

III. La mineria de l'urani i la fabricació de concentrats

Josep Puig

1. INTRODUCCIÓ

Aquesta és la primera etapa del cicle del combustible nuclear. El mineral d'urani, que sol tenir una riquesa molt petita en urani i una gran quantitat d'impureses, ha de convertir-se en un producte amb una concentració en urani relativament alta.

Segons dades de la Junta de Energía Nuclear (JEN),¹ la llei dels minerals, que hi ha a la península, oscilla entre 0,07 per cent i 0,15 per cent (o sigui 0,7 per mil i 1,5 per mil) de contingut en urani. Avui hom considera explotable un mineral quan conté un 0,2 per cent d'urani i es pot arribar fins al 0,003 per cent. Hom concentra aquest producte fins a un 70 per cent, més o menys, de contingut en urani.

A causa dels grans volums de terra que cal remoure, no seria rendible que les mines i les fàbriques de concentrats estiguessin molt allunyades. La JEN així ho reconeix quan afirma: *«Una vez extraído, el mineral se transporta en camiones a la fábrica de concentrados que suele estar próxima a la mina.»*¹

De fet, gairebé tots els complexos minaires del món (de l'urani, evidentment) tenen les seves fàbriques de concentrats a boca de mina.

D'entrada, cal remarcar que tota mina va associada a una fàbrica de concentrats; per tant, hom no pot separar ambdós processos ja que són íntimament i estretament relacionats.

2. LA MINERIA DE L'URANI

El mineral d'urani s'extreu mitjançant les tècniques usuals en la mineria. Hi ha tres possibilitats: mines a cel obert, mines subterrànies o mines *in situ* (Annex IV).

Que les mines siguin d'un tipus o de l'altre és en funció de les característiques de la mina: profunditat del mineral, tipus de terreny, etc.

Si les mines són a cel obert, com que l'urani hi és en concentracions molt petites, cal remoure grans quantitats de terres. Hi ha mines a cel obert que tenen fins i tot una fondària de 100 o més metres, i una superfície més gran de 15 Ha.

La radioactivitat d'un mineral d'urani depèn de dos factors: a) de la quantitat d'urani en el mineral i b) del temps durant el qual l'urani ha estat en el mineral.

Si bé és cert que en un subsòl on hi ha mineral d'urani la radioactivitat a nivell de terra és lleugerament superior a la radioactivitat de fons natural en un lloc on no hi ha mineral (depèn molt de la fondària on es troba), també és cert que, mentre el mineral roman en el subsòl, la capa de material que el recobreix actua de blindatge contra les radiacions, i l'eficàcia d'aquest blindatge depèn del gruix i de la textura del material que el forma.

Així, per exemple, a Kerala (Índia) el nivell d'emissions radioactives naturals és extremadament alt en referència a les emissions radioactives naturals mitjanes. Un estudi fet l'any 1976 relaciona aquests nivells d'emissions radioactives naturals, a Kerala, amb un increment de mutacions genètiques, en especial mongolisme i deficiències mentals.²

Les emanacions de gas radó, que en forma natural, surten de la crosta de la terra, contribueixen, de fet, d'una forma no gens menyspreable a la dosi rebuda per una persona per la radiació de fons natural.³

El problema de les mines a cel obert és que en remoure la capa de terra que recobreix el mineral d'urani

i en trossejar aquest mineral, augmenten en gran manera les emissions radioactives.

L'emissió de radioactivitat està molt relacionada amb la superfície a través de la qual s'emet: així per exemple, mentre un cub d'1 cm de costat emet per cadascuna de les sis cares d'1 cm², en triturar aquest cub, com més fi tinguem el mineral, més augmentarà la superfície d'emissió.

Els contaminants radioactius més importants són: l'urani-238 i els seus descendents: el tori-234 i el tori-230, el proactini-234, el radi-226, el radó-222, el poloni-218, el poloni-214 i el poloni-210, el plom-214 i el plom-210, el bismut-214 i el bismut-210, etc. (Vegeu Annex V.)

Aquests elements es troben en forma d'aerosols, polseguera o gas. Endemés es troben en suspensió a les aigües de drenatge.

Mentre el mineral d'urani està sota terra i hom no el remou, una feble quantitat de radó es difon cap a la superfície i a l'atmosfera. Però, quan el mineral d'urani és posat en descobert, el radó s'allibera cap a l'atmosfera, on pot ser inhalat per les persones.³

Si bé és cert que les emissions de gas radó, en les mines a cel obert, no són d'una importància molt considerable, el que ja no és cert és que aquestes emissions no tenen cap efecte sobre les persones i el medi ambient. (Vegeu Annex IX.)

Un altre problema que presenten les mines a cel obert és que, en remoure la capa de material que recobreix el mineral, aquest material és abocat en qualsevol lloc proper a la mina. En ser majoritàriament materials rocosos sense vida, el fet d'abocar-los sobre la capa de terra vegetal on hi ha vida, l'elimina i inutilitza durant molts anys els terrenys afectats. Aquest problema no és exclusiu de la mineria d'urani, encara que, pels grans volums de materials que comporta, potser n'és el cas més espectacular. Cal tenir en compte que a les nostres comarques les explotacions uraníferes es volen fer en zones on hi ha molta vida vegetal, no

com als Estats Units, on les mines d'urani si situen majoritàriament en els deserts de New Mexico i Colorado.

A les mines subterrànies hi ha els mateixos problemes de radioactivitat però molt més agreujats, sobretot pel que fa referència als minaires que hi treballen. En aquest cas hom fa servir pous d'aireig amb grans i sorollosos ventiladors per renovar l'aire de l'interior de la mina. (Vegeu l'apartat referent a la ventilació.)

En ambdós casos, tant si es tracta de mines a cel obert com si són mines subterrànies, els minaires que hi treballen estan exposats no sols als perills comuns de les mines metal·líferes (ja per si mateixos prou greus) sinó també als perills de les radiacions externes i internes procedents del mineral, dels productes de desintegració del radó i de la inhalació de polseguera radioactiva. La més perillosa és la radiació interna (inhalació de gasos, aerosols i polseguera radioactiva), la qual pot arribar a produir càncer de pulmó. (Vegeu Annex XI.)

Concretament, el radó i els seus descendents (polonis, ploms i bismuts) en forma de partícules radioactives, a més d'adherir-se a les superfícies, es disposen sobre les partícules de polseguera atmosfèrica i aquestes fan de vehicle de la penetració a les vies respiratòries (les més perilloses són les de grandària compresa entre 0,2 i 0,5 microns).

A la mineria, hom intenta combatre aquest perill tot humitejant el mineral per evitar la polseguera, amb la qual cosa hom redueix la pols però, alhora, obté aigua contaminada radioactivament.

Tal com s'ha dit en la descripció del cicle del combustible nuclear, darrerament s'empra el mètode de lixiviació *in situ* per recuperar l'urani del seu mineral. Aquest mètode implica greus perills de contaminació (dels aqüífers, de les terres, etc.), ja que se sol utilitzar quan la zona uranífera és travessada per algun corrent subterrani d'aigua, el qual es fa servir de vehicle de transport de la dissolució uranífera,

3. EL TRANSPORT FINS A LA FABRICA DE CONCENTRATS

Com ja s'ha dit, el mineral d'urani, extret de les mines, ha de passar per un procés de concentració per a l'obtenció del *yellow cake*. Cada mina que s'obre no té una fàbrica de concentrats per a ella sola, sinó que, en general, hom intenta agrupar un conjunt de mines amb una o més fàbriques de concentrats per constituir els complexos minaires. Aleshores hi ha necessitat de transportar el mineral des de la mina fins a la fàbrica de concentrats.

El perill que porta associat aquest transport és que, en estar el mineral trossejat, la seva superfície ha augmentat en relació a quan era a la mina i, per tant, augmenta l'emissió de radiacions procedents de l'urani i tota la seva cadena de desintegració.

En general, aquest transport es realitza mitjançant camions o trens i com a tota protecció s'hi posa —això quan s'hi posa!— una lona cobrint el mineral transportat.

Tot això comporta un escapament de polseguera radioactiva.

4. LA FABRICACIÓ DE CONCENTRATS D'URANI

L'operació de moldre i concentrar el mineral d'urani consisteix en una sèrie de processos mecànics i químics encaminats a aconseguir un producte semirefinat de contingut majoritàriament en U_3O_8 (un òxid d'urani).

Hi ha dos tipus de processos per al tractament químic:

Processos	lixiviació àcida	bescanvi iònic
	lixiviació bàsica	extracció per dissolvent

L'ús de l'un o l'altre depèn de les característiques del mineral.

A tall d'exemple citarem el cas dels Estats Units: segons un informe fet públic el mes de maig de 1975,⁴ la primavera de l'any 1973 hi havia quinze fàbriques de concentrats tractant 22.550 Tm de mineral cada dia. A més n'hi havia vint-i-dues d'abandonades.

En aquesta data hom tractava 10.100 Tm/dia pel mètode de lixiviació àcida/extracció per dissolvent, 9.100 Tm/dia per lixiviació àcida/bescanvi iònic i 3.350 Tm/dia per lixiviació bàsica.

Des del 1948 fins al 1972, les fàbriques de concentrats han processat als Estats Units 103.078.023 Tm de mineral d'urani i han produït 243.715 Tm d' U_3O_8 .

Segons dades més recents,⁵ la fàbrica més gran de concentrats dels Estats Units té una capacitat de tractament de 7.000 Tm/dia de mineral d'urani.

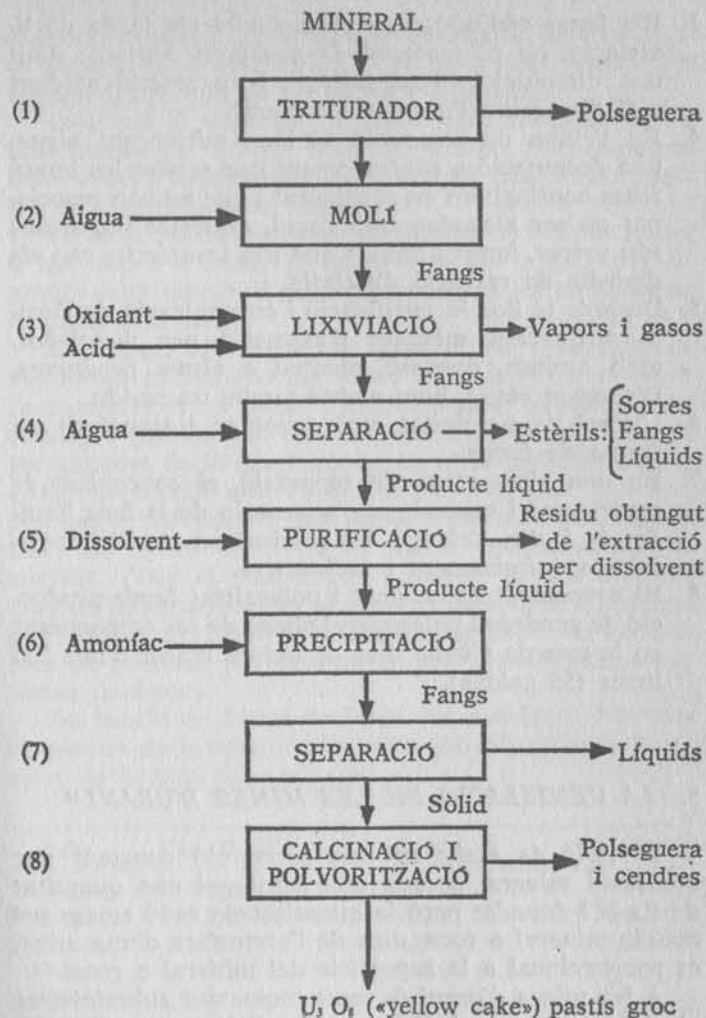
Hom pot observar que majoritàriament el tractament és mitjançant lixiviació àcida, encara que depèn, en darrer terme, de les característiques del mineral.

És per això que es donarà més èmfasi a aquest procés (la lixiviació àcida) en el transcurs de tota l'exposició.

Vegeu a l'Annex IV l'esquema d'una fàbrica de concentrats.

Descripció del procés de lixiviació mitjançant agent àcid

1. El mineral és triturat a unes dimensions donades (generalment per passar per una malla de 2,5 cm de diàmetre de forat, encara que depèn del tipus de mineral i del tractament). Per efecte de la trituració es produeix polseguera radioactiva, alliberament de radó, etc.
2. El mineral triturat passa per un molí (de barres o de boles) on és humitejat amb aigua i convertit en fang.



3. Els fangs obtinguts són transferits als tancs de lixiviació, on el material és posat en contacte amb una dissolució d'àcid sulfúric i un reactiu oxidant a fi d'extreure l'urani del mineral.
4. En l'etapa de separació té lloc, mitjançant aigua, una decantació a contracorrent que separa les impureses contingudes en el mineral i que no han reaccionat en ser atacades amb l'àcid. Aquestes impureses són sorres, fangs i líquids que són transferits cap als dipòsits de retenció d'estèrils.
5. Després té lloc la purificació i concentració de l'urani mitjançant mètodes d'extracció per dissolvent, amb amines, querosè, alcohol o altres productes. D'aquesta etapa, hom n'obté també un residu.
6. L'urani és precipitat amb amoníac i transferit en forma de fangs.
7. En una altra etapa de separació, el concentrat és centrifugat i espessit per separar-lo de la fase líquida, és a dir, s'eixuga. Es produeixen líquids contaminats químicament i radioactius.
8. El concentrat és calcinat i polvoritzat (amb producció de cendres i polseguera) abans de ser empaquetat en bosses de plàstic dins de bidons d'acer d'uns 200 litres (55 galons).

5. LA VENTILACIÓ DE LES MINES D'URANI¹²

El radó és emès en una proporció constant per qualsevol mineral o roca que contingui una quantitat de Rn-222 donada; però la quantitat de radó emesa pel mateix mineral o roca, dins de l'atmosfera d'una mina, és proporcional a la superfície del mineral o roca.

A les mines d'urani és molt important subministrar aire fresc als minaires i extreure l'aire, que s'ha contaminat amb les emanacions de radó i dels seus descendents, al més ràpidament possible. Així hom intenta de mantenir l'aire «jove», és a dir, evitar l'acumulació

de productes de desintegració del radó, especialment el plom-214, el bismut-214 i el poloni-214 —sobretot aquest últim, que és un emissor α intens.

Tret que la velocitat de l'aire sigui elevada i el volum mantingut, en els llocs de treball dels minaires, l'aire esdevé suficientment contaminat perquè no pugui ser emprat més d'una vegada.

Es molt difícil dissenyar el sistema de ventilació per a les mines d'urani, ja que no hi ha possibilitat de predir amb exactitud la importància de les emanacions de radó a la mina.

A França, el *Règlement général sur l'exploitation des mines autres que les mines de combustibles minéraux solides et les mines d'hydrocarbures exploitées par sondages* preveu que el cabal d'aire en la mina ha de ser almenys de 50 litres per segon i per persona present al lloc de treball, amb l'ambient més carregat. La *Réglementation particulière aux mines d'uranium* preveu que totes les mines subterrànies siguin ventilades per un corrent d'aire al més intens possible, ja que el cabal citat de 50 litres/segon i persona és totalment insuficient per a mantenir les concentracions de radó, en l'atmosfera de la mina, per dessota de les concentracions màximes permeses.

En funció de l'edat de l'aire, les activitats dels productes de desintegració del radó, en relació amb l'activitat de la font de radó, són:

Edat	RaA (Po-218)	RaB (Pb-214)	RaC (Bi-214)
1 min.	0,20	0,0027	0
3 min.	0,49	0,02	0
10 min.	0,897	0,14	0,016
30 min.	0,999	0,48	0,18
60 min.	1	0,76	0,5
120 min.	1	0,95	0,86
180 min.	1	0,994	0,97

Cal remarcar que és molt difícil d'avaluar l'edat del radó que hi ha present a l'atmosfera d'una mina, ja que la formació de l'anomenat «dipòsit actiu» pot començar en el si de les fissures de les roques o en zones no ventilades.

Al cap d'un temps força llarg, de l'ordre de 3 hores, el dipòsit actiu (RaA, RaB, RaC i RaC') ha arribat a un equilibri amb el radó.

Una de les tasques més importants de la ventilació en les mines d'urani és la captura, tan de pressa com sigui possible, del radó, amb la finalitat de limitar al màxim la formació del dipòsit actiu.

Hi ha dues menes de ventilació: la primària i la secundària. S'anomena circuit primari de ventilació el conjunt de pous, galeries, rampes, etc., que formen la trama de la mina, i que és emprat per a conduir l'aire als llocs on els minaires treballen i evacuar l'aire pol·luint. S'anomena ventilació secundària aquella ventilació necessària per a les pedreres i galeries en forma de «cul-de-sac» i que la ventilació primària no pot netejar.

S'empren moltes formes de ventilació primària: en llaç, en diagonal, a pressió, a depressió, etc. En la ventilació primària s'usen generalment ventiladors helicoidals, de potències compreses entre 18 i 160 CV, amb uns cabals d'aire entre 10 i 55 m³/seg. En algunes mines franceses s'arriba a un cabal de 111 m³/seg. A França solen insuflar uns cabals d'aire de pel cap baix 30 vegades el mínim reglamentat i el pes mitjà d'aire aspirat de la mina representava, l'any 1972, de 17 a 27 vegades el pes de mineral extret.

En el cas de ventilació secundària, el mètode més comú és el de la ventilació bufant en comptes del de ventilació aspirant. Els cabals solen ser d'1,5 a 2,5 m/seg. per descontaminar una zona on treballen generalment dos minaires.

Una dificultat molt important, que dona lloc a la contaminació dels circuits de ventilació, són les aigües subterrànies, que, en arribar a l'aire lliure, alliberen el radó dissolt en quantitats molt considerables.¹²

6. L'IMPACTE AMBIENTAL D'UNA FABRICA DE CONCENTRATS

Posarem els exemples de tres fàbriques de concentrats-tipus.

El primer i segon casos, referents a un procés de concentració àcid, i el tercer, referent a dos processos, un d'àcid i un d'alcalí.

* Cas I

Una fàbrica de concentrats amb una capacitat de producció de 960 Tm/any de concentrat a partir d'un mineral amb un contingut del 22 per cent d'U₃O₈.

Això vol dir que:

Produirà 960 Tm/any (= 2,63 Tm/dia) de concentrats.

Necessitarà 480.000 Tm/any (= 1.315 Tm/dia) de mineral.

Una fàbrica d'aquest tipus sol ocupar una superfície d'unes 120 Ha (300 acres), de les quals unes 100 Ha (250 acres) s'empren únicament per al sistema de retenció d'estèrils.

Consumeix $4,35 \times 10^3$ m³/dia d'aigua. Això és 4.350.000 litres/dia. A la sortida del procés, aquesta aigua conté residus sòlids i es descarrega als pous de retenció d'estèrils, on roman tot esperant la seva evaporació i filtració.

Els efluents gasosos emesos són de dos tipus: químics (entre els quals hi ha SO₂, vapors de sulfúric, òxids de nitrogen, etc.) i radioactius, sobretot en forma d'aerosols i vapors.

L'urani i els seus descendents, sobretot el tori-230 i el radi-226, procedeixen de:

- El mineral apilonat.
- El sistema de ventilació durant la trituració i la mòlta.
- L'eixugat i empaquetat del *yellow cake* (pastís groc).
- El sistema de retenció dels estèrils.

El radó-222 procedeix de:

- El mineral apilonat.
- Els tancs de lixiviació.
- Els sistemes de reducció del mineral exhaurit.
- El sistema de retenció d'estèrils.

Els efluents líquids procedeixen sobretot de les etapes 4 i 5 del procés de lixiviació àcida. En una planta d'aquestes dimensions se'n produeixen unes 4.300 tones/dia, de les quals unes 1.600 Tm/dia són residus sòlids en forma de fangs. Aquests fangs contenen, aproximadament, un 85 per cent de la radioactivitat inicial del mineral (deguda a l'urani i als seus descendents).

En els residus líquids també hi ha dissolts metalls pesats i altres impureses químiques.

Per descomptat, les quantitats de radionúclids i d'impureses químiques dissoltes en els residus líquids varien molt segons el mineral d'on s'extreu l'urani.

Resum:

- Mineral tractat cada dia: 1.315 Tm.
- Concentrat d'urani produït cada dia: 2,63 Tm.
- Residus sòlids produïts cada dia: 1.600 Tm.
- Residus líquids produïts cada dia: 2.700 Tm.

Aquesta considerable quantitat de materials estèrils produïts s'emmagatzema en els anomenats pous de retenció d'estèrils, tot esperant que en desaparegui l'aigua (per evaporació i filtració) i s'eixugin i donin lloc a uns estèrils sòlids.

Els pous de retenció d'estèrils acostumen a ser dics de terra (i a vegades d'estèrils) amb nuclis d'ar-

gila, i es construeixen en determinats llocs aprofitant les característiques del terreny (desnivells, basses, etc.).

* Cas II⁶

Suposant una fàbrica que tracti 600.000 Tm/any de mineral i produeixi 1.140 Tm/any de *yellow cake* pel procés de lixiviació àcida.

La dita fàbrica dedicaria una superfície d'un 100 Ha a la retenció dels estèrils produïts, ja que donaria unes 2.500 Tm/dia d'efluents líquids, dels quals unes 1.800 Tm/dia són fangs.

Els dipòsits de retenció d'estèrils són fets aprofitant les característiques locals de l'àrea. Tenen un nucli d'argila amb la intenció d'evitar les filtracions.

En aquest cas es calculaven les filtracions en 14 m³/segon a través dels dics de retenció.

Els fangs constitueixen del 15 al 60 per cent del pes dels estèrils sòlids i tenen unes concentracions de radioactivitat de 3 a 20 vegades més grans que les de les sorres. Endemés, contenen les 3/4 parts de la radioactivitat dels estèrils.

* Cas III⁴

Es un estudi comparatiu de dos models de fàbriques de concentrats, una per lixiviació àcida i una altra per lixiviació bàsica.

Tracta 2.000 Tm/dia de mineral del 0,2 per cent d'U₃O₈, la qual cosa representa 4 Tm/dia de concentrat.

A l'any tractaria 730.000 Tm de mineral i produiria 1.460 Tm de concentrat.

- Composició i quantitat de material radioactiu processat per la planta citada.

Suposant que l'urani 238 està en equilibri secular amb els seus 13 fills, la concentració de cadascun d'ells

és de 515 $\mu\text{Ci/Tm}$ de mineral. O sia, que una tona de mineral (amb un 2 per cent d' U_3O_8) té aproximadament 515 microcuries (μCi) d'activitat deguts a cada membre de la cadena de desintegració, amb un total aproximat de 7.200 μCi . Això vol dir que cada dia entra a la fàbrica de concentrats mineral amb 14,4 curies d'activitat. D'aquests, 12,3 curies van a parar als estèrils i només 2,2 curies van a parar a l'urani recuperat. En resum, un 85 per cent passa als estèrils i només un 15 per cent a l'urani.

— Distribució dels materials radioactius en la dita planta.

a) Lixiviació àcida.

Del tori i del radi continguts originàriament en el mineral, un 50 per cent (tori) i entre un 0,4 i un 4,7 per cent (radi) es dissolen en la lixiviació àcida i passen majoritàriament als estèrils.

Aquest procés recupera el 90 per cent de l'urani contingut en el mineral. El *yellow cake* conté un 5 per cent del tori total (representa $1,4 \times 10^{-2} \mu\text{Ci/gr}$) i un 0,2 per cent del radi total ($5,5 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/gr}$).

El pes total de les deixalles que acompanyen les sorres i els fangs als pous de retenció d'estèrils és un 150 per cent del pes del mineral processat. Això vol dir unes 3.000 Tm d'estèrils cada dia, 1.095.000 Tm d'estèrils per any. En altres paraules, que per cada tona de mineral processat es produeix més d'una tona de sòlids i més d'una tona de líquids.

b) Lixiviació bàsica.

Aquest procés recupera el 93 per cent de l'urani contingut en el mineral. El *yellow cake* conté un 1,8 per cent del radi que hi havia al mineral (representa $5,5 \times 10^{-3} \mu\text{Ci/gr}$).

El pes total de les deixalles produïdes és el 105 per cent del pes del mineral processat. Això significa 2.100 Tm d'estèrils el dia, 766.500 Tm d'estèrils l'any. O si-

gui, que per cada tona de mineral processat es produeix una tona de sòlids i més d'una tona de líquids.

— Polseguera radioactiva.

El mineral és transportat cap a les fàbriques de concentrats mitjançant camions o trens i a la fàbrica és abocat formant apilonaments. Aleshores amb pales mecàniques o bulldòzers, és empès cap a l'entrada del triturador. Aquestes operacions, que es fan a l'aire lliure, impliquen la formació de polseguera.

Endemés, a les fàbriques de concentrats hi ha molts processos que donen lloc a la formació de polseguera: trituració, sedassació, trasllat, assecat i empaquetat del *yellow cake*, etc. A les operacions de mòlta, lixiviació i purificació, com que són etapes humides, se'n produeix menys.

— Efluents líquids.

El consum de productes químics d'una fàbrica de concentració és el que ve donat a la Taula 4 de l'Annex IV.

Les fàbriques de concentrats generen grans quantitats d'efluents àcids o bàsics que contenen altes concentracions de productes químics, endemés d'elements radioactius (vegeu Taula 5 de l'Annex IV).

Aquests efluents tenen un pH de 2-3 si la lixiviació és àcida i un pH al voltant de 10 si és bàsica.

Contenen U-238, U-234, Ra-226, Th-230, Th-234, Pb-210, Bi-210, Po-210, Rn-222, endemés de clorurs, sulfats, nitrats, carbonats i bicarbonats, metalls pesats, etc.

Aquests efluents se solen disposar en els pous de retenció d'estèrils esperant que l'evaporació i/o la filtració n'elimini el líquid.

A llarg i no tan llarg termini poden ocasionar problemes de contaminació radioactiva de rius i aqüífers.

A la fàbrica americana de la Mines Development (Edgemont), si bé tots els estèrils són emmagatzemats,

L'any 1966 hi havia filtracions riu avall: en el riu Cot-ton hom va mesurar 32×10^{-9} $\mu\text{Ci/ml}$ de radi i 58×10^{-9} $\mu\text{Ci/ml}$ d'urani. També riu amunt, a causa de la contaminació d'alguns aqüífers, hom mesurava 2×10^{-9} $\mu\text{Ci/ml}$ de radi.

De fet, la filtració només posposa el problema de la pol·lució de l'aigua, ja que els radionúclids i els elements químics emigraran a través del sòl i contaminaran els aqüífers i els rius.

Els mecanismes d'emigració dels elements i compostos químics (siguin o no radioactius) a través del sòl són molt mal coneguts, ja que hom necessita períodes de temps molt llargs per a fer experiències.

Hom confia que els mateixos estèrils (els fangs sobretot), en dipositar-se al fons dels estanys de retenció, taponaran els possibles intersticis del terreny i evitaran les filtracions.

El procés de lixiviació bàsica, en donar estèrils més fins, realitza el procés de bloqueig més de pressa que la lixiviació àcida. Els estèrils de base argilosa també actuen més de pressa que els de base sorrenca. Però, segons el terreny on s'assentin les basses de retenció, es pot donar el cas que els líquids que aquestes retenen dissolguin el material del fons i augmenti molt la filtració.

— Distribució del material radioactiu segons la grandària de partícula.

L'urani no està pas distribuït uniformement ni en el mineral ni en els estèrils.

Les anàlisis de la pols d'una fàbrica de concentrats mostren que les concentracions d'urani, tori i radi augmenten quan disminueix la grandària de les partícules des de 119 fins a 5 microns.

El radi i els isòtops emissors de radiació γ es concentren en els estèrils fangosos, igual que altres productes de desintegració, de manera que els fangs esdevenen molt més perillosos que les sorres.

7. ELS ESTÈRILS

Generalment, i en un terme mitjà, per cada tona de mineral processat es genera més d'una tona d'estèrils, que s'emmagatzema en els anomenats dipòsits (pous o basses) de retenció.

Els estèrils consisteixen en silicats (sorres) i productes de rebuig (líquids, fangs, sòlids) procedents de les diferents operacions realitzades durant el procés de concentració.

Els estèrils contenen pràcticament tot el tori i el radi que hi havia al mineral abans d'extreure'n l'urani, endemés de tots els seus productes de desintegració. Com que ambdós tenen períodes de semidesintegració molt llargs (el tori 83.000 anys i el radi 1.620 anys) representen una font de radioactivitat pràcticament permanent, que pot alliberar-se en forma de partícules, per efecte de l'erosió dels vents i de les pluges, cap a l'atmosfera i cap a les aigües. Com que el radi és el pare del radó, també seran una font quasi permanent d'alliberament de gas radioactiu.

Mentre una fàbrica de concentrats està funcionant, els estèrils estan saturats d'aigua (ja que els efluent sòlids i líquids s'emmagatzemen conjuntament), cosa que fa minvar l'escapament de gas radó. Segons càlculs teòrics, saturant d'aigua els estèrils secs es podrien reduir les emissions de radó en un factor 25.

Els estèrils són guardats en dipòsits o basses de retenció, esperant que l'aigua desaparegui per evaporació i filtració. (Fig. 6, Annex IV.)

Els estèrils, amb un 10 per cent d'humitat, solen pesar 2 Tm/m³.

La superfície dels apilonaments d'estèrils no és uniforme, fet que dona lloc a una àmplia variació del nivell de radioactivitat a la superfície dels apilonaments.

Una fàbrica de concentrats en funcionament produeix moltes tones de materials estèrils, que són emmagatzemats en uns dipòsits de retenció, construïts, tot

aprofitant desnivells del terreny, amb murs de contenció (dics) en un o més costats. Aquests dics, moltes vegades, són fets amb material provinent, a la vegada, d'estèrils ja eixuts (secs).

Una vegada els estèrils són secs, si no són estabilitzats i recoberts estaran sotmesos a l'erosió del vent i de l'aigua.

Amb un recobriment de terra d'un gruix de 3 metres per sobre dels estèrils, només s'alliberaria un 15 per cent del radó que s'escaparia si no hi hagués el recobriment. (Fig. 7 de l'Annex IV.)

Cal, tanmateix, una vigilància continuada, ja que els efectes de l'erosió poden anar desgastant la capa de recobriment i posar al descobert altra vegada els estèrils, amb la consegüent possibilitat d'emissió de radó i d'alliberament de partícules radioactives.

Normalment, però, els estèrils són recoberts amb una minsa capa de sorra. Això fa que els apilonaments d'estèrils continuïn emetent radó amb una proporció 500 vegades més gran que l'emissió natural.⁵

Encara que els increments de radioactivitat en el medi ambient, que hom pot atribuir als estèrils i al radó, són petits, cal dir que *mai no acaben* i que poden tenir efectes sobre la salut de les persones que viuen a les zones on hi hagi apilonaments d'estèrils.

D'acord amb l'informe de l'American Physical Society de l'any 1977, referent al cicle del combustible nuclear i a la gestió de les deixalles radioactives, el perill d'ingestió de radioactivitat des dels estèrils arriba a ser més gran que el perill d'ingestió des de les deixalles d'alta activitat.⁵

Per altra banda, la radiació γ dels estèrils és de baixa intensitat i la majoria dels fotons són poc energètics. Algunes mesures realitzades als Estats Units amb dosímetres termoluminescents donen entre 0,2 i 1,1 mrem/hora.⁶

A Tuba City (USA), s'han mesurat concentracions de radi-226 a l'aire a gairebé mig quilòmetre de distància dels apilonaments d'estèrils, de 2 vegades la con-

centració màxima permesa (= MPC). I això durant uns quants dies seguits. Si el tori i el radi estiguessin en equilibri secular, això voldria dir que la concentració de tori seria aproximadament 200 vegades la concentració màxima permesa (la MPC per al tori és 100 vegades més petita que per al radi).

A mitja milla de Grand Junction, també als Estats Units, la mitjana de concentracions mesurades durant les quatre estacions, pel que fa al radi, era 1,9 pCi/l (la IRPC recomana 1 pCi/l per a exposicions continuades de la població en general).

L'any 1950, la conca del riu Colorado fou contaminada amb radi, ja que s'hi alliberaven estèrils líquids i sòlids des de les basses de retenció.

L'any 1977, dues fàbriques de concentrats van alliberar efluentes tractats cap a rius, ja que tenien unes àrees de retenció i evaporació d'estèrils insuficients.⁴ Eren les fàbriques americanes d'Uravan (Union Carbide) i Moab (Atlas).

— Els estèrils als Estats Units.⁶

En la majoria de minerals uranífers que hi ha als Estats Units, la distribució de radioactivitat s'apropa a les condicions d'equilibri secular. Això vol dir que 1 curie d'urani-238 va acompanyat d'1 curie de cada producte de desintegració de la seva cadena.

La cadena principal és la de l'U-238. La cadena de l'U-235 només hi contribueix en un 5 per cent. (Annex V.)

En el procés de concentració, per recuperar l'urani del mineral, es produeixen els estèrils, que contenen un 97 per cent dels productes de desintegració de l'urani i aproximadament un 4 per cent de l'urani contingut originàriament en el mineral.

Assumint que l'urani estigui en equilibri secular amb els seus descendents, un mineral d'urani amb el 0,2 per cent d'U₃O₈ conté 0,00056 gr de radi-226 per tona de mineral. Com que, pràcticament, tot aquest radi passa als

estèrils, donarà lloc a una activitat de 560 pCi/gr d'estèrils.

Als Estats Units s'han mesurat valors compresos entre 100 i 1.000 pCi, encara que els valors més freqüents eren 700-800 pCi.

Les quantitats d'estèrils que s'han anat generant als Estats Units i les previsions que allà tenen fetes es donen a continuació, citant-ne les fonts:

Any 1970	80 × 10 ⁶ Tm, ocupant una superfície de més de 850 Ha. ⁶
Any 1971	90 × 10 ⁶ Tm. ⁷
Any 1972	100 × 10 ⁶ Tm. ⁴
Any 1978	140 × 10 ⁶ Tm. ³
Any 2000	1.000 × 10 ⁶ Tm (és una previsió). ⁵

Suposant que la concentració mitjana de radi-226 en els estèrils és aproximadament de 700 pCi/gr,⁶ i sabent que 1 curie són 10¹² pCi, es poden calcular les activitats dels estèrils degudes al radi:

$$80 \times 10^6 \text{ Tm} \times \frac{10^6 \text{ gr}}{1 \text{ Tm}} \times 700 \frac{\text{pCi}}{\text{gr}} = 56 \times 10^{15} \text{ pCi} = 56.000 \text{ Ci de radi-226.}$$

Fent el mateix amb les quantitats d'estèrils dels anys 71, 72, 78 i 2000, s'obtenen les activitats corresponents: 63.000 Ci (any 1971), 70.000 Ci (1972), 98.000 Ci (1978) i 700.000 Ci (any 2000).

Suposant que l'emanació mitjana del radó-222 en els estèrils és d'aproximadament 600 pCi/m² seg,⁶ es pot calcular l'emanació de radó per la superfície ocupada pels estèrils l'any 1970:

$$850 \text{ Ha} \times \frac{10^4 \text{ m}^2}{1 \text{ Ha}} \times 600 \frac{\text{pCi}}{\text{m}^2 \text{ seg}} \times \frac{31536 \times 10^3 \text{ seg}}{1 \text{ any}} = 160.834 \text{ Ci/any.}$$

Cal tenir en compte que l'emanació mitjana natural de radó als Estats Units és d'1 pCi/m² seg, o sia 600 vegades més petita que la deguda als apilonaments d'estèrils.

La gran fàbrica de concentrats que la Kerr-McGee Nuclear Corporation té a la zona de Grants, New Mexico, i que processa 7.000 Tm de mineral d'urani cada dia, tenia a l'octubre de 1978, 23 milions de tones d'estèrils, ocupant una superfície de 265 acres (107,2455 Ha). Això representa:

$$23 \times 10^6 \text{ Tm} \times \frac{10^6 \text{ gr}}{1 \text{ Tm}} \times 700 \text{ pCi/gr} = 16.100 \text{ Ci de radi-226.}$$

$$107,2455 \text{ Ha} \times 600 \frac{\text{pCi}}{\text{m}^2 \text{ seg}} \times \frac{31.536 \times 10^3 \text{ seg}}{1 \text{ any}} = 20.292,56 \text{ Ci/any.}$$

Per a reduir l'alliberament de radó, des de la superfície dels apilonaments d'estèrils, suposant que es recobriessin les 107 Ha amb una capa de sorra compactada de 3 metres de gruix —això reduiria les emanacions al 15 per cent del seu valor sense recobriment, segons Fig. 7 de l'Annex IV—, es necessitarien:

$$M = V \times \rho = S \times h \times \rho = 107 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ Tm/m}^3 = 642 \times 10^4 \text{ Tm de sorra (se suposa una densitat de 2 gr/cm}^3 \text{ pel que fa a la sorra compactada).}$$

O sia que per a recobrir els apilonaments d'estèrils d'aquella fàbrica de concentrats calen 6.420.000 Tm de sorra, i això només reduiria les emissions de radó en un 85 per cent.

(Hom pot veure al final de l'Annex IV algunes dades d'interès sobre la dita fàbrica de concentrats d'urani.)

8. EL GAS RADÓ

— El radó-222 a la mineria de l'urani.

El radó-222 és un gas químicament inert, que es produeix per la desintegració del radi-226, a la cadena de desintegració de l'U-238, i es difon entre els intersticis de les roques i des de les roques cap a l'atmosfera.

La importància del radó ve donada pel fet que la seva desintegració dona lloc als anomenats «fills del radó»: RaA, RaB, RaC, RaC', RaD, alguns dels quals són emissors α .

Isòtop	Període	Radiació principal	Energia
Rn-222	3,825 dies	α	5,5 MeV
Po-218 (RaA)	3,05 minuts	α	5,99 MeV
Pb-214 (RaB)	26,8 minuts	β, γ	0,6 MeV *
Bi-214 (RaC)	19,7 minuts	β, γ	1 MeV *
Po-214 (RaC')	164 μ seg.	α	7,68 MeV
Pb-210 (RaD)	22 anys	β, γ	Baixa *
Bi-210	5 dies	β	1,2 MeV *
Po-210	138 dies	α	5,3 MeV

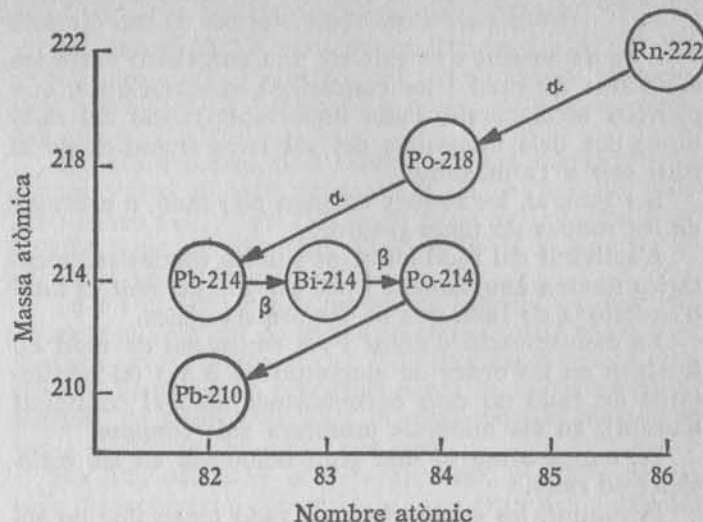
* Màxima energia de la radiació β més intensa.

Els gas radó, format al si de la roca uranífera, pot comportar-se de dues maneres:

- o bé roman lligat a la roca i s'allibera quan la roca es trosseja,
- o bé es difon a l'aire que hi ha a les fissures de la roca i pot passar cap a l'atmosfera.

El gas radó també pot estar dissolt en l'aigua. A 20° C i en equilibri, la concentració de radó a l'aigua és 0,23 vegades la concentració de radó a l'aire. Per això, quan les aigües arriben a l'aire lliure, alliberen el radó que porten dissolt.

RELACIÓ MASSA ATÒMICA/NOMBRE ATÒMIC



Una vegada a l'atmosfera, el radó es desintegra i dona lloc als seus fills, que són tots sòlids.

Aquestes partícules radioactives es desplacen i són capturades per les polsegures i els aerosols de l'aire.

El conjunt de totes aquestes partícules (àtoms lliures, àtoms fixats en suspensió a l'aire) formen un aerosol radioactiu que és sempre present a totes les mines, ja siguin subterrànies o a cel obert.

D'aquí ve la importància de l'eliminació del radó a les mines subterrànies i a les mines a cel obert profundes.

El fenomen d'alliberament del radó és una funció complexa de:

- L'edat geològica de l'urani del mineral.
- El tipus de mineralogia del mineral.
- Les característiques (porositat, permeabilitat, etcètera) dels materials rocosos on hi ha mineral uranífer.

d) Les condicions climàtiques (temperatura, humitat, etc).

S'ha demostrat que existeix una correlació entre les emissions de radó i les condicions atmosfèriques, que provoca la dispersió d'una important fracció del radó lliure des dels intersticis del sòl i les fractures de la roca cap a l'atmosfera.

En general, les roques emanen poc radó, a excepció de les roques de tipus granític.

L'activitat del radó alliberat per les roques sedimentàries fluctua àmpliament i pot excedir de molt el total d'emissions de radó des de les roques ígnies.

La concentració d'urani i les emissions de radó difereixen en un ordre de magnitud de 2 a 3 (el percentatge de radó no està correlacionat amb el contingut d'urani), en els minerals uranífers més comuns.

La temperatura té una gran influència en les emissions de radó.

Resumint, les emanacions de radó tenen lloc no solament en els tipus de sòl porosos i en roques ordinàries, sinó que també n'hi ha en terrenys d'estructures cristallines. Les roques granítiques són les que contribueixen més a les emanacions de radó, mentre que les calcàries són les que ho fan menys. L'activitat deguda al radó alliberat per maresos, conglomerats i granits és molt més gran que no la de tots els altres tipus de roca junts.¹¹

— El radó-222 a les fàbriques de concentrats.

A les fàbriques de concentració del mineral d'urani, el radó és emès des de:

- a) Els apilonaments del mineral d'urani.
- b) Els sistemes de ventilació en la mòlta del mineral.
- c) Els respiradors dels tancs de lixiviació,
- d) Els sistemes de retenció d'estèrils.

No hi ha cap sistema per a prevenir les emissions de radó des de les fàbriques de concentrats.⁶

Les emissions de radó varien en un factor 10 per l'efecte del clima (velocitat del vent, pressió atmosfèrica, estabilitat de l'atmosfera, règim de pluges, nevades, etc.).

El radó emanarà dels estèrils durant milers d'anys (Annex VI) si els seus progenitors (el seu pare, el radi-226 i el seu avi, el tori-230), amb vides mitjanes de 1.620 i 83.000 anys, no són eliminats o si no es fa una barreira per evitar la seva difusió.

No tot el radó contingut en els estèrils s'escapa. Es defineix la longitud de relaxació com aquella en la qual s'escapa un 63 per cent del radó contingut en els estèrils. La longitud de relaxació per a la sorra es d'1,15 metres. Es necessiten més de tres metres d'espessor per a eliminar-la en un 85 per cent.

Els fills del radó, com ja hem dit, produïts per la seva desintegració, són sòlids que es disposen sobre les partícules de pols que hi ha en suspensió a l'atmosfera.

Fins i tot si els apilonaments d'estèrils es recobreixen amb gruixos de terra des de 15 cm fins a 60 cm, per prevenir l'erosió del vent i de les pluges, l'emanació de radó i la seva difusió donen lloc a una perpètua font de gas radioactiu i partícules sòlides filles d'ell mateix.⁶

En general, com que el vent arrossega el radó i els seus descendents, no s'arriba mai a un equilibri secular.⁴ Així, mentre sobre els apilonaments predominen el radó i els membres ascendents, a gran distància de la pila els membres de vida curta han decaïgut i hi predominen el plom-210, el bismut-210 i el poloni-210, amb vides més llargues.

Les concentracions individuals dels fills del radó: els polonis (Po-218 i Po-210), els ploms (Pb-214 i Pb-210), el bismut (Bi-214), van, en alguns mesuraments, de 2 a 100.000 vegades la concentració de radi-226.⁴

Prediccions teòriques i evidències experimentals indiquen que les persones de la població en general po-

den rebre molt alts nivells d'exposició radioactiva al pulmó causada pels alliberaments de radó des dels apilonaments d'estèrils de les fàbriques de concentrats.⁶

Per exemple, als apilonaments de Grand Junction s'han mesurat 3 rem/any en llocs residencials a sota-vent. Als apilonaments de Salt Lake City s'ha mesurat 1 rem/any.⁶

Les emissions de radó a llarg termini, o sia quan la fàbrica de concentrats s'ha clausurat, des dels apilonaments d'estèrils, és de 2 a 20 vegades més gran que quan la fàbrica funcionava. Com que la població vora la fàbrica sol ser petita mentre està funcionant, la dosi total sobre la població és baixa, cosa que no passarà quan la fàbrica tanqui i hi vagi a viure gent a les rodalies. Això ja ha passat a Salt Lake i a Grand Junction (USA).

9. ELS DESCENDENTS DEL RADÓ I ELS SEUS EFECTES

El radó-222 és un gas noble que no roman als pulmons i que no entra en íntim contacte amb els teixits pulmonars. En el cas de la desintegració del radó, l'energia de la partícula α emesa s'absorbiria a l'àrea no crítica del pulmó.

En canvi, els seus fills, especialment el poloni-218 i el poloni-210, que no són pas gasos nobles, tenen propietats físiques i químiques que fan que es dipositin a la capa mucosa que cobreix l'epiteli bronquial del pulmó, i produeixin taxes de dosi elevades en aquelles regions del pulmó on els tumors es poden desenrotllar amb més facilitat.

El radó és un radionúclid que ha causat un significat nombre de decessos entre treballadors de les mines d'urani. (Vegeu Annex XI.)

L'efecte biològic degut a una excessiva exposició al

radó pren la forma de càncer de pulmó, considerat fatal en un, gairebé, 100 per cent dels casos.

La dosi de radiació produïda pel radó és funció de l'estat d'equilibri entre ell mateix i els seus descendents en el moment de l'exposició.

Per exemple, suposem unes emanacions de radó que proveguin d'uns apilonaments d'estèrils i que bufa un vent de 5 m/seg. És probable que la dosi a la vora dels apilonaments sigui baixa, perquè l'emanació del radó no conté descendents seus (o si en conté, en conté pocs). Quan el vent ha transportat el radó a la distància de 1 a 2 Km (haurà tardat de 3 a 6 minuts), la concentració de poloni-218 haurà crescut i la dosi rebuda per les persones exposades en aquesta zona s'haurà incrementat força.

Quan un àtom de radó es desintegra dona lloc a un àtom de poloni-218. Aquest àtom de poloni existeix en forma de ió, és a dir, té una càrrega elèctrica. Això fa que sigui molt susceptible de ser absorbit per les partícules de polseguera (aerosols). En el cas d'inhalació, el ió té més probabilitat de poder ser capturat pel pulmó que no si s'hagués adherit a una partícula de pols.

La dosi de radiació deguda als fills del radó se suposa que és més funció de la fracció d'aquests fills que roman en forma de ió que no pas d'aquells absorbits per les partícules.

Sembla que la part més crítica, en el pulmó, són els nuclis de les cèl·lules basals de l'epiteli bronquial.

10. LA PROBLEMÀTICA DELS ESTÈRILS PRODUÏTS A LA MINERIA DE L'URANI

Fins fa relativament poc temps, ningú no donava importància als alliberaments de gas radó deguts a la mineria de l'urani, especialment les emissions des dels apilonaments d'estèrils. Tant, que en la dècada dels anys

50 s'autoritzava la utilització dels estèrils com a material de construcció.

Abans de l'any 1975, als Estats Units, l'AEC (Comissió d'Energia Atòmica) era qui s'encarregava de totes les qüestions relatives a l'energia nuclear, tant de promoure-la com de donar llicències.

Un exemple de la poca vigilància amb què l'AEC tractava els problemes de la mineria de l'urani el tenim en el fet que, durant el mes de setembre de 1954, autoritzà la venda d'estèrils del dipòsit de Salt Lake per a emprar-los com a material de construcció.

Avui, a la zona on hi havia els dipòsits de retenció d'estèrils d'una fàbrica de concentrats, que va funcionar des de 1951 fins a 1964, hi ha la ciutat de Salt Lake, amb més de mig milió d'habitants.⁵

A Grand Junction (Colorado), els aparentment inofensius estèrils foren emprats en la construcció d'unes 5.000 cases. Evidentment, ningú no va advertir les empreses constructores ni els propietaris dels perills que corrien. Però, al cap d'un temps, el Departament de Salut de l'Estat de Colorado va calcular que «els pulmons dels ocupants, en el 10 per cent de les 5.000 cases, és com si haguessin estat exposats a l'equivalent de 553 exploracions de tòrax amb raigs-X per any».^{7 i 8}

Lyman J. Olsen, director de la Divisió de Salut de l'Estat d'Utah, manifestà davant d'una comissió del Congrés nord-americà, l'estiu del 1978: «Milers de persones viuen i treballen a les proximitats dels apilaments d'estèrils i estan exposades a la polseguera radioactiva, el gas radó, als altres productes de la desintegració del radó i a la radiació γ ».⁵

Segons l'Atomic Energy Act, l'autoritat reguladora de la NRC comença quan l'urani és extret del seu mineral. Però com que els estèrils associats a les fàbriques de concentració no es contempen com a materials que tinguin un risc significatiu per a la salut, no es féu cap previsió especial a l'Atomic Energy Act per regular-los directament. El control de la NRC americana sobre els estèrils és indirecte: la ubicació (el lloc i la forma) dels

estèrils és una condició imposada per tal de donar llicències per a obrir fàbriques de concentrats.³

A l'estiu de l'any 1975, el Washington-Based Public Interest Research Group va apressar la NRC i l'EPA (Environmental Protection Agency) perquè notifiquessin als 200 treballadors de les mines i fàbriques de concentrats de New Mexico i a les seves famílies «que la seva aigua per a beure contenia elevades concentracions de radi i altres substàncies radioactives». L'aigua potable havia estat contaminada a causa del tractament no adequat de l'aigua utilitzada per les companyies minaires, la Kerr-McGee i la United Nuclear entre d'altres.⁹

A la tardor de l'any 1977, el representant al Congrés per l'Estat de Tennessy, Clifford Allen, va acusar els Consells de Seguretat i d'Autorització de la NRC perquè havien «infravalorat grollerament les emissions radioactives, especialment aquelles procedents de les fases de mineria i fabricació de concentrats del cicle del combustible nuclear».⁷

Clifford Allen, en la seva intervenció davant del Congrés, el 29 de novembre de 1977, va fer referència a un memoràndum de la NRC que havia preparat el Dr. Walter H. Jordan, durant molts anys Assistant Director del Laboratori Nacional d'Oak Ridge.

El dit informe porta la data de 21 de setembre de 1977; va dirigit a James R. Yore, Chairman de l'Atomic Safety and Licensing Board Panel; i tracta del tema: *Errors en la 10 CFR 51.20,* taula 5-3*.

En un paràgraf de l'informe es pot llegir:

«...Una part de la taula fa referència a efluents radioactius. La radioactivitat alliberada ve donada en curies per a cada núclid important i és consignada formant part de la quantitat total de radioactivitat emesa pel funcionament d'un reactor de referència cada any (RRY: Reference Reactor Year)... Els valors do-

* 10 CFR 51.20 significa el títol núm. 10 del *Code of Federal Regulations*, part 51.20.

nats fan una constatació conservadora de la quantitat total de radioactivitat alliberada com a gas, líquid o sòlid pel funcionament d'un reactor de referència durant un any, com a conseqüència dels treballs de mineria i concentració de l'urani necessaris per a donar combustible a una planta nuclear durant un any (AFR: Annual Fuel Requirement)... La taula dona 74,5 curies de radó-222, deguts principalment a les operacions de la fàbrica de concentrats, i exclou la contribució de la mineria. Aquesta taula és errònia. El valor correcte ha de ser 100.000 (cent mil!) vegades més gran. Les bases tècniques per a justificar la conclusió a la qual he arribat seran discutides més endavant en aquest informe, però recolzen en el fet que els apilonaments d'estèrils continuen emetent radó durant milers d'anys.»

Com hom pot veure, el doctor Jordan diu que les emissions de radó-222 cap a l'atmosfera i el medi ambient són 100.000 vegades més grans que les previstes en el *Code of Federal Regulations*.

I l'informe acabava així:

«...Ja que el radó continua escapant-se dels apilonaments d'estèrils durant un temps molt llarg, la dosi total en la població sobre les generacions futures podria arribar a ser molt gran. Les morts en futures generacions, degudes a càncer i a mutacions genètiques, a causa del radó alliberat per extreure i concentrar l'urani necessari per a fer funcionar un reactor durant un any, poden ser centenars.»

Encara van haver de passar alguns mesos perquè la NRC reconegués el seu error. Finalment, el 2 de maig de 1978, Victor Galinsky, Comissionat de la NRC, reconeixia que:

«...l'abast dels alliberaments radioactius de l'anomenada fase inicial del cicle del combustible nuclear ha estat persistentment subestimat en els informes ofi-

cials, fins fa molt poc. L'any 1975, un grup d'interès públic va fer una petició a la Comissió Reguladora perquè corregís la taula d'alliberaments feta l'any 1974, ja que, deien, la NRC oblidava els alliberaments a la mineria i subestimava els alliberaments a llarg termini, associats amb el gas radó emès des dels apilonaments d'estèrils. Avui en dia, la Comissió Reguladora està d'acord que la dita taula és incorrecta i està posant els mitjans per a fer noves estimacions.»

També manifestava que:

«...els apilonaments d'estèrils continuen alliberant gas radó durant uns 100.000 anys...» i que «...arriben a ser la principal contribució, referent a l'exposició radioactiva, de tot el cicle del combustible nuclear».³

11. LA INCIDÈNCIA DE LES NORMES DE RADIOPROTECCIÓ SOBRE ELS COSTOS EN LA FASE INICIAL DEL CICLE

Des que, a la dècada dels anys 50, investigadors de la Federal Water Pollution Control Agency (FWPCA) descobriren que els estèrils i altres materials de rebuig del complex minaire de Durango (USA) havien contaminat greument el riu Animas, del qual les ciutats de Farmington i Aztec es proveeixen d'aigua potable, que molts camperols de la zona empraven per regar; i des que es van constatar els efectes perniciosos del radó i els seus descendents i la perillositat radiològica de la mineria de l'urani (vegeu Annex XI); i com a conseqüència de la pressió feta per l'opinió pública mundial i per científics i tècnics independents, les administracions nacionals i internacionals han anat fent més estrictes les normes referents a les exposicions radioactives en la mineria de l'urani i dels seus productes de rebuig.

Com a conseqüència d'això, s'ha entrat en conflicte amb les corporacions explotadores de l'urani, les quals de seguida varen reaccionar.

No han faltat veus afirmant que:

«Unes normes molt severes, més enllà d'uns certs límits, implicarien el risc de fer no rendible l'explotació, i les reserves mundials es reduirien a només aquelles explotables a cel obert.»¹⁰

«L'augment del cost de producció del concentrat d'urani degut al cost afegit per la introducció d'un millor aireig i del control sobre la deposició dels afluents, pot afectar la mineria. Per tant, les previsions fetes sobre les reserves poden quedar invalidades.»¹⁰

Més recentment, quan la NRC americana ha reconegut el gran impacte que els estèrils representen i ha començat a afrontar el problema, també han sortit veus clamant en contra de les mesures preses als Estats Units.

Així, George L. Gleason, sots-president executiu de l'American Nuclear Energy Council parlava, fa poc, de la indústria de l'urani tot fent recomanacions, a una comissió del Congrés americà, referents a les fàbriques de concentrats i als apilonaments d'estèrils avui existents als Estats Units (sobretot en estats com New Mexico), perquè «fossin eximits d'haver de complir amb els criteris de la NRC, ja que l'aplicació retroactiva d'aquests criteris podria donar lloc a un crac econòmic en els processos de concentració de mineral i a un trencament de la producció d'urani.»⁵

Evidentment, tota aquesta problemàtica ve de retruc al nostre país quan empreses transnacionals, com la Chevron i l'Exxon, vénen a explotar les reserves d'urani que s'hi han descobert.

12. LA TOXICITAT DE L'URANI

L'urani és un dels elements més tòxics que existeixen. Per sort, s'absorbeix només lleugerament a través dels canals gastrointestinals o la pell.

Quan l'urani penetra dins del cos humà, l'única forma estable en què es presenta en els mecanismes d'oxidació-reducció és en forma de ió uranil hexavalent (UO_2^{++}).

Aquest ió, a la sang o als fluids extracel·lulars, és transportat parcialment com a complex proteínic, parcialment com a complex bicarbonat (a la sang, aproximadament un 40 per cent de l'urani hi seria en forma de complex proteínic i un 60 per cent en forma de bicarbonat).

El ió uranil reacciona amb les proteïnes per mitjà dels grups carboxils lliures.

Quan l'urani entra en el flux sanguini, s'acumula principalment en dos llocs: als ossos i als ronyons (i per tant a l'orina). Aquesta acumulació es fa en forma molt ràpida. En una hora, el 30 per cent es diposita als ossos, el 15 per cent als ronyons i el 20 per cent a l'orina. Al cap d'un mes la major part de l'urani s'ha acumulat als ossos, mentre que el ronyó només conté de l'1 al 2 per cent de la dosi original i la resta és a l'orina.

La gran afinitat de l'urani amb els ossos és deguda a la seva competència amb el calci a les superfícies mineralitzades dels ossos.

La part d'urani que no queda retinuda als ossos de l'esquelet va cap a fora del cos humà mitjançant els tubs urinaris. Les cèl·lules epitelials dels conductes renals es moren a causa de l'urani; rebenten i tots els líquids cel·lulars passen a l'orina.

L'urani també actua sobre determinats mecanismes enzimàtics inhibint les reaccions d'oxidació de la dextrosa (fosforilació).

En resum, quan l'urani, en forma de ió uranil, penetra dins del cos, és transportat per la sang com a com-

plex proteínic i com a complex bicarbonat. Una gran proporció es diposita als ossos desplaçant els ions de calci de la seva superfície. La major part, però, és excretat per l'orina. Això no obstant, part de l'urani reacciona amb les cèl·lules dels tubs renals, les danya i les mata.¹³

NOTES BIBLIOGRAFQUES

1. T. SAN SEGUNDO, F. RODRIGO (Departamento de Seguridad Nuclear, JEN), «La Seguridad Nuclear en la Extracción y Transformación de Minerales Uraníferos», dins «Energía Nuclear», núm. 117, gener-febrer 1979.
2. N. KOCHUPILLAI, J. C. NERMA, et alt. «Down's Syndrome and Related Abnormalities in an Area of High Background Radiation in Coastal of Kerala», dins «Nature», vol. 262, juliol 1976, pp. 60-61. Citat a «Rodale's Environmental Action Bulletin», vol. 7, núm. 22, octubre 1976.
- 2 bis. F. X. BOSCH. *Incidència de neoplàsies del sistema hematopoiètic en una regió rica en mineral d'urani*. XI Congrés de Metges i Biòlegs de Llengua Catalana, Reus 1980, 25-28 setembre.
3. Victor GALINSKY (Commissioner, U.S. Nuclear Regulatory Commission), «NRC Regulation of the Uranium Milling Industry: problems and prospects», «Pacific Southwest Minerals and Energy Conference», Anaheim, California, maig 2, 1978.
4. M. B. SEARS, R. E. BLANCO, R. C. DUHLMAN, G. S. HILL, A. D. RYON, J. P. WITHERSPOON, «Correlation of Radioactive Waste Treatment Costs and the Environmental Impact of Waste Effluents in the Nuclear Fuel Cycle for Use in Establishing "As Low As Practicable" Guides-Milling of Uranium Ores». ORNL-TM-4903, vol. 1 and 2, maig 1975.
5. L. J. CARTER, «Uranium Mill Tailings: Congress Addresses a Long-Neglected Problem», dins «Science», vol. 202, 13 octubre 1978.
6. «Environmental Analysis of the Uranium Fuel Cycle. Part I, Fuel Supply», U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation Programs EPA-520/9-73-003-B, octubre 1973.
7. Anna GYORGY & Friends, *No Nukes, Everyone's Guide to Nuclear Power*, South End Press, Boston, 1979.
8. H. P. METZGER, «Dear Sir: Your House is Built on Ra-

- dioactive Uranium Waste», dins «New York Times Magazine», 31 octobre 1971.
9. Public Interest Research Group (PIRG) Press Release, «PIRG Urges Federal Action to Warn New Mexico Uranium Workers of Radioactive Drinking Water», 17 agost 1975.
 10. F. E. MCGUINLEY, Y. FRANÇOIS, J. PRADEL, P. ZETTWOOG, D. D. BELL, R. C. J. DUTOIT, «Effects of Radiological and Waste Management Legislative Controls on Uranium Costs and Ore Reserves», «Panel on Radon in Uranium Mining» (Session 1), Washington D.C., 4-7 setembre 1973.
 11. P. M. C. BARRETTO, «Radon-222 Emanation Characteristics of Rocks and Minerals», «Panel on Radon in Uranium Mining» (Session 3), Washington D.C., 4-7 setembre 1973.
 12. G. R. YOURT, Y. FRANÇOIS, J. PRADEL, P. ZETTWOOG, M. DUMA, R. L. ROCK, «Technical problems of uranium mine ventilation», «Panel on Radon in Uranium Mining» (Session 2), Washington D.C., 4-7 setembre 1973.
 13. H. C. HODGE, *Pharmacological tools in the study of the mechanism of Uranium poisoning*, Rochester, New York, 1950.