

LA PROBLEMÀTICA: ELS RESIDUS QUE GENERA L'ENERGIA NUCLEAR

P. Carbonell Mitjans, doctor en Ciències Físiques i expert en radiofísica pel CSN

És més vigent que mai insistir novament que l'opció nuclear no és acceptable. Una anàlisi profunda dels problemes associats, inherents a la producció d'energia nuclear, ho ha demostrat reiteradament. Aquí en comentarem tan sols un, ELS RESIDUS, i no ens estendrem en altres aspectes propis d'aquesta alternativa, com el risc d'accident en qualsevol dels diversos nivells de risc que estableix la catalogació de la problemàtica nuclear en tota la seva estructura circular (cicle de l'economia de l'urani i del plutoni).

I. ELS RESIDUS RADIOACTIUS

Aquesta qüestió se sol obviar en el món polític i els mitjans de comunicació. No es comenta el problema més greu que pesa sobre l'energia nuclear: que amb la generació d'energia no s'acaba el cicle nuclear, ja que a partir d'aquí s'inicia la llarga marxa pel tractament i la gestió (deposició) dels residus radioactius, un problema pel qual actualment no hi ha solució. Tot el que s'apunta com una possible solució s'aproxima a la ciència-ficció.

El procés de retractament del combustible irradiat

Es basa en la separació química de la massa de matèria radioactiva de molt alta activitat i toxicitat de la resta del combustible d'activitat radioactiva mitjana i baixa. Aquesta massa representa més d'un 1% del volum total dels residus. La separació per volums té per objectiu una millor gestió en l'emmagatzematge. Per als residus més radioactius, els tècnics havien previst inicialment una cobertura de ceràmica que formava una matriu cristal·lina compacta per passar posteriorment a una deposició, ja definitiva, en profunditat. El temps de consistència prevista de la vitrificació s'havia calculat per uns 300.000 anys, període de temps en el qual el plutoni-239, element de referència en aquest procés a causa de la seva llarga vida mitjana i de la seva radiotoxicitat, tardaria a perdre la seva activitat radioactiva. Però la destrucció de l'estructura cristal·lina de l'embolcall, a causa de la irradiació alfa i de la calor que generen en desintegrar-se els diferents elements transuranians (més pesats que l'urani), és molt més ràpida del que se suposava. Segons estudis recents, es creu que aquesta protecció de ceràmica pot durar com a màxim uns 1.400 anys (Ian Farnan, *Nature*, 445, p. 190-193, gener 2007).

El plutoni-239

Un dels elements transuranians conegut per l'elevada toxicitat radioactiva és el plutoni-239, que es genera a partir de l'absorció d'un neutró per part de l'urani-238, que forma gairebé tot el combustible inicial. La seva toxicitat ve derivada de l'elevada transferència lineal d'energia (TLE) en el teixit cel·lular, d'uns 100 KeV/micra (per fer-se'n una idea, la TLE de la radiació gamma del radiocobalt, Co-60, és de 0,3 KeV/micra) i com a via de penetració en òrgans, anomenats crítics, de l'organisme humà. Els òrgans crítics dels isòtops del plutoni (on es concentra preferentment) són el teixit del pulmó i l'esquelet, però també els ronyons i el fetge, segons la forma d'incorporació. Fixat en l'organisme, el plutoni pot irradiar i provocar danys a cèl·lules que, per mitjà del procés de replicació cel·lular, poden degenerar i formar tumors malignes. Un subproducte del plutoni és l'americium-241, radioactiu, emissor alfa, igualment radiotòxic i que actua sobre tot l'organisme.

Actualment, l'inventari mundial de plutoni supera les 2.000 tones, que en gran part provenen de la generació d'energia nuclear, però també de projectes i deixalles d'origen bèl·lic. Quan es parla del plutoni-239 s'ha de tenir present que es tracta d'un dels elements més tòxics que es coneixen: unes milionèsimes de gram inhalat poden provocar la mort. Pel que fa a la resta d'elements de la fissió nuclear, tots tenen una elevada toxicitat, alguns d'alta activitat radioactiva, però tots els productes de fissió són estranys a l'organisme.

En tots els processos del cicle de l'urani es genera una contaminació extrema: radioactiva, a causa de la generació d'àrids, de líquids, d'emissions sòlides i gasoses, i/o química per abocaments

incontrolats i dispersió generalitzada. Es genera despesa pública i problemes ambientals que hipotequen, a causa de la llarga permanència d'alguns d'ells en el medi, el present i el futur, la vida de persones i espècies (R. Kollert, *Plutonium als Umweltproblem*, Universität Bremen, 1977).

Per solucionar aquest problema es preveu preferentment la possibilitat de dipositar a gran profunditat el material de molt alta activitat, la qual cosa implica reprocessar o retractar els residus, i això provoca la dispersió de matèria radioactiva associada al mateix procés de separació dels elements fissibles, l'urani-235 i el plutoni-239, i la reutilització d'aquests elements en el cicle nuclear; o bé, la seva utilització per part de la indústria armamentista per fabricar armes atòmiques.

A causa de l'alt cost que exigeix tot el procés, la discussió es porta a un altre nivell: dipositar en superfície tot el combustible esgotat (sense reprocessar). És una opció que encara no han desestimat els tècnics de l'àmbit nuclear, tot i els dubtes que genera un confinament del combustible en recipients metàl·lics. Arreu del món, la història de l'emmagatzematge de residus radioactius en superfície demostra que no existeix cap garantia pel que fa a l'aparició de fissures en els recipients que provoca: a) la producció de calor de les emissions radioactives (gradient de calor elevat) i b) l'impacte del flux de neutrons que altera les estructures metàl·liques. Una alternativa que implica vigilar la massa total de residus durant centenars de milers d'anys. Un compromís per a milers de generacions.

La mitjana activitat

També s'estudia la transmutació d'alguns d'aquests radioelements, per intentar reduir els períodes de semidesintegració a uns nivells acceptables, aspecte que d'altra banda pressuposa haver dut a terme prèviament la separació química dels elements més tòxics, és a dir, el reprocessament. Però la transmutació és una especulació de la teoria radioactiva, ja que no existeixen indicis d'èxit ni tan sols a nivell de laboratori.

El tractament del material de «mitjana» activitat, que significaria més del 90% del combustible extret del nucli del reactor, segueix un raonament tècnic basat en el període de semidesintegració del cesi-137 –que és de trenta anys–, l'element de fissió més freqüent en el ventall radioactiu dels productes de fissió que es formen per la interacció de neutrons sobre els nuclis de l'urani-235 durant el procés de generació d'energia. Però si tenim en compte que aquest volum de la massa de residus s'ha de vigilar fins que la radioactivitat decreixi a nivells d'una dosi equivalent a la del fons natural (supòsit de la hipòtesi de base), considerada acceptable, el període de control s'allarga aproximadament fins a tres-cents anys, si es deixessin de crear a partir d'ara (vegeu annex).

La vida útil d'una central nuclear

Un tema que genera un nou debat és si les centrals nuclears, calculades per a una vida útil entre trenta i quaranta anys, poden sobreviure sense incrementar el risc d'accident o augmentar les emissions radioactives i mantenir les mateixes condicions inicials durant vint o trenta anys més. Sense que s'acabin deteriorant per exemple, per una simple qüestió de la resistència dels materials, dos elements no reemplaçables en una central nuclear, però tècnicament molt sensibles quant a la capacitat de retenció de matèria radioactiva i de garantia de seguretat: el recipient del reactor i el recinte de confinament. Un deteriorament d'aquests dos elements provocaria irremediablement grans fugites de radioactivitat, en forma de líquids i gasos, i farien més probable la possibilitat d'accidents de dimensions catastròfiques.

Però aquest aspecte, igual que el de la gestió dels residus radioactius, no s'han comentat de manera objectiva, amb criteris tècnics i professionals. Insistim que, per la seva importància, cal analitzar tots dos aspectes amb rigor científic.

II. EL POTENCIAL RADIOTÒXIC I ALTRES QÜESTIONS RELACIONADES

«Amb el temps, els residus radioactius de les centrals nuclears podrien significar per a la humanitat un perill equivalent al dels efectes d'una guerra nuclear».

C. F. Barnaby, *Science Journal*, 1970

La proliferació de centrals atòmiques o nuclears amb la producció continuada d'elements de llarga vida radioactiva, amb complexes formes de toxicitat radiològica segons la via d'incorporació orgànica; cinètiques biològiques i afinitats químiques específiques dels diferents elements, etc., ens pot traslladar a un sistema social en què el risc biològic per a les generacions presents i futures podria ser imprevisible i incalculable (vegeu BEIR VII phase 2; 2005). Actualment, i després de més de 50 anys de producció de residus, encara s'especula sobre com s'han de gestionar.

La generació de residus radioactius és una conseqüència inevitable de la producció d'energia atòmica a partir de la fissió de l'urani o del plutoni. És el que caracteritza aquesta forma de producció d'energia com una opció bruta, generadora de grans quantitats de residus altament tòxics per a l'ésser humà, anteriorment inexistents, creats per la fissió i l'activació, i irreductibles.

La deposició en profunditat

La discussió no tracta tan de polemitzar sobre la despesa econòmica derivada d'enfonsar la matèria radioactiva a gran profunditat, sinó d'evitar tota possibilitat de contacte dels residus amb la biosfera (aigües, etc.). Actualment no és encara factible garantir aquest aspecte (R. Bertran, IFB, Göttingen, 27 nov. 2006, TU Braunschweig).

Una garantia implica evitar a molt llarg termini la contaminació dels aqüífers a causa de fissures en els recipients, formades per l'acció de les radiacions sobre les estructures metàl·liques. El flux de calor que genera el mateix procés radioactiu, junt amb l'acció intercrystal·lina de les emissions radioactives, origina un increment local de la pressió que pot provocar l'explosió del recipient amb una dispersió massiva de matèria radioactiva. El desencadenament d'aquest procés ha estat documentat pel físic nuclear rus Zhores Medwedjew (accident als Urals l'any 1957/1958; Z. Medwedjew; 1979). S'exigeix, per tant, una hermeticitat total. Si penetra aigua en un «cementiri» radioactiu és fàcil d'imaginar el pas de radionúclids a la biosfera... i la posterior contaminació generalitzada.

La no-eficiència en la gestió dels residus radioactius es pot transformar en un acte criminal: fins a l'any 1976 van ser abocats aproximadament 70.000 contenidors amb residus de plutoni i cesi a la costa americana del Pacífic (R. Bertran, IFB, Göttingen); aquesta pràctica també va ser utilitzada a Europa, abocant (n'ignorem la quantitat) a les costes atlàntiques i del Cantàbric. Les fuites de matèria radioactiva contaminen espècies marines encara avui, malgrat la dilució en les masses oceàniques.

En el seu procés de desintegració en altres elements inestables, els residus de transuranians incrementen la intensitat radioactiva i generen nous elements, efecte que es manifesta en una elevada producció local de calor, fissures microscòpiques, dilatacions dels materials i, en un extrem, explosions durant l'emmagatzematge (exemple documentat arran de la transmutació, per desintegració, d'un isòtop del plutoni en americi).

El cementiri «definitiu»:

Els models que simulen canvis i alteracions en els medis geoquímics, on es pretén dipositar els residus, es basen en algorismes matemàtics, conceptuats per arribar a un resultat determinat, d'acord amb la lògica emprada, però que en cap cas no són representatius d'una realitat específica.

Per no poder realitzar una experimentació de llarga durada, la informació utilitzada (input de gran variabilitat) es fonamenta en criteris d'estabilitat relatius a una experimentació temporal, introduïts en models que simulen comportaments i reaccions en les quals es desconeixen importants variables, impossibles de quantificar: comportaments diferenciats de subproductes radioactius, temps de reacció, efectes a causa de la corrosió, explosions locals per formació d'hidrogen, reacció del material envoltant (el cas del plutoni amb l'estructura cristal·lina de la matriu de ceràmica) i altres components d'origen geoquímic amb dinàmiques variables i imprevisibles (Rolf Bertran, IFB-Göttingen, 2007).

En funció del temps, components químics diferenciats formen sistemes de reacció multidinàmics en els quals alteracions en principi no pronosticables, ja que al marge d'una desintegració específica, inherent, es poden formar també altres substàncies d'elevada toxicitat biològica (dioxines, entre altres) (vegeu també Rolf Bertran, IFB-Göttingen, 2007).

Falta informació relativa a la formació de gasos, principalment a causa de processos de corrosió i electròlisi amb possible formació d'hidrogen, oxigen, etc., junt amb altres gasos. Àcid sulfúric i mescles inflamables poden provocar explosions locals, tal com ja s'ha esmentat. Tots els informes de seguretat sobre un emmagatzematge dels residus radioactius considerat definitiu representen tan sols una prova més de la inseguretat associada a les deposicions en profunditat: en cap cas existeix garantia que es pugui descartar tot contacte amb aigües profundes i amb la biosfera.

La producció d'àrids residuals, radioactius, en la mineria d'urani

Des del punt de vista econòmic, l'urani és un mineral poc abundant: 2 kg d'urani per tona de mineral brut. Per un reactor nuclear de 1.000 MVe s'han de remoure entre 150.000 i 200.000 tones de mineral per any. D'aquest mineral residual s'alliberen de la sèrie de l'urani-238 aproximadament 120 g de radi-226, amb un període de semidesintegració ($T_{1/2}$) de 1.600 anys, del qual es desprèn el gas radó-222; 110 g de protactini-231, $T_{1/2} = 32.500$ anys junt amb altres subproductes radioactius de la mateixa sèrie. Un d'ells és el poloni-210, $T_{1/2} = 138$ dies (conegut per la seva radiotoxicitat letal, present en 1 μ gram per tona d'urani). S'ha de tenir en compte que un gram d'aquesta substància emet $1,66 \times 10^{12}$ partícules alfa per segon (radiacions d'elevada eficiència biològica) i que 1 mil·ligram és tan radiotòxic com 13.5 tones d'urani-238; aquest element forma part dels grans tòxics. Al llarg del procés prenuclear s'acumulen milions de tones del mineral d'urani, que formen els àrids radioactius, que contaminen rius i materials de construcció (als EUA >150 milions de tones de difícil control i vigilància) amb radi i radó entre altres.

L'urani s'oxida amb facilitat i és inflamable (d'aquí l'aplicació com a míssils antitancs) amb dispersió i contaminació aèria. També el plutoni-239 està dotat de característiques similars.

Durant la reacció nuclear es formen 8,7 g d'isòtops de plutoni (239; 240; 241 i 242) per kg d'urani-238; la formació de productes de fissió, d'elevada radioactivitat, és d'uns 30 g.

Aspectes biològics sobre la toxicitat dels emissors de partícules alfa i dels productes de fissió

Així com el radi es fixa en els ossos i comporta la formació d'osteosarcomes i altres tumors en òrgans que fixen aquest element, els seus descendents, el radó i la sèrie que segueix, es fixa en els alvèols dels pulmons provocant càncer en aquest òrgan. El poloni, que com els anteriors forma part dels subproductes de radioactivitat alfa de la sèrie de l'urani natural, dotat d'una activitat específica molt elevada, pot provocar danys vasculars i induir altres efectes retardats com el càncer de ronyó (vegeu *Radiation Biology* d'Alison P. Casarett, 1968).

A través dels àrids generats per la mineria de l'urani es dispersa matèria radioactiva, que forma localment contaminacions d'elevat risc toxicològic que sovint es manifesten en els materials de construcció, en l'interior dels habitatges i en aigües, superficials i profundes (P. Weish, E. Gruber, 1975, «Radioaktivität und Umwelt», *Health Physics*, vol. 44, Supl.1, *Actinides in Man*, 1981).

Altres elements radioactius resultants de la generació atomiconuclear que considerem problemàtics per al medi són els productes de fissió -isòtops del ceri, el cesi, l'estronci, el iode i el tecneci, sense oblidar el triti, per la immensa activitat de les emissions als rius i a l'atmosfera- i els gasos; els transuranians, que es formen a partir de l'urani-238 per la interacció del flux de neutrons: isòtops del neptuni, plutoni, americi, curie i els elements d'activació neutrònica indirecta, cobalt, ferro i altres (vegeu *Environmental Sciences, Interdisciplinary Monographic Series*, NY University Medical Center, Inst. of Env. Med. 1973 i edicions posteriors).

III. TRACTAMENT PREVIST PER ALS NO TRANSURANIANS

La vigilància de la deposició en superfície del material radioactiu anomenat de «mitjana activitat» (simplement per diferenciar-lo de l'elevada activitat i toxicitat dels emissors alfa), que representa més del 90% del combustible extret del nucli del reactor, segueix un raonament tècnic basat en el període de semidesintegració ($T_{1/2}$) de l'element de fissió més freqüent en el ventall radioactiu dels productes de fissió de l'urani-235, el cesi-137 (Cs-137), (un dels més de 200 elements radioactius diferents).

El raonament és el següent: limitar la vigilància de la deposició dels residus radioactius, mescla de radioelements en els quals el cesi-137, amb un $T_{1/2} = 30$ anys, apareix com el més freqüent i

perillós, fins que la radioactivitat d'aquest decaigui a nivells de radioactivitat amb dosis equivalents al nivell de la dosi del fons ambiental, considerada com a admissible (inevitable). Aquest criteri significa controlar/vigilar fins que l'activitat inicial (A_1) s'hagi reduït en un factor 1/1.000. El temps de vigilància d'aquest material, rigorosament controlada, resultaria ser de 300 anys a partir del moment de l'extracció del «combustible esgotat» del nucli del reactor (vegeu annex).

L'increment de la radioactivitat ambiental

Entre les emissions radioactives, generalment no es comenten les emissions de gasos com el criptó-85, gas noble de gran dispersió en l'atmosfera. Es calcula que només amb l'emissió d'aquest gas radioactiu és doblarà la dosi del fons radioactiu natural (que no vol dir innòcua) en tan sols dues generacions. Les emissions de triti (H-3) al medi representen, ara ja, un problema de contaminació de l'aigua dels rius (UNSCEAR, sources, effects and risks, 1988).

El triti és un isòtop de l'hidrogen de període curt (12 a.) i de baixa energia, i per això la seva emissió radioactiva es considera poc nociva. Aquesta qualificació no correspon a la realitat, ja que la toxicitat depèn de la dosi o concentració en l'aigua. Però existeix un altre aspecte poc comentat: quan el triti s'incorpora de forma orgànica. El triti, anomenat aleshores orgànic, incorporat en l'ADN, pot substituir l'hidrogen i transformar-se en heli per emissió radioactiva d'una partícula; d'aquesta manera queda alterat el «pont d'hidrogen» en la molècula ADN, transmutació amb conseqüències biològiques encara poc investigades (I. Fairle, «Tritium the Overlooked Nuclear Hazard», *The Ecologist*, 1992; BEIR VII, 2005).

La dispersió dels productes de la fissió nuclear i dels d'activació en el si del reactor seran, si l'opció nuclear prospera, un verí ambiental de caire radioactiu que, junt amb la presència i gestió dels residus, pot anar canviant el genoma humà. No hi ha comparació possible entre un verí químic i un verí radioactiu: no coneixem cap tòxic químic que a nivell d'un sòl àtom pugui provocar els danys cel·lulars, somàtics o genètics que pot generar un àtom radioactiu en desintegrar-se en el si d'una cèl·lula.

De fet, per la radioactivitat o per les radiacions en general (igualment els raig X) no existeix límit o zona de seguretat: la mínima dosi pot induir un efecte biològic no desitjable (BEIR VII, 2005).

La cinètica biològica d'alguns productes de fissió pot donar lloc a concentracions radioactives en òrgans vitals amb respostes ràpides i risc inadmissible. És el cas dels isòtops radioactius del iode en concentrar-se a la glàndula tiroides. Especialment eficient del punt de vista biològic és el iode-131, amb un període de 8 dies i molt radioactiu; incorporat substitueix el iode estable (d'igual afinitat química) en la glàndula i provoca càncer. Un dels isòtops d'aquest element, el iode-129, té un període de semidesintegració de 17 milions d'anys, menys radioactiu que el primer, però amb igual afinitat, que pot acumular-se lentament. També és un producte de fissió i un verí de llarg termini (D. G. Amott, «Iodine: Problems of the Blocking Dose», *International Perspectives in Public Health*, 1992).

Un altre exemple de cinètica biològica és l'estronci-90 (Sr-90), amb un període de 28 a., que és fixa en l'esquelet i, en desintegrar-se, es transforma en itri-90 (Y-90), que es concentra a les gònades. Es podrien considerar altres transmutacions dels productes de fissió com la del cesi-137, o la del carboni-14, o la transmutació radioactiva de l'americi-241 en neptuni-237. Es tracta de verins radioactius d'elevada complexitat, radioactiu i biològic, que poden formar combinacions amb elements químics, tòxics, com l'arseni, el plom i el cadmi, potenciant la toxicitat química sobre l'organisme a la vegada que combinant efectes radioactius i químics.

Les emissions radioactives en funcionament normal, sense accidents

La producció d'energia nuclear a les centrals modernes implica treballar a temperatura i pressió elevades. Les estructures més castigades han estat calculades per a una vida útil entre 30 i 40 anys. Allargar la vida útil 20 o 30 anys més en les mateixes condicions inicials implica, per a alguns components, apurar els límits de resistència dels materials fins a nivells que poden augmentar el risc d'accident i les emissions radioactives a l'exterior.

Igual que la gestió dels residus radioactius, aquest és un problema fins ara no discutit amb l'objectivitat que requereix la problemàtica que es planteja.

Pel que fa als aspectes relatius al control de qualitat en allargar la vida útil d'una CN, s'ha de tenir

en compte que com a mínim dos dels seus components no es poden reemplaçar en cas de fissures, esquerdes etc.: el recipient del reactor i el recinte de confinament. Tècnicament no és possible. Durant la vida útil de funcionament permanent, l'estructura física d'aquests dos elements està sotmesa a una càrrega que supera en molts casos, en zones crítiques locals i, probablement, en la seva totalitat, els límits de resistència a la fatiga dels materials de construcció a causa d'extremar els paràmetres de treball i, especialment, per l'impacte constant del flux de neutrons ràpids (20.000 km per segon) que provoca la destrucció i/o l'alteració de la pròpia estructura cristal·lina (*Science & Vie*, núm. 1038, 2004).

Un reactor nuclear està format per un complex sistema de recipients en els quals, i a causa del perill que implica l'emissió radioactiva, s'exigeix un nivell elevat d'hermeticitat, però per l'exposició a les condicions de treball, temperatura, irradiació i transformacions d'origen fisicoquímic, degudes a la mateixa acció de les radiacions, el risc de fissures és elevat i s'incrementa amb els anys de funcionament, la matèria radioactiva acumulada i la inherent dificultat que representen les reparacions en funcionament.

El resultat és que per aquesta complexitat s'assumeixen fissures i fuites inevitables. En els canals i tancs anomenats de «retardament» s'acumula matèria radioactiva, que espera el moment òptim -condicions atmosfèriques favorables- per evacuar a l'exterior i reduir la concentració *in situ*.

Com més complex és el sistema, i una CN n'és un bon exemple, més elevat és el risc de fissures inevitables i, per tant, de fuites tolerades, en aquest cas radioactives (Max Thürkauf, *Pandorabüchsen der Wissenschaft*, 1973).

Conclusió

Encara que tothom sap la necessitat d'actuar amb la màxima urgència contra la catastròfica situació que s'instal·larà en aquest país i en altres arran del canvi climàtic, cal insistir que l'opció nuclear, com a mitjà de producció d'energia, no és la solució per evitar, retardar o pal·liar els efectes que comportarà aquest canvi (vegeu *Nuclear Information and Resource Service*, 1998). No tan sols no evitarà una situació de penúria energètica (l'urani és un mineral en vies d'esgotament), sinó que el problema inherent a aquesta opció, la permanent generació de residus radioactius, perillosos i tòxics, i la impossibilitat de reduir la toxicitat, així com la llarga vida mitjana, junt amb la important despesa econòmica que implica la seva gestió, vigilància i control a llarg termini, fan d'aquesta opció una alternativa inviable pel compromís que significa assumir-ne la responsabilitat.

En la nostra opinió, i en la mesura en què estem comentant un problema d'amples dimensions socials, econòmiques, tècniques i ambientals, associat a la generació permanent de residus radioactius, no desvinculables de la producció d'energia d'origen nuclear, no veiem una solució a mitjà o a llarg termini que permeti apostar per l'opció nuclear.

Així i tot, per l'interès públic i polític del nostre país, seria convenient, després de l'exposició anterior, aplicar el principi de precaució abans d'avançar en una aventura molt compromesa, de futur incert. La creació d'una comissió interdisciplinària de professionals independents podria determinar els criteris que cal aplicar en la decisió sobre la idoneïtat de la ubicació a Catalunya d'un cementiri de residus radioactius.

Pensem, però, que la despesa econòmica en matèria energètica hauria d'anar adreçada a promoure a gran escala les energies alternatives, òbviament més descentralitzades, però amb un futur actualment planificable.

Molt Honorable President de la Generalitat, Sr. José Montilla,

Aquest document ha estat elaborat utilitzant experiències pròpies i documentació dels últims trenta anys a fi de ressaltar la continuïtat d'uns problemes: l'eliminació o reducció de la toxicitat dels residus radioactius que genera el cicle nuclear. Lluny d'haver millorat la situació, mostrant futures perspectives, hem comprovat un creixement exponencial, tant del material en qüestió com de la complexitat de la seva gestió. Demanem del bon criteri que us caracteritza una actuació política, sense descuidar els aspectes ambientals i de salut pública, que no desmereixi les nostres esperances. Una decisió d'aquest nivell no pot recaure en cap cas en un ajuntament

(el d'Ascó) faltat de tot element de judici, tècnic i ambiental que, en principi, pugui comprometre tot un país.

Dr. Pere Carbonell-Mitjans
carbonell.mitjans@gmail.com

Annex I:

$$A_T / A_I = 0.001 = \exp(-(\ln 2(t / t_{1/2}))); \exp -(0,693(t / 30)) = 0.001$$

$$-(0.693 (t / 30)) = \ln 0.001$$

$$t = (\ln 0.001) \times 30 / -0.693 = 300 \text{ anys}$$

$$\underline{t = 300 \text{ anys (temps de vigilància permanent)}}$$