

## REPORTAJE

# Proyecto de restauración y clausura del centro de Enusa en Saelices el Chico (Salamanca)

› Rosario Arévalo Sánchez,  
Marcial Criado Martín  
y Javier Ruiz Sánchez-Porro  
Técnicos del Centro  
Medioambiental de Enusa  
en Ciudad Rodrigo

Con un presupuesto que supera los 86 millones de euros, cofinanciados entre Enusa Industrias Avanzadas y la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa), el proyecto de restauración y clausura del centro que Enusa posee en Saelices el Chico, en Salamanca, es el mayor proyecto de restauración de todas las instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear de nuestro país y uno de los mayores dentro del área minera tanto en España como en la Unión Europea.

Con la ejecución del proyecto se ha conseguido el desmantelamiento de las instalaciones industriales y la recuperación geomorfológica, hidráulica y ambiental de unas 300 hectáreas de terreno afectado por la actividad minera, moviendo para ello 24 millones de m<sup>3</sup> de tierras.

Las explotaciones mineras de uranio de Mina Fe están situadas al oeste de la provincia de Salamanca, a unos 90 km de la capital y a unos

10 km de Ciudad Rodrigo (figura 1). Las mineralizaciones uraníferas se localizan en metasedimentos pizarrosos del Precámbrico superior, muy fracturados. Los minerales de uranio rellenan brechas de falla y filoncillos de potencia y continuidad variables, sin una dirección dominante. Son, principalmente, pechblenda y óxidos negros, con diversos secundarios (uranopilita y torbernita, entre otros), acompañados de carbonatos y abundantes sulfuros de hierro (pirita).

Enusa explotó el yacimiento entre los años 1975 y 2000, mediante minería a cielo abierto, moviendo un total de 81 millones de toneladas de zafras, de las que 12 eran de mineral, con una ley media de unas 650 ppm (partes por millón) de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>.

El tratamiento mineralúrgico se realizó en la planta Elefante hasta 1993, mediante la disolución del uranio por vía ácida, basada únicamente en técnicas de lixiviación estática, y posteriormente en la planta Quercus, con utili-

Figura 1A.



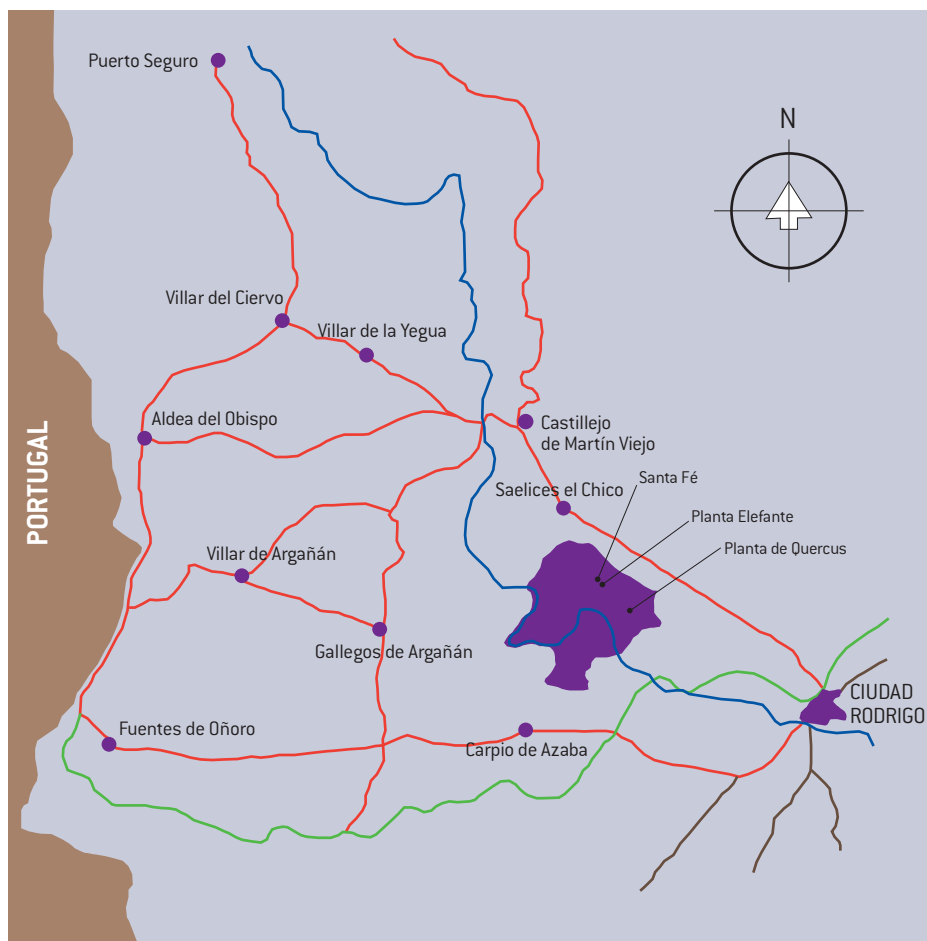


Figura 1B.

zación preferente de técnicas de lixiviación dinámica. La producción final acumulada fue de 5.750 toneladas de concentrados de uranio.

Una vez tomada la decisión de finalizar la producción de concentrados de uranio, debido al bajo precio del concentrado en los mercados internacionales, Enusa acordó acometer un programa integral de clausura que abarcara la restauración minera y el desmantelamiento de las plantas de producción de concentrado de uranio, a partir de enero de 2001. Este programa tiene como último objetivo garantizar que, una vez finalizados los trabajos de restauración, las condiciones medioambientales y radiológicas del espacio natural afectado por la actividad minera sean similares a las existentes antes de la explotación.

### Criterios para la restauración

Los principales criterios seguidos para la restauración, con objeto de reparar la afección medioambiental causada y la contaminación radiológica provocada, han sido:

- Aplicar criterios ALARA de protección a las diferentes actividades, tratando de reducir el impacto radiológico de las mismas hasta los valores más bajos que, razonablemente, se puedan alcanzar.

- Acondicionar todas las estructuras que sean fuentes potenciales de contaminación, para garantizar su confinamiento y estabilidad a largo plazo (horizontes temporales no inferiores a 200 años), en un único emplazamiento, siempre que fuera posible.

- Construir estructuras que sean automantenibles en el tiempo y que queden integradas en el entorno paisajístico.

- Proteger los recursos hídricos de la zona, tanto superficiales como subterráneos, para evitar su contaminación, garantizando su calidad mediante el control y vigilancia adecuados.

- Limitar las emisiones de polvo y gas radón en las áreas restauradas, evaluando las posibles vías de exposición y las dosis de radiación a las personas, en función de los distintos escenarios previstos para el uso futuro de los terrenos del emplazamiento restaurado.

### Actividades de la restauración

Las actividades productivas de minería a cielo abierto dejaron al descubierto varios huecos mineros de diverso tamaño y generaron, además, unos residuos constituidos por diversos materiales, todos de naturaleza radiactiva de origen natural y baja actividad específica, que afectaron a unas 300 hectáreas de superficie.

Entre los residuos generados cabe destacar los siguientes:

- Estériles de mina arrancados durante la explotación, almacenados en escombreras (más de 30 millones de m<sup>3</sup>).

- Minerales agotados procedentes del tratamiento mecánico y/o químico, apilados en eras de lixiviación estática (8,3 millones de toneladas).

- Lodos mineralúrgicos residuales del proceso de lixiviación, depositados en varios diques (un millón de m<sup>3</sup>).

- Instalaciones de proceso y estructuras auxiliares.

Además, como en las rocas encajantes del yacimiento hay abundante pirita, el contacto con las aguas naturales y el aire, provoca la acidificación de las aguas del entorno y la lixiviación de los metales pesados y del uranio contenido en ellas, siendo necesario el tratamiento de las mismas para su neutralización y descontaminación, antes de su vertido autorizado a cauces públicos.

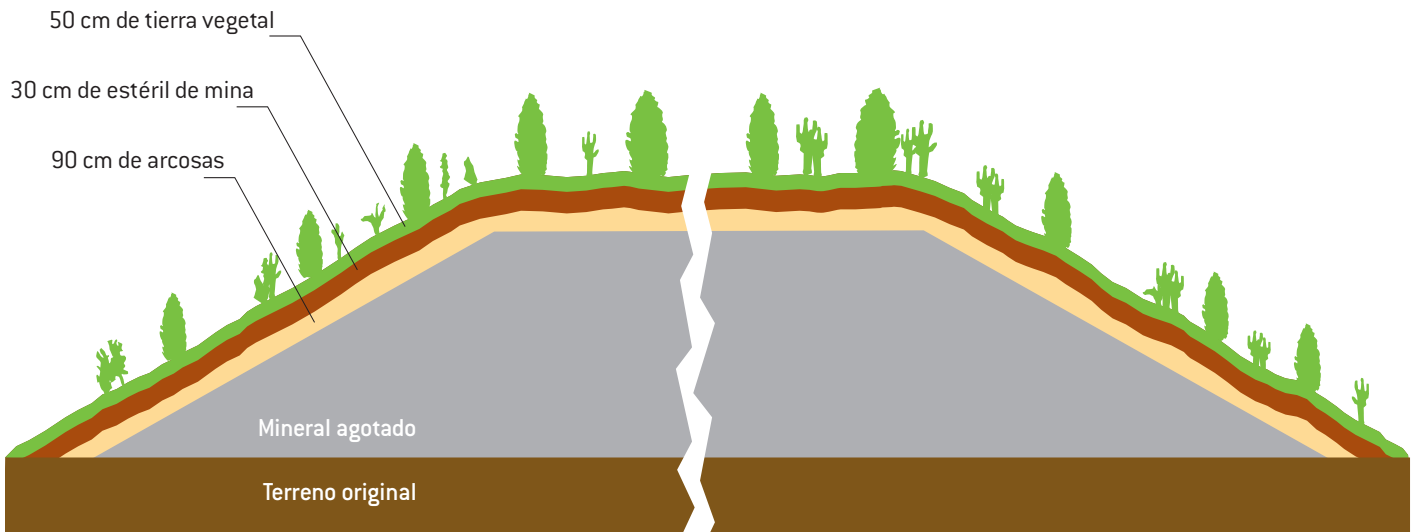


Figura 2.

Las actividades de desmantelamiento y restauración se dividieron en tres proyectos, independientes por su naturaleza y estructuras implicadas:

**Proyecto de desmantelamiento y restauración de la planta Elefante y estructuras asociadas**

Se realizó entre enero de 2001 y junio de 2004, procediéndose a la reconfiguración de las eras de minerales agotados, mediante el extendido de las mismas, que originariamente ocupaban un área de unas 24 ha. Se ha generado un nuevo relieve alomado, con una pendiente máxima del 20%, abarcando una

superficie final de 56 ha. En total, se removieron cerca de 3,8 millones de toneladas.

Todo el conjunto se cubrió posteriormente con una multicapa de 2,3 m de espesor (2,9 millones de toneladas de materiales depositados), para minimizar el impacto medioambiental (figura 2). Está formada, de muro a techo, por 0,90 m de material arcilloso (figura 3), para minimizar la infiltración de las aguas de lluvia, así como para atenuar la exhalación de gas radón; 0,90 m de material granular (estéril de mina seleccionado, de baja ley, < 115 ppm de  $U_3O_8$ ), con el fin de evitar la erosión de la capa anterior

(figura 4, en la página siguiente), y 0,50 m de tierra vegetal, cuya función es asegurar la implantación de especies vegetales adecuadas (arbustivas y herbáceas) y reforzar la acción de las dos capas anteriores (figura 5, en la página siguiente).

Las instalaciones industriales, una vez desmanteladas, quedaron sepultadas bajo los materiales reconfigurados en un recinto de confinamiento preparado al efecto.

A través de un programa de garantía de calidad específico se supervisó la ejecución de estas actividades, mediante la realización de diversos ensayos geotécnicos, topográficos, radiométricos y ra-



Figura 3A.



Figura 3B.



Figura 4A.



Figura 4B.



Figura 5A.



Figura 5B.

diológicos. Desde enero de 2006 se desarrolla el correspondiente programa de vigilancia y control de las aguas subterráneas y de estabilidad de las estructuras, por un periodo inicial de cinco años, aprobado por el Consejo de Seguridad Nuclear.

#### **Proyecto de restauración definitiva de las explotaciones mineras**

Este proyecto se inició en julio de 2004. Pretende la recuperación geomorfológica, hidráulica y forestal del terreno afectado por las explotaciones mineras, la reducción del impacto radiológico derivado de las estructuras remanentes, escombreras de estériles de mina, la mejora de la ca-

lidad de las aguas naturales de la cuenca y la integración paisajística de las estructuras restauradas en el entorno. Las principales actuaciones llevadas a cabo, o actualmente en curso, son las siguientes:

#### **Restitución geomorfológica**

Se trata de la actuación de mayor impacto visual, al rellenarse los antiguos huecos de explotación con material estéril procedente de las escombreras consideradas más críticas. Las restantes se desmontaron parcialmente, remodelando sus cumbreras y taludes y suavizando las pendientes hasta valores no superiores al 20%. Esta actividad finalizó

en mayo de 2008, habiéndose movido unos 20 millones de metros cúbicos de tierras (figura 6).

#### **Gestión de aguas almacenadas**

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 para su tratamiento y posterior vertido controlado. Este proceso de acondicionamiento continuará hasta que la calidad de las aguas sea tal que permita su vertido directo, una vez finalizados todos los trabajos de restauración. Actualmen-



Figura 6A.



Figura 6B.



Figura 7.



Figura 8.

te se está tratando un millón de metros cúbicos de aguas contaminadas al año.

#### Recuperación hidráulica

La recuperación hidráulica ha incluido el rediseño de las primitivas vaguadas naturales, protegiendo adecuadamente sus fondos con material de escollera apropiado (figura 7). Además se han construido nuevas canalizaciones, diques y balsas para mejorar la circulación y drenaje de las aguas de escorrentía y, en su caso, el almacenamiento temporal de las mismas.

#### Protección de la zona restaurada

Con objeto de reducir al máximo la infil-

tración de las aguas de escorrentía, los huecos de mina y las escombreras remanentes se han sellado con una capa de material arcilloso, protegida de la erosión por otra capa de estéril de mina seleccionado (muy baja ley radiométrica) y otra superior para la implantación vegetal, cada una con unos 30 cm de espesor medio (figura 8). En las zonas donde se ubicaban las escombreras cargadas completamente sólo se ha depositado, en su caso, la capa de tierra vegetal, al no ser necesarias las restantes.

#### Revegetación

Mediante enmiendas orgánicas y minerales se está acondicionando el suelo, pro-

cediendo a la plantación de especies autóctonas, tanto herbáceas como arbustivas y arbóreas, y efectuando un seguimiento y control del desarrollo de las mismas. Hasta el momento se llevan sembrados unos 60.000 kg de semillas en una superficie de 150 ha, estando previsto cubrir otras 110 ha más (figura 9, en la página siguiente).

#### Proyecto de desmantelamiento de la planta Quercus y estructuras asociadas

Aunque en principio estaba previsto el desmantelamiento de esta planta (la solicitud de aprobación del proyecto se presentó en julio de 2005), el alza de



Figura 9A.



Figura 9B.



Figura 10.



Figura 11.

los precios del concentrado de uranio en los mercados internacionales ha aconsejado dejar en suspenso, al menos temporalmente, el proyecto de desmantelamiento previsto.

En su momento, una vez tomada la decisión de su desmantelamiento, se presentará para su aprobación, siguiendo los mismos criterios indicados en los dos proyectos anteriores, incluyendo el confinamiento de las instalaciones industriales de proceso, una vez acondicionadas, (figura 10) y de las estructuras asociadas en un recinto apropiado (dique de estériles de proceso), así como el sellado de las mismas con una

capa de protección medioambiental adecuada.

### Planes de vigilancia y control

Para cada proyecto se ha desarrollado un plan de calidad específico, desglosado en diferentes especificaciones de obra y procedimientos, con objeto de asegurar el control adecuado de las actuaciones llevadas a cabo.

Del mismo modo, para garantizar la protección radiológica de los trabajadores implicados en las actividades de ejecución y la conservación del medio ambiente, se llevan a cabo diversos programas de vigilancia y control.

Por una parte, se controlan las condiciones de los puestos de trabajo y se determinan las dosis recibidas por los trabajadores, comprobando la eficacia de las medidas de protección aplicadas y el cumplimiento de los límites de dosis. Por otra, se hace un seguimiento del impacto de las actividades sobre el medio ambiente, recogiendo muestras de aire, aguas superficiales y subterráneas, suelos, etc., para realizar análisis fisicoquímicos y radiológicos (metales, actividad de uranio, radio, alfa total etc. en aguas; y radio y radón en suelos), además de efectuar diversas medidas de radiación ambiental

(tasa de radiación gamma, control de radón, etc) (figuras 11 y 12).

Periódicamente se envían los correspondientes informes de seguimiento a los diferentes organismos oficiales implicados en la evaluación de los trabajos realizados. Actualmente se está elaborando la documentación final de obra (informe final *as built*) del proyecto de restauración definitiva de las explotaciones mineras, como paso previo para la preparación de la propuesta del programa de vigilancia y control para este proyecto.

### Presupuesto

El presupuesto total estimado asciende a unos 86 millones de euros, cofinanciados entre Enresa (a través de fondos para las funciones derivadas de su creación como entidad pública para la gestión de residuos radiactivos, Ley 24/2005, relativas al acondicionamiento de forma definitiva y segura de los estériles originados en la minería y fabricación de concentrados de uranio) y Enusa (a través de las provisiones propias dotadas para este fin).

### Reflexiones

La ejecución del proyecto de restauración del centro medioambiental de Enusa en Saelices el Chico ha supuesto un importante esfuerzo técnico y económico debido a su magnitud y complejidad. Aparte del importante movimiento de tierras realizado, el hecho de remover estériles de minería de uranio ha implicado un licenciamiento complejo y específico, además del correspondiente a la minería convencional. Por esta razón, en el licenciamiento, aprobación y seguimiento del proyecto están implicados diversos organismos estatales y autonómicos (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Instituto Geológico y Minero de España, Consejo de Seguridad Nuclear, Confederación Hi-



Figura 12.

drográfica del Duero y servicios territoriales de industria, comercio y turismo y del medio ambiente de la Junta de Castilla y León, entre otros) esta multiplicidad de administraciones ha originado una gran carga documental y técnica. Las diversas inspecciones de seguimiento y control de todos los organismos, con el fin de comprobar *in situ* el avance y seguimiento del proyecto también han originado un incremento considerable de trabajo técnico y administrativo a los profesionales encargados de la restauración.

La naturaleza radiactiva de los materiales, a pesar de su baja actividad específica, ha hecho necesario desarrollar los programas de vigilancia radiológica pertinentes, para realizar el control dosimétrico de los trabajadores e impartir la formación en protección ra-

diológica adecuada para las actividades llevadas a cabo.

Los retos más importantes durante la ejecución del proyecto han sido:

- El gran volumen de materiales a mover.
- El diseño de las capas de cubierta con el doble objetivo de impermeabilizar el terreno y minimizar el impacto radiológico.
- El control de la erosión en los nuevos terrenos restaurados.
- El control y la gestión de las aguas contaminadas (aún en fase de ejecución).

Todo ello ha permitido a Enusa adquirir una gran experiencia en este tipo de proyectos, que le servirá en el futuro para acometer trabajos de similares características.

