

DE HIROSHIMA A TXERNÒBIL: EFECTES CARCINOGENÈS I IMPACTE SOCIAL DE LA RADIACIÓ IONITZANT

per

A. GINER-SOROLLA

Universitat de Florida del Sud, Tampa, EUA

*“L’alliberament de l'àtom ho ha canviat tot,
excepte la nostra manera de pensar.”*

A. Einstein

RESUM

Hom descriu l'efecte carcinogènic de la radiació, en especial la deguda a la contaminació per accidents de centrals nuclears. El possible mecanisme d'acció, així com la comparació dels efectes de la radiació amb els produïts pels carcinògens químics, hi són tractats concisament. Hom considera les conseqüències del desastre de Txernòbil amb l'escampadissa de radioactivitat per Europa en els aspectes sanitari, psicològic, social i polític, i hi delinea unes estratègies de protecció civil per al cas d'una possible contaminació radioactiva als Països Catalans. L'extraordinària concentració de centrals nuclears a Catalunya és indicada com a una raó fonamental per a adoptar mesures de detecció de la radioactivitat, evacuació de zones afectades, tractament terapèutic i descontaminació. Hi és examinat el problema de la contaminació per radó i la seva possible incidència a Catalunya. El debat sobre els riscos immediats i imponderables de l'energia nuclear (explosions, contaminació radioactiva) i els de l'energia convencional termoelèctrica (pol·lució atmosfèrica, efecte d'hivernacle), és revisat succintament. Com a projecció pragmàtica i d'acord amb les declaracions acordades en algunes de les Trobades anteriors, hom fa unes propostes de mesures concretes i adequades, des de la formació d'equips tècnics de salvament fins a la informació i educació de professionals i públic per a afrontar emergències de contaminació nuclear. Com a conclusió, hom considera l'equació: home + màquina = progrés experimentant una davallada en demostrar la fal·libilitat de la tecnologia. Essent “l'àtom el mateix per a la pau com per a la guerra”, hom suggereix la proposta utòpica de “desmantellar l'àtom” com a sortida extrema del malson nuclear.

SUMMARY

This paper deals with the carcinogenic effect of ionizing radiation, especially from fallout due to accidents in nuclear plants and its social impact. The possible mechanism of action of radiation as well as the comparison of its effect with those of chemical carcinogens, is briefly described. The results of the Chernobyl disaster with the concomitant radioactive fallout throughout Europe, is reviewed from the stand point of its effects on health and public reactions at all levels. Strategies of civil defense in case of nuclear accidents in Catalonia are briefly outlined. The extraordinary concentration of nuclear plants in Catalonia, makes mandatory the adoption of preventive measures. The problem of natural contamination by radon in homes, is briefly examined. The debate over the risks, both immediate and long-range, of nuclear energy (explosions, radioactive contamination) is concisely discussed. Following previous declarations at meetings of scientists at the "Universitat Catalana d'Estiu" at Prada, proposals for concrete measures, are presented. It is felt that the equation: man + machine = progress, has suffered a setback with the demonstration of the fallibility of man and technology. The apparently utopian proposal of "dismantling the atom", is suggested as the only way out from the nuclear nightmare.

1. INTRODUCCIÓ

Un dels avenços amb més repercussió en el camp de l'Oncologia durant el segle present ha estat la determinació de la causa del càncer per agents químics, biològics o físics. Els agents químics, bé d'origen endogen, exogen, ambiental o d'estil de vida, són els que causen una major incidència de tumors malignes, seguits per agents biològics (virus), i en últim terme amb la més baixa proporció d'inducció de càncer figuren els agents físics (radiació ultraviolada, raigs X i γ). Aquesta última font de carcinògenesi fou reconeguda al començament del segle pels seus efectes en la manipulació de raigs X o de materials radioactius. L'interès en l'estudi de la radiació com a causa del càncer fou paral·lel a la determinació de l'efecte carcinogènic de productes derivats del quitrà de carbó (hidrocarburs policíclics aromàtics) i la descoberta d'una connexió de càncer i virus en animals d'experimentació i més recentment en l'home.

En la present comunicació hom tracta, entre altres temes, de l'efecte carcinogènic de la radiació pel que fa a la contaminació per radioactivitat. Hom recorda el fet que, així com les explosions a Hiroshima i Nagasaki sotragaren el món (despertant-lo a la realitat del poder destructiu de l'àtom i dels efectes carcinogènics i genètics en els supervivents a causa de la intensa radiació que reberen), els "accidents" o "desastres" de Three Mile Island i de Txernòbil han fet evident els perills de l'"ús pacífic" de l'energia nuclear.

2. CARCINOGENESI PER RADIACIÓ IONITZANT

1. *Efectes somàtics i mecanisme d'acció*

Existeix la plena evidència avui dia que pràcticament totes les formes de càncer humà poden ésser causades per la radiació ionitzant. Així hom hi compta les diferents formes de leucèmia, limfomes, mieloma múltiple, sarcoma ossi, càncer cutani, pulmonar, de tiroide, mamari, gàstric, tumor de Wilms, de còlon i de pàncrees, neuroblastoma, càncer de faringe i cerebral. Altres tipus de càncer no figuren en aquesta llista, però això no vol dir que no puguin ésser causats per radiació; manca confirmació epidemiològica i experimental per a demostrar si la resta dels principals tipus de neoplàsia com ara hepatomes, càncer d'ovari i de pròstata poden ésser induïts per la radiació. En aquest respecte, el que pertany a la inducció de càncer per radiació, existeix un complet acord entre els professionals i científics; hi ha, però, un debat sobre la dosi (i la freqüència d'aquesta) necessària per a causar càncer en l'home. Si bé la dosificació de radiació en animals d'experimentació pot ésser duta a terme amb més precisió que la corresponent a carcinògens químics, i ha estat determinat el grau d'absorció de la radiació per teixits, cèl·lules, cromosomes i fins i tot al nivell molecular, manca encara trobar una relació fiable entre l'experimentació animal i els efectes de l'exposició de la radiació en éssers humans. Han estat postulats els següents conceptes generals sobre aquesta qüestió:¹

“1. Totes les formes de càncer, amb plena probabilitat, poden ésser augmentades per la radiació ionitzant, i la manera correcta de descriure aquest fenomen és, bé en forma de la dosi necessària per a doblar la mortalitat espontània de cada tipus de neoplàsia, o bé per l'increment del coeficient de mortalitat per cada rad d'exposició en animals d'experimentació.²

2. Totes les formes de càncer mostren dosis de doblatge similars, i s'observa quasi la mateixa similaritat en l'increment del coeficient d'inducció de càncer i mortalitat per rad.

3. Organismes joves requereixen menys dosi de radiació per a incrementar el coeficient de mortalitat que el corresponent a organismes adults.”

Aquests conceptes són basats en nombroses experimentacions i dades epidemiològiques que han estat realitzades, des de l'efecte de la radiació en exposició d'infants, intrauterina, fins a la d'adults, per l'ús terapèutic o per explosions atòmiques. D'aquests conceptes es dedueix també que, essent el

nombre de casos de càncers espontanis (tumors sòlids) unes vint vegades més gran que el de les diferents leucèmies, igualment, el nombre de casos de càncers induïts per radiació serà unes vint vegades més gran que la mortalitat per leucèmies; fet que és diferent del temps d'aparició dels diversos tipus de càncer, tant espontanis com induïts per radiació, essent l'aparició de les leucèmies més precoç que la dels altres tipus. S'han fonamentat aquests conceptes majorment en estudis de casos de càncer d'infantesa i en l'estudi epidemiològic de la radiació terapèutica de l'espondilitis anquilosant, realitzats en més de 10.000 casos i uns 30 anys de seguiment.³

Resulta ben deplorable d'haver d'esperar a resultats d'estudis epidemiològics i experimentals que determinin la carcinogenicitat d'un contaminant abans que s'adoptin les mesures per a la prevenció. Els casos abans mencionats no es poden comparar en magnitud –i no cal afegir-hi en immoralitat– a les dades obtingudes els anys posteriors als holocausts de Hiroshima i Nagasaki, pels estudis que han seguit fins avui sobre la incidència de càncer i mortalitat en els 100.000 supervivents de les dues explosions. En el futur també es farà un estudi similar tant a la Unió Soviètica com arreu d'Europa sobre l'efecte de l'accident de Txernòbil.

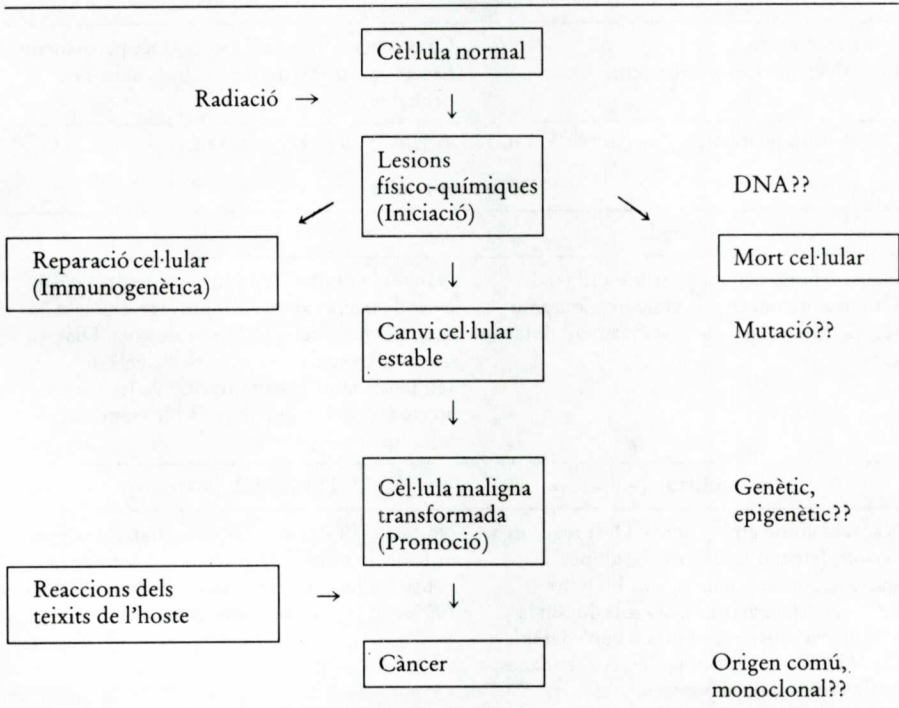
Encara que la majoria de casos de càncer mostren un increment d'incidència amb l'edat, 1) pel doble efecte de la pèrdua gradual de defenses immunològiques que és principalment una conseqüència de la disminució funcional del tim (que té un paper primari en la defensa del cos contra el càncer), i 2) pel major efecte de l'acumulació i expressió d'activitat carcinogènica latent deguda a l'exposició a carcinògens en edats anteriors. Nogensmenys, existeixen tumors malignes de la infantesa, com ara el tumor de Wilms i neuroblastomes, que poden ésser d'origen radiogènic i que mostren un cim de màxima incidència en els primers deu anys de vida i disminueixen després. Pretendre que dosis molt baixes de contaminació radioactiva no poden tenir efectes nocius és com creure que un verí administrat lentament no causarà cap toxicitat.¹

Cal examinar una fal·làcia que hom propala respecte als efectes de la radiació: el creure que els mecanismes dits de reparació de lesions al DNA (lesions que són la causa inicial de la transformació carcinogènica) fan que, una dosi reduïda de radiació no pugui ésser tan perjudicial com hom creu. És indubtable que existeix un mecanisme de reparació de DNA, com ho confirma el fet de la reparació d'excisió dels dímers de timina causada per acció fotolítica. Però l'existència d'aquest mecanisme no és cap argument a favor d'una disminució del risc de carcinogènesi provocat per una dosi escampada de baixa potència de radiació.¹ El mecanisme d'inducció de càncer per radiació és encara desconegut; sabem, però, que no existeix un mecanisme de reparació eficient i que l'eficiència d'algun mecanisme encara per descriure és totalment desconeguda, i creure el contrari és especulació irresponsable. Com ha estat indicat (i cal insistir-hi, la linearitat de la

resposta de dosi *versus* efecte carcinogènic és encara l'argument més destacat que advoca contra la possibilitat de reparació de lesions produïdes al DNA per baixa radiació a dosi escampada. Com també ha estat indicat, el cas de la carcinogènesi química és similar (i caldria afegir-hi la viràsica), ja que una mínima exposició a dosi ben reduïda d'un carcinogen, com s'han donat casos amb l'asbest, entre altres, arriba a induir càncer pulmonar. El fet que cal esmentar és que fins i tot en animals que sobreviuen als efectes de la radiació es nota constantment una disminució en longevitat; la corba de la relació dosi:efecte tòxic presenta un *plateau* en un cert punt en el qual la mort cel·lular se superposa a la de la carcinogenicitat. La relació risc *versus* benefici, que caracteritza el dilema en carcinogènesi química, no és operativa en la produïda per radiació, excepte per a propòsits de diagnòstic; el quid de la qüestió es trasllada a l'efecte en massa en una població ben gran de radiació per accidents com el que és tractat ací.

Els estadis que són involucrats en el procés de carcinogènesi per radiació ionitzant són resumits en forma esquemàtica a la Taula 1.⁴ La lesió produïda per la radiació es reflecteix en una possible modificació en

Taula 1. Estadis involucrats en la carcinogènesi per radiació ionitzant.



(Modificat de D.T. Goodhead, "Progress in cancer research and therapy", 26:376, 1983).

l'estructura de macromolècules; si la radiació és de baixa intensitat, hom pot esperar una reparació cel·lular, per bé que sobre aquesta qüestió hi ha opinions diverses i oposades. Si la radiació és d'elevada intensitat o d'exposició prolongada a dosis mitjanes, aleshores es produeix la mort cel·lular. El procés d'iniciació és seguit d'una lesió cel·lular amb la qual probablement va lligada una mutació que és continuada pel procés de promoció en què la cel·lula és ja transformada en neoplàsica, donant lloc a la manifestació de càncer amb un probable origen monoclonal i que arribarà a manifestar-se clínicament. En aquest estadi final es produeixen les reaccions d'immunitat humoral i cel·lular, que si bé són de baixa intensitat, nogensmenys representen l'única defensa natural i la indicació de la presència d'una lesió maligna.

Els efectes que han estat observats tant epidemiològicament com experimentalment amb dosis creixents, des de les més baixes fins a les més elevades i letals, són resumits a la Taula 2. Els efectes a dosis baixes sense cap

Taula 2. Efectes de l'exposició total del cos a la radiació (raigs X o γ).

| Dosis baixes | |
|--|---|
| 0-25 rads | 50 rads |
| Sense efectes clínics. Probablement cap efecte latent. | Canvis hematològics lleugers i no permanents. Efectes a llarg termini possibles, si bé poc probables. |
| ("Radiation protection procedures" núm. 38 I.A.E.A. Viena, 1973, p. 142) | |
| Dosis moderades | |
| 100 rads | 200 rads |
| Nàusea, fatiga; vòmit possible a 125 rads. Canvis notables en el quadre hemàtic amb recuperació retardada. Eскурçament de la vida. | Nàusea i vòmit a les 24 hores. Després d'un període latent, alopècia, anorèxia, fluixesa generalitzada del cos. Dolor de gola. Diarrea intensa. Desenllaç fatal possible en 2-6 setmanes en una petita fracció de les persones afectades. Recuperació possible en persones sense malalties prèvies. |
| Dosis semiletals (400 rads) | Dosis letals (600 rads) |
| Nàusea i vòmit en 1-2 hores. Després d'un període latent d'una setmana: alopècia, anorèxia, fluixesa generalitzada i febre. Inflamació interna de boca i gola durant la 3ª setmana. Diarrea, caquèxia considerable a la 4ª setmana. Mortalitat, en 2-6 setmanes, de fins el 50% de la població afectada. | Nàusea i vòmit en 1-2 hores. Diarrea, vòmit, inflamació bucal i de gola en < 1 setmana. Febre, caquèxia i mort dels individus afectats, 100%, en menys de 2 setmanes. |

("Radiation protection procedures", Monograph núm. 38, I.A.E.A., Viena, 1973, p. 142).

manifestació clínica són els que es troben en la població en general, especialment a certes zones de la Terra on hi ha una radiació natural elevada. Hom no pot escapar d'una exposició a la radiació ambiental, ja que tant els minerals de la crosta terràquia contenint elements radioactius, com les radiacions còsmiques i la ultraviolada són ubiqües, així com la presència al cos de potassi-40. Les dosis baixes són les que no arriben a 25 rads; enllà d'aquest nivell, i fins a 50 rads, comencen a aparèixer els primers efectes clínics; si aquests efectes es tradueixen en manifestacions a llarg termini, especialment un increment en la incidència en càncer, és un problema a resoldre. Dosis moderades, fins a 200 rads, són ja d'efectes més considerables; i enllà de la dosi letal més elevada, 600 rads, no hi ha possibilitat de recuperació, amb simptomatologia extrema i letalitat en pocs dies.

Els efectes retardats que hom pot esperar d'una exposició elevada breu o d'una de crònica moderada, bé sia radiació X o γ , són mostrats a la Taula 3; dels efectes carcinogènics, els que es manifesten en forma primerenca són els diversos tipus de leucèmia, com ha estat observat (entre d'altres) en l'anàlisi epidemiològica dels supervivents de les explosions atòmiques.

La incertesa de l'efecte a dosis molt baixes es veurà reflectida en el debat sobre l'accident de Txernòbil; estudis previs efectuats als Estats Units sobre el possible efecte carcinogènic de les diferents fonts de radiació, que abasten des de la radiació natural (especialment a llocs com al Colorado, on hi ha jaciments de minerals radioactius) fins a usos terapèutics i contaminació pel *fallout* de proves d'armes atòmiques l'any 1979, donen un total de 10.000 morts per càncer anualment, els quals, comparats amb els 365.000 del total de mortalitat per càncer, són un 2,7% (Taula 4). Aquesta letalitat deriva de l'exposició que és quantificada en forma resumida en la Taula 5, on en faïso paral·lela observem que la major exposició a radiació és deguda a la natural, seguida de la d'ús terapèutic i de la contaminació per les proves d'armes atòmiques. Cal observar que el percentatge atribuït a la radiació per l'ús d'energia nuclear és ben reduït, ben diferents són les dades que s'han de descriure sobre l'accident a Txernòbil.

Taula 3. Efectes retardats a una exposició elevada breu o crònica moderada (raigs X o γ)

| |
|--|
| Úlceres cutànies |
| Cataractes |
| Sarcoma ossi, degut a irradiació de la medul·la |
| Carcinoma pulmonar per inhalació de materials radioactius |
| Anèmies aplàstiques per la irradiació de la medul·la òssia |
| Càncer en diversos òrgans (gàstric, mamari, intestinal) |
| Leucèmia |

("Radiation protection procedures", Monograph núm. 38, I.A.E.A., Viena, 1973, p.27)

Taula 4. Efectes carcinogènics letals per radiació als EUA (Mortalitat total per càncer: 365.000).

| Origen | Conjunt de mortalitat (Nombre de morts) |
|---|--|
| Radiació natural | 5,000 |
| Radiació natural augmentada per la tecnologia | 250 |
| Usos terapèutics | 4,250 |
| Contaminació per armes atòmiques (<i>Fallout</i>) | 250-450 |
| Energia nuclear | 9 |
| Productes de consum | 1,5 |
| Total | 10,000 (*) |

(*) El total representa 2,7% de la mortalitat anual per càncer (dades del Departament de Sanitat, EUA, "Report of the interagency Task Force on the health effect of ionizing radiation", 1979).

Taula 5. Exposició als efectes de la radiació als Estats Units.

| Font | Persona = rems- any (10 ³) | (%) |
|--|---|-----------|
| Radiació natural (raigs còsmics, radionúclids en materials naturals, etc.). | 20,00 | 49,6 |
| Radiació natural augmentada per la tecnologia (mines d'urani, de fosfats, etc.). | 1,000 | 2,5 |
| Ús terapèutic (diagnòstic i tractament, raigs röntgen) | 18,000 | 44,6 |
| Contaminació per armes atòmiques (<i>Fallout</i>) | 1,000 - 1,600 | 2,5 - 4,0 |
| Producció i proves d'armes atòmiques | 0,165 | 0,0 |
| Energia nuclear | 36 | 0,1 |
| Productes de consum | 6 | 0,0 |
| Total | 40,342 | 100,0 |

(Dades del Departament de Sanitat, "Report of the Interagency Task Force on the health effect of ionizing radiation", 1979).

Dins la radiació en general, la natural figura com la més lligada a la inducció de càncer als EUA, i aquest efecte pot ésser aplicat a la majoria de països. Una font major de radiació ha estat descrita a Florida a causa de l'existència de grans dipòsits de fosfats que contenen urani 238 i els seus productes de decaïment, radi 226 i radó 222. La major incidència de leucèmia que s'ha determinat en les àrees on les aigües són contaminades amb radi, indiquen l'associació indubtable entre radioactivitat i leucèmia.⁵

La capacitat de la radiació ionitzant de produir mutacions és coneguda des dels experiments clàssics de T. H. Morgan amb la *Drosophila* que

serviren per a introduir el concepte de gen. A la incertesa del coneixement sobre la seqüència del procés carcinogènic induït per radiació al nivell cel·lular, s'ajunta la del nivell molecular. Per l'efecte de la radiació es produeixen canvis de recombinació en el DNA que són subjectes a error i que deuen ésser similars al mecanisme d'acció postulat per a certs virus així com al dels agents químics carcinogènics. Aquest fet proporcionaria una certa credibilitat a la hipòtesi d'un mecanisme únic per al procés de carcinogènesi física, química i viràsica. La potent acció dels raigs X en escindir la cadena de polinucleòtids del DNA quan és exposada a dosis elevades d'aquests raigs (300-500 rems) causant la ruptura de centenars de cadenes per a cada cèl·lula, suggereix una gran probabilitat de formació de mutacions conduents al procés neoplàsic. Ha estat observat que promotors de la carcinogènesi química com ara els esters de forbol, entre altres, posseeixen la capacitat de trencar la cadena de DNA en cèl·lules epitelials de ratolí mitjançant una possible formació de radicals, la qual cosa requereix l'emissió de superòxids pels leucòcits. Aquest fenomen seria similar al que hom observa en carcinogènesi química; així d'aquest fet es dedueix l'existència de l'efecte radiomimètic que és comú a radiació i a carcinògens químics. És possible que, més aviat que una manifesta implicació directa dels radicals lliures com a mecanisme d'acció dels raigs X en produir mutacions i càncer, hom podria pensar en l'activació per la radiació de precarcinògens. És un fet reconegut que la gran majoria de productes carcinogènics no actuen directament, sinó que han d'ésser transformats metabòlicament a l'organisme en allò que hom denomina "precarcinògens" o "carcinògens immediats", que posseeixen, pel fet de tenir grups electrofílics summament reactius —productes de l'activació metabòlica—, la propietat de formar enllaços covalents amb macromolècules, DNA i enzims, que produeixen una alteració de llur estructura que condueix a mutacions. L'evidència que hom té en l'actualitat per a aquesta hipòtesi és circumstancial i es basa en la propietat que tenen substàncies reductores, tant naturals com sintètiques, d'inhibir l'efecte carcinogènic de certs agents tant *in vitro* com *in vivo*, especialment, aquelles substàncies que contenen la funció sulfhidril R-SH, que figuren com a protectores dels efectes de la radiació i així mateix de la carcinogènesi química.

Investigacions realitzades al Sloan-Kettering Cancer Center de Nova York, per G. B. Brown i l'autor durant els anys 60, es varen centrar a explorar la possibilitat de si tant una oxidació química (H_2O_2) dels components bàsics del DNA (l'adenina i la guanina),^{6,7} com així mateix una radiació, podrien conduir a la formació de purines N-òxids que serien carcinogèniques. Els resultats foren positius en el sentit que els N-òxids, en especial els que eren en la posició N-3 de l'adenina, la guanina i també la xantina, eren potents carcinògens en rates;⁸ ara bé, quan es tractà d'irradiar intensament amb radiació γ la molècula de DNA per tal d'esbrinar la

possibilitat de detecció de N-òxids que s'haguessin pogut formar per la radiació, els resultats foren negatius. Es dedueix, per tant, que, mentre no hi hagi cap troballa en el sentit contrari, els N-òxids de purina tan sols es poden produir químicament i no per radiació. Curiosament, els N-òxids, alhora que posseeixen propietats carcinogèniques, tenen la capacitat d'inhibir el creixement *in vitro* de cèl·lules canceroses, i *in vivo* augmenten el temps de supervivència de ratolins amb leucèmia experimental: es tracta per tant, d'un altre grup de substàncies amb propietats radiomimètiques.⁹ Més possible que la formació de N-òxids en els components del DNA, seria la formació de dímers, com ha estat observat en la timina per l'acció dels raigs ultraviolats, o l'escissió de l'uracil. Els carcinògens que requereixen activació metabòlica, com ara els hidrocarburs aromàtics insaturats policíclics o les amines aromàtiques substituïdes, podrien molt bé ésser activats per la radiació, convertint-los en carcinògens immediats. En el cas dels hidrocarburs aromàtics (benzopirè, *in vitro*), hom ha pogut demostrar que el mecanisme de carcinogènesi química consisteix en la inducció de mutacions que activen els protooncògens del genoma de mamífers. La similitud entre la inducció de càncer per agents químics i la radiació (els anomenats "agents radiomimètics"), suggereix la possibilitat d'un mecanisme semblant en allò que pertany a la radiació.

2. Comparació entre la carcinogènesi per radiació i la química

A part de les fonts majors inicials esmentades de radiació ionitzant, a partir dels anys 40 cal afegir-hi les resultants de l'alliberament de l'àtom, que si bé iniciat per la primera transmutació d'elements per Rutherford el 1919 a Cambridge en elements lleugers, fins el 1939 hom no aconseguí, a Berlín per Hahn i Leitner, l'escissió d'un element pesant, l'urani, fonament per a la primera pila atòmica feta per Fermi a Chicago (1942) que donà lloc el 1946 a la primera detonació atòmica a Alamogordo (EUA) i més tard a la destrucció de Hiroshima i Nagasaki. A partir de l'anomenat "ús pacífic de l'àtom", han estat experimentades altres noves fonts de radiació a les centrals nuclears, destacant les de Three Mile Island i la de Txernòbil. Els últims anys s'ha perfilat una nova font de radiació ambiental, el radó, que afecta els habitatges als EUA i a Europa.

Havent estat establert un nexa entre la radiació i el càncer, en paral·lel amb allò que s'esdevé amb la carcinogènesi química, hom ha tractat de determinar aspectes quantitius dels efectes de radiació, que se centren a fixar quin seria el llindar "tolerable" de la radiació. Aquesta qüestió indueix a establir, a més, les possibles similituds i diferències que existeixen entre els tipus de carcinogènesi per radiació ionitzant i la produïda per agents químics. Hom pot començar per les similituds:

1. Tant en un tipus de carcinogènesi com en l'altre, l'exposició per temps més o menys prolongat a l'agent (raigs X o γ , o carcinogens químics) indueix càncer en els diferents òrgans de tots els animals vertebrats i possiblement també, en alguns invertebrats superiors.

2. El període de latència, tant per a manifestar-se els efectes carcinogènics de la radiació com de substàncies químiques, sol ésser molt prolongat, generalment de 20 a 30 anys.

3. Tant en un cas com l'altre, el procés de carcinogènesi implica diversos estadis, generalment un d'iniciació que és molt ràpid i que consisteix en una alteració de l'estructura de les macromolècules d'informació o enzimàtiques, i un altre estadi més prolongat de promoció. Cal mencionar en aquest respecte, com detallarem, que hi ha un lligam entre ambdós tipus de carcinogènesi en el sentit d'ésser la radiació possiblement necessitada de pre-carcinògens químics per a manifestar el seu efecte. Així mateix, molts agents químics carcinogènics actuen en forma similar a la radiació, d'aquí que siguin denominats "radiomimètics".

4. No existeix un llinard d'absoluta seguretat per sota del qual tant una dosi qualsevol per petita que sigui com una sola molècula d'un agent carcinogènic químic no pugui desencadenar el procés de neoplàsia.

Quant a les diferències notables entre la carcinogènesi causada per radiació o per agents químics, cal citar:

1. Històricament l'origen de la causa de càncer per productes químics o per exposició professional a agents carcinògens químics daten del segle XVIII i s'han posat encara més en evidència al XIX i als temps presents. La radiació com a causa de càncer és un fenomen que, pel fet d'anar lligat a la radioactivitat, fins al començament del segle no ha estat reconeguda.

2. No existeixen agents eficaços naturals o sintètics amb acció preventiva dels efectes de la radiació, mentre que per als agents químics hom compta amb una varietat de productes dietètics que poden disminuir la incidència de certs tipus de càncer.

3. La incidència de càncer per causes químiques (estil de vida, dietètiques, ambientals) és 20-30 vegades més gran que la produïda per radiació ionitzant.

L'estadi primer de la carcinogènesi tant per radiació com per substàncies químiques, la iniciació, com ha estat indicat, consisteix en una modificació estructural de la molècula del DNA o d'enzims. El segon estadi, de promoció, és molt prolongat; en ell, certs agents exògens —com ha estat demostrat experimentalment amb oli de cròton, forbols, etc.— o endògens —prolactina— duen a terme la manifestació de la neoplàsia en forma d'una transformació primària, una lesió que va seguida d'una progressió quan el nombre

de cèl·lules neoplàsiques són en quantitat suficient per a ocasionar la franca manifestació clínica. Hom postula que aquest fenomen és d'origen únic, monoclonal.

Considerant la similaritat entre ambdós tipus de carcinogènesi, física i química, hom ha intentat de determinar si existeix un llindar de seguretat, un límit en la dosificació de radiació o una concentració "tolerable" de la presència d'un determinat carcinogen químic a l'ambient. No cal insistir sobre l'interès del tema; ja fou discutit a l'article publicat de la IV Trobada sobre "La recerca experimental en física i química aplicada a l'estudi i protecció del medi",¹⁰ sobre l'aspecte tant de la proporció majoritària de càncer causat per agents químics (el 60-80% dels casos de càncer). La mortalitat del conjunt de la població en l'actualitat en nacions industrialitzades és d'un 16%. A part d'això, la carcinogènesi química és d'un origen més remot, i la varietat dels agents i el mode d'actuar és ben diferent segons les diverses estructures del carcinògens.¹¹

Que no poden existir normes fiables amb les que hom pugui determinar un llindar de tolerabilitat de la radiació ionitzant, es demostra principalment per la variabilitat de criteris segons diferents agències i amb dades diferents. Els efectes de la radiació, igual que els de la carcinogènesi química, triguen a manifestar-se, amb períodes de temps variables que depenen de diversos factors. Els diversos estadis de la iniciació i de la promoció posseeixen diferents cronologies i són afectats per factors intrínsecs (hormonals, mecanismes immunogenètics de defensa), o extrínsecs, (com ara la presència de carcinògens o de promotors i l'absència o presència de substàncies quimioprolifèctiques). Hom pot considerar dos tipus de llindars: a) un d'absolut o "teòric", i b) un de relatiu o "pràctic". D'entrada cal considerar la necessitat d'acceptar l'existència d'un llindar absolut; igual que en carcinogènesi química, on una sola molècula ($1:6.06 \times 10^{23}$ mol) pot teòricament iniciar el procés neoplàsic, un mínim de radiació, un *quantum* —emprant aquesta expressió en el sentit de la dosi més reduïda possible de radiació podria igualment iniciar el procés de transformació maligna. No existeix, per tant, cap límit absolut per sota del qual la radiació no produeix cap efecte carcinogènic; així ho indica la linearitat de la corba dosi *versus* resposta, que, per reduïda que sigui la dosi, sempre hom podrà extrapolar-la a un efecte.¹²

Si hom no troba cap disseny sobre la impossibilitat d'atènyer una dosi absoluta mínima tolerable de radiació, no gensmenys es troba una gran varietat de parers respecte a la dosi "pràctica" tolerable, que faci "segur" l'ús de radiació en l'ambient, l'ocupació, els accidents nuclears, els diagnòstics i el tractament terapèutic. La variació constant en les dades d'estimació dels efectes suposats "tòxics" de la radiació de les diverses agències a ambdós costats de l'Atlàntic, indiquen la incertesa d'aquesta determinació quant a les dosis permeses i "acceptables" com a segures. Tanmateix, hom ha tractat de demostrar que si s'aplica radiació a petites dosis i ben esglaonadament,

amb un temps ben prolongat, disminueix el risc de carcinogènesi. Aquests estudis són d'extraordinari interès per al tema que ens ocupa en aquesta VI Trobada sobre els efectes de la contaminació radioactiva a Catalunya causada per l'accident a Txernòbil. Aquesta suposada disminució del risc de carcinogènesi per dosificació escampada fou més tard modificada en el sentit que aquesta tècnica tan sols protegeix contra la radiació amb un baix LET (*linear energy transfer*, el terme mitjà d'energia perduda per unitat de distància recorreguda per una radiació ionitzant) com són els raigs β , X o γ , però no la radiació de LET elevat, com ara les partícules α o els neutrons. Sembla que aquests experiments són influenciats pel fet, observat tant en animals com en l'home, que organismes joves són més susceptibles als efectes carcinogènics de la radiació que els d'edat més avançada. Per tant, allò que s'esdevé és que en els experiments animals en els quals hom administra una dosi de radiació baixa durant un període que abasta tota la vida de l'animal, amb el creixent envelliment de l'animal es troba una incidència més reduïda de tumors per la radiació. Com a conseqüència d'aquestes investigacions, la International Commission on Radiological Protection (ICRP) rebutjà la noció que la dosificació escampada de radiació disminueix el risc de carcinogènesi.^{1,13} Resultats similars obtinguts *in vivo*, han estat descrits *in vitro*, i hom observa una correlació lineal entre dosi i efecte carcinogènic, en forma d'aberracions cromosomàtiques, inducció de mutacions que solen precedir el procés de transformació carcinogènica i mortalitat cel·lular,¹⁴ i hom conclou, d'aquests treballs així com d'altres d'epidemiologia, que l'efecte de radiació de baix LET en la població humana a dosi escampada condueix a un risc d'inducció de càncer tan elevat com amb dosi intensa amb breu exposició; d'on hom dedueix el significat i risc de radiació baixa però amb un prolongat període d'exposició, com podria ocórrer en accidents com l'esdevingut a Txernòbil.

Resulta inexplicable el fet que hi hagi tanta negligència i manca de percepció entre l'aparició d'un fenomen i l'advertiment dels efectes nocius; en carcinogènesi professional hom trigà molts anys abans a adonar-se que en els operaris de mines i manufactura de l'asbest exposats al seu contacte es produïa càncer pulmonar. Semblantment s'esdevingué en el cas de la radiació; car, si bé des del principi del segle present foren advertits els efectes tumorigènics dels raigs X, així com els del radi (M. Curie en fou un dels casos més notats ja que afectada pels seus experiments sobre el radi, sucumbí a leucèmia), amb tot i això, un nexa irrefutable entre les diverses formes de radiació i càncer no fou establert fins els anys 1920 quan hom l'observà en operaris de la indústria rellotgera de Nova Jersey que pinzellaven esferes de rellotges amb sals de radi per a aconseguir lluminositat. Aquests operaris solien llepar els pinzells, i com a conseqüència ingerien petites quantitats de sals de radi fins a 1 mg l'any. Hon notà, al cap de pocs anys de treball en aquesta indústria, que una elevada proporció dels empleats mostraven di-

verses formes de càncer bucal, osteomielitis i altres afeccions.¹⁵ Si hi hagué negligència i retard a observar els efectes de la radiació, en general fou atribuïble al fet que, haven estat trobades les propietats terapèutiques dels raigs X i del radi, aquests usos emmascaraven tot possible efecte nociu. Demostat aquest efecte, és natural que hom hagi pres les mesures adients; tot i això, el debat continua sobre les conseqüències a llarg termini de la baixa radiació. Cal afegir el paral·lel que s'observa entre la radiació ionitzant en la seva dualitat de carcinogènica i terapèutica, i la que posseeixen la majoria de fàrmacs antineoplàsics usats avui que són carcinogènics en animals d'experimentació.¹⁶

3. ELS ACCIDENTS NUCLEARS MAJORS A THREE MILE ISLAND I TXERNÒBIL: EFECTES I PROJECCIONS

L'accident a Three Mile Island, situat a uns 15 km de la capital de Pennsilvània, Harrisburg, i a uns 180 de la ciutat de Filadèlfia, fou un dels molts accidents que en escala més reduïda han caracteritzat el funcionament de centrals nuclears als EUA i també arreu del món. A Three Mile Island l'accident fou causat essencialment per negligència i fallada mecànica: un operari tancà el sistema de refrigeració a deshora, amb què causà un escalfament de la massa d'urani que produí inexplicablement una bombolla d'hidrogen de diversos metres cúbics, que en combinació amb oxigen provocà una explosió i una fuga de criptó o xenó radioactius a més de iode. Els dos primers són de curta durada en radioactivitat; més persistent és el iode 131, del qual s'escaparen uns 17 curies, quantitat ben reduïda si hom la compara amb els més de 50 milions de curies de Txernòbil. Tan sols 4 operaris foren irradiats en excés, sense cap fatalitat; hom calcula que el nombre d'excés de casos de càncer en una àrea de 80 km de diàmetre amb una població de 2,2 milions de persones, serà inferior a $1:10^5$, mentre que la quantitat de defectes genètics serà d'uns $2:10^5$. Aquestes xifres es refereixen a un període de 50 anys; com que el nombre de casos de càncer "espontanis" que hom estima per a aquest període és d'uns 350.000 i el de defectes genètics és de diverses desenes de milers, la proporció de càncer atribuïda a la fuga de gasos radioactius és ben baixa i impossible de detectar.¹⁷⁻¹⁹

La conseqüència, sens dubte, més rellevant de l'accident de Three Mile Island, no fou la contaminació radioactiva, sinó els efectes psicològics i polítics: 1) la reacció del públic, especialment del veïnat de la central nuclear, fou de depressió, desmoralització i alarma immediates, però que foren aplacades ràpidament per l'informe de la Nuclear Regulatory Commission, així com de l'empresa Metropolitan Edison, explicant detalladament la gènesi de l'accident i l'escassa emissió de productes radioactius a l'atmosfera. 2) Tanmateix, la gent que vivia a uns 40 km de radi de la central nuclear avariada

experimentà des d'un principi uns sentiments de perplexitat i desconfiança, juntament amb ansietat i incertesa envers el futur, que es reflectí en una expressió pública quasi unànime d'oposició a l'energia nuclear. 3) Com a única excepció a aquesta unanimitat, els obrers i tècnics empleats a la central nuclear mostraren poca preocupació, i no s'oposaren a la continuació de la central esmentada.^{18, 20, 21}

Aquest accident a Three Mile Island havia pogut atènyer una gravetat molt més gran; posà de manifest no tan sols la negligència, imperícia i manca d'elements de seguretat de les centrals nuclears, sinó també la manca completa de preparatius d'evacuació de la zona afectada, que en aquest cas hauria pogut produir una veritable catàstrofe si s'hagués presentat una fusió a fons (*melt-down*) amb la fuga d'una més gran quantitat d'elements radioactius, perquè evacuar més de dos milions de persones en un radi de 40 km hauria ocasionat un enorme caos per embotellament del trànsit. Si hom compara aquesta situació amb una possible emergència similar a les centrals nuclears de Catalunya (amb una àrea terrestre d'uns 2.500 km², amb els nuclis urbans de Tarragona, Reus i Tortosa i diversos centenars de mils d'habitants), hom pot comprendre el problema que crearia un accident a les centrals de Flix-Ascó o de Vandellòs.

Les conseqüències de l'accident a Three Mile Island, a part de l'enorme cost de reparació i de protecció de la central, foren majorment polítiques; al Congrés dels EUA hom recomanà un alentiment del programa de construccions de noves centrals nuclears i un major control de seguretat i d'inspecció de les centrals existents així com mesures d'evacuació prop de les centrals. El públic reaccionà en gran part amb aprensió, i més significativa fou l'actitud de les empreses d'energia nuclear que veien, en l'accident a Three Mile Island, les quantioses pèrdues que s'originen per un accident; aquest reactor avariats (encara és fora de servei) ha estat convertit en "un mausoleu d'uns bilions de dòlars", com ho seran a la llarga tots els reactors en funcionament, un cop llur període d'utilització (30-40 anys) expiri. La majoria dels cercles industrials són inclinats a reprendre el programa de construcció de noves centrals, ja que esperen que, amb noves mesures de seguretat, noves catàstrofes poden ésser evitades. A excepció d'un *melt-down* o una explosió, afirmen, res no podrà aturar aquesta tendència. Aquesta opinió és d'interès, ja que sembla voler dir que renunciariem a l'energia atòmica si es produís un accident greu, més gran que els que hi ha hagut fins ara. A aquest respecte, sembla que hom pot traçar un paral·lel amb la situació actual sobre l'element de "dissuasió" entre les grans superpotències en llur cursa d'armaments atòmics i que vaig discutir prèviament. Així com els holocausts de Hiroshima i Nagasaki, veient els efectes immediats i a llarg termini per la contínua aparició de càncer en els afectats per la radiació, ha servit com a element de "dissuasió", de no emprar armes atòmiques (i no han mancat les ocasions: bloqueig de Berlí i de Cuba, guerra de Corea, etc.), sembla que hom vol dir, per

part dels industrials, que si s'hagués produït un desastre molt més gran, un *melt-down* i explosió amb moltes més víctimes que les ocorregudes a Txernòbil i amb la projecció de causar càncer per la radiació a milions de persones, aleshores es podria pensar en la interrupció completa del programa nuclear.

L' "accident" (per als russos) o "desastre" (per als occidentals) de Txernòbil, igual que el de Three Mile Island, fou causat per negligència, "error humà" i fallada tècnica. Aquesta central nuclear forma el 10% del total d'energia elèctrica de l'URSS i fou construïda prop del centre urbà de Kíev per tal de poder aplacar les necessitats energètiques de la indústria ucraïnesa. Els soviètics, seguint el manament de Lenin que "comunisme és socialisme més electricitat", per raons polítiques a més d'econòmiques, s'embarcaren en un pla grandios d'energia nuclear amb la meta d'assolir el 100% d'energia elèctrica a partir de la nuclear en pocs decennis d'esforç. Hom creia, per part de les autoritats, que "estudis minuciosos realitzats a la Unió Soviètica han demostrat completament que les centrals d'energia nuclear no afecten la salut de la població", com afirmava Feoktistov, un dels directors de l'Institut d'Energia Nuclear Kurchatov l'any 1985.²² Ben curiós fou el cas d'un article que aparegué a la revista "Soviet Life" el febrer de 1986, escrit per M. Rylsky, que es titulava "Una ciutat nascuda de l'àtom", amb el propòsit de demostrar l'extrema seguretat de la central de Txernòbil i la gran satisfacció dels obrers i famílies que vivien en l'àrea de la central. Hom hi afirmava que, fins i tot en el cas d'una avaria, els elements de control aturarien en pocs segons la central i que el fet d'estar col·locada en una gran "sitja de formigó" i de posseir "sistemes de protecció dels voltants", la convertien en absolutament segura, fins a vantar-se que, per la prioritat que les autoritats soviètiques atorgaven a la seguretat i salut dels obrers—contràriament a les normes dels països capitalistes—, en una central nuclear com la de Txernòbil contint tants elements de control, la xifra de probabilitat d'un accident era d'1:10.000 anys.²²⁻²⁴ Poques setmanes més tard, el 26 d'abril de 1986, la central de Txernòbil esclatava. Les conseqüències de tota mena, no trigaren a aparèixer; ara bé, en contrast amb la reacció que es féu palesa arran de l'accident de Three Mile Island, donat el caràcter del poble rus i l'adoctrinament a què estan acostumats, aquesta reacció no fou mostrada obertament, malgrat el nou "aggiornamento" (o, com es diu en rus, *glasnost*), i cap protesta en massa no es manifestà ni a l'URSS ni massa als països afectats (cal recordar que el 60% dels casos de càncer que hom calcula que es produiran en uns milers o dotzenes de milers, seran als països veïns de l'URSS, des de Polònia fins a països de l'Europa occidental, a causa de la contaminació radioactiva) en contra de l'energia nuclear. Immediatament després de l'accident de Txernòbil, fou decidit per les autoritats de Suècia—el primer país a detectar un augment de radioactivitat atmosfèrica causada per Txernòbil i hores abans de l'anunci oficial de l'accident per la ràdio de Moscou— de desmante-

llar totes les centrals atòmiques, que (en nombre de 12) produeixen el 42% de l'electricitat del país, abans de l'any 2010, i Àustria suspengué la construcció de l'única central projectada. Malgrat que la radioactivitat per l'accident a Txernòbil arribà a tot Europa, i amb major intensitat a Alemanya, Itàlia, França i Gran Bretanya, no hi ha hagut majors moviments per part de les respectives administracions respecte a l'alentiment o abandó dels programes d'energia nuclear.

Quin efecte tindrà l'accident de Txernòbil respecte al futur energètic dels Països Catalans i al conjunt d'Espanya? S'imposaran els interessos de les grans empreses davant l'aprensió del públic? Hom està preparat per a afrontar un desastre com ara el de Txernòbil? Al cap d'un any i escaig s'ha fet algun estudi equànime per a analitzar i prevenir eventualitats? Com respon el públic? I com ho han fet les agències interessades, tant de l'administració com de les empreses involucrades? Preguntes similars es podrien formular tant respecte a la Unió Soviètica com als EUA davant els respectius accidents nuclears. L'URSS figura en segon lloc al món després dels EUA en nombre de centrals nuclears, malgrat les gran reserves de combustibles fòssils (que són exportats per tal d'obtenir divises, i a més, per raons polítiques, de prestigi i econòmiques). Malgrat que tenien coneixement de les fallades comeses a Three Mile Island, sembla que els soviètics, per diversos motius, no atorgaren massa atenció a l'experiència d'aquest accident, i hom creu que, si ho haguessin fet, s'hauria evitat molta part de la destrucció.¹⁹ Per la reacció "heroica" dels qui acudiren a les operacions de salvament a Txernòbil i les declaracions que han estat fetes més tard a la premsa soviètica, sembla que hom no desistirà de continuar, sense cap alentiment, el programa de construccions de centrals nuclears.

La reacció als EUA després de Txernòbil ha estat la següent: hom ha interromput el programa de noves construccions, una moratòria que sembla que continuarà indefinidament; ensems, hom pensa de desmantellar les centrals més arcaiques i emprendre estudis de reactors amb disseny més simple i amb possibilitat de control "complet". La resposta del públic un any després de Txernòbil és d'oposició, per una aclaparant majoria (80%), a l'energia nuclear: "L'energia nuclear als EUA posseeix un defecte fatal: no pot obtenir l'acceptació del públic".²⁵ El resultat de sondatges d'opinió duts a terme des del 1976 han mostrat una creixent i constant oposició a aquesta forma d'energia, oposició que ha passat del 45% després de Three Mile Island al 70% tot just abans de Txernòbil, i al 80% avui.¹⁹ Hom no creu que els informes d'experts per a tranquil·litzar la població respecte a la forma d'evitar accidents i altres efectes (com ara el problema de les deixalles radioactives, llur transport i dipòsit, nous dispositius de control de seguretat i millor gerència tècnica) serveixi per a fer minvar l'aprensió que sent el públic.

4. ESTRATÈGIES DE PROTECCIÓ CIVIL, SANITÀRIES, PREVENTIVES I TERAPÈUTIQUES

El cas que ens ocupa en aquesta VI Trobada és el de la contaminació radioactiva produïda per l'accident de Txernòbil que pot succeir en qualsevol accident en centrals nuclears, de les quals hom compta a Catalunya amb la major proporció a Europa, a Vandellòs i Flix-Ascó. En qualsevol cas d'accident cal esperar l'emissió d'una gran quantitat de radionúclids a l'atmosfera en forma de gas o aerosols que, depenent de condicions dels vents predominants, poden dipositar els productes radioactius al sòl amb les conseqüències de contaminació d'aigües i d'aliments. Entre els radionúclids més abundants hom ha de comptar (com a Txernòbil) amb el iode i el cesi, ^{131}I i ^{137}Cs .

Les mesures més immediates a emprendre, són: en primer lloc l'evacuació, problema que en la zona que podria afectar a Catalunya és prou complex, pel fet que (especialment a Vandellòs) tallaria vies de comunicació. Tota precaució que hom prengui, i tots els assaigs d'evacuació, mai no seran completament ben comprovats com per a inspirar una confiança suficient al públic. La inexistència de refugis on es pogués acollir una gran quantitat de persones afectades, on es trobés aire filtrat, provisions de queviures, personal sanitari per a atendre els damnificats, etc. és una altra de les mancances a resoldre. La més immediata de les precaucions casolanes seria tancar totes les finestres i portes i posseir un sistema de ventilació amb filtres eficients. La descontaminació, tant de la indumentària com la d'aliments exposats al *fallout*, és una altra de les qüestions que cal tenir en compte.

El iode radioactiu figura com l'element de risc més immediat, seguit del cesi; hom ha prescrit per al primer l'ús de iodur potàssic i iode. Són antidòts efectius i relativament no tòxics; el iodur potàssic ha estat emprat durant molts anys com a expectorant i antihipertensiu; amb ell hom pot esperar de disminuir el risc de càncer de tiroide.

Encara que, com s'ha observat en pacients tractats amb dosis elevades de radiació, no ha estat demostrat que el iode radioactiu pugui causar càncer en éssers humans, la possibilitat que tingui aquesta capacitat és elevada, ja que no hi ha cap raó en contra.²⁶ És cert, però, que l'ús tan estès del iode radioactiu en el tractament de malalts amb hipertiroïdisme no ha produït una major incidència de càncer del tiroide; aquest fenomen podria ésser atribuït al fet que aquests malalts presenten una reduïda població de cèl·lules fol·liculars del tiroide, amb què hi ha menys cèl·lules amb risc d'experimentar els efectes de la radiació del iode.²⁶

S'ha determinat que l'ió I^- és absorbit ràpidament per via digestiva i és concentrat selectivament per la glàndula tiroide; l'administració d'una dosi suficient de iode no radioactiu inhibeix completament l'absorció de qualsevol forma de iode. A més, hom ha observat que la ingestió de iode no ra-

dioactiu accelera l'excreció urinària de iode radioactiu i així, disminueix la quantitat de iode al cos. La Food and Drug Administration dels EUA ha establert com a dosi diària recomanada per a adults per tal de prevenir els efectes potencials carcinogènics del iode radioactiu, la de 130 mg, si bé "tan sols en cas comprovat d'emergència i usat per prescripció de les autoritats sanitàries i tan sols durant el període d'emergència".²⁷ A Suècia, en zones properes a reactors nuclears, paquets contenint iodur potàssic foren lliurats per correu a totes les llars. Una estratègia similar hauria d'ésser establerta a Catalunya en aquest respecte, així com les mesures abans exposades; això presuposa una educació del públic i un entrenament de personal adequat. Aquest punt és d'especial interès, ja que, arran de l'accident de Txernòbil, hom ha establert als EUA equips especialitzats en contacte i col·laboració amb equips de països europeus i de la Unió Soviètica, consistents en personal sanitari, enginyers, bombers i policia, per tal de poder acudir en un moment requerit, amb indumentària protectora i respiradors, al lloc d'un accident nuclear per tal d'organitzar-hi els serveis de salvament. Llur composició roman secreta, i estan comunicats per línies telefòniques i ràdio per tal de poder acudir a qualsevol hora, amb itineraris predeterminats, als llocs que hom creu de risc potencial, disposant de mitjans de transport aeri especial. Fou idea del Dr. R. Gale, l'especialista en trasplantaments de medul·la òssia, de Califòrnia, que fou consultat en el cas de Txernòbil i actuà a la primera línia dels afectats per l'explosió que foren hospitalitzats a Moscou. Més recentment, aquest equip ha acudit al Brasil, per l'accident a Goiània. La necessitat de formar equips semblants a Catalunya és ben òbvia, com a complement i factor essencial de les mesures abans indicades.

Si bé les dades exposades a la Taula 2 de la International Agency of Atomic Energy (IAAE) indiquen la letalitat absoluta de radiació a dosi de 500 a 600 rads, que de 200 a 450 rads la supervivència és possible amb tractament adequat, i que a 100-200 rads la supervivència és probable, les dades obtingudes a Txernòbil mostren una certa discrepància si hom ha d'acceptar les informacions rebudes^{17-19, 26, 28} Les primeres informacions sobre l'accident indicaven que les 53 persones exposades a 200-400 rads sobrevisqueren totes; aquestes dades contrasten amb les obtingudes per a la dosi mitjana letal del 50% de persones que havien estat sotmeses a una radiació LET de 150 a 350 rads. Hom ha atribuït aquesta disparitat al fet que aquestes dades foren de supervivents de les explosions atòmiques a Hiroshima i Nagasaki, on la població era malnodrida a causa de les condicions existents durant la guerra.

De la reunió que tingué lloc a la IAAE a Viena l'any 1986, arran del desastre de Txernòbil, sorgiren una diversitat de càlculs sobre el nombre de càncers addicionals que hom podria atribuir a l'accident de Txernòbil a la Unió Soviètica durant els pròxims 50 anys. Les quantitats oscil·len de 5.000 a 100.000 nous casos de càncer mortal. Aquestes dades cal comparar-les amb la xifra total de càncer esperada en la població, que seria d'uns 10 mi-

lions de morts; en tot cas serà molt difícil de determinar –tret d'un possible augment en la incidència de leucèmia en els pròxims 5-10 anys– quins càncers són deguts a la contaminació radioactiva causada per l'accident de Txernòbil.²⁸ El grup de persones més afectades per la contaminació foren unes 24.000 que vivien en un radi de 15 km de la central; l'estudi d'aquest grup respecte a la incidència de càncer, donarà informació sobre l'efecte de la dosi que reberen, que anava d'un mínim de 35 rads fins a més de 50 rads.^{17-19, 28}

Un problema que s'ha plantejat recentment als EUA respecte a la contaminació radioactiva natural és el de les emissions de gas radó. Ha estat determinat per estudis epidemiològics que, si bé la gran majoria de càncer pulmonar seria atribuïble al vici de fumar, no gensmenys es troba una certa proporció de casos de carcinoma pulmonar en persones que no tan sols no fumen, sinó que tampoc no estan exposades als efectes reconeguts i notables com ara el del "fumar passiu", o sia quan els no fumadors són confinats en una atmosfera tancada on hom fuma. Ha estat suggerit que la causa addicional de càncer pulmonar podria molt bé ésser atribuïda al radó, car, pel fet que el radó es troba dins molts tipus d'habitatges (com ha estat comprovat a diferents llocs dels EUA i d'Europa), i com que molt de temps hom respira dins les cases, hom tem que aquest gas radioactiu pugui ésser el causant d'una certa proporció de carcinoma pulmonar.^{30, 31}

El radó 222 és un gas radioactiu amb una vida mitjana de 3,8 dies; el seu decaïment produeix una sèrie de radionúclids que posseeixen vides mitjanes des de pocs segons fins a anys, i que condueixen finalment a l'element estable plom 206. Aquest gas radioactiu es difon per l'atmosfera i penetra també per habitatges, i ha estat trobat als EUA amb variacions molt notables entre diversos llocs del país, per terme mitjà 1.5 becquerels/litre d'aire i fins a un 1-3% de cases contenint-ne 8 becq/litre.³² El límit de seguretat establert per l'Environmental Protection Agency (EPA) dels EUA és de 4 becq/litre. En aquells edificis on hom troba una radioactivitat excessiva, ha calgut prendre mesures consistents a reforçar amb formigó el sòl i els fonaments de l'edifici. Així ha estat fet en llocs com Colorado, on el 40% dels habitatges analitzats mostren un excés de radó. Caldria emprendre, si no s'ha fet encara, un estudi a Catalunya sobre aquest risc de la radioactivitat natural, ja que molts dels sòls a Catalunya són granítics, on es troba en proporció d'1-4 ppm d'urani, que és el precursor del radó. Com que hom ha calculat que el nombre de casos de càncer pulmonar als EUA atribuïble a la presència de radó és de l'ordre de 5-20.000 per any, és un aspecte que cal tractar d'estudiar.

Als accidents per ús industrial de l'àtom, s'afegeix el de la contaminació massiva i més greu dins el camp de la Medicina, succeït a Goiânia, Brasil. Unes 300 persones varen manipular per curiositat, com a material fosforescent, cesi 137 que havia estat abandonat d'un hospital sense cap advertència del perill de radiació, la qual cosa produí diverses víctimes en pocs dies a causa de cremades i d'intoxicació. A aquets efectes immediats hom tem que

s'ajuntaran els de llarg termini de carcinogènesi per la radiació tan intensa que experimentaren les persones que hi estigueren en contacte. De nou el factor de negligència, aparellat a la manca d'informació i d'educació del públic, ha causat estralls.

Encara que l'accident de Three Mile Island no produí cap víctima fatal, per la baixa radioactivitat dels productes emesos, les 30 víctimes i escaig de Txernòbil reflecteixen la gravetat de l'accident; un nombre de víctimes igual al que havia estat ocasionat en els 40 anys previs d'ús "pacífic" de l'energia atòmica arreu del món. Aquestes persones més afectades i amb desenllaç fatal reberen més de 600 rads per exposició a la radiació; els símptomes que es produïren immediatament després de l'exposició foren vòmits, febre i intens mal de cap, seguit de gastroenteritis aguda i tots els símptomes d'alteració hemàtica. El grau de l'exposició intensa a radiació fou comprovat també per l'anàlisi cromosomàtica. Aquest grup fou tractat amb trasplantament de moll d'os al·logènic i amb cèl·lules hepàtiques fetals; no en sobrevisqué cap dels pacients tractats. Un altre grup de 53 persones amb una radiació estimada de 200 a 600 rads, mostraren simptomatologia menys greu amb manifestacions clíniques més retardades i amb millor pronòstic. Dels resultats obtinguts amb el tractament de les víctimes de Txernòbil, i confirmant experiències prèvies, hom conclou que a l'actualitat no hi ha cap terapèutica específica per als efectes de la radiació intensa i tan sols hi pot ésser administrat un tractament de suport i pal·liatiu. El major obstacle per a l'ús del trasplantament de moll d'os, rau en la dificultat de trobar, en les circumstàncies d'emergència, donadors adequats amb la finalitat d'evitar el rebuig de l'empelt, un efecte que feia empitjorar l'estat de les víctimes. Així i tot, aquest trasplantament amb donadors apropiats és en general l'únic tractament beneficiós i de primera línia que hom pot emprar en aquest tipus d'accidents. A Txernòbil s'afegiren, a la gravetat dels efectes de la intensa radiació, les cremades extenses que presentaven els obrers més exposats a l'accident.³³

Bons resultats foren obtinguts en el tractament d'infeccions concomitants dels efectes secundaris de la radiació, com són principalment la immunosupressió al nivell cel·lular i humoral. L'ús de l'antiviràsic Acyclovir resulta eficaç per a evitar l'activació del virus herpes, que esdevé una infecció molt greu —una gran part de pacients de càncer sucumbeixen a aquest virus— en aquests casos d'exposició intensa de radiació. Igualment útil fou l'ús del factor de creixement de moll d'os en aquells afectats que encara conservaven un mínim de cèl·lules; així mateix, l'administració d'antibiòtics fou emprada per a evitar complicacions amb infeccions bacterianes.³⁴ Tota mena de remeis empírics per a pal·liar efectes secundaris foren beneficiosos: analgèsics, líquids, vitamines, etc. Així i tot, l'espectre amb què els supervivents s'enfronten és el dels efectes a llarg termini de la radiació intensa: la leucèmia, d'inducció relativament curta, o tumors sòlids a més prolongat termini. L'experiència recollida dels holocausts a Hiroshima i Nagasaki ha demos-

trat aquesta malaurada conseqüència de la breu exposició a radiació intensa.³⁵

5. L'ENERGIA NUCLEAR VERSUS LA CONVENCIONAL: CONSIDERACIONS SANITÀRIES, ECONÒMIQUES I POLÍTiques

L'alliberament de l'àtom, com exclamà Einstein, ho ha canviat tot, excepte la idiosincràsia de l'home. Des de l'adveniment de l'era atòmica, s'ha anat manifestant la gran preocupació de la humanitat per la seva supervivència, lligada com és a l'amenaça d'un holocaust nuclear. La radiació, la radioactivitat, la contaminació, el *fallout*, el càncer produït per la radiació, termes que suren per l'ambient d'una societat tan preocupada per la supervivència com per obtenir un constant millorament del nivell de vida, un nivell de vida que és lligat en gran part al forniment d'energia que posa en moviment els mil adminicles de la tècnologia. L'apetit per més i més energia fonamenta la política del temps actual, i el seu forniment és l'objecte de conflictes presents que molt bé poden conduir a la gran catàstrofe.

Un debat, degut a la polarització de punts de vista oposats, es perfila així mateix sobre l'energia nuclear *versus* la convencional, entenent com a tal la que emprava combustibles fòssils. Un afer que posseeix un interès especial per a Catalunya, país industrialitzat, sense majors fonts pròpies d'energia altra que la hidroelèctrica, havent d'importar tots els combustibles fòssils, i on hom ha tractat de solucionar aquest dèficit amb la instal·lació de centrals nuclears pels camps del Tarragoní i de l'Ebre. Aquest tema ha estat descrit en part en l'obra apareguda el 1981, d'Oriol Cabré i col·laboradors,³⁶ *Catalunya sota el perill de l'urani*, en la qual hom discuteix principalment sobre els projectes d'instal·lar mines d'extracció d'urani a Catalunya; el tema, però, ha d'endinsar-se en un panorama més ample que no tan sols abasti el present, sinó que s'encari amb el futur. D'acord amb les dades que hom mostra a la Taula 5, un 2,7% del total de la mortalitat atribuïda a càncer als EUA seria causada per la radiació; d'aquest percentatge, la meitat, 1,35%, seria deguda a diversos tipus de radiació natural (raigs còsmics, ultraviolats, isòtops radioactius de la crosta terràquia i intracel·lular, com el potassi 40). S'ha postulat no ja tan sols la innocuïtat de la baixa radioactivitat natural, sinó que la radiació, especialment la ultraviolada, seria indispensable per a dur a terme mutacions conduents a l'origen i evolució de la vida a la Terra.¹¹ Com en altres aspectes d'aquest present tema de la VI Trobada i, generalitzant, en tants moments de la història de la humanitat, hom presenta opinions diverses que poden ésser resumides en dos bàndols amb punts de vista diametralment oposats pel que fa a la qüestió del risc que representa l'increment constant d'instal·lacions d'energia atòmica. Hi ha molts optimistes panxacontents, generalment amb connexió amb els interessos creats, que ad-

voquen per l'ús d'energia atòmica per la suposada innocuïtat relativa de la radiació *versus* els efectes ecològics de les centrals termoelèctriques (Taula VI). Com a mostra d'aquest tipus d'opinió, potser ben intencionada, hom pot citar la del premi Nobel R. Yalow:³⁷

“Des de l'aurora de la humanitat, els nostres avantpassats han estat exposats a radioactivitat natural del sòl i dels aliments així com els raigs còsmics, i no gensmenys tota la marxa de l'evolució ha continuat sempre cap amunt. Aquest fet suggereix que l'exposició contínua a nivells de radiació natural no ha estat perjudicial per a la població humana”.

És cert que la radiació natural, excepte en alguns llocs com els mencionats del sud de l'Índia i també al Brasil, on el nivell de radiació és molt elevat, la radiació natural, segons diuen els addictes a l'energia nuclear, és “suportable”; Així i tot, l'1,35% de morts atribuïbles a radiació natural als EUA, uns 4.000 per any, no corroboren aquesta opinió, i extrapolant-ho a tota la població del planeta no són una quantitat menyspreable. La discussió se centra, per tant, a considerar si hom pot acceptar o no un estàndard de radiació que fos “tolerable”, sense efectes nocius; els conservadors que militen al camp pro-nuclear al·leguen que aquest estàndard pot existir, i d'aquí vénen les diferents especificacions de la dosi “permissible” o “segura”, establertes per les diverses agències atòmiques. És lògic d'argüir que si la radiació causa “alguns” casos de mortalitat per càncer, com que és pràcticament impossible de determinar en forma particular quin tipus de càncer o quina victima ha estat afectada per la radiació natural, no hi ha forma d'establir un límit de radiació que sigui innocu.^{1, 18, 25} Hom pot mencionar exemples comparatius per a demostrar que no són tan innocus els efectes de l'exposició a radiació, concretament la diagnòstica, quan s'iguala l'efecte d'un *scan* de cervell o d'una radiografia de l'intestí al “de fumar tres paquets de cigarrets, menjar deu pastissets de crema o viure tres anys a Denver (ciutat situada a 1.600 m d'altitud i amb un sòl radiactiu) en comptes de viure al nivell del mar”.

Addueixen els pro-nuclears que també s'han produït, a part dels accidents constants a mines de carbó, i la pol·lució tan gran de les centrals ter-

Taula 6. Comparació energètica, ecològica i d'eficiència entre centrals nuclears i tèrmiques (Capacitat generadora: 1.000 MWE*).

| | Nuclear | Tèrmica |
|--------------------|---------|---------------------------|
| Ús de terreny | 5 Ha | 450 Ha |
| Consum combustible | 1 tona | 3 x 10 ⁹ tones |
| Deixalles | 1 tona | 2 x 10 ⁸ tones |
| Eficiència | 33 % | 40 % |

(*) Electricitat per a una ciutat d'un milió d'habitants (C. R. Richmond, Radiation res., 73: 395, 1978).

moelèctriques, catàstrofes més considerables que Txernòbil causades per la tecnologia no nuclear, com ara la catàstrofe de Bhopal, que no han rebut la mateixa atenció ni les mateixes protestes, ni peticions d'eliminar totes les fàbriques de productes químics. En aquest aspecte els pro-nuclears procedeixen a una comparació que surt "fora del test" i no tenen en consideració ni comprenen les arrels i motivacions últimes del moviment antinuclear.

L'opinió esmentada de R. Yalow manifesta l'extrem d'afavorir i tolerar l'ús de l'energia nuclear, i com ell, són una legió que recull especialment grups de conservadors, connectats generalment amb interessos, i també els enamorats del progrés entre els quals figuren des de físics de prestigi fins a literats. A l'altre cantó de l'espectre, oposant-se a l'ús de l'energia nuclear, figuren així mateix molts intel·lectuals, físics atòmics i filòsofs. Generalment, en aquestes discussions entre els dos grups oposats els arguments que hom presenta sempre són quelcom semblant a allò que succeeix si "un teòleg es posa a pontificar sobre la constitució del nucli atòmic o un físic a analitzar el dogma de la transsubstanciació". Cal llegir la bibliografia que és citada en una obra sobre el tema per S. McCracken,³⁸ per a notar com actua la polarització i la manca o dificultat d'atènyer una objectivitat en aquest tipus de discussió. La manca d'opinió autoritzada tant en un bàndol com en l'altre, l'amateurisme que solen mostrar obres que apareixen de divulgació sobre aquest tema, ve a complicar encara més la discussió. D'una part, hi ha allò que Marx denominava "esquerranisme pueril", d'aquells defensors d'ideals amb vulgaritat o manca de profunditat, i d'una altra el subsòl d'interessos polítics i/o pecuniaris que hom observa en els "dretans" i conservadors en aquesta discussió d'interessos o bé d'activisme polític.

A part de les generalitzacions que fan ànimes més o menys ben intencionades com ara Indro Montanelli escrivint el 1986 sobre "L'ús inevitable de l'energia nuclear"³⁹ en un article periodístic en el qual es confessava "reaccionari romàntic", no gens amic del "progrés" però tanmateix decantant-se pels avantatges de l'energia atòmica; un article de pur exercici literari, sense la substància que altres literats i filòsofs han exposat en aquesta controvèrsia. Cal analitzar, fugint de generalitzacions, els arguments que hom esgrimeix sobre dades estadístiques comparatives dels accidents produïts i dels efectes ecològics de l'energia nuclear *versus* la convencional, amb combustibles fòssils. Així, hom pot veure a la Taula 7 els efectes de la mineria del carbó, en què els accidents laborals són equiparables; dades del 1978, abans dels accidents de Three Mile Island i Txernòbil, i referint-se a la quantitat d'energia per a fornir una ciutat d'un milió d'habitants.⁴⁰ Els efectes més notables de l'energia derivada dels combustibles fòssils és evident: l'enorme quantitat de partícules sòlides, gasos tòxics, causants de la pluja àcida que tants de perjudici produeixen als boscs i a la biota de llacs i rius arreu del món i a casa nostra per les centrals tèrmiques existents. L'efecte major de la combustió és a llarg termini, i rau en l'efecte d'hivernacle observat per

Taula 7. Comparació d'accidents i d'efectes sanitaris entre energia nuclear i combustibles fòssils (capacitat generadora: 1,000 MWE*).

| | Nuclear | Fòssil |
|-----------------------|-----------------|----------------------------------|
| Mineria | | |
| Accidents | + | + |
| Efectes sanitaris | Càncer de pulmó | Pneumonitis |
| Contaminació d'aire | | |
| Partícules | - | 1,6 - 33 x 10 ³ tones |
| Diòxid de sofre | - | 12 - 120 x 10 ³ tones |
| Òxids de nitrogen | - | 20 x 10 ³ tones |
| Diòxid de carboni | - | 6 x 10 ⁶ tones |
| Materials radioactius | + | + |
| Transport | | |
| Accidents | + | + |
| Accidents industrials | 0,15 | 2 - 4 |

(*) Forniment elèctric per a una ciutat d'un milió d'habitants) (C. R. Richmond, Radiation Res., 73: 395, 1978).

l'emissió de diòxid de carboni que causarà l'escalfament del planeta i amb ell la fusió de geleres polars, augment del nivell del mar, canvi climàtic amb una major desertificació i altres efectes imprevisibles. D'altra banda, hi ha els riscos de l'energia nuclear demostrats amb els accidents-desastres recents; es troba la humanitat, per tant, entre l'Escilla d'una opció i el Caribdis de l'altra. Hom podrà sortir del dilema amb una tercera font d'energia, la renovable, solar, de la biomassa, eòlica, de marees o geotèrmica, o caldrà esperar a la "promesa del Sol", l'energia de fusió? No estarà aquesta forma menys desproveïda de riscos i inconvenients que la present de fissió?

Vaig discutir els problemes que presuposa l'ús de l'àtom tant en debats a la Universitat Catalana d'Estiu, a Prada, com en una obra publicada l'any 1983. A part dels perills evidents de contaminació radioactiva pels accidents, hi ha la possibilitat de terrorisme atòmic, ja no per bandes d'extremistes, sinó estatal: "l'àtom és el mateix per a la pau com per a la guerra", i, amb l'excusa de l'energia atòmica, una nació on manen extremistes exaltats com ocorre avui en tants indrets del món, o simplement pel prestigi que dona "posseir la bomba", qui sap què pot fer? ¿Quin ús té per al Brasil, per exemple, sense cap enemic veí, o per a l'Índia amb la misèria endèmica? El risc, potser no massa advertit, que comporta l'ús i proliferació contínua de centrals d'energia atòmica, és el d'incrementar el poder de l'establiment militar-industrial que condueix a una major centralització política, amb la tendència al tipus de totalitarisme descrit per Orwell a la seva obra "1984". En aquest respecte voldria mencionar com a opinió personal:

“Llibertat i àtom són absolutament incompatibles, i precisament els moviments d’alliberament de les nacionalitats oprimides, tal com ho va expressar Sartre en la seva obra “Situations-X”, es justifiquen en la reacció contra tota forma d’ús d’energia nuclear. La tecnologia d’avui i el control de l’energia atòmica afavoreixen el centralisme i la creació d’un gegant complex militar-industrial, amb el qual es forja el major grau de menyspreu de l’individu en el nom de sempre “sacrosants” interessos més o menys imperials i patriòtics que conspiren cap a la darrera i definitiva humiliació de l’home”.⁴¹

6. PROPOSTA DE MESURES DE PROTECCIÓ CONTRA ACCIDENTS DE CENTRALS NUCLEARS ALS PAÏSOS CATALANS

1. Per la necessitat imperiosa de disposar d’un pla de protecció en cas d’accident a les centrals nuclears de Vandellòs, Flix-Ascó i Cofrents, hom proposa les mesures següents:

a) Preparar un pla d’evacuació de les poblacions afectades en un radi de 40 km de la central nuclear accidentada i contaminant amb l’ús de tota mena de vehicles.

b) La creació d’equips de professionals (metges especialitzats, tècnics nuclears, bombers, personal sanitari auxiliar, policia) proveïts d’indumentària protectora i materials de primers socors sanitaris. L’equip estaria dotat de mitjans de transport ràpid i coordinat mitjançant enllaç radiofònic o telefònic i en alerta totes 24 hores del dia, disposats a acudir al lloc de l’accident per a assistir les víctimes immediates.

c) La provisió de llocs de refugi per a la població afectada per la contaminació, amb sistemes de filtració de l’aire, amb personal i material sanitari i descontaminant per a acollir persones irradiades.

d) La dotació a ajuntaments, hospitals, bombers i policia situats dins un radi de 40 km de les centrals nuclears, de comptadors de radiació Geiger proveïts d’alarma automàtica. (S’han introduït recentment als EUA per a ús domèstic, en habitatges prop de centrals nuclears, uns comptadors tipus Geiger amb dispositiu d’alarma automàtic que sona quan el nivell de la radioactivitat a l’ambient ultrapassa els límits normals, alertant així els habitants).

e) La provisió a les famílies que visquin en habitatges situats dins un radi de 40 km de les centrals nuclears de iodur potàssic (antídot del iode radioactiu) en comprimits a dosis determinades i amb instruccions per al seu ús en cas d’emergència de contaminació per accident a la central nuclear.

f) La formació d’un equip personal tècnic especialitzat en descontaminació per tal de participar en l’equip de socors sanitari, disposant d’indumentària protectora completa, que descontaminaria persones afectades que

duguessin pols radioactiva a la roba, al cos i al cabell, mitjançant dutxes i canvi d'indumentària. L'entrenament i la pràctica per a descontaminar habitatges o carrers serien fets d'acord amb normes publicades per la International Agency of Atomic Energy.

2. Publicació d'un manual a l'estil de "Monografies Mèdiques" (podria ésser-ne una) en el qual, a més d'una part general i introductòria sobre la radiació, fonts i efectes, hi hagués una part pràctica sobre les mesures de protecció civil indicades en cas d'un accident a centrals nuclears. Aquest manual seria redactat en part pels participants a la VI Trobada, i també per altres experts. El manual seria distribuït gratuïtament als metges, farmacèutics i personal sanitari auxiliar dels Països Catalans. Hom podria demanar ajut per a aquesta edició a la Generalitat, l'Institut d'Estudis Catalans i altres organitzacions, així com al sector privat, especialment laboratoris farmacèutics.

3) La difusió d'informació mitjançant el programa "Curar-se en salut" de la TV3 que dirigeix el Dr. Josep del Hoyo, amb un programa en diverses sessions en el qual hom exposaria el tema de la radioactivitat, els seus riscos i les mesures que caldria emprendre, (tant als nivells públics com privats) com a protecció contra els efectes de la contaminació radioactiva. Així mateix caldria publicar un manual com els que hom ha fet fins ara d'aquesta sèrie, de cara al públic, que resumís i expliqués d'una manera clara i concisa els elements de protecció que haurien estat divulgats als programes de la TV3.

La implementació d'aquestes propostes i altres que hom podria afegir-hi fetes per altres participants de la VI Trobada, amb nous suggeriments, produiria en el públic la sensació de saber que hi ha una preocupació per part de la Generalitat d'afrontar el problema d'un possible accident nuclear. A més, caldria proposar a les diferents Facultats de Medicina i de Farmàcia i Escoles d'Infermeria dels Països Catalans la formació especialitzada de professionals per a incorporar-se a l'equip que ha estat descrit a l'apartat 1), particularment amb dermatòlegs, radiòlegs i traumatòlegs que poguessin ésser entrenats mitjançant l'estudi dels procediments emprats amb els accidentats a Txernòbil o els més recents a Goiània, Brasil. Per a la tècnica de trasplantament de moll d'os, que és rutinària als EUA (al Sloan-Kettering Cancer Center de Nova York se'n fan diverses la setmana, i més de 1.000 a tots els EUA), cal tenir equips entrenats. Juntament amb això, caldria procurar el forniment de iodur potàssic, antibiòtics, fàrmacs immunostimulants i radioprotectors del tipus del tiouracil.

No serà gens estrany que s'aixequin opinions contràries i apareguin reaccions desfavorables d'alguns sectors interessats, davant aquestes propostes i d'altres de similars que hom pugui formular respecte a la protecció civil en cas d'un possible accident nuclear als Països Catalans. Així és d'esperar que sorgeixin arguments oposats en el sentit que la implementació

d'alguna o d'una part de les propostes enumerades pugui crear una atmosfera d'aprensió i de psicosi per part del públic, en especial de les poblacions properes a centrals nuclears. La publicació dels manuals esmentats, la sèrie de TV3 i altres mitjans de difusió i d'educació del públic que hom cregui pertinents, poden molt bé apaivagar aquesta aprensió. Cal considerar la necessitat que existeix d'adoptar mesures de protecció civil, de "curar-se en salut", per a evitar els efectes d'un possible accident nuclear.

7. CONCLUSIONS I PUNTS DE DECISIÓ

Al perill de les nombroses substàncies i materials (la majoria d'origen artificial) que posseeixen capacitat carcinogènica, s'ha ajuntat durant els últims 40 anys el de la radioactivitat causada per explosions atòmiques, centrals nuclears, radiació terapèutica i radó. El rol d'agent carcinogènic universal que era, fins abans de l'era atòmica, assignat als hidrocarburs aromàtics policíclics (productes de combustió, d'erupcions volcàniques i del tabac), ha estat suplantat—i compartit— per una sèrie de productes radioactius que en gran quantitat han estat originats com a conseqüències de les proves atòmiques atmosfèriques dutes a terme per les potències que posseeixen bombes atòmiques i termonuclears. A la radioactivitat de fonts naturals, inevitable, s'han ajuntat, com a conseqüència de la industrialització i de l'era atòmica, noves fonts de risc que van des del simple examen diagnòstic per raigs X, a accidents de centrals nuclears i als d'una guerra atòmica.

Els accidents i desastres de Three Mile Island i de Txernòbil han demostrat plenament la fal·libilitat de la tecnologia. L'equació: home + màquina = progrés, ha sofert una forta davallada en ésser demostrada la fragilitat dels sistemes tan sofisticats i complexos en els quals petits errors humans o falles mecàniques condueixen a catàstrofes com ara les del Challenger i de Txernòbil. Per molt que els partidaris de l'ús de l'energia atòmica s'esforcin a persuadir el públic de la superioritat i dels avantatges de l'àtom, mai no podran contradir el fet fonamental del perill que representa, pel seu lligam amb l'ús bèl·lic. Si bé el carbó emprat en les centrals termoelèctriques produeix contaminació atmosfèrica i el risc de l'"efecte d'hivernacle", i si bé, del carbó, hom en pot manufacturar pólvora, aquesta posseeix tres milions menys de potència destructiva que l'urani i encara molta menys que l'explosiu termonuclear; les deixalles del carbó, d'altra banda, no són radioactives. Diuen així mateix els defensors de l'energia nuclear que la tecnologia moderna duu multitud d'avantatges que cal pagar amb un cert coeficient de risc, com ara accidents de trànsit automobilístic i aeri i així i tot ningú no demana que siguin tancades les fàbriques d'autos i d'avions. La comparació surt fora de to; els accidents traumàtics causats per la pressa, per la velocitat, tan sols afecta els seus usuaris; però els accidents de centrals nu-

clears, en contrast, són d'ampla dispersió, i els productes radioactius es difonen, travessant fronteres, a pobles que són ben lluny, que no s'aprofiten dels suposats avantatges de l'energia nuclear, i sofreixen els efectes carcinogènics i mutagènics a molt llarg termini, per la natura de la radioactivitat persistent.

El desastre de Txernòbil, a més de demostrar la fal·libilitat de la tecnologia, ha destruït el mite segons el qual la defensa civil de la Unió Soviètica posseïa un estat de preparació i d'alerta amb eficiència màxima, que permetria a la població sencera del país de suportar un atac atòmic, tant per les mesures d'evacuació com de refugis i d'instal·lacions sanitàries. Així hom creia que aquesta superioritat en protecció davant la completa manca de preparació contra atacs nuclears que posseeixen les potències occidentals, constituiria un "element de dissuasió" contra qualsevol intent de desencadenar una guerra nuclear. La confusió i el caos originats pel desastre de Txernòbil, i la lentitud en l'evacuació i en les operacions de descontaminació, tot mena a pensar què ocorreria si hi hagués un conflicte nuclear, on el nombre de Txernòbils serien de dotzenes de milers i amb una capacitat destructora milions de vegades més gran...

Els partidaris de l'energia nuclear addueixen com a perill a llarg termini, l'anomenat efecte d'"hivernacle", amb el consegüent rescalfament del planeta. Així i tot, conseqüències més temibles ocorrerien en l'aplicació última de l'energia d'alliberament de l'àtom —els precedents de Hiroshima i Nagasaki ens acossen— en una impensable, però no impossible, guerra total nuclear. L'efecte d'aquest conflicte seria l'oposat, un refredament, a més de la contaminació universal radioactiva del planeta: l'anomenat "hivern nuclear".

L'home, com Prometeu, és encadenat per la seva ambició de progrés, que té en el foc atòmic el símbol màxim; per a trencar el seu esclavatge tan sols hi ha una solució extrema i utòpica, si hom vol: desmantellar l'àtom i despertar així del malson nuclear.⁴²

REFÈRENCIES

1. GOFMAN, J. W. i TAMPLIN, A.R., Proc. Sixth Berkeley Symp. on Math. Statistics and Probability, Univ. Of California Press, p. 236 (1971).
2. Les unitats de radiació emprades ací, són: rad = la quantitat d'energia, 100 ergs, impartida a la matèria per la radiació ionitzant; rem (equivalent en dosi) = la dosi de radiació ionitzant que, administrada a l'home o un mamífer, és equivalent a la dosi d'un rad de raigs X o radiació γ ; becquerel = 1 transformació nuclear per segon; curie = $3,7 \times 10^{10}$ becquerels.
3. COURT BROWN, W. M. i DOLL, R., Brit. Med. J., 2, 1327 (1965).
4. Radiation Protection Procedures, Safety Series, núm. 38. International Atomic Energy Agency, Viena, p. 142 (1973).

5. LYMAN, G. H., LYMAN, C. G. i JOHNSON W. J. *Amer. Med. Assoc.* 254, 621 (1985).
6. BROWN, G. B., *Progr. Nucleic Acid Res.*, 8, 209 (1968).
7. GINER-SOROLLA, A. *Afinidad* (Barcelona), 27, 438 (1970).
8. TELLER, M. N., GINER-SOROLLA, A., STÖHRER, G., BUDINGER, J. M. i BROWN, G. B., *Cancer Res* 38, 229 (1978).
9. GINER-SOROLLA, A., *J. Med. Chem.*, 12, 717 (1969).
10. GINER-SOROLLA, A., *Butll. Soc. Cat. Cièn. Vol II, Núm 2*, p. 393 (1985).
11. GINER-SOROLLA, A., i ORÓ, J., VI. *Internat. Conf. Origin of Life, Jerusalem, Abstr. Paper*, p. 583 (1980).
12. KELLERER, A. M., i BRENOT, J. H. H., *Radiat. Environ. Biophys.* 11, 1 (1974).
13. UPTON, A.C., "Biological aspects of radiation carcinogenesis" dins "Radiation carcinogenesis", J. Boice i J. F. Fraumeni, eds. p. 11, Raven Press, Nova York, (1974).
14. UPTON, A.C., *Radiat. Res.*, 71, 51 (1977).
15. MERZ, B. J. *Amer. Med. Assoc.*, 258, 584 (1987).
16. SIEBER, S. M. i ADAMSON, R. H., *Adv. Cancer Res.*, 22, 104 (1974).
17. NORMAN, C. i DICKSON, D., *Science* 233, 1141 (1986).
18. AHEARNE, J. F., *Science*, 236, 673 (1987).
19. MARSHALL, E., *Science*, 236, 658 (1987).
20. BATTIST, L. *et al.*, "Population dose and health impact of the accident at Three Mile Island nuclear station", U. S. Printing Office, Washington, D.C. (1979).
21. PETERSON, H. T., *Science*, 205, 545 (1979).
22. FEOKTISTOV, L., citat a "Chernobyl. The end of the nuclear dream", per N. Hawkes *et al.*, *Vintage*, Nova York, p. 1 (1986).
23. RYLSKY, M. *Soviet Life*, Febrer 1986, p. 13.
24. MARPLES, D. R., "Chernobyl and nuclear power in the USSR", p. 115, St. Press, Nova York (1986).
25. AHEARNE, J. F., *Progr. Nucl. Energy*, 7, 84 (1981).
26. BECKER, D. V., *J. Amer. Med. Assoc.*, 258, 649 (1987).
27. FOWINKLE, E. W. *et al.*, *Publ. Health Repts.*, 98, 123 (1983).
28. RUSSELL JONES, R., *The Lancet*, i, 856 (1987).
29. RUSSELL JONES, R., "Friends of the earth. Pollution Advisory Committee", *Nature*, 323, 585 (1986).
30. AXELSON, O., *Med. Hypotheses*, 13, 51 (1984).
31. RADFORD E. P., *Environ. Health Perspect.*, 62, 281 (1985).
32. Council on scientific affairs, A. M. A., *J. Amer. Med. Assoc.*, 258, 672 (1987).
33. GALE, R. P., *J. Amer. Med. Assoc.*, 258, 685 (1987).
34. FINCH, S. C., *J. Amer. Med. Assoc.*, 258, 664 (1987).
35. OUGHTERSON A. W., "Medical effects of the atomic bomb in Japan", Mac Graw-Hill, Nova York (1956).
36. CABRÉ, O., CARBONELL, P., PUIG i VILANOVA, S. *Catalunya sota el perill de l'urani*, Ed. 62, Barcelona (1981).
37. LOKEN, M. K., (cita per), *J. Amer. Med. Assoc.*, 258, 676 (1987).
38. McCracken, S., "The war against the atom", Basic, Nova York, (1982).

39. MONTANELLI, I., La Vanguardia, 5. IX. 1986.
40. Departament de Sanitat, EUA, Report of the Interagency Task Force on the health effect of ionizing radiation, 1979.
41. GINER-SOROLLA, A., Un nou Gènesi, Ed. 62, Barcelona (1983), p. 166.
42. NEW YORK TIMES, juny 1986: Com a nota curiosa i anecdòtica que vol demostrar que encara que els accidents no es poden predir, si que hom pot trobar profècies, direm que a la clandestinitat de la Unió Soviètica circulà (segons notícia de primera pàgina del N. Y. Times) un pamflet d'un periodista ucraïnès, anònim, arran del desastre de Txernòbil, en el que eren citats uns passatges del llibre de l'Apocalipsi (8, 10, 11):
"I el tercer àngel va tocar la trompeta. I va caure del cel un astre gros, flamejant com una torxa, i va caure sobre la tercera part dels rius i sobre les fonts de les aigües. De nom, l'astre és dit Absenta (per la seva amargor de càstig). I la tercera part de les aigües es convertí en absenta, i molts homes van morir de les aigües, perquè s'havien tornat amargues".

(En ucraïnès, absenta es diu *txernòbil*”).