

Clausura de las minas de uranio de la Haba (Badajoz) y Saelices El Chico (Salamanca)

F. Lozano y J. Ruiz Sánchez

La clausura de las minas de uranio de La Haba y de Saelices el Chico (provincias de Badajoz y Salamanca, respectivamente) son dos ejemplos de restauración medioambiental de explotaciones mineras de uranio y de desmantelamiento de las plantas de fabricación de concentrados de uranio. Se describen las actividades llevadas a cabo con el objetivo de garantizar que, una vez finalizadas, las condiciones medioambientales y radiológicas sean lo más parecidas posible a las existentes antes de la explotación, así como la situación actual de ambos emplazamientos con las actuaciones en curso y/o previstas.

The closure of the uranium mines of La Haba and Saelices el Chico (Badajoz y Salamanca provinces, respectively) are two examples of environmental restoration of mining uranium and dismantling of uranium concentrates plants. Activities carried out are described with the aim of ensuring that, once completed, environmental and radiological conditions are as similar as possible to the existing pre-exploitation, as well as the current situation in both sites with actions current and / or planned.

La clausura de las minas de uranio de La Haba, en la provincia de Badajoz, y de Saelices el Chico, en la provincia de Salamanca, constituyen sendos ejemplos de restauración medioambiental de explotaciones mineras de uranio y de desmantelamiento de las plantas de fabricación de concentrados de uranio. La primera está completamente finalizada con la declaración de clausura de agosto de 2004, estando el emplazamiento restaurado en fase de vigilancia y control a largo plazo, mientras que la segunda aún está en curso, con instalaciones pendientes de desmantelamiento.

Los trabajos de clausura han tenido, y tienen, como último objetivo garantizar que, una vez finalizados, las condiciones medioambientales y radiológicas de los emplazamientos sean lo más parecidas a las existentes antes de la explotación.

Los diferentes proyectos llevados a cabo para para este fin se han ajustado a la normativa legal vigente en cada momento, desarrollándose todas las actividades según lo requerido en las correspondientes autorizaciones (condiciones e instrucciones técnicas asociadas), siguiendo procedimientos específicos y observándose las medidas de protección radiológica y de seguridad establecidas. A través de programas de garantía de calidad se supervisó la ejecución de las mismas,

llevándose a cabo ensayos geotécnicos, topográficos, radiométricos y radiológicos.

Hay que señalar que a estas explotaciones no sólo les aplica la legislación propia de carácter minero y medioambiental, sino también lo que especifica al respecto el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR), aunque no sean instalaciones radiactivas, y todo lo relativo al almacenamiento de sus residuos radiactivos generados. Todo ello confiere a la clausura de este tipo de instalaciones un licenciamiento complejo y específico en el que están implicados diversos organismos estatales y autonómicos.

Como norma general, por los volúmenes generados y la baja actividad específica de los residuos, las soluciones para su gestión se basan en la estabilización de los estériles en los propios emplazamientos, mediante el acondicionamiento y remodelación de las estructuras en configuraciones estables y su aislamiento con capas de protección medioambiental.

La financiación de los trabajos de clausura y de la vigilancia postclausura (La Haba) corresponde a Enusa (a través de las provisiones propias dotadas para este fin), como titular de las instalaciones, y a Enresa (a través de fondos para las funciones derivadas de su creación), como entidad pública para la gestión de residuos radiactivos, relativas al acondicionamiento de los



FERNANDO LOZANO MARTÍNEZ

Jefe del Gabinete Técnico Medioambiental ENUSA

Ingeniero de Minas por la ETSI de Minas de Madrid, cuya actividad profesional en ENUSA se inicia con la exploración e investigación de yacimientos de uranio, pasando posteriormente a ocuparse de la explotación y Dirección de las EE.MM. de La Haba (Badajoz), así como de su clausura. Entre otros ha desempeñado puestos como el de Gerente de Proyectos Medioambientales, y responsable de las aplicaciones energéticas derivadas de residuos.



JAVIER RUIZ SÁNCHEZ

Responsable facultativo y director técnico del Centro Medioambiental de Saelices el Chico. ENUSA

Geólogo. La mayor parte de su actividad profesional la ha desarrollado en exploración y minería del uranio en las EE. MM. de La Haba y Saelices, ocupando, entre otros, los puestos de Jefe de proyectos de exploración, de planificación y control de leyes, de investigación y planificación minera y de garantía de calidad y oficina técnica.

estériles originados en la minería y fabricación de concentrados de uranio, en porcentajes proporcionales a sus responsabilidades a lo largo del tiempo.

MINAS DE URANIO DE LA HABA (Badajoz)

Las explotaciones mineras de uranio de La Haba, estaban situadas en el cuadrante noreste de la provincia de Badajoz, a unos 120 km de la capital y unos 25 km de Don Benito, en el término municipal de La Haba y estuvieron en explotación entre los años 1966 a 1990.

La mineralización uranífera a base de minerales secundarios, (principalmente autunitas, torbernita), se encontraba asociada a zonas fracturadas, tapizando cualquier plano de discontinuidad dentro del paquete de materiales metasedimentarios en las que se encajaba el yacimiento.

Dentro del periodo de explotación indicado anteriormente, cabe distinguir dos fases. Una primera (1966 a 1981), en la que la Junta de Energía Nuclear (JEN), desarrolló las actividades propias de investigación del yacimiento, así como su explotación minera, construyendo una planta de tratamiento (Planta Lobo-G), para el estudio y puesta a punto de un proceso experimental para el tratamiento de minerales de uranio de naturaleza arcillosa, que sólo estuvo en funcionamiento en una etapa de pruebas.

Una segunda fase (1981-1990), en la que Enusa se hizo cargo de las instalaciones mineras, continuando con las actividades de explotación minera y la puesta a punto y operación de la planta de tratamiento.

El proceso de tratamiento de los minerales en dicha planta, consistía en dos líneas de proceso: una para los minerales de mayor ley (contenido superior a 1.000 ppm U_3O_8), seguido de un proceso de trituración, clasificación, lixiviación dinámica, lavado en contracorriente, intercambio iónico con

resinas en pulpa, elución de resinas, extracción con disolventes, precipitación, secado y envasado, con una etapa de neutralización de pulpas y efluentes antes de su almacenamiento en diques de estériles. Una segunda línea de proceso estaba constituida por la lixiviación estática en eras y cubículos, donde eran aplicados y regados con soluciones ácidas los minerales marginales (con contenidos entre 1.000 y 200 ppm U_3O_8), obteniéndose unas soluciones fértiles que eran incorporadas al proceso, en la sección de extracción con disolventes. Durante los años de operación de la planta por parte de Enusa, se produjeron un total de 190,8 t de concentrados de uranio con una ley de 86,22 % en U_3O_8 .

Tomada la decisión de finalizar la producción, Enusa puso en marcha a finales de 1989, un programa integral de clausura que abarcaba tanto a la restauración del espacio natural afectado por las labores mineras, como al desmantelamiento de las instalaciones de tratamiento de minerales.

Situación del emplazamiento al inicio de la clausura

Como resultado de las actividades mineras, quedaron al descubierto huecos de mina, así como apilamientos de estériles de mina en escombreras y lodos mineralúrgicos en diques, aparte de las propias instalaciones industriales de fabricación de concentrados.

Del conjunto de estas estructuras, el volumen de residuos de naturaleza radiactiva, de origen natural y baja actividad específica, se puede resumir en:

- Estériles de mina almacenados en escombreras: 8,6 Mt.
- Minerales marginales agotados en eras de lixiviación estática: 363.667 t.
- Lodos mineralúrgicos depositados en diques: 88.284 t
- Instalaciones de proceso y estructuras auxiliares

Programa de clausura

El programa de clausura diseñado se dividió en tres bloques de actuaciones:

- Restauración de las explotaciones mineras.
- Desmantelamiento de la Planta Lobo-G.
- Programa de Vigilancia Postclausura.

Restauración de las explotaciones mineras

Las actividades de restauración de las zonas afectadas por las actividades mineras (huecos de corta y escombreras) fueron llevadas a cabo entre finales de 1989 hasta finales de 1995.

Los trabajos estuvieron dirigidos a conseguir la restitución geomorfológica del espacio natural afectado hasta llevarlo a un relieve final similar al topográfico original, eliminando el impacto visual al haberse rellenado los antiguos huecos de explotación con los estériles de mina acopiados en las escombreras más próximas. Las restantes escombreras se desmontaron parcialmente, remodelando sus cubreras y taludes hasta valores no superiores al 20 %, procediendo así a su acondicionamiento y estabilización.

Para conseguir la recuperación hidráulica, se reprodujo en la fase de restauración de huecos, la situación de las primitivas vaguadas naturales, construyéndose además nuevas canalizaciones perimetrales para mejorar la circulación de las aguas de escorrentía a través de las zonas restauradas, y así atenuar los procesos erosivos.

Por último, en todas las superficies restauradas, se realizó una revegetación e integración paisajística de todo el conjunto en el entorno, mediante la siembra en una primera fase, de especies autóctonas herbáceas y arbustivas, (centeno, veza, retamas, etc.), y posteriormente, en una segunda fase, la plantación de especies arbóreas como la encina, alcornoque y pino, cubriendo un total de unas 50 ha (Figura 1).

Desmantelamiento de la planta Lobo-G

Las actividades de desmantelamiento de la Planta Lobo-G, clausura de eras de lixiviación estática y dique de estériles, realizadas conjuntamente, se desarrollaron entre principios de 1996 y mediados de 1997.

Por lo que respecta a las primeras, en primer lugar, se procedió a la limpieza de equipos, desconexionado, desmontaje, troceado y achatarra-



Figura 1. Vista de la corta y escombrera antes y después de su restauración (La Haba).

miento de los mismos, seguido de la demolición de la obra civil, para ubicar definitivamente los materiales resultantes en un recinto de confinamiento próximo, habilitado al efecto, situado dentro del vaso del dique de estériles de proceso.

Las antiguas eras de lixiviación estática de minerales marginales agotados, fueron transportadas, depositadas y compactadas según tongadas de 30 cm. de espesor, sobre los estériles de proceso en el dique de estériles.

Una vez depositados los materiales en el dique, se procedió a realizar una capa de cubierta de al menos 3 m de espesor, a base de materiales de escombrera de características geotécnicas y radiológicas adecuadas, para conseguir estructuras suficientemente estables frente a la erosión y flujos de radón (Figura 2).

Las características básicas de dicha cubierta fueron:

- Planta final poligonal del conjunto reconfigurado (dique de estériles), con taludes máximos de 5/1, en los paramentos externos y pendiente en cumbre del 2 %.
- Espesor mínimo de 3 m en cumbre de la cubierta del dique, de acuerdo a los criterios de diseño de emanación de radón ($1 \text{ Bq/m}^2 \times \text{s}^{-1}$). Este recubrimiento fue realizado en tongadas de 50 cm de espesor siendo compactados mediante rodillo vibrante.
- Diseño de cubiertas con pendiente en sentido noroeste-sudeste, con objeto de reducir la influencia de las aguas de escorrentía y recoger estas aguas a través de un canal perimetral a pie de dique.
- El recinto de confinamiento situado en el vaso del dique de estériles, en el que se ubicaron los materiales de desmantelamiento y demolición de las instalaciones de la planta, fue igualmente cubierto siguiendo idénticos controles a los aplicados en la construcción de capas de cubierta para los materiales de proceso mineralúrgico.

- Construcción de protecciones de refuerzo con materiales de raña en todas las superficies del conjunto estabilizado, especialmente las más sensibles a la erosión (limatesas, limahoyas, pie de taludes), y en particular en su talud SE, en el que se dispuso una capa de raña, construida en dos tongadas de 15 cm de espesor cada una, y compactada con rodillo vibrante, ya que esta zona debería soportar, por la pendiente de cumbre, una mayor circulación de aguas de escorrentía.
- Revegetación de todas las superficies del conjunto restaurado a base de gramíneas y herbáceas.

Programa de vigilancia postclausura

Una vez finalizadas las actuaciones de clausura, en enero de 1998 dio comienzo el periodo de vigilancia y control que se extendió hasta junio de 2004. En este periodo se desarrollaron tres programas sobre el emplazamiento restaurado y el exterior al mismo.

Estos programas y su alcance fueron:

- Programa de Vigilancia Radiológica sobre el Emplazamiento (PVRE), que incluía:
 - Determinación de la radiación gamma ambiental mediante dosímetros termoluminiscentes.
 - Medida de la concentración de radón en el ambiente, mediante dosímetros pasivos de trazas.
 - Medidas de la exhalación de radón en terrenos.
- Programa de Vigilancia y Control sobre las Aguas Subterráneas (PVCAS), que incluía:
 - Control de las aguas subterráneas en 14 sondeos, determinándose parámetros físicos (nivel freático, conductividad, etc.), químicos (iones y elementos traza), y radiológicos (radionucleidos y actividades alfa y beta).
- Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA), en el que

se analizaba tanto aire, aguas superficiales y subterráneas (pozos), en puntos situados en los límites del emplazamiento y en el exterior del mismo. Las determinaciones realizadas en este programa, fueron:

- Determinación de actividad alfa total en filtros, radionucleidos, concentraciones ambientales de radón, y mediciones de radiación gamma ambiental).

Adicionalmente a estos programas de vigilancia radiológica, fue llevado a cabo un plan de inspecciones para verificar la estabilización de las actuaciones realizadas.

Una vez cubierto el programa de vigilancia postclausura y verificado el cumplimiento de los criterios con que fue diseñada la clausura, con fecha 2 de agosto de 2004, fue emitida la declaración de clausura del emplazamiento restaurado de la planta Lobo-G en La Haba (Badajoz). Actualmente se lleva a cabo el programa institucional de vigilancia a largo plazo, financiado por Enusa y Enresa, hasta que se determine la entidad oficial responsable de misma.

MINAS DE URANIO DE Saelices EL CHICO (Salamanca)

Las explotaciones mineras de uranio de Mina Fe, situadas al oeste de la provincia de Salamanca, a unos 90 km de la capital y a unos 10 km de Ciudad Rodrigo, en los términos municipales de Saelices el Chico y Carpio de Azaba, estuvieron en explotación entre los años 1976 y 2000. En esta fecha, debido a los bajos precios del metal, se decidió la paralización de la producción.

La mineralización uranífera (pechblenda y óxidos negros), junto con carbonatos y sulfuros de hierro (pirita), rellenaba fracturas y brechas de los materiales pizarrosos del yacimiento.

A lo largo del periodo indicado Enusa extrajo, mediante minería a cielo abierto, más de 80 Mt de roca, de las que 12 Mt fueron de mineral, con una

ley media de 650 ppm de U_3O_8 . El tratamiento mineralúrgico se realizó mediante disolución del uranio por vía ácida en la planta Elefante hasta 1993, basada únicamente en técnicas de lixiviación estática y, posteriormente, en la planta Quercus, con utilización preferente de técnicas de lixiviación dinámica. La producción final acumulada fue de 5.730 t de concentrados de uranio (diuranato amónico).



Figura 2. Vista del dique de estériles antes y después de su clausura (La Haba).

Tomada la decisión de finalizar la producción, Enusa puso en marcha en enero de 2001 un programa integral de clausura que abarcaba la restauración del espacio natural afectado por las labores mineras y el desmantelamiento de las fábricas de concentrado de uranio.

Situación del emplazamiento al inicio de la clausura

Las actividades mineras efectuadas dejaron al descubierto huecos, escombreras, diques, etc., aparte de las propias instalaciones industriales de fabricación de concentrados, generando un importante volumen de residuos de naturaleza radiactiva, de origen natural y baja actividad específica, estando afectada, en mayor o menor grado, una amplia superficie.

Entre estos residuos cabe destacar los siguientes:

- Estériles de mina almacenados en escombreras (unos 35 Mm³).
- Minerales agotados apilados en eras de lixiviación estática (más de 4 Mm³).
- Lodos mineralúrgicos residuales del proceso de lixiviación depositados en diques (más de 1 Mm³).
- Instalaciones de proceso y estructuras auxiliares.

Además, existía un volumen muy importante de aguas ácidas (más de 2,7 Mm³), embalsado en los huecos mineros, diques y balsas, procedentes de los drenajes ácidos de mina, siendo necesario su acondicionamiento previo antes del vertido controlado a cauces públicos.

Programa de clausura

El programa de clausura diseñado se dividió en tres proyectos, independientes por su naturaleza y estructuras implicadas:

- Desmantelamiento de la planta Elefante.
- Restauración de las explotaciones mineras.
- Desmantelamiento de la planta Quercus.

A continuación se resume el conjunto de actividades llevadas a cabo en cada uno de ellos y su situación actual.

Proyecto de desmantelamiento de la planta Elefante

La planta Elefante constaba de dos naves, que ocupaban una superficie de unos 650 m², conteniendo las distintas secciones de proceso y el almacén de concentrados, y estaba rodeada de las eras de minerales que, por lixiviación estática, generaban las soluciones ácidas para la recuperación del uranio durante el proceso mineralúrgico.



Figura 3. Aspecto y esquema de la multicapa de protección (Saelices).

El proyecto se ejecutó entre enero de 2001 y junio de 2004 y comprendió el desmantelamiento de las instalaciones industriales de proceso de la planta y la reconfiguración *in situ* de las eras de minerales agotados y diques de lodos.

Por lo que respecta a las primeras, se procedió a la limpieza de equipos, al desmontaje, troceado y achatarramiento de los mismos y a la demolición de la obra civil, para enterrar todo, posteriormente, en un recinto de confinamiento próximo.

Las antiguas eras de lixiviación estática (33 en total, con más de 7 Mt de minerales agotados, apilados en forma troncopiramidal, con taludes próximos al 75 %) fueron remodeladas mediante su extendido y perfilado de taludes. El resultado final, después de remover casi 4 Mt de material, fue un nuevo relieve, más suave, con una pendiente máxima del 20 %. La superficie remodelada abarcó 56 hectáreas frente a las 24 hectáreas originales, quedando enterrado el recinto de confinamiento y los tres diques de lodos de proceso de la planta bajo las eras.

Siguiendo el esquema tradicional en este tipo de rehabilitación, todo el conjunto se cubrió posteriormente con una multicapa de protección radiológica y medioambiental de 2,3 m de espesor, asegurando así el aislamiento y confinamiento del mismo. Está formada, de abajo a arriba, por 0,90 m de material arcilloso (arcosas), para minimizar la infiltración de las aguas de lluvia y atenuar la exhalación de gas radón; 0,90 m de material de escollera (estéril de mina seleccionado, de baja ley), para evitar la erosión de la capa anterior; y 0,50 m de tierra vegetal, para asegurar la implantación de especies herbáceas y arbustivas adecuadas (*ray-grass*, centeno y retama) y reforzar la acción de las dos capas anteriores. Los espesores son los apropiados para cumplir con los requisitos establecidos para atenuar el flujo de radón de los minerales agotados infrayacentes (capa

de arcosa) y servir para la protección requerida (capas restantes). En total se depositaron casi 3 Mt (Figura 3).

Desde enero de 2006 se desarrolla el correspondiente programa de vigilancia y control de las aguas subterráneas y de estabilidad de las estructuras para el periodo de cumplimiento del desmantelamiento, sin incidencias reseñables (Figura 4).

Proyecto de restauración de las explotaciones mineras

La explotación minera dejó al descubierto unos huecos mineros con más de 15 Mm³ (incluyendo 2,7 Mm³ de aguas ácidas embalsadas), y unas escombreras, con más de 30 Mm³ de estériles almacenados, siendo el área total afectada de unas 230 ha.

El proyecto de restauración se inició en julio de 2004 y finalizó en mayo de 2008. Las actividades de restauración llevadas a cabo incluyeron diversas actuaciones para lograr la restitución geomorfológica del espacio natural afectado por las labores mineras, su recuperación hidráulica y la revegetación e integración paisajística de todo el conjunto en el entorno, así como la gestión de las aguas.

De todas ellas, la primera es la de mayor impacto visual, al haberse rellenado los antiguos huecos de explotación con los estériles procedentes de las escombreras consideradas más críticas por sus características (situación, impacto radiológico, etc.). Las restantes se desmontaron parcialmente, remodelando sus cunbreras y taludes hasta valores no superiores al 20 %, procediendo, así, a su acondicionamiento y estabilización. El volumen total movido fue de más de 20 Mm³.

Al igual que en el caso anterior, sobre la superficie restaurada de los huecos y las escombreras reconfiguradas se dispuso una multicapa de protección radiológica y medioambiental, con idénticos fines y similares materiales constituyentes, si bien el espesor fue menor (casi 1 m en total, con unos 30 cm por capa), debido a la diferente na-



Figura 4. Grupo de eras Elefante antes de la remodelación (diciembre-2000) y en junio-2014 (Saelices).

turaliza radiológica de los materiales a cubrir (estériles de mina en lugar de minerales agotados).

La recuperación hidráulica se consiguió con la reconstrucción de las primitivas vaguadas naturales, protegiendo sus fondos con material de escollera. Además se construyeron nuevas canalizaciones para mejorar la circulación y drenaje de las aguas de escorrentía, así como algunos diques menores para el almacenamiento temporal de las mismas.

La revegetación se efectuó mediante enmiendas orgánicas y minerales para acondicionar el suelo, plantándose especies autóctonas herbáceas y arbustivas (centeno, veza, *ray-grass* y retama), como en el caso anterior, y arbóreas (encinas y pinos, sólo en las zonas ocupadas anteriormente por las escombreras cargadas y sin capas de protección). Se cubrieron unas 250 ha. El resultado final de la rehabilitación ha sido un relieve muy parecido al topográfico original (Figura 5).

A la vez que se realizó el movimiento de tierras, se procedió a la construcción y/o acondicionamiento de canales de derivación de las aguas pluviales, así como a la recogida, trasvase y almacenamiento de aguas afectadas para su tratamiento y posterior vertido controlado. Este proceso continúa actualmente, como se explica más adelante.

Está en curso el correspondiente programa de vigilancia y control de las aguas subterráneas y de estabilidad de las estructuras para el periodo de cumplimiento de la restauración, sin incidencias reseñables.

Proyecto de desmantelamiento de la planta quercus

La planta Quercus comenzó a funcionar en 1993 y estuvo en operación hasta 2002. Incluye las instalaciones industriales, situadas en la parcela de proceso (casi 40 ha), la era de lixiviación estática (8 ha), con sus minerales agotados, y el dique para el almacenamiento de los lodos mineralúrgicos, con una capacidad de embalse 2,1 hm³.

Desde julio de 2003 se encuentra en cese definitivo de explotación. En ju-

lio de 2005 se presentó una solicitud inicial de autorización de desmantelamiento, aunque quedó en suspenso durante unos años debido a la subida de precios del uranio, mientras se estudiaba un posible reinicio de la explotación. En septiembre de 2015 se presentará una revisión de la solicitud, que incorporará las modificaciones que la entrada en vigor del R.D. 102/2014, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, ha introducido en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas. En el mismo se establece un nuevo proceso de licenciamiento del desmantelamiento de los almacenamientos definitivos de residuos radiactivos, que aplica a las instalaciones a desmantelar, requiriendo una solicitud de autorización de desmantelamiento y cierre, y posterior declaración de cierre, en lugar de la clausura, estando pendiente el desarrollo del nuevo marco regulador.

El proceso de desmantelamiento de la planta está condicionado por

los drenajes ácidos existentes en mina, ya que en este momento es necesario mantener operativa la mayor parte de las infraestructuras de recogida, almacenamiento y tratamiento de aguas, hasta que su calidad permita la derivación directa a cauces públicos. Ello hace que sea necesario abordarlo por fases (Figura 6).

Durante la primera fase se procederá al desmantelamiento de las instalaciones industriales del proceso mineralúrgico

(incluida una de las dos secciones actuales de acondicionamiento de efluentes), de las instalaciones de la antigua sección de intercambio iónico, y de la era de lixiviación estática (minerales agotados y tortas procedentes de la neutralización de efluentes). Se construirá un recinto de confinamiento colindante a la era de lixiviación en el que se depositarán los residuos procedentes del desmantelamiento de las instalaciones de proceso y que quedará cubierto por el extendido de la era y, posteriormente, por la multicapa de protección, siguiendo el esquema explicado anteriormente.

Permanecerán sin desmantelar, y plenamente operativos hasta una siguiente fase, el dique de estériles de proceso (*tailings*), la otra planta de tratamiento de aguas y las balsas de almacenamiento de aguas de mayor capacidad, llevándose a cabo las actividades necesarias para su eliminación, vía vertido a cauces públicos. También se mantendrán las edificaciones situadas fuera de la parcela de proceso (oficinas, almacenes, laboratorios, etc.), así como



Figura 5. Aspecto de dos zonas mineras restauradas antiguo hueco de explotación y escombrera de estériles completamente cargada. Situación en mayo-2004 y en junio-2014 (Saelices).



Figura 6. Planta Quercus instalaciones industriales de proceso y era de lixiviación estática (Saelices)



Figura 7. Zonas para ensayos piloto con tecnosoles en humedal (dique de recogida de aguas) y suelos (suelos degradados de escombrera cargada) (Saelices).

otras infraestructuras que aporten valor añadido a la finca, todas ellas fuera del control regulador por corresponder a actividades exentas.

En la actualidad, y hasta que comience el desmantelamiento, se desarrolla un programa de vigilancia y mantenimiento, sin incidencias destacables.

Situación actual. Drenajes ácidos en mina

La ejecución de los diferentes programas de vigilancia ha puesto de manifiesto que se han alcanzado las condiciones radiológicas y medioambientales fijadas para el desmantelamiento y la restauración efectuados, con excepción de la calidad de las aguas. Ello se debe, fundamentalmente y como se ha señalado, a la existencia de drenajes ácidos en mina, producidos por la oxidación de la pirita de las pizarras expuestas del yacimiento y la presencia de agua, lo que provoca la lixiviación de los metales contenidos en las mismas (Fe, Mn y U, sobre todo). Este proceso es bastante frecuente, también, en otro tipo de explotaciones mineras (metálicas, carbón o pizarras) con presencia de sulfuros.

Por esta razón, es preciso recoger y eliminar las aguas contaminadas que se producen (unos 500.000 m³ al año, en promedio). En este momento, la eliminación se hace por métodos activos, mediante tratamiento químico (neutralización y descontaminación) en dos plantas de acondicionamiento de

efluentes, generándose unos lodos que hay que gestionar como residuos.

Con objeto de atajar al máximo el problema, y no continuar de modo indefinido con este tipo de tratamiento, con el consiguiente coste económico, es preciso buscar soluciones basadas en métodos pasivos que no precisen mantenimiento, actuando directamente sobre las causas. En este sentido, se están llevando a cabo ensayos piloto de aplicación de suelos artificiales (*tecnosoles*) en el emplazamiento (Figura 7).

Los tecnosoles se preparan a medida, esto es, se diseñan y fabrican en cada caso con la composición y propiedades que requiere cada sistema, situación y zona impactada: con capacidad de neutralización, de tampón, con adsorbentes, con componentes reductores, con otros que aumenten las condiciones de fertilidad para facilitar y mejorar las labores de revegetación e integración paisajística, etc. Se fabrican a partir de materiales residuales orgánicos e inorgánicos, no tóxicos ni peligrosos, y son capaces de realizar funciones ambientales y productivas de modo similar a los suelos naturales. La aplicación al terreno se puede hacer en forma de lechos, capas o barreras, creando nuevos suelos y/o construyendo humedales reactivos. En nuestro caso se están ensayando en una zona con suelo muy degradado y en un humedal.

Esta técnica, aunque es innovadora y relativamente reciente, ha confir-

mado su resultado satisfactorio en la recuperación de importantes medios afectados por este tipo de labores mineras, habiendo transcurrido ya periodos aceptables de tiempo: escombreras de la mina de lignito de As Pontes (La Coruña); escombreras, cortas y aguas hiperácidas de la mina de sulfuros de Touro (La Coruña); suelos del valle del río Guadamar contaminados por la rotura de la presa de Aznalcóllar (Sevilla); escombreras de algunas minas de la faja pirítica de Huelva y de Portugal; etc. Si los ensayos son positivos, se procedería a aplicar a gran escala, esperando conseguir a medio plazo que las aguas generadas en el emplazamiento tengan la calidad suficiente para no requerir su recogida, almacenamiento, tratamiento y vertido, tal y como se realiza ahora.

En paralelo, y también como medidas experimentales o complementarias, se están llevando a cabo otras actuaciones, como el extendido de enmiendas orgánicas (espumas de carbonatación de azucareras), utilizándolas como agentes neutralizantes en zonas puntuales del emplazamiento, y algunas obras de impermeabilización y drenajes en vaguadas, con objeto de segregar las aguas de escorrentía para evitar que entren en contacto con aguas contaminadas y puedan derivarse directamente al río.

Si las actuaciones en curso surten el efecto esperado, se podrá lograr la calidad de las aguas y abordar, entonces, las fases finales del desmantelamiento, para concluir la clausura de las instalaciones. En ese momento se solicitará la declaración de cierre de las instalaciones radiactivas afectadas de acuerdo al nuevo marco regulador.

BIBLIOGRAFÍA

- Ruiz, J.; Criado, M.; Carretero, S.; Bordonaba, M.; Artieda, J. I. (1.997): "La producción de concentrados de uranio en España. Las explotaciones mineras de ENUSA en Ciudad Rodrigo (Salamanca)". Rocas y Minerales, n° 304; pp. 66-82, Madrid.
- Ruiz, J.; Criado, M.; Carretero, S.; Bordonaba, M.; Artieda, J. I. (1.997): "Las explotaciones mineras de ENUSA en Saelices el Chico (Ciudad Rodrigo, Salamanca)". Revista de la Sociedad Nuclear de España, n° 169; pp. 15-21, Madrid.
- Criado, M.; Ruiz, J.; Bustillo, M. (2.005): "Actividades de restauración minera en las explotaciones de uranio de Mina Fe (Ciudad Rodrigo, Salamanca)". Rocas y Minerales, n° 404; pp. 32-45, Madrid.
- Arévalo, R.; Criado, M.; Ruiz, J. (2009): "Proyecto de restauración y clausura del Centro de ENUSA en Saelices el Chico (Salamanca)". Revista ALFA - Consejo de Seguridad Nuclear n° 5; pp. 41-47, Madrid. ■