generalitat de Cataluña. Carta *respuesta a solicitud de información.* Noviembre-2007