

# Aspectes geològics en l'emmagatzemament dels residus radioactius

Carles de las Cuevas\*

## Resum

La finalitat de l'emmagatzemament dels residus radioactius en formacions geològiques és la protecció a llarg termini del medi ambient, de manera que els riscos radiològics siguin el més baixos possibles, tant per a les generacions actuals com per a les futures.

**MOTS CLAU:** Residus radioactius, emmagatzemament geològic, sistema multibarreres, anàlegs naturals.

El desenvolupament assolit a casa nostra en les aplicacions de la tecnologia nuclear, tant en el camp de la generació d'energia elèctrica com en la utilització de radioisòtops a les instal·lacions hospitalàries i industrials, té com a conseqüència negativa la generació de grans quantitats de residus radioactius. S'entén com a residu radioactiu qualsevol subproducte generat en un procés industrial que contingui o estigui contaminat per radionúclis. Quan es van començar a construir les instal·lacions radioactives, ja eren coneguts els possibles riscos que podien plantejar a la salut humana al llarg de la seva explotació comercial, malgrat no tenir-se en compte el problema de la generació dels residus. Ha estat, doncs, en els darrers 25 anys

## Abstract

The aim of storing radioactive waste in geological formations in the long-term protection of the environment, in order to keep the radiological risks down to a minimum, both for today's generations and for future generations.

**KEYWORDS:** Radioactive waste, geological disposal, multibarrier system, natural analogues.

quan s'ha pres consciència d'aquest fet tant des del punt de vista científic com social.

Sovint s'espera que el científic jugui el paper d'advertidor de catàstrofes apocalíptiques sobre els riscos que el desenvolupament tecnològic comporta. En aquest article, en lloc d'entrar en polèmica, intentaré donar una visió més completa del problema explicant, amb tots els ets i uts, quines implicacions té l'emmagatzemament dels residus radioactius.

La radioactivitat és la propietat d'alguns nuclis atòmics, anomenats radionúclids, per emetre espontàniament radiacions electromagnètiques (gamma o X) o bé partícules (alfa o beta). L'absorció de les radiacions i/o les partícules per als éssers vius pot afectar-ne els teixits i òrgans, i pot produir la mort en casos d'exposició perllongada.

\* Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica. Universitat de Barcelona

Un dels trets més característics dels radionúclids és que a mesura que va emetent radiacions va minvant la seva massa. Es coneix com a vida mitjana d'un radionúclid el temps que triga aquest a reduir fins a la meitat la seva massa inicial. Aquesta propietat és de gran interès per a la gestió dels residus, ja que si aquests resten isolats de la biosfera el temps suficient, la seva perillositat desapareix.

La gestió dels residus radioactius consta de diferents etapes tals com la recollida, el tractament i el transport, i l'emmagatzemament n'és l'etapa final. La finalitat de l'emmagatzemament, a llarg termini, és protegir el medi ambient de les radiacions, de manera que els riscos radiològics siguin els més baixos possibles (CEC, 1989). Cal tenir en compte que la humanitat es troba, des de sempre, exposada a la radioactivitat natural. Aquesta prové, en part, de la radiació còsmica que travessa l'atmosfera i, d'altra banda, de la descomposició radioactiva dels àtoms d'urani, tori i potassi presents a les roques. La dosi anual de la radioactivitat natural ha estat estimada en 1,1 mSv.<sup>1</sup> A més a més, hi ha un altre component de radioactivitat ambiental produïda per explosions atòmiques, instal·lacions industrials i mèdiques, centrals nuclears, etc. La dosi anual produïda artificialment ha estat estimada en 0,6 mSv (BROOKINS, 1984). A causa d'aquest nivell de radioactivitat ambiental, la Comissió Internacional de Protecció Radiològica recomana que la dosi anual produïda per l'emmagatzemament dels residus no depassi els 0,1 mSv, és a dir, deu cops menys que la radioactivitat natural (ICRP, 1985).

Dins dels residus radioactius, i segons el tractament que reben a l'hora de la seva gestió, hom distingeix entre els residus de baixa

i mitjana activitat (que tenen una perillositat potencial d'uns 300 anys) i els residus d'alta activitat que han d'estar isolats uns 100.000 anys. Aquests darrers, a més de l'emissió de radiacions, generen calor. Malgrat que comparats amb la vida humana d'aquests períodes semblin molt llargs, a l'escala de temps geològic són molt curts. Cal tenir en compte que la darrera erupció volcànica a la regió d'Olot va tenir lloc fa 10.000 anys, l'alternança de períodes glacials i interglacials al Quaternari va durar uns 600.000 anys, i fa un milió d'anys que existeix l'home. A una escala de temps més llarga cal esmentar que l'aixecament de la Serralada del Pirineu es va produir fa uns 20 milions d'anys i que els conglomerats superiors de la muntanya de Montserrat es van disposar fa uns 37 milions d'anys.

La via d'actuació per garantir l'isolament dels radionúclis presents als residus, es basa en la col·locació d'un sistema de barreres múltiples entre els residus i el medi ambient (BROOKINS, 1984). Hi ha dos tipus de barreres: la d'enginyeria i la barrera geològica. Les barreres d'enginyeria consisteixen a englobar els radionúclis en una matriu, posar la matriu en un contenidor metàl·lic i construir un dipòsit per a l'emmagatzemament. La barrera geològica consisteix en una formació geològica de baixa permeabilitat localitzada en una zona geològicament estable. El coneixement de l'estabilitat de les zones geològiques al llarg de milions d'anys permeten pensar que aquesta es perllongarà fins que la perillositat dels residus hagi desaparegut, si admetem que els esdeveniments futurs a la geosfera seran els mateixos que tenen lloc en l'actualitat. Cal recordar que la fracturació i el vulcanisme són pràcticament inexistents a les zones tectònicament estables.

Pel que fa als residus de baixa i mitjana activitat, a causa del curt temps que han de restar isolats del medi ambient, aquests so-

1. El sievert (Sv) és la unitat de dosi equivalent i correspon a l'efecte produït per la irradiació gamma en un cos, en absorbir aquest l'energia d'un Joule per Kg de massa (ICRP, 1984).

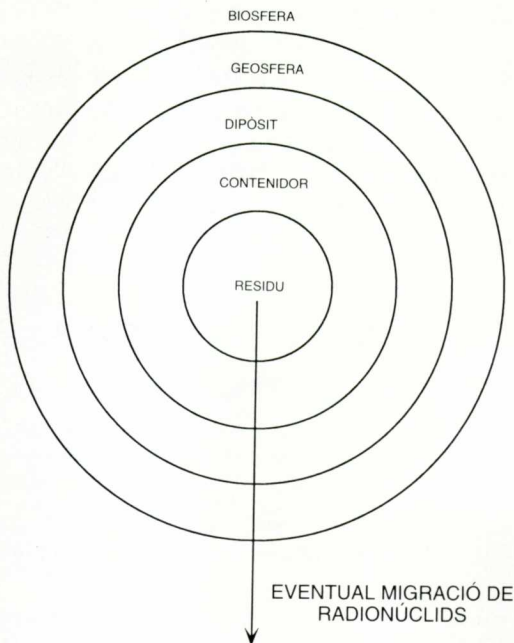


FIG. 1: Esquema d'un sistema de barreres múltiples.

len estar enterrats vora la superfície on es construeix una obra d'enginyeria que és la barrera principal. Per garantir l'estabilitat de l'obra, els emmagatzemaments solen trobar-se en zones amb baixa sismicitat i sense problemes hidrogeològics. En canvi, a causa del llarg període d'isolament necessari per als residus d'alta activitat, tan sols l'estabilitat geològica a llarg termini és una garantia que els radionúclids no arribin a la biosfera. Com a exemple de l'isolament de les formacions geològiques podem esmentar les troballes a les excavacions d'Empúries on s'han preservat restes arqueològiques de fa 2.500 anys. Un cas d'isolament encara més espectacular és el de la pedrera de Dunarobba, localitzada prop de la vila de Terni (Itàlia). En aquesta pedrera, on afloren unes argiles lacustres dipositades fa un milió i mig d'anys, s'han trobat fossilitzades unes quantes desenes d'ar-

bres en posició original. Malgrat el llarg temps passat no han tingut lloc els processos de lignitització, tan característics en les restes vegetals, i s'ha preservat la fusta dels troncs sense cap alteració pel fet d'haver estat coberts per una desena de metres d'argila (BENVEGNI *et al.*, 1988).

L'estratègia bàsica de la gestió dels residus d'alta activitat consisteix a emmagatzemar-los en una formació geològica a una fondària d'entre 500 a 1.000 m sense presentar inhomogeneïtats litològiques importants, amb escassa fracturació, bona conductivitat tèrmica i propietats mecàniques adients que permetin construir el dipòsit subterrani dels residus. Bàsicament, apareixen com a favorables, per emmagatzemar els residus d'alta activitat, les roques granítiques, les argiloses i les salines (IAEA, 1977).

Com hem esmentat anteriorment la finalitat dels emmagatzemaments és la protecció del medi ambient de les radiacions a llarg termini. A causa del llarg temps d'isolament que necessiten els residus d'alta activitat, no és possible una demostració directa experimental de l'eficàcia de l'emmagatzemament. Aquesta se sol realitzar mitjançant una avaluació del comportament del sistema. En aquesta avaluació es tenen en compte tots els processos i esdeveniments que puguin intervenir al llarg del temps, descrivint-los mitjançant equacions i/o probabilitats, i les conseqüències (CHAPMAN & MC KINLEY, 1987). Una altra eina d'estudi de la seguretat dels emmagatzemaments són els anomenats anàlegs naturals. Aquests són sistemes naturals en els quals s'han produït, al llarg del temps geològic, processos similars als que s'espera que tinguin lloc en l'emmagatzemament. L'estudi dels anàlegs és una eina molt valuosa, ja que permet obtenir dades en el laboratori natural que és la geosfera sobre processos que, a causa del llarg espai de temps en què es produeixen, no podrien ser estudiats

ni al laboratori ni «in situ». Com a exemple, cal dir que s'han estudiat molts jaciments d'urani emplaçats en diferents tipus litològics com a anàlegs naturals (AMTER, 1989). El cas més espectacular és el jaciment d'Oklo que es troba al Gabon. En aquest jaciment fa uns 2.000 milions d'anys i gràcies a les condicions geoquímiques aleshores regnants, es va produir una reacció en cadena nuclear espontània similar a la que té lloc en un reactor nuclear d'aigua lleugera. El fet que aquesta reacció tingués lloc al llarg d'uns 200.000 anys i que els radionúclids presents siguin els mateixos que es troben als residus radioactius d'alta activitat, ha fet d'aquest jaciment una localitat clàssica d'estudi de migració de radionúclids a la geosfera.

Finalment cal esmentar que, a causa del gran nombre de països que utilitzen la tecnologia nuclear, els residus radioactius han esdevingut un problema internacional. Per aquest motiu, actualment es tendeix cap a la cooperació internacional. Entre els organismes que promouen programes de recerca i desenvolupament internacionals en l'àmbit de la gestió dels residus es troba l'Agència Internacional de l'Energia Atòmica,

l'Agència de l'Energia Nuclear de l'OCDE i la Comissió de les Comunitats Europees. La finalitat d'aquests programes és la racionalització dels esforços de recerca i l'establiment d'un consens internacional des del punt de vista científic sobre les metodologies i els criteris de seguretat dels emmagatzemaments.

## Bibliografia

- AMTER, S. (1989): Natural Analogues. *Eng. Geol.*, 26, 431-440.
- BENVEGNI, F., BRONDI, A. & POLIZZANO, C. (1988): *Natural analogues and evidence of long-term isolation capacity of clays occurring in Italy*. EUR 1189EN.
- BROOKINS, D.G. (1984): *Geochemical aspects of radioactive waste disposal*. Springer Verlag.
- CEC (1989): *Objectives, standards and criteria for radioactive waste disposal in the European Community*. EUR 12570 EN.
- CHAPMAN, N.A. & MC KINLEY, I.G. (1987): *The geological Disposal of Nuclear Waste*. John Wiley and Sons.
- IAEA (1977): *Site selection factors for repositories of solid high level and alpha-bearing wastes in geological formations*. Tech. Rep. Series, 177.
- ICRP (1984): *A Compilation of the Major Concepts and Quantities in use by ICRP*. ICRP Publication 42. Pergamon Press.
- ICRP (1985): *Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste*. ICRP Publication 46. Pergamon Press.