

EFFECTES BIOLÒGICS DE LES BAIXES DOSIS DE RADIOACTIVITAT

La nostra comarca està quasi totalment sota la radiació de 30 km. de la Central Nuclear d'Ascó que les normes americanes estableixen com a zona afectada en el cas d'un accident nuclear, i la informació que a la comarca a nivell dels efectes que les radiacions produeixen en els éssers vius i en especial en els homes i dones, ha estat nul·la.

Tenint en compte que hi ha moltes persones de la comarca que treballen a les centrals nuclears d'Ascó i de Vandellòs i per la proximitat d'aquestes, reproduïm aquest treball que aparegué al número 4 de les publicacions del Comitè Antiurani de Vic al setembre del 1980.

Aquest article i els annexos que el segueixen, formen part de l'informe elaborat per diversos tècnics per a la CAMON (Coordinadora d'Ajuntaments per la Moratòria Nuclear).

La intenció d'aquest informe és donar a conèixer els efectes que produeixen les radiacions ionitzants sobre la salut de l'espècie humana, concretament en el cas de baixes dosis de radiació, és a dir, referint-se al funcionament normal de la indústria nuclear i prescindint dels efectes que poden produir-se amb l'exposició a altes dosis com en el cas de l'explosió de la bomba atòmica, accident en una central nuclear o mina d'urani, etc.

La realització d'aquest article es basa en el comentari de dos tipus de treballs d'entre els que tenim al nostre abast: uns d'experimentació sobre espècies animals o vegetals que hagin donat dades interessants per al nostre propòsit i altres que són estudis estadístics sobre poblacions humanes sotmeses a radiacions per proximitat o treball en la indústria nuclear.

Ja de començaments de segle es coneixia que les radiacions ionitzants produeixen efectes nocius sobre els organismes, arran del descobriment dels raigs X i de l'aïllament del radi.

El 1927 Müller¹ va publicar un estudi sistemàtic sobre la relació dosi de radiació-efecte, que li valgué la concessió del premi Nobel de medicina dinou anys més tard. Aquest estudi el va fer irradiant mosques de la fruita, *Drosophila melanogaster*, amb raigs X i observant la producció de mutacions en aquestes mosques mentre analitzava la descendència segons uns mètodes dissenyats per ell mateix.

Els resultats que obtingué foren:

A) Que la relació dosi-efecte és linial, és a dir, que en duplicar una dosi es duplica també l'augment de l'efecte i que qualsevol petit augment de radiació subministrada produeix el corresponent petit augment de l'efecte.

B) Que els efectes es produeixen segons la quantitat de radiació rebuda, independentment del temps que hagi durat la irradiació; o sigui, que una irradiació intensa durant poc temps produeix el mateix efecte que una irradiació dèbil durant molt de temps.

D'aquests resultats se'n treu la conclusió que no existeix un límit de seguretat ni de dosi de radiació ni de temps d'exposició, per sota del qual l'exposició de radiacions ionitzants no produeixi certs efectes sobre els éssers vius.

En la pràctica, els estudis experimentals sobre efectes de baixes dosis són difícils de portar a terme perquè exigeixen gran nombre d'individus per poder detectar un augment en la freqüència de mutació per sobre de la normal (mutació espontània natural) que sigui significatiu des del punt de vista estadístic. Aquesta dificultat s'ha superat gràcies a l'estudi de mutacions somàtiques produïdes en cèl·lules dels pèls dels estams de planta *Tradescantia*. S'han realitzat diversos estudis^{2,5} en què es demostra que l'increment de freqüència de mutació és proporcional a la dosi de radiació, fins i tot a nivells molt baixos.

D'aquests treballs esmentats, podem comentar el de Sparrow i altres³ en què estudien la inducció per mutacions a *Tradescantia* per baixes dosis de raigs X i neutrons. En els dos tipus de radiació estudiats, troben la relació linial dosi-efecte a partir de dosis tan baixes com 0'01 rad en el cas de raigs X. En comparar els efectes de les dues radiacions, s'observa que l'efecte de la irradiació amb neutrons és 50 vegades superior al dels raigs X per la mateixa dosi. També posen de manifest que pels raigs X la dosi de duplicació de l'efecte és d'1 rad.

Els treballs suara esmentats es refereixen a condicions artificials obtingudes al laboratori, però altres autors han comprovat que per aquest mètode de treball es pot detectar també l'efecte genètic de la radiació natural en zones de la terra en què és relativament alta, com és el cas de Colorado (EUA) i Kerala (Índia).^{6,7}

Dels treballs que fan referència a radiació ambiental mereix atenció especial el que dugueren a terme Ichikawa i Nagata,⁸ que van estudiar els efectes produïts per la proximitat d'una central nuclear.

Aquest estudi es va fer a la central nuclear de Hamaoka, propietat de Chubu Electric Power Co., i consta de dos reactors BWR de 540 MWe fabricats per General Electric Co. El reactor núm. 1 es va posar en marxa l'any 1974 i durant aquest any i el 1975 es va realitzar la prova. L'experiment va consistir a plantar *Tradescantia* en 9 llocs pròxims a la central (des de 0'58 km. fins a 2,7 km.) i en un altre lloc de control, el poble de Sagara, distant 8'3 km. Durant els períodes de funcionament de la central recollien mostres de flors diàriament a cada un dels 10 punts d'observació.

Les dades que obtingueren foren que la freqüència de mutació variava significativament segons el lloc i els períodes d'observació i, en els llocs més pròxims a la central, la freqüència de mutació era més alta que al control de Sagara. Els autors consideren que aquests augments de freqüència de mutació no poden ser deguts a variacions de temperatura, diferències en radioactivitat natural, presència de pesticides, etc. Els augments màxims de freqüència de mutació s'obtingueren en els períodes d'observació en què els vents predominants eren de llevant, o sigui, seguint el sentit de la central cap als punts d'observació. Aquests resultats donen l'evidència que una central nuclear és inductora de mutacions al seu entorn.

L'augment de radiació ambiental a Hamaoka és massa petit com per induir l'augment de mutació observat. Si la dosi de duplicació per raigs X a *Tradescantia* és 1 rad³ (1 rad de X = 1 rem, R), els 8'9 mR de promig anual (o sigui 0,0089 R) haurien de produir un augment d'un 0'9% de freqüència de mutació per sobre del tant per cent. Ara bé, les mesures amb comptadors de raigs gamma van donar que l'exposició real en el període d'observació de l'any 1974 va ésser de 2'9 mR i la de l'any 1975 de 4'1 mR. Per altra part, els increments de mutació van ésser de 29% l'any 1974 i 32% l'any 1975; això suposa una exposició d'aproximadament 300 mR. Aquesta dosi és de 70 a 100 vegades superior a la mesura de raigs gamma i no es pot explicar si se li afegeix la radiació beta que també emet la central.

Aquest fenomen, efectes molt superiors als que corresponen segons l'emissió que es pot mesurar, s'interpreta segons l'efecte d'incorporació i acumulació d'elements, entre ells els isòtops radioactius, per part dels organismes.

De les consideracions anteriors se'n treu la conseqüència que la mesura d'exposició externa a radiació gamma no es pot considerar com un mètode eficient per propòsits mèdics i biològics.

Hem vist, doncs, aquelles dades obtingudes experimentant sobre certs organismes i que ens indiquen a quines condicions està sotmesa l'espècie humana pel que fa a radiacions ionitzants. Els efectes genètics que s'han observat es refereixen o a la manifestació de la mutació en la descendència de l'individu que ha sofert la mutació o bé a l'individu mateix que, en ser irradiat, manifesta una mutació en el seu cos (mutació somàtica).

Els estudis sobre els efectes de baixes dosis de radiació en l'espècie humana, en no poder ser sotmesa a experimentació, es refereixen forçosament a les anàlisis estadístiques de poblacions o grups humans que estiguin o hagin estat irradiats amb baixes dosis. Deixant a part els efectes dels raigs X sobre els malalts, l'efecte característic provocat per l'energia nuclear, a partir ja de la mineria d'urani, és el càncer, i de manera característica també, es manifesta amb l'endarreriment d'uns quants anys respecte del període d'exposició.

G. A. Drake⁹ va fer un estudi de la població de Big Rock Point a Michigan, on hi ha instal·lat un reactor BWR de 75 MW en funcionament des del 1962. Aquesta població la va comparar amb el tant per cent de tot l'estat i va observar que les anomalies estudiades es presenten amb més freqüència que en la resta de l'estat. Les dades que va obtenir són les següents:

mortalitat infantil	49 % per sobre de l'estat
infants prematurs	18% per sobre de l'estat
morts per leucèmia	400% per sobre de l'estat
morts per càncer	15% per sobre de l'estat
defectes congènits	230% per sobre de l'estat

Aquests resultats són molt alts, però cal tenir en compte que es tracta d'un marge d'error gran ja que es tracta de nombres petits d'individus, com diu el mateix autor al final de l'article: «Admetem que aquesta estadística està basada en nombres molt petits. En tot cas, ja que les cinc classes mostren canvis que es poden relacionar amb l'augment de radioactivitat, seria convenient precaució i estudis més detallats.»

El 1977 Mancuso i altres¹⁰ publicaren un estudi sobre els treballadors de la planta de reprocessament de Hanford, als Estats Units. En aquest cas es disposava d'abundants dades sobre els treballadors fins i tot la radiació rebuda durant el contracte de treball i data i causa de la mort. Per això van poder determinar: 1) Els tipus de càncers més fàcilment induïbles per radiacions: medul·la òssia, pàncreas, pulmó i neoplasma. 2) Edats de màxima sensibilitat a les radiacions, que són de 0 a 25 anys, i a partir dels 45 anys. 3) Intervall entre l'etapa d'exposició i la mort per càncer. 4) Dosi de duplicació. Aquestes dues últimes dades s'exposen en la taula següent, per cada tipus de càncer.

	Anys abans de la mort	Dosi de duplicació
medul·la òssia	9	0'8
pàncreas	0	7'4
pulmó	14	6'1
neoplasmes	11	2,4
Tots els càncers	13	12'5

Des de fa uns anys s'obté documentació sobre els càncers de pulmó en els miners de l'urani, malaltia epidèmica entre ells i que no s'ha pogut eliminar malgrat les mesures cada

cop més restrictives enfront de l'exposició a la radiació.¹¹ L'estudi epidemiològic sobre els miners de Txecoslovàquia fet per Svec i col·laboradors,¹² mostra un augment significatiu estadísticament del risc al càncer de pulmó a dosis d'exposició a radiacions pròximes als límits considerats permissibles als Estats Units.

La segona causa de mort entre els miners de l'urani són les malalties respiratòries no malignes per a la resta de la població, probablement a causa que la radiació estengui el deteriorament del parènquima.¹³

Pel fet que els radionúclids emissors alfa (210Pb i 210Po) poden ser transportats des del pulmó als nòduls limfàtics, fetge i sang, diversos investigadors varen estudiar si les cèl·lules sanguínies presentaven anomalies cromosòmiques, ja que els limfòcits són molt sensibles a les radiacions.¹⁴⁻¹⁵ Els resultats mostren que la freqüència d'anomalies cromosòmiques estructurals és significativament més alta entre els miners de l'urani que entre els individus de control.

Brandom i altres¹⁶ comparen la freqüència d'anomalies cromosòmiques entre miners que hagin rebut dosis diferents de radiació i troben una relació linial que va des d'un 1% amb cèl·lules amb anomalies, que es troben a la sala de control, fins a un 6% màxim. La classe de treballadors que ha rebut dosis més altes, presenta uns valors més baixos del 6%. Els autors opinen que aquesta desviació pot ésser deguda a una mortalitat diferencial, és a dir, els miners que haurien de presentar més d'un 6% de cèl·lules amb anomalies ja han mort abans. Per altra part, consideren que l'anàlisi d'anomalies cromosòmiques en limfòcits pot ésser un bon indicador de radiació rebuda.

Oriol Cabré

BIBLIOGRAFIA

1. M. J. MÜLLER. *Science* 66: 84-87; 1927.
2. S. ICHIKAWA. *Japan J. Genetics* 46: 371-381; 1971.
3. A. M. SPARROW, A. G. UNDERBRINK i H. M. ROSSI. *Science* 176: 916-918; 1972.
4. S. ICHIKAWA. *Japan J. Genetics* 47: 411-421; 1972.
5. A. H. SPARROW, L. A. SCHAIERER i R. VILLALOBOS-PIETRINI. *Mutation Res* 26: 265-176; 1974.
6. L. W. MERICLE i R. P. MERICLE. *Radiation Botany* 5: 475-492; 1965.
7. G. C. NAYAR, K. P. GEORGE i A. R. GOPAL-AYENGAR. *Radiation Botany* 10: 287-292; 1970.
8. S. ICHIKAWA i M. NAGATA. *New Scientists*; 1976.
9. G. A. DRAKE. Hearings of Gov. Milton Shapp's Special Commission on Shippingport. Aliquippa. Pa; 1973.
10. T. F. MANCUSO, A. STEWARD i G. KNEALE. *Health Physics* 33: 369-385; 1977.
11. V. E. ARCHER, J. K. WAGONER i F. E. LUNDIN. *Health Physics* 25: 351-371; 1973.

12. J. SVEC, E. KUNZ i V. PLACEK. *Health Physics* 30: 433-437; 1976.

13. V. E. ARCHER, J. D. GILLAN i J. K. WAGONER. *Ann N. Y. Acad. Sci* 271: 280-293; 1976.

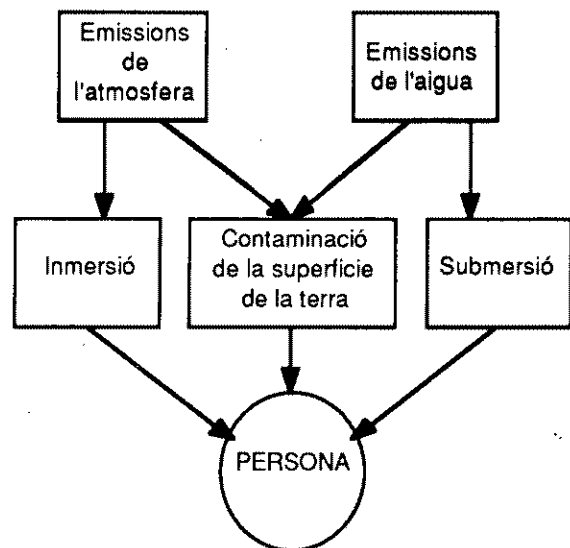
14. R. L. BLANCHARD i J. B. MOORE. *Health Physics* 21: 499-518; 1971.

15. W. E. BRANDOM, G. SACCOMANNO, V. E. ARCHER, P. G. ARCHER i M. E. COORS. *Radiat Res* 52: 204-215; 1972.

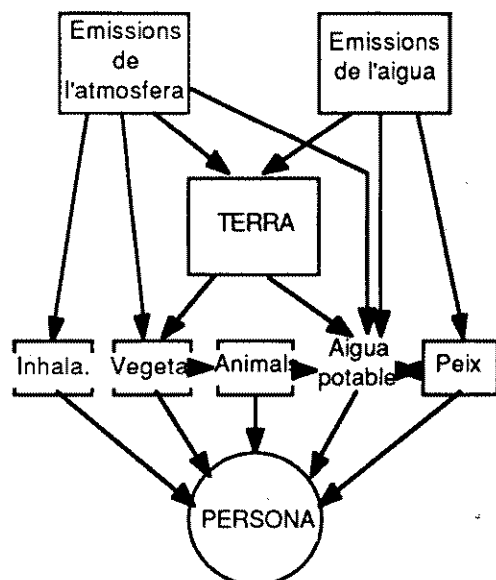
16. W. F. BRANDOM, G. SACCOMANNO, V. E. ARCHER, P. G. ARCHER i D. BLOOM. *Radiat Res* 76: 159-171; 1968.

VIES PER A LA IRRADIACIÓ INTERNA I EXTERNA DE LES PERSONES

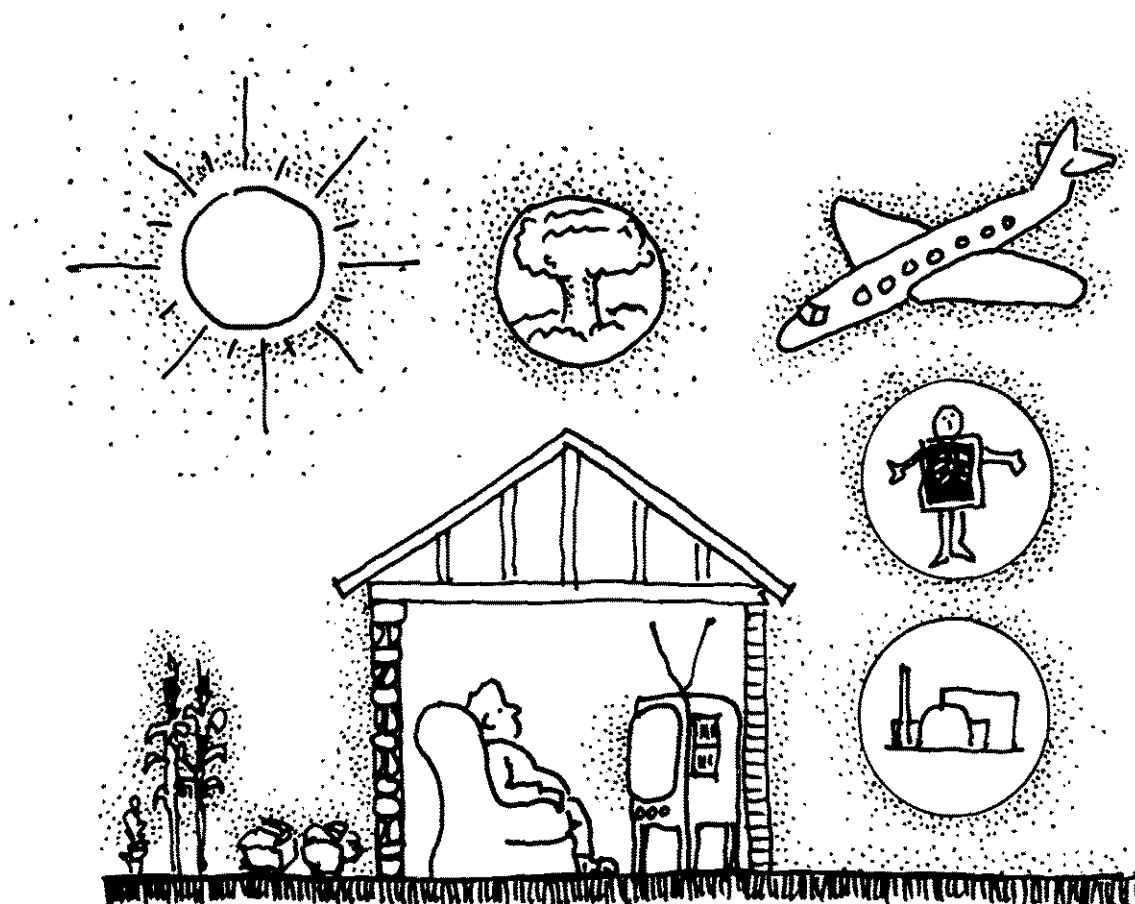
INTERNA



EXTERNA



LES FONTS D'EXPOSICIÓ RADIOACTIVA



FONT	QUANTITAT (mr/any)
Radiació solar/còsmica*	90
Aliments	25
Terra (varia molt)	11
Edifici de pedra	35-50
Aviò a reacció	5
Radiografia	50
Central nuclear	**
TV i diversos	1
Pols radioactiva	5

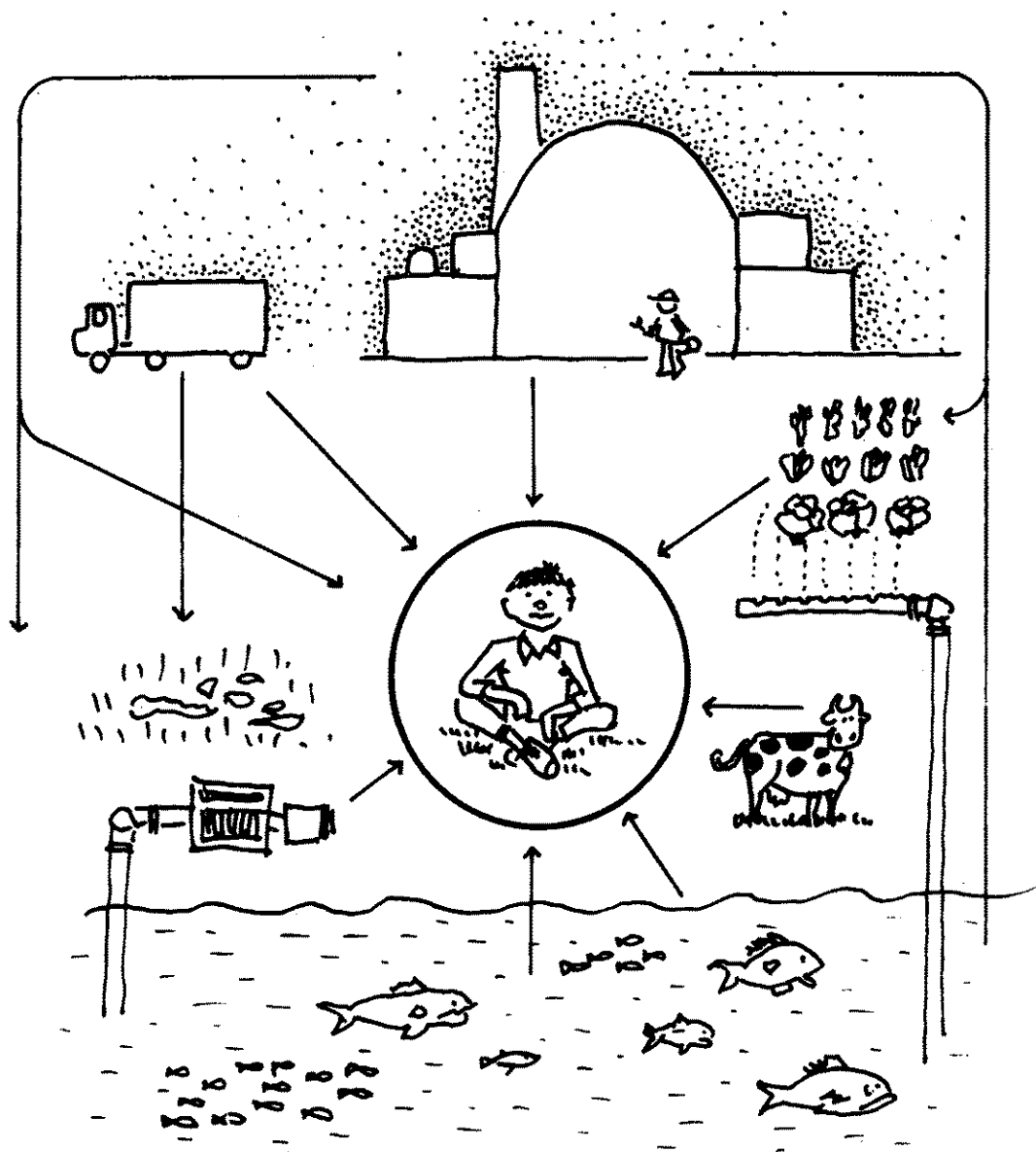
El màxim oficial per a la població és de 170 mr/any.

* La radiació solar i còsmica varia significativament. A la zona de Monazite Sand de Kerala, Índia (100.000 habitants) l'exposició mitjana és de 1.300 mr/any! A Denver (EUA), la mitjana és de 180 mr/any. La radiació còsmica al nivell del mar és de 35-50 mr/any. El promig dels EUA és de 90 mr/any.

** Qui ho sap? Les estimacions oficials (AEC, AIF) varien de 0'01 mr/any a 10 mr/any. Però els experi-

ments del doctor Sadao Ichikawa a la central Spiderwort demostren que encara que els detectors externs d'una central nuclear assenyalin una dosi anual alliberada a l'exterior de 5-8 mr/any, la dosi biològica absorbida pels éssers vius que hi ha al voltant d'una central pot arribar fins a 300 mr/any! El control de les centrals nuclears, dels materials i de les rutes de transport és tan poc adequat que en realitat no sabem quanta radiació ens exposa la indústria nuclear.

LES FONTS D'EXPOSICIÓ RADIOACTIVA
DERIVADES D'UN REACTOR NUCLEAR



EVOLUCIÓ DE LES
DOSIS MÀXIMES ADMISSIBLES

(Segons K. Z. Morgan, ex-president de la Comissió
Internacional de Protecció Radiològica)

Per als treballadors:

Valors recomanats

Comentaris

52 Roentgen/any
(46 rem/any)

1925: Aconsellats per A. Mutscheller i R. M. Sievant.
1934: Aconsellats per la CIPR i practicats fins el 1959.

36 Roentgen/any
(31,5 rem/any)

(15 rem/any)

(5 rem/any)

1934: Aconsellats pel NCRP (National Council on radiation protection).

1949: Recomanats pel NCRP.

1950: Recomanats per la CIPR per a la radiació de tot el cos.

1956: Aconsellats per la CIPR.

1957: Aconsellats pel NC-PR.

Per al públic:

Valors recomanats
1,5 rem/any**1952:** Proposats pel NCRP per a tots els òrgans del cos.

0,5 rem/any**1958:** Proposats pel NCRP.
1959: Proposats per la CIPR en la totalitat del cos.

Comentaris

0'17 rem/any**1958:** Proposats per la CIPR.

0'025 rem/any**1977:** Proposats per la EPA per a qualsevol òrgan, tret del tiroides.

0'005 rem/any**1974:** Proposats per la ER-DA per a les persones que viuen a prop d'una central nuclear.

ÒRGANS DEL COS HUMÀ
ON S'ACOMODEN DETERMINATS
RADIOISÒTOPS

TIROIDES
iode-131
beta (gamma) 8 dies

PELL
sulfur-35
beta, 87 dies

FETGE
cobalt-60
beta (gamma) 5 anys

OVARIS
Els òrgans reproductors són atacats per tots els isòtops que emeten radiació gamma. El mortal Plutoni-239 es concentra a les gònades; la seva radiació causa defectes de naixement, mutacions i avortaments en les primeres il·lo següents generacions.
Iode-131; gamma 8 dies
Cobalt-60; gamma 5 anys
Criptó-85; gamma 10 anys
Ruteni-106; gamma 1 any
Zinc-65; gamma 245 dies
Bari-140; gamma 13 dies
Potassi-42; gamma 12 hores
Cesi-137; gamma 30 anys
Plutoni-239; alfa 24.000 anys

MÚSCULS
Potassi-42; beta (gamma) 12 h.
(i gònades): Cesi-137
beta (gamma) 30 anys

PULMONS
(i tot el cos): Radó-222
alfa 3, 8 dies
(i ossos): Urani-233
alfa 162.000 anys,
Plutoni-239
alfa 24.000 anys.
(i ?): Criptó-85
beta (gamma) 10 anys

MELSA
Poloni-210
alfa 138 anys

RONYONS
Ruteni-106
gamma (beta) 1 any

OSSOS
Radi-226
alfa 1.620 anys.
Zinc-65
beta (gamma) 245 dies
Estronci-90
beta 28 anys
Ittri-90
beta 64 hores
Promeci-147
beta 2 anys
Bari-140
beta (gamma) 13 dies
Tori-234
beta 24'1 dies
Fòsfor-32
beta 14 dies
(i greix): Carbó-14
beta 5.600 anys.

Els temps expressen la vida mitjana: el temps que tarda la meitat del material radioactiu a descomposar-se.