

Marina Núñez. *Ciutat fi* (detall), 2009. Infografia i pintura fluorescent sobre llenç, llum negra, 56,7 x 3,60 metres. Produït per MUSAC, Lleó.

NUCLEAR: QUINA POR?

ELS RISCOS DE L'ENERGIA NUCLEAR

Jesús Navarro i José L. Taín

Nuclear: What Fear? Risks of Nuclear Energy

The risk of nuclear accidents, radioactive waste and nuclear proliferation have made words like *nuclear* or *radiation* stir up fear in certain sectors of society, not always on a sound basis. This article briefly examines these issues and makes some general remarks on nuclear power plants.

Segons el diccionari Alcover-Moll, la por és un «torbament de l'ànim davant un perill real o imaginari». La por que susciten en certs sectors de la societat paraules com *nuclear* o *radiacions* és sempre deguda a un perill real? La ressonància magnètica és un instrument fonamental en el diagnòstic mèdic que permet d'obtenir imatges detallades i fiables de l'interior del nostre cos. Entre els científics, aquesta tècnica es diu «ressonància magnètica nuclear», però quan el 1983 va ser adoptada i recomanada per l'American College of Radiology l'adjectiu va desaparèixer, a pesar que no implique ni radioactivitat ni radiacions ionitzants. L'accident de la central nuclear de Three Mile Island (Pennsilvània, EUA) era encara present en la memòria col·lectiva, i els radiòlegs no volgueren torbar l'ànim dels pacients davant d'un perill imaginari. Remetem els lectors al monogràfic que MÈTODE va dedicar a les radiacions (57). Són una ferramenta imprescindible en la recerca científica, tècnica o artística, i també són essencials en camps com el diagnòstic i la teràpia del càncer.

Amb isòtops radioactius es poden localitzar amb precisió tumors cancerosos, que també poden ser eliminats amb isòtops radioactius. Al Canadà s'ha aturat un reactor nuclear dedicat a la producció de radioisòtops d'ús mèdic. La campanya contrària a substituir-lo per un reactor modern pot dur a una disminució de certs radioisòtops a escala mundial. I no sembla que aquest rebug pugui ser canviat amb la supressió d'un adjectiu.

Tant l'experiència traumàtica d'Hiroshima i de Nagasaki com els riscos que s'associen amb les centrals

nuclears es troben en l'origen de la percepció negativa associada amb allò nuclear. S'evoca sobretot la possibilitat d'accidents com el de Txernòbil, i la possible contaminació dels residus radioactius produïts als reactors. També existeix el risc que la tecnologia i el combustible destinats en principi a una central nuclear puguin ser utilitzats amb finalitat militar. Veiem breument aquests riscos abans de fer alguna consideració sobre el futur de l'energia nuclear.

**«TANT L'EXPERIÈNCIA
TRAUMÀTICA D'HIROSHIMA
I DE NAGASAKI COM ELS
RISCOS QUE S'ASSOCIEN
AMB LES CENTRALS
NUCLEARS ES TROBEN EN
L'ORIGEN DE LA PERCEPCIÓ
NEGATIVA ASSOCIADA AMB
ALLÒ NUCLEAR»**

■ LES AUTÈNTIQUES ARMES DE DESTRUCCIÓ MASSIVA

El 1939, pràcticament al mateix moment que es va descobrir i interpretar el fenomen de la fissió nuclear, es va albirar el seu terrible potencial de destrucció. En aquells moments es gestava la Segona Guerra Mundial i els estudis sobre la fissió s'orientaren cap a la fabricació d'una bomba. Al final de la guerra els alemanys eren encara lluny d'un disseny pràctic, però als EUA el projecte Manhattan va culminar, a començament

d'agost de 1945, amb el llançament de sengles bombes atòmiques sobre Hiroshima i Nagasaki que van causar més de 250.000 víctimes mortals. Contràriament al que sovint es diu, la majoria d'aquestes morts no foren degudes a la radioactivitat. Uns mesos abans milers d'avions havien bombardejat amb milers de tones d'explosius convencionals les ciutats de Dresde i de Tòquio, produint la mort de desenes de milers de persones. La majoria de morts causades en aquestes quatre ciutats foren degudes als focs i a les ones de xoc generades en



les explosions. A Hiroshima i Nagasaki les enormes dosis de radioactivitat motivaren l'aparició a llarg termini de diversos tipus de càncer. Els estudis epidemiològics entre els supervivents indiquen que sols un 5% del total de morts per càncer té relació amb la irradiació rebuda. Naturalment, que la incidència siga més baixa del que se sol dir no disminueix la seua importància ni la tragèdia dels bombardejos.

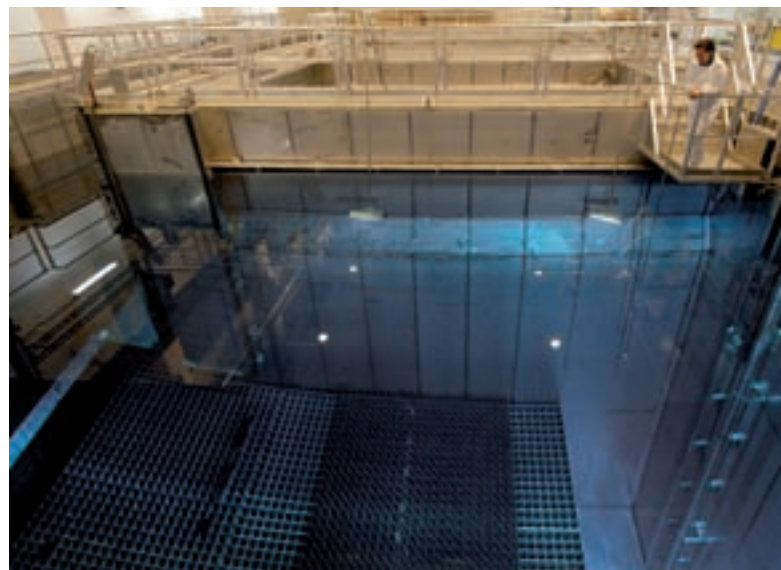
Durant els anys de la guerra freda s'ha estat molt a prop de repetir la nefasta experiència a escala planetària. Els EUA i l'URSS iniciaren una cursa en la qual han aconseguit acumular un arsenal nuclear capaç de destruir-se unes quantes vegades l'un a l'altre. En l'actualitat posseeixen armament nuclear els EUA, Rússia, Gran Bretanya, Xina, França, Israel, l'Índia, Pakistan i Corea del Nord. El Tractat de No Proliferació, signat per 189 països, intenta restringir l'accés al Club Nuclear i establir controls per tal d'evitar passar de l'ús pacífic de l'energia nuclear a la fabricació d'armament. Aquest pas no és senzill, però tampoc impossible, com ja han demostrat els darrers quatre membres del Club. La majoria de països adquireix per a les seues centrals urani enriquit al voltant d'un 3% en el seu isòtop U-235, que és més fàcilment fissionable. Bàsicament la tecnologia d'enriquiment és un procés de centrifugació a altes velocitats d'un gas. El fet que el govern iranià s'haja dotat d'aquesta tecnologia suscita una gran inquietud, perquè estarà en disposició d'enriquir l'urani fins a proporcions d'ús militar, pas previ per fabricar una bomba atòmica. Aquest és un perill ben real: malgrat la teoria de la dissuasió, com més països posseeixen armes nuclears més augmenta el risc que siguen utilitzades en un conflicte.

■ ELS ACCIDENTS EN LES CENTRALS NUCLEARS

Les centrals nuclears són sistemes industrials molt segurs en comparació amb qualsevol altre, però això no significa que no puguem produir-se accidents. El més greu va ocórrer el 1986 a Txernòbil, a Ucraïna, a prop de la frontera amb Bielorússia. Per la seua importància ha tingut un gran impacte mediàtic i convé donar ara algunes xifres. Per iniciativa dels tres països afectats (Ucraïna, Bielorússia i Rússia), i de diverses organitzacions internacionals es va constituir el Fòrum de Txernòbil, un grup d'experts que periòdicament revisa els estudis realitzats sobre les conseqüències de l'accident i publica les seues conclusions.

Les majors dosis d'irradiació van ser rebudes pel personal de la cen-

«EL GRAN PROBLEMA ÉS QUÈ FER AMB ELS RESIDUS RADIOACTIUS. LA MAJORIA DE PAÏSOS DIPOSITEN EN LLOCS ESPECIALS ELS DE BAIXA I MITJANA ACTIVITAT GENERATS EN CENTRALS, HOSPITALS I INDÚSTRIES»



tral i pel miler de persones que intervingueren per controlar l'accident, els «liquidadors». S'hi han diagnosticat 134 casos amb síndrome d'irradiació aguda, dels quals hi ha hagut 40 morts. Els liquidadors que actuaren a partir del quart dia reberen dosis equivalents entre 100 i 500 mil·lisieverts (mSv). Per tal d'apreciar aquests valors, s'ha de recordar que a causa de la radioactivitat natural rebem entre 1 i 10 mSv anuals, en funció de la regió geogràfica on ens trobem; es recomana que una persona no reba sense necessitat una dosi superior a 1 mSv per altres causes. Els experts han analitzat la incidència del càncer entre el personal de la central, els liquidadors, les persones evacuades de zones veïnes i els residents de les zones més contaminades, en total unes 600.000 persones. S'estima que del nombre total de morts per càncer en aquest sector de població, un 4% serà a causa de l'accident. L'estimació és més difícil pel que fa als 5 milions d'habitants de les zones pròximes, sotmesos a una dosi mitjana entre 10 i 20 mSv. Tanmateix hi ha dades clares referides als càncers de tiroïdes: fins el 2002 s'han diagnosticat més de 4.000 casos entre nens i adolescents amb edats inferiors

als divuit anys, entre els quals s'han comptabilitzat quinze morts. Com que el càncer de tiroïdes és poc usual en aquesta franja de població, no hi ha molt a dubtar sobre el seu origen. En total aquest accident va produir un total de 57 víctimes mortals. Els mitjans han parlat –i encara en parlen– de desenes de milers de morts, il·lustrant així que la imaginació de l'horror pot superar el mateix horror. No pretenem mi-



Piscina de refredament a Olkiluoto, Finlàndia. Magatzem de deixalles nuclears a Habog, Holanda. En aquests dos països s'ha iniciat la construcció de dipòsits permanents per als seus residus nuclears. Governos i companyies elèctriques d'altres països hi organitzen visites de poblacions susceptibles d'acollir instal·lacions semblants.

nimitzar els efectes de les radiacions, ni tampoc establir comparacions sinistres amb diferents tipus d'accidents. Volem assenyalar que, al nostre parer, no té credibilitat una oposició a les centrals nuclears que afegeix zeros al nombre de víctimes per augmentar la por. El major problema creat per aquest accident ha estat, i ho continua essent, l'impacte sobre la vida d'un gran sector de població, amb tots els efectes relacionats com estrès, depressió, ansietat i altres símptomes indefinits.

L'accident va produir-se en el moment d'efectuar uns controls en un dels quatre reactors de la central. Quan ja s'havia iniciat la disminució de potència del reactor, va arribar l'ordre de connectar-lo ràpidament a la xarxa elèctrica. La central depenia de diverses administracions, no sempre coordinades. Un reactor té una gran inèrcia, i les presses van provocar una sèrie d'errors humans acumulatius. Una explosió va trencar el vas del reactor, es va produir un incendi i durant deu dies una gran quantitat de productes radioactius va ser llançada a l'atmosfera. El reactor era de disseny antic, amb una moderació de neutrons poc eficaç i, sobretot, sense un recinte de seguretat capaç de confinar possibles fuites, recinte que hauria evitat l'escapament a l'atmosfera. Aquests aspectes tècnics es van resoldre en els reactors de generacions posteriors, però el risc de fal·libilitat humana no depèn de la tècnica i requereix una atenció constant.

■ ELS RESIDUS

En un reactor nuclear típic d'1 GW de potència s'utilitzen per any unes 24 tones d'urani enriquit i se n'extreuen vora 23 d'urani amb 0,9% d'U-235, uns 240 kg de plutoni i uns 800 kg d'altres isòtops radioactius, amb semivides que varien d'uns instants a uns milions d'anys. Tot aquest combustible utilitzat es manté durant uns anys en piscines especials a la mateixa central,

LA FISSIÓ DE L'URANI I L'ENERGIA NUCLEAR

L'urani natural conté un 99,3% de l'isòtop U-238, un 0,7% d'U-235 i traces de l'U-234. L'isòtop que interessa per a la fissió nuclear és el segon. Quan un nucli d'U-235 captura un neutró de baixa energia es fissiona, generalment en dos nuclis més lleugers, i llavors emet de 2 a 3 neutrons i una quantitat considerable d'energia. Per exemple, pot escindir-se en Xe-140, Sr-94 i dos neutrons, alliberant una energia de 200 MeV. Aquesta energia equival a la que s'allibera en la combustió de 33 milions d'àtoms de carboni.

Si es frenen adequadament, cada neutró emès pot trencar un altre nucli d'U-235, i si es disposa d'una massa suficient d'aquest isòtop (superior a la «massa crítica») es pot arribar a produir una reacció en cadena. El desembre de 1942 l'equip d'Enrico Fermi va demostrar la viabilitat de la producció nuclear d'energia, fent funcionar el primer reactor nuclear del món a la Universitat de Chicago. Va ser el pas previ per produir una bomba nuclear de fissió, que per raons històri-

«EL DESEMBRE DE 1942 L'EQUIP D'ENRICO FERMI VA DEMOSTRAR LA VIABILITAT DE LA PRODUCCIÓ NUCLEAR D'ENERGIA»

ques es continua anomenant bomba atòmica. Un reactor nuclear està dissenyat de manera que solament un dels neutrons emesos produeix una nova fissió; s'arriba així a un procés estable amb alliberament d'energia continu i regulable. Per contra, el disseny d'una bomba atòmica busca aconseguir un procés exponencial, que allibera molta energia en poc de temps. Però en tots dos casos s'ha d'utilitzar urani enriquit en l'isòtop fissible, al voltant d'un 3% per a un reactor i en més d'un 70% per a una bomba.

L'isòtop U-238, el més abundant, no es fissiona fàcilment, però representa també un paper rellevant en aquesta història. L'absorció d'un neutró pot transformar-lo en un isòtop del plutoni, el Pu-239, que comparteix amb l'U-235 la possibilitat de ser fissionable per neutrons i pot ser utilitzat com a combustible d'una central nuclear o per a construir una arma nuclear. Les bombes llençades sobre Hiroshima i Nagasaki contenien, respectivament, 60 kg d'U-235 i 7 kg de Pu-239, valors lleugerament superiors a les masses crítiques d'aquests isòtops.

J. N. i J. L. T.





© MÈTODE



Les raons per instal·lar o no centrals nuclears en un país són econòmiques i polítiques. Inevitablement hi conflueixen arguments i interessos confrontats. A la dreta, manifestació de Greenpeace a les portes de la central nuclear de Vandellòs. A l'esquerra, una protesta per la decisió del Govern de tancar la central nuclear de Garoña.

per refredar-lo i perquè en desapareguen els isòtops de semivides més curtes. El gran problema, que al nostre parer encara no s'ha resolt satisfactòriament, és què fer amb els residus radioactius. La majoria de països dipositen en llocs especials els de baixa i mitjana activitat generats en centrals, hospitals i indústries. S'introdueixen en contenidors apropiats, que són emmagatzemats en centres situats en superfície o a poca profunditat. El Cabril, a Còrdova, rep les 2.000 tones anuals de residus generats a Espanya, amb semivides inferiors a trenta anys. Però les centrals espanyoles també produeixen unes 160 tones anuals de residus d'alta activitat, i cal un temps d'uns milers d'anys per tal que la seua radioactivitat baixi al nivell del mineral inicial. S'han de garantir les condicions de seguretat adients durant tot aquest temps.

Als EUA es preveu fer com amb els residus de baixa i mitjana activitat, però disposant-los a gran profunditat en zones geològicament estables. La solució iniciada per França, i adoptada per altres països, consisteix a processar primer els residus per extreure'n l'urani i el plutoni, que són utilitzats com a nou combustible. Els residus restants, que ocupen un volum molt menor, són vitrificats per tal d'evitar problemes químics o de corrosió. És una opció cada vegada més estesa, però alguns

no hi són favorables pel risc de proliferació nuclear. Un país podria obtenir material fissible d'ús militar a partir del processament del combustible utilitzat. No és un pas immediat ni senzill, però tampoc impossible. Existeix una tercera opció, encara en fase d'investigació, basada en l'ús de reactors especialment dissenyats per transmutar els isòtops dels combustibles utilitzats. Com a resultat hi hauria un menor volum de residus i es facilitaria l'emmagatzemament. A més, com que són formats per isòtops de semivides molt més curtes, es tornaria al nivell de la radioactivitat natural en uns centenars d'anys.

A Espanya els residus es conserven a les piscines de les centrals, a l'espera d'una solució definitiva que triga a arribar. No és rendible en termes electorals, perquè la població rebutja els residus al seu terme, i encara més si són nuclears. Però és una qüestió que cal afrontar, i com més prompte millor, independentment de la decisió que es prengui: mantenir les centrals, tancar-les o construir-ne d'altres.

■ NUCLEAR: NO GRÀCIES? O SÍ, PER FAVOR!

En l'actualitat trenta-un països produeixen electricitat a partir de les 439 centrals nuclears actives, la meitat de les quals es troben a Europa. El país més nuclearitzat



en aquest sentit és França, que amb les seues 58 centrals nuclears produeix el 78% de la seua electricitat. A Espanya, 8 centrals (7 el 2013, segons els plans actuals) forneixen al voltant del 20% de l'energia elèctrica utilitzada. Com és evident, les raons per instal·lar o no centrals nuclears en un país són econòmiques i polítiques. Els alts preus del petroli als anys setenta del segle passat dugueren diversos països a construir-ne de noves. En la dècada següent, la baixada de preus, alguns accidents d'importància i les campanyes en contra, en frenaren la construcció. A Espanya i a Alemanya existeix una moratòria nuclear, a Itàlia van ser prohibides, a Suècia es va decidir en referèndum tancar-les el 2010. Ara sembla que el pèndol ha canviat de sentit: dos terços dels sucs són favorables a mantenir-les i renovar-les, i a Itàlia s'ha aixecat la prohibició. Arreu el món hi ha unes quaranta centrals en construcció, la majoria a la Xina, i unes dues-centes en projecte.

El debat nuclear es transforma sovint en una *batalla a tota ultrança* on qualsevol argument es vàlid per anihilar l'adversari, quan seria convenient un debat més *laic*. A favor de mantenir i augmentar el nombre de centrals nuclears s'invoquen arguments com l'increment de la de-

«ELS RESIDUS SÓN EL PUNT FEBLE DE LES CENTRALS, PERÒ TENEN L'AVANTATGE D'ESTAR LOCALITZATS I CONTROLATS, A DIFERÈNCIA DEL QUE PASSA AMB ELS RESIDUS DELS COMBUSTIBLES FÒSSILS, QUE S'EMETEN LLIUREMENT»

manda mundial d'energia, la necessitat de controlar i reduir l'emissió de gasos d'efecte hivernacle –en particular de CO₂–, l'exhauriment de les fonts fòssils o el baix preu de l'energia nuclear comparada amb altres fonts (però els consumidors paguem l'electricitat al preu de la font més cara: d'això se'n diu «les lleis del mercat»). Només la sisena part de la població mundial té accés fàcil als recursos energètics, tan fàcil que als països més rics se'n fa un consum excessiu. Però la Xina i l'Índia, amb el 40% de la població mundial, estan augmentant de manera exponencial la demanda energètica, bàsicament coberta amb fonts que produeixen CO₂ massivament. Les energies renovables no podran garantir-la, excepte que una troballa científica o una innovació tècnica revolucionària modifiqui substancialment el rendiment. Les empreses productores espanyoles d'electricitat preveuen diversificar les fonts, i utilitzar nuclears, renovables i gas/carbó a parts iguals d'ací a vint anys, el que vol dir construir noves centrals nuclears. El debat nuclear és, doncs, condicionat pel futur de les fonts d'energia a escala planetària.

Els residus són el punt feble de les centrals, però tenen l'avantatge d'estar localitzats i controlats, a diferència del que passa en altres casos. Els residus dels combustibles fòssils s'emeten lliurement, amb els isòtops radioactius que contenen, a l'atmosfera i acaben distribuïts per tot el planeta. Però darrerament les centrals de Cofrents, Vandellòs i Ascó han estat notícia pels incidents que hi han tingut lloc. Sembla que, volent reduir costos, es tendeix a subcontractar moltes tasques. Lamentablement, el personal de les subcontractes no té la mateixa experiència que el que treballa des de fa temps en una central, factor important a l'hora d'abordar imprevistos. Els errors humans són motiu de la majoria d'incidents. El silenci o la minimització que en fan directius i propietaris de les centrals són inquietants i certament provoquen torbaments de l'ànim en molta gent. ☹

BIBLIOGRAFIA
 EPS, 2009. *European Physical Society*. EPS. Mulhouse. Disponible en: <<http://www.eps.org/about-us/position-papers>>.
 GÓMEZ-CADENAS, J. J., 2009. *El ecologista nuclear*. Espasa-Calpe. Madrid.
 JAMINON, M. i J. NAVARRO, 2009. *Las radiaciones: beneficiosas, letales, misteriosas...* Nivola. Tres Cantos.
 LOZANO LEYVA, M., 2009. *Nucleares, ¿por qué no?* Debate. Barcelona.
 NAVARRO, J. i M. RAFCAS (coord.), 2008. «Radiaciones. Una mirada pluridisciplinar». *Mètode*, 57: 64-131.

Jesús Navarro i José L. Taín. Institut de Física Corpuscular (IFIC). Centre mixt CSIC-Universitat de València.

