

Actuaciones realizadas tras el accidente de Aznalcóllar

Coordinador: Carlos Mediavilla⁽¹⁾

Autores: J. M.^a Arenas⁽²⁾, G. Carrero⁽²⁾, J. Galache⁽³⁾, C. Mediavilla⁽¹⁾, A. Silgado⁽³⁾ y E. M. Vázquez⁽²⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España. Oficina de Proyectos en Sevilla.

(2) Oficina Técnica del Corredor Verde del Guadiamar. CMA-J.A. Sevilla.

(3) Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

RESUMEN

La rotura de la balsa de decantación de la explotación minera de Aznalcóllar, ocurrida en la madrugada del día 25 de abril de 1998, ocasionó el vertido al río Guadiamar de unos 6 hm³ de lodos y aguas ácidas con pH en torno a 5,5 y una alta concentración de metales en disolución. La superficie afectada se evaluó en 4630 ha a lo largo de 62 km de longitud y 500 m de anchura media, desde la Mina hasta Entremuros, en el límite Noreste del Parque Nacional de Doñana. No se produjeron daños personales pero sí medioambientales y de carácter socioeconómico, pues resultaron afectados todos los aprovechamientos primarios que se desarrollaban en la zona. Se paralizó la actividad minera, se decretó la eliminación de las cosechas y se suprimió la actividad agrícola de los suelos afectados por el vertido.

El accidente de Aznalcóllar ha supuesto un reto para la acción pública española ante una catástrofe de tal envergadura, sin precedentes en Europa, que ha requerido el establecimiento de un régimen excepcional de intervención administrativa, con concurrencia de competencias tanto de la Administración Estatal como de la Autonómica.

Tras el accidente se puso en marcha una Comisión de Coordinación entre la Administración General del Estado y la Junta de Andalucía, de la que dependía una serie de grupos de trabajo de carácter multidisciplinar, que ha contado con el asesoramiento de la comunidad científica, y cuyas funciones han sido el seguimiento, impulso y coordinación de todas las actuaciones relacionadas con el vertido. Entre ellas: la depuración del agua contaminada retenida en la zona de Entremuros, la retirada de los lodos, el seguimiento de la contaminación y la limpieza y remediación de la contaminación residual de las zonas afectadas.

En la actualidad, la Junta de Andalucía sigue desarrollando actuaciones de regeneración de suelos y reforestación, dentro del Proyecto del Corredor Verde del Guadiamar, hasta conseguir que el nombre del Guadiamar se asocie, no sólo al ámbito donde sucedió una catástrofe ecológica, sino a una zona donde se está realizando un ambicioso proyecto de restauración ecológica y reactivación territorial que pueda ser tomado como ejemplo.

Palabras clave: Aznalcóllar, contaminación, ecología, Guadiamar, lodos piriticos, accidente minero, agua ácida.

Work carried out following the Aznalcóllar accident

ABSTRACT

The failure of the Aznalcóllar mine settling pond in the early hours of April 25th 1998 caused the spillage of 6hm³ of sludge and acidic water, with a pH of approximately 5.5 and with a high concentration of dissolved heavy metals, into the Guadiamar river. The area affected was calculated to be 4,630 ha of land along 62 km of the river's banks, with an average width of 500m. and stretching from the Mine as far as Entremuros, on the north-west limits of Doñana National Park. Although no-one was injured, the spillage caused both ecological and socio-economic damage since all of the primary activities of the area were affected: mining activity ceased, all crops were destroyed by decree and all agriculture on land affected by the spillage was suspended .

With the Aznalcóllar disaster, the Spanish Authorities had to meet the challenge of a catastrophe the scale of which had never before been seen in Europe. An exceptional state of public intervention, in which both the State and Regional Authority's respective spheres of action were involved, was set up.

Following the accident, a Co-ordinating Committee was set up to co-ordinate between the Spanish State Authorities and the Junta

de Andalucía (Andalusian Regional Government). This Co-ordinating Committee oversaw a series of multidisciplinary working groups, advised by the scientific community, and whose objectives were to monitor, set in motion and co-ordinate all of the actions taken with respect to the spillage. Including: Purifying the polluted water held in the Entremuros area, removing the sludge, monitoring pollution and the cleaning up and remediation of residual pollution in the affected areas.

At present, the Junta de Andalucía is continuing its soil regeneration and reforestation activities as part of the Guadiamar Green Corridor Project in order that the Guadiamar area is not only associated with an ecological disaster but also with an ambitious, indeed exemplary, project of ecological restoration and territorial renewal.

Key words: Aznalcóllar, pollution, ecology, Guadiamar, pyrite sludge, mine accident, acid water.

2. ACONTECIMIENTO Y ACTUACIONES REALIZADAS TRAS EL ACCIDENTE DE AZNALCÓLLAR

C. Mediavilla

INTRODUCCIÓN

En la madrugada del 25 de abril de 1998 se produjo la rotura y desprendimiento de unos 50 m del muro de contención de la balsa de decantación de los lodos piríticos que la empresa Boliden Apirsa, S.L. tiene en su explotación minera de Aznalcóllar. Esta rotura ocasionó el vertido incontrolado de un volumen aproximado de 6 hm³ de aguas ácidas y lodos al río Agrío y desde éste al río Guadiamar. Como consecuencia de la avenida se afectó a una longitud de 62 km del cauce desde la balsa hasta el límite del Parque Nacional de Doñana, en la zona de Entremuros. La superficie total afectada se ha evaluado en 4630 ha pertenecientes a nueve municipios de la provincia de Sevilla y a una reducida extensión de áreas protegidas de Doñana. Los daños ocasionados por el accidente afectaron únicamente a bienes materiales y medioambientales sin que se produjeran pérdidas de vidas humanas.

La situación creada tras el accidente por su magnitud, características del contaminante vertido, posibilidad de nuevos vertidos desde la balsa accidentada y carencia de antecedentes semejantes, unido a su proximidad a los Parques Natural y Nacional de Doñana, hicieron que desde el primer momento tanto la Administración General del Estado como la Junta de Andalucía iniciaran una serie de actuaciones y medidas preventivas y de protección para evitar y/o minimizar los efectos del vertido sobre personas, bienes y medio

ambiente. En este sentido se tomaron una serie de medidas urgentes para la contención de la contaminación tales como:

- Paralización de la planta de concentrado de la mina y, por tanto, de toda la actividad minera en Aznalcóllar, así como el cierre y afianzamiento de la zona de rotura de la balsa de lodos.
- Cierre de las conexiones laterales del río Guadiamar y el almacenamiento de las aguas ácidas en el sector Sur de Entremuros, para evitar la contaminación de otras zonas agrícolas y de una parte del Parque Nacional de Doñana y el estuario del río Guadalquivir.

Para fundamentar la intervención administrativa (CMA, 1999a) se requirió el establecimiento de un régimen excepcional (entrada en la propiedad privada, inmovilización de cosechas, etc.) cuyo fundamento genérico se basa en el mandato constitucional establecido para la protección y mejora de la calidad de vida, defensa y restauración del medio ambiente (artículo 45.2), así como en la aplicación de leyes sectoriales: de Aguas (1985), Reglamento del Dominio Público Hidráulico (1986), General de Sanidad (1986), de Residuos (1988), etc.

Ante la envergadura del problema y el volumen de las actuaciones a desarrollar por parte de la Administración, se acordó crear la "Comisión de Coordinación para la Recuperación de la Cuenca del Guadiamar entre la Administración General del Estado y la Junta de Andalucía", que quedó constituida en Sevilla el 1 de mayo de 1998. De ella dependía una serie de grupos de trabajo de carácter técnico multidisciplinar denominados: Grupo de Recogida de Lodos y Recuperación de

Suelos Afectados; de Aguas y Hábitats; de seguimiento de Minas; de Agricultura; de Salud y Seguridad y de Asesoramiento Jurídico. Cada grupo de trabajo estaba coordinado por un representante de una de las Administraciones competentes, que a su vez formaba parte de la Comisión de Coordinación. Ésta estaba copresidida por el Coordinador General para las actuaciones derivadas de la catástrofe de las minas de Aznalcóllar, a tal efecto designado por la Administración General del Estado, y por el Delegado del Gobierno de la Junta de Andalucía en Sevilla (Administración General del Estado-Junta de Andalucía, 1999). Dicha comisión ha contado con el asesoramiento del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), varias Universidades y otros Organismos de la Administración, entre los que se encontraba el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE).

Para financiar las actuaciones derivadas de la rotura de la balsa de Aznalcóllar se dispuso, en una primera fase, de créditos extraordinarios a través de ambas Administraciones:

- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (Real Decreto-Ley 4/1998, de 22 de mayo), por importe de 4500 millones de pesetas (BOE, 1998).
- Junta de Andalucía (Ley 3/1998, de 3 de julio), por valor de 8000 millones de pesetas (BOJA, 1998d); considerando lo dispuesto en el Plan de Actuación cuyas bases se aprueban mediante Acuerdo del Consejo de Gobierno de 12 de mayo de 1998, y lo regulado en el Decreto 99/1998 (BOJA, 1998a) sobre medidas y acciones para paliar los efectos derivados del accidente de Aznalcóllar, donde se asignan a los distintos Departamentos del Gobierno Andaluz las actuaciones a ejecutar en el ámbito de sus competencias.

El objetivo de este capítulo es hacer una síntesis de las actuaciones más relevantes realizadas por la Administración para paliar los efectos derivados del vertido de los lodos mineros de la balsa de Aznalcóllar en la cuenca del río Guadamar. Se describe la sucesión cronológica de los acontecimientos y la normativa legal existente que, en buena medida, ha condicionado en todo

momento la orientación de las decisiones técnicas adoptadas desde que se produjo el accidente.

El apartado 2.1 describe brevemente la rotura de la balsa, la naturaleza y características de los lodos y aguas ácidas vertidos al dominio público hidráulico del río Guadamar y la retención de las aguas contaminadas en la zona de Entremuros para proteger el Parque Nacional de Doñana y el estuario del Guadalquivir. En el apartado 2.2 se trata la delicada situación administrativa que desencadenó la decisión de retener las aguas en Entremuros, en cuanto a las características y autorización del vertido establecidas en la legislación vigente, así como una descripción de las dos plantas de tratamiento construidas por la Administración Central. El apartado 2.3 relata las actuaciones emprendidas para la eliminación del lodo y suelo contaminado sobre el cauce y las márgenes del río Guadamar a lo largo de toda la zona invadida, así como los posteriores trabajos de limpieza que ha habido que abordar en base a la Ley de Residuos y los "niveles de intervención" sobre suelos contaminados impuestos por la Junta de Andalucía para el caso del Guadamar. A continuación, el apartado 2.4 describe las actuaciones para caracterizar la afección en los suelos y a las aguas subterráneas. El apartado 2.5 trata, en su conjunto, el seguimiento de la contaminación y las actuaciones de remediación emprendidas desde la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Por último, en el apartado 2.6 se exponen brevemente los objetivos, el programa de investigación y la estrategia del Corredor Verde del Guadamar, diseñados por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía para la recuperación integral de la cuenca del Guadamar, con la intención de remediar la situación generada por el vertido de Aznalcóllar y favorecer la creación de un corredor entre los ecosistemas del litoral de Doñana y Sierra Morena.

2.1. Rotura de la balsa y retención del agua en Entremuros

J. Galache

El accidente minero de Aznalcóllar se inició en la madrugada del sábado 25 de abril de 1998, entre las 0:30 y 1:00 h (Alonso y Gens, 2000). El origen del vertido fue la rotura del muro de contención

oriental de la balsa de lodos mineros, en la zona de intersección con el dique que divide la balsa en dos vasos: el depósito de piroclastos situado al Norte, de mayor tamaño, y el depósito de piritas situado al Sur. La brecha abierta alcanzó una longitud de unos 50 m, con un desplazamiento horizontal del muro de piritas de hasta 60 m en la zona de la rotura.

La balsa accidentada se localiza sobre la terraza media (T₂) de la margen derecha del río Agrío y a escasos metros del cauce actual. Tiene una superficie aproximada de 200 ha con perímetro rectangular (2000 x 1000 m) y una capacidad proyectada de 32 hm³, donde se han depositado los lodos piriticos y estériles de la planta de tratamiento generados durante los dieciséis años de explotación del yacimiento de Aznalcóllar (1979-1995). En total se han tratado cerca de 43 millones de toneladas de sulfuros masivos. A partir del año 1995 se ha utilizado la misma balsa para los residuos de la explotación del yacimiento de Los Frailes, situado a 2 km del anterior, dentro de las mismas instalaciones mineras propiedad de Boliden Apirsa, S. L. (ver Capítulo 12)

La rotura de la balsa de Aznalcóllar produjo el vertido de unos 6 hm³, de los cuales 2 hm³ corresponden a lodos y los restantes a aguas ácidas con un pH en torno a 5,5 y una alta concentración de metales en disolución, fundamentalmente Fe, Pb y Cu procedentes de la flotación de la piritas (Administración General del Estado-Junta de Andalucía, 1999). En la balsa permaneció un volumen estimado en casi 20 hm³ de materiales que afortunadamente no llegaron a ser movilizados por el agua tras la rotura. La avenida arrastró lodos que se depositaron fundamentalmente en el área comprendida entre la balsa accidentada y el puente de Don Simón, en el inicio de Entremuros. A partir de este punto, lo que circuló por el cauce fueron aguas ácidas que recorrieron durante dos días el trayecto encauzado hasta el

Brazo de la Torre, llegando finalmente hasta el río Guadalquivir.

Las características medias del yacimiento de piritas de Aznalcóllar, y de las aguas y lodos vertidos, son las que se representan en las tablas 2.1 y 2.2.

Como metales minoritarios aparecen cantidades inferiores al 0,5 % de Mn y menores al 0,01% de Cd, Hg y Cr. El resto, aproximadamente un 40-45%, está constituido por S en forma de sulfuro y un 10% por silicatos.

Para proteger el Parque Nacional de Doñana la Junta de Andalucía construyó el 27 de abril, con carácter de urgencia y a requerimiento del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), un muro transversal de material suelto para la contención del vertido en el encauzamiento de Entremuros, a la altura de Vuelta de la Arena. Con la construcción de este cordón de tierra se consiguió embalsar parte de las aguas ácidas, así como la escorrentía producida a partir de ese momento tras las frecuentes lluvias acacidadas durante el mes de mayo. Posteriormente la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG), como medida adicional de seguridad, construyó aguas abajo un nuevo muro paralelo al anterior ejecutado con todas las garantías de tratamiento de terraplenes consolidados, ya que el apremio con que se levantó el primer muro no garantizaba su estabilidad y existía riesgo de rotura.

Así pues, a partir del 27 de abril la riada estaba controlada ya que las conexiones con zonas de cultivo y de especial interés ecológico habían sido convenientemente selladas. Se iniciaba ahora una fase de estudios y consultas para abordar la depuración de unos 5 hm³ de aguas retenidas en Entremuros con desigual grado de contaminación (ver Capítulo 6).

Fe	Cu	Pb	Zn	As
34-38%	0,1-0,2%	0,8-1,2%	0,7-1,2%	0,5-0,6%

Tabla 2.1 Características medias del yacimiento de piritas de Aznalcóllar, Metales mayoritarios.

Aguas de la balsa		Lodos de la balsa	
pH	5,5		
Conductividad eléctrica mS/cm)	4,68		
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,1		
Temperatura (°C)	17,7		
Sólidos en suspensión (mg/L)	26,870		
Toxicidad (Equitox/m³)	<50		
As (mg/L)	0,27	As (g/kg)	2,784
Cd (mg/L)	0,854	Cd (g/kg)	0,107
Zn (mg/L)	462,8	Zn (g/kg)	38,821
Cu (mg/L)	0,021	Cu (g/kg)	9,509
CrT (mg/L)	0,030	CrT (g/kg)	0,009
Fe (mg/L)	138,5	Fe (g/kg)	234,138
Mn (mg/L)	91,7	Mn (g/kg)	0,270
Hg (mg/L)	<0,008	Hg(g/kg)	0,053
Ni (mg/L)	1,115	Ni (g/kg)	0,003
Pb (mg/L)	3,655	Pb (g/kg)	39,899

Tabla 2.2 Características medias de las aguas y lodos vertidos de la Balsa de Aznalcóllar.

La composición de los lodos se corresponde con la típica de la pirita aunque con menos Cu, Pb y Zn como resultado del proceso de flotación.

2.2. Actuaciones para el tratamiento y eliminación de aguas en Entremuros

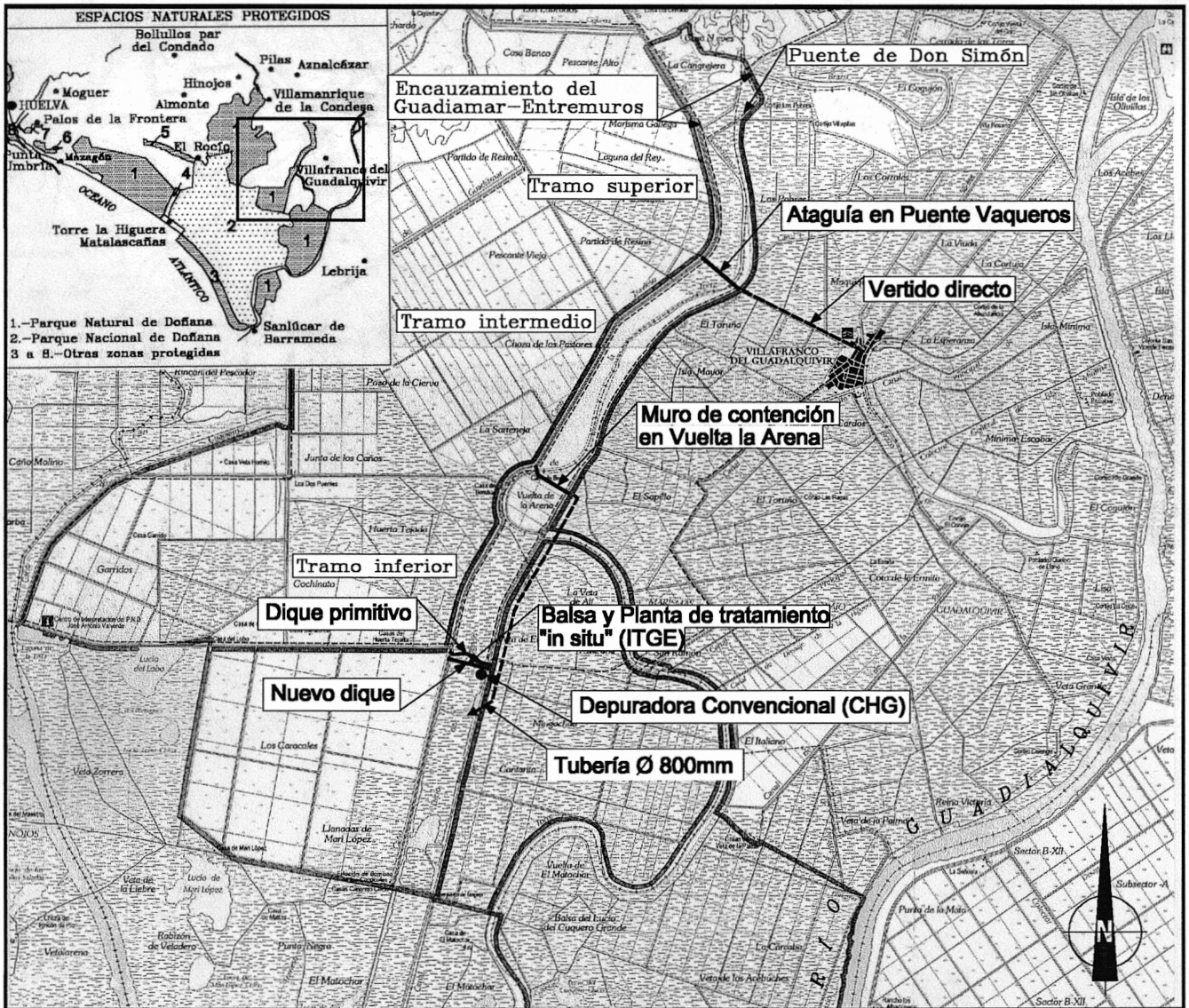
J. Galache, C. Mediavilla

En los primeros días de mayo se realizó un perfil del grado de contaminación del agua embalsada en Entremuros a lo largo de 15 km, determinándose que la carga contaminante decrecía desde el punto de cierre hasta el Puente de Don Simón, donde las aguas retenidas eran susceptibles de vertido directo al cumplir con las normas establecidas en la legislación vigente: Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986 de 11 de abril) de la Ley de Aguas, Reglamento de Calidad de Aguas Litorales (Decreto 14/1996, de 16 de enero) de la Junta de Andalucía, e incluso la ampliación de prescripción establecida por la Junta de Andalucía en un acuerdo de 2 de julio de 1998 del Consejo de Gobierno.

Ante esta situación se decidió dividir en tramos estancos el sector de Entremuros, mediante muros transversales de cierre, con el objetivo de poder realizar tratamientos distintos según la calidad de cada tramo. Su disposición es la siguiente (Fig. 2.1):

- Muro de cierre – Vuelta de la Arena
- Vuelta de la Arena – Vado de los Vaqueros
- Vado de los Vaqueros – Puente de D. Simón

Confirmada por sucesivos análisis la calidad de las aguas retenidas en el tramo superior (Vado de los Vaqueros – Puente de D. Simón), y habida cuenta de que cumplía con los parámetros de calidad establecidos, se procedió a verter por bombeo el agua embalsada hacia la antigua Corta de Los Jerónimos, comunicada directamente con el río Guadalquivir. Con esta medida se conseguía eliminar un volumen estimado en 1



2.1 Localización del agua retenida en Entremuros y de la infraestructura de depuración.

hm³ de aguas embalsadas y seguir derivando hacia el río Guadalquivir todo el caudal circulante por el Guadiamar (600 L/s).

El resto del agua retenida en el tramo Vuelta de la Arena – Vado de los Vaqueros se encontraba en el límite establecido para realizar el vertido. Se instalaron dos tomas mediante bombeo: una controlada en cuanto a sus parámetros de calidad, con vertido directo mediante conducción por tubería hacia aguas abajo del muro de cierre (1,5 hm³), y otra para bombear el agua, no apta para

el vertido directo (1 hm³), hacia el último tramo (Vuelta de la Arena – Muro de Cierre) donde se concentraron las aguas contaminadas.

Simultáneamente el Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Secretaría del Estado de Aguas y Costas, encargó a varias instituciones: Instituto Jaime Almera del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) e Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), entre otras, una serie de trabajos previos de laborato-

rio para estudiar las distintas posibilidades de tratamiento de las aguas contaminadas retenidas en la zona de Entremuros. De entre las alternativas propuestas, y ante la gravedad de la situación y exigencia de finalizar los trabajos de depuración antes de la época de lluvias, se acordó llevar adelante dos opciones en paralelo: una de emergencia, propuesta por el ITGE, con el compromiso de poder realizar una prueba piloto en el plazo de 15 días, y otra de carácter convencional, propuesta por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG), que requería como mínimo un plazo de 40 días para su construcción y puesta en funcionamiento (ver detalle en Capítulo 6).

- Planta de tratamiento de emergencia

El diseño básico de esta planta fue realizado por el ITGE en colaboración con la empresa Sociedad Española de Aguas Filtradas S.A. La empresa Tragsa realizó los trabajos de obra civil y el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales) colaboró poniendo a disposición del ITGE su Unidad Móvil de Caracterización Hidrogeoquímica para realizar los ensayos físico-químicos de control (Guijarro, 1999).

Esta planta de tratamiento "in situ" estaba constituida por dos tanques de agitación-reacción y una balsa de decantación de 5,5 ha con una capacidad de 100 000 m³. La balsa fue construida en la zona de Entremuros, entre el muro de cierre de CHG y el dique de tierra primitivo, aprovechando la propia impermeabilidad del terreno al tratarse de arcillas de marisma. La capacidad inicial de tratamiento diseñado para la planta fue de 2000 m³/h aunque posteriormente, tras los buenos resultados obtenidos, se amplió a 3000 m³/h. El reactivo utilizado para elevar el grado de alcalinidad del medio (precipitación de los metales a pH/9) fue el hidróxido sódico, pues resultó ser más favorable que el hidróxido cálcico y el carbonato sódico. La construcción de la planta se realizó durante los días 1 y 9 de julio de 1998. Entre los días 9 y 12 de julio se efectuaron las correspondientes pruebas experimentales, que resultaron positivas, sin embargo, no fue hasta el 24 de julio cuando la Junta de Andalucía autorizó el vertido del agua tratada (Decreto 14/1996, de 16 de enero), tras permitir que se exceptuase la

limitación adicional impuesta de 2000 mg/L de sulfatos (BOJA, 1998b).

La planta de emergencia funcionó desde el 9 de julio hasta el 21 de agosto de 1998, fecha en la que se decidió que entrara en funcionamiento la depuradora convencional construida por la CHG. El coste total de la planta de tratamiento de emergencia diseñada por el ITGE ha sido de 227 millones de pesetas y ha depurado 1,64 hm³, con volúmenes diarios de hasta 72 000 m³ de agua tratada (ITGE, 1998e).

- Planta de tratamiento convencional

La alternativa propuesta por la CHG ha consistido en la construcción de una planta depuradora convencional de aguas con tratamiento físico-químico a través de un decantador-espesador rectangular de tipo lamelar, que reduce de forma notable la superficie necesaria y, por tanto, la obra civil a ejecutar. La planta disponía de una línea de agua donde posibilitar la dosificación de los diversos reactivos (sosa, cal, cloruro férrico, permanganato potásico, CO₂, etc.) para elevar el pH hasta 9,5, y una línea de recirculación de fangos hasta su secado y transporte (100 m³ de fango seco/día). La capacidad de tratamiento fue del orden de 2000 m³/h, con volúmenes diarios de hasta 50 000 m³ de agua depurada.

Con todo, la principal característica de esta depuradora convencional ha sido la obra civil que ha precisado ya que, dada la carga de la instalación (6,5 Tn/m²) sobre la capa de arcillas de marisma, ha requerido de una cimentación profunda mediante pilotes hasta penetrar unos 20 m en el subsuelo. En esta tarea han colaborado con la CHG la empresa Pridesa, en la construcción y explotación de la estación depuradora, y la empresa Tragsa encargada de las operaciones accesorias.

La planta de la CHG se instaló junto a la del ITGE, e inició sus operaciones de puesta a punto el 14 de agosto de 1998. Entró en funcionamiento a pleno rendimiento a partir del día 21 de agosto, hasta finalizar totalmente sus actividades el día 29 de septiembre de 1998. En total se han contabilizado 1,15 hm³ (CHG, 1998c) en la depuradora convencional, donde fueron tratadas el resto de

aguas ácidas almacenadas en Entremuros y buena parte de los fangos precipitados en la planta del ITGE que aún contenían un alto grado de humedad. El coste total de la depuradora convencional y obras de acondicionamiento ha sido del orden de los 1000 millones de pesetas.

La depuración del agua que quedó retenida en la zona de Entremuros y su posterior vertido al río Guadiamar estuvo sujeta a la correspondiente autorización administrativa del vertido otorgada, en este caso, por la Junta de Andalucía que, mediante Acuerdo del Consejo de Gobierno de 2 de junio de 1998 (BOJA, 1998b), estableció las condiciones en las que debería producirse dicho vertido –así como una ampliación de prescripción en el contenido de sulfatos (< 2000 mg/L)- en cumplimiento de los límites ya establecidos en el Anexo I del Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Calidad de Aguas Litorales. Dicho anexo define una serie de parámetros que condicionan el vertido final (Tabla 2.3).

Tras finalizar las operaciones de depuración del

agua contaminada retenida en Entremuros, todos los fangos precipitados fueron trasladados a la Corta Aznalcóllar y todas las infraestructuras construidas en la zona fueron desmanteladas, tal y como se especificaba en el mencionado Acuerdo de 2 de junio de la Junta de Andalucía.

2.3. Actuaciones para la eliminación del lodo sobre márgenes y cauce

A. Silgado, C. Mediavilla

2.3.1. Retirada de lodos mineros

Considerando como objetivo prioritario que la retirada de lodos debía realizarse con la máxima urgencia, dado el riesgo que suponía para la salud y el medio ambiente su permanencia en el terreno, la Comisión de Coordinación Administración General del Estado-Junta de Andalucía decidió dividir por tramos la superficie afectada en la cuenca del Guadiamar. En este sentido acordó que la retirada de lodos del cauce del río Guadiamar y los terrenos agrícolas situa-

Parámetro	Media mensual	Media diaria	Valor puntual
pH	5,5-9,5		
Sólidos en suspensión (mg/L)	300	400	500
Turbidez UNT	150	250	400
As (mg/L)	3	6	10
Cd (mg/L)	0,2	0,4	1
Hg (mg/L)	0,05	0,1	0,1
Zn (mg/L)	3	6	10
Cu (mg/L)	0,5	2,5	4
Ni (mg/L)	3	6	10
Cr (mg/L)	0,5	2	4
Pb (mg/L)	0,5	1	2
Se	0,05	0,1	0,2
As	1	3	5
CN	0,5	1	2
F	10	15	20
NH+4	60	80	100
P	40	50	60

Tabla 2.3 Límites establecidos en el Anexo I del Decreto 14/1996, por el que se aprueba el Reglamento de Calidad de Aguas Litorales, para las sustancias contaminantes contenidas en el vertido final.

dos al Norte de la antigua carretera de Sevilla a Huelva (puente de Las Doblas) la llevara a cabo la empresa Boliden Apirsa, S.L. Así mismo, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) se encargó de la limpieza del cauce y zonas de dominio público hidráulico en los tramos inferiores, mientras que la Consejería de Agricultura y Pesca (CAP) de la Junta de Andalucía retiró los lodos depositados sobre el resto de terrenos agrícolas hasta el final de la zona afectada por lodos, unos 2 km al Sur del Puente de Don Simón, en el comienzo de la zona de Entremuros (CAP, 1999), ya que este sector permaneció cubierto de aguas ácidas hasta primeros de octubre, cuando finalizaron las tareas de desembalse (ver Capítulo 6).

Autorizado el vertido de los lodos en la Corta Aznalcóllar en base a una serie de informes consultivos sobre la impermeabilidad de la Corta (ITGE, 1998a; 1998c), el objetivo básico de las actuaciones de retirada de lodos fue conseguir finalizarlas antes del inicio del período de lluvias otoñales para evitar que la crecida del Guadiamar pudiera desplazar la contaminación hasta el interior del Parque Nacional de Doñana. La organización del dispositivo del transporte de lodos para más de 500 camiones de gran tonelaje, se convirtió así en la pieza clave de todo este operativo. En este sentido, la cartografía de los lodos vertidos en la cuenca del Guadiamar (ITGE, 1998b) ha supuesto una herramienta básica para la toma de decisiones, diseño y planificación de las obras de retirada de lodos. Esta cartografía evaluó en 1 981 850 m³ el volumen total de lodos depositados sobre una superficie de 2616 ha a lo largo de algo más de 40 km, con espesores variables que iban desde escasos milímetros hasta más de un metro. Así, en el tramo Norte se concentró el 62% del volumen total de lodos, lo que equivale a una dotación media de 1560 m³/ha, frente a los 400-500 m³/ha del tramo Sur (ver Capítulo 5).

La retirada de lodos se inició a primeros de mayo de 1998 en los tramos de dominio público hidráulico (**Proyecto de retirada de lodos en cauce y márgenes, CHG**), aunque para ejecutar los caminos de acceso la CHG necesitó expropiar en algunas zonas una franja de terrenos paralelos al cauce. En las zonas agrícolas los trabajos no se pudieron iniciar hasta primeros de julio, ya que para realizar las operaciones de limpieza era preciso entrar en las fincas privadas y actuar sobre

ellas (BOJA, 1998b -por el que se declara la urgente realización de la retirada de lodos-). La mayor actividad de este operativo se alcanzó a partir del mes de julio de 1998.

Finalizada la depuración y el vertido de las aguas retenidas en Entremuros en septiembre de 1998, la Consejería de Medio Ambiente (CMA) elaboró el **Proyecto de recuperación de la zona de Entremuros en el río Guadiamar**, que sirvió de base para la definición de los trabajos de retirada de la vegetación contaminada, tanto en la parte aérea como radicular, así como de la parte superficial del suelo de marismas contaminado por la precipitación de metales pesados a lo largo de 13 km. Estos trabajos se realizaron bajo la dirección técnica de la CAP.

La retirada de lodos de la cuenca del Guadiamar pudo darse por concluida el 31 de diciembre de 1998. En total se actuó sobre algo más de 4000 ha y se han vertido en la Corta Aznalcóllar del orden de los 7 hm³ de lodos y suelos contaminados. Sin embargo, la Comisión de Coordinación anunció que era necesaria una segunda limpieza en la zona afectada para eliminar la contaminación remanente.

En base a la Ley 10/1998 de 21 de abril, de Residuos, los terrenos de la cuenca del Guadiamar podrían ser considerados como suelos contaminados de acuerdo a lo expuesto en el artículo 3 de la vigente ley cuando dice: *“Suelo contaminado: todo aquel cuyas características físico-químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo para la salud o el medio ambiente, de acuerdo con los criterios y estándares que se determinen por el Gobierno”*. Igualmente el artículo 27.1 establece que la declaración de un suelo como contaminado corresponde a las Comunidades Autónomas basándose en los criterios y estándares de calidad que el Gobierno central establezca. Ante la inexistencia de estos niveles se hizo necesario fijarlos para el caso de las zonas afectadas por el vertido de Aznalcóllar, ya que sin ellos no se podía considerar qué zonas estaban contaminadas ni determinar los valores máximos admisibles en contaminantes metálicos.

En esta línea, la Empresa para la Gestión de Residuos Industriales, Sociedad Estatal (EMGRISA), adscrita al Ministerio de Medio Ambiente, que ha colaborado con ambas Administraciones, ha determinado las características naturales de la cuenca como "nivel de fondo" y propuesto los "niveles de intervención" (EMGRISA, 1998) a partir de un estudio y análisis geoestadístico representativo sobre un total de 551 muestras, de las cuales 135 fueron obtenidas por la CAP (CAP, 1999), 40 por el ITGE (ITGE, 1998d) y las 376 muestras restantes por EMGRISA. A partir de éste y otros estudios la Junta de Andalucía, a través de la CMA (BOJA, 1999; Orden de 18/12/1998), fija las concentraciones límite en los suelos afectados por el accidente de Aznalcóllar, marcando los "límites de intervención" según el uso público del suelo determinado para el Corredor Verde del Guadiamar (Tabla 2.4).

El Grupo de Trabajo para el Seguimiento de la Retirada de Lodos y Recuperación de Suelos Afectados ha sido coordinado por el Jefe del Área del Dominio Público Hidráulico de la CHG. Los trabajos del Grupo se dieron por concluidos

Metales	Zonas menos sensibles (mg/kg)	Zonas sensibles (mg/kg)
Zn	1200	700
Cd	10	5
Cu	500	250
Pb	500	350
As	100	52

Tabla 2.4 Concentraciones límite de intervención de los suelos afectados por el vertido de Aznalcóllar.

el 4 de mayo de 1999, al finalizar la gestión de emergencia encomendada a la Comisión de Coordinación. A partir de este momento los trabajos de limpieza fueron supervisados por el Comité Científico.

Resulta difícil cuantificar el coste real de los trabajos directamente relacionados con la 1ª fase de recogida y transporte de los lodos hasta la Corta Aznalcóllar (mayo 1998-abril 1999). Una primera aproximación estaría en torno a los 12 500 millones de pesetas (CMA-Junta de Andalucía, 1999 b), distribuidos de la forma siguiente (Tabla 2.5).

Actividad	GASTO (millones de pesetas)	
	Parcial	Total
• Administración Central (CHG) - Retirada de lodos en el cauce - Expropiación para acceso al cauce - Restauración ambiental de cauces y riberas - Estudio descontaminación de suelos	2248 300 307 83	2938
• Junta de Andalucía (CAP + CMA) - Retirada de lodos y tierras agrícolas - Adecuación y mantenimiento de viales - Asistencia técnica control y muestreo tierras - Tratamientos de neutralización de suelos	4161 341 123 430	5055
• Ambas Administraciones - Retirada de suelo y vegetación de Entremuros	3045	3045
• Boliden-Apirsa, S.L. - Retirada de lodos en cauce y tierras agrícolas - Retirada de cosechas	1313 80	1393
TOTAL		12 431

Tabla 2.5 Estimación del gasto que ha generado la retirada de los lodos depositados en la ciencia del Guadalquivir en el período marzo/1998-abril/1999.

A esta estimación aún habría que añadir otros conceptos tales como: indemnizaciones por pérdidas de cosechas con cargo a Boliden-Apirsa, por un importe de 2750 millones de pesetas, y la compra de tierras por oferta voluntaria o expropiación, cuyo costo se estima en torno a los 9000 millones de pesetas, para el desarrollo del Corredor Verde del Guadiamar ejecutado a través de la Junta de Andalucía.

2.3.2. Retirada de suelos contaminados. Trabajos de relimpieza

Una vez finalizados los trabajos de retirada de lodos, la prioridad se centraba en determinar la contaminación residual de los suelos afectados por el vertido, considerando el fondo geoquímico natural de la cuenca. Con este objetivo han actuado en la zona el Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM), a través de la GHG e ITGE (ITGE, 1998d; 1999), y la Junta de Andalucía a través de la CMA (Universidad de Granada), CAP y EMGRISA, que ha colaborado con ambas administraciones (EMGRISA, 1999). Para aunar criterios científicos y acometer las actuaciones pendientes, las dos administraciones acordaron constituir un Comité Científico integrado por expertos del CSIC, representantes de distintas universidades del país y técnicos del MIMAM y de la CMA y de sus organismos y empresas vinculadas. El Comité estuvo copresidido por el Coordinador General para las actuaciones del vertido de Aznalcóllar y por el Delegado del Gobierno de la Junta de Andalucía en Sevilla. Esta Comisión ha asesorado en cuestiones relevantes relacionadas principalmente con la limpieza de los lodos residuales así como sobre medidas para la descontaminación de suelos y aguas subterráneas.

En cumplimiento de la Orden de la CMA de 18 de diciembre de 1988 (BOJA, 1999) se estableció el **Protocolo de relimpieza de material contaminado**, que constituye el procedimiento a seguir para la calificación de zonas descontaminadas donde se incorpora, a propuesta del Comité Científico, el contenido del azufre pirítico que generalmente será de 0,3% y excepcionalmente del 1%.

Tras finalizar la fase de recogida de lodos, la

Oficina Técnica de Recuperación del Guadiamar (OTRG) encargó a EMGRISA una campaña de recogida y análisis de 970 muestras de suelo de las que 140 muestras correspondían al cauce inundado. Los resultados obtenidos del cauce indicaban la permanencia de lodo residual a lo largo de todo su lecho hasta el Puente de los Vaqueros. Para mejorar las condiciones del cauce la CHG presentó ante el Comité Científico la realización de una segunda campaña de limpieza en el tramo Sur que realizó entre los meses de julio y octubre de 1999, mientras que el tramo Norte fue encargado a Boliden Apirsa. Simultáneamente a estos trabajos, la CHG inició la retirada de material contaminado de las graveras de la zona Norte donde la contaminación, dada la naturaleza detrítica grosera del terreno, había infiltrado más. Con el fin de certificar la retirada de los restos de lodos y los suelos contaminados EMGRISA realizó para la CHG el muestreo y análisis de 1050 muestras de suelo en el cauce del río, 330 muestras para caracterizar la afección a las gravas y, posteriormente, otras 280 muestras para caracterizar la eficacia de la limpieza y la contaminación residual. En diciembre de 1999 se había certificado el 100% del tramo Sur del río (Puente de la Doblas-Puente de Don Simón) y las graveras, competencia ambas de la CHG (CHG, 1999), y el 60% del tramo Norte, responsabilidad de Boliden Apirsa.

El material extraído de la relimpieza de la cuenca del Guadiamar (820 000 m³) fue trasladado a la Corta Aznalcóllar hasta el 17 de febrero de 2000, cuando el nivel del agua alcanzaba una cota de 10,87 m.b.n.m.

2.4. Actuaciones para caracterizar la afección en suelos y aguas subterráneas

G. Carrero, C. Mediavilla, E.M^a Vázquez

2.4.1. Afección a suelos

Un año después de la retirada de lodos en el Guadiamar y las zonas afectadas por el vertido se realizó un muestreo del cauce para diagnosticar el estado de la contaminación en el lecho del río. Los resultados de este muestreo pusieron de manifiesto que los residuos de contaminación metálica eran aun muy importantes, superando

los niveles de intervención de arsénico y zinc en el 73% y el 85% de las muestras de cauce respectivamente.

Las primeras actuaciones de limpieza realizadas sobre el cauce se llevaron a cabo con urgencia, sin que existiera realmente un protocolo uniforme sobre la idoneidad de los métodos y operaciones a realizar en cada caso. Ante esta situación, la Comisión Mixta de Coordinación consideró que los altos niveles de contaminación existentes en el cauce obligaban a una nueva intervención para reducirla, optando por la extracción física del material contaminado en la totalidad del río.

Con el objeto de realizar una operación coordinada entre las Administraciones implicadas que optimizara los resultados de la retirada de lodos del año anterior, la Consejería de Medio Ambiente (CMA) elaboró un Protocolo de Actuaciones que rigiera las labores de extracción de material contaminado. La limpieza la llevó a cabo Boliden Apirsa en el tramo Norte, hasta el puente de Las Doblas, y la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) en el resto, hasta el Vado de Don Simón. La CMA de la Junta de Andalucía realizó la labor de control ambiental de las actuaciones desarrolladas, mientras que el control analítico lo llevó a cabo la Empresa para la Gestión de Residuos Industriales (EMGRISA).

Los muestreos realizados en el cauce indicaron que los niveles de contaminación existentes estaban en función de la granulometría del lecho y de la efectividad de los desagües realizados, debido a que en algunos tramos hubo problemas en agotar el nivel freático. Así, en las zonas con mayor presencia de arena y grava, la contaminación era mayor y alcanzaba más profundidad. En este sentido, el Protocolo de Actuaciones fijó las profundidades de excavación en 15 centímetros para suelos sin arena ni grava y en 50 centímetros para suelos con grava.

Metodología de las actuaciones: el objetivo establecido para conseguir una adecuada actuación en las labores de extracción del material contaminado del cauce fue alcanzar la máxima desecación posible del río en todo su perfil. Las anteriores experiencias ya habían evidenciado que la eficacia de la extracción para reducir la contami-

nación pasaba por actuar sobre material seco. Las operaciones desarrolladas han sido:

- Construcción de ataguías y desvíos de caudales por medio de bombeos o canales paralelos.
- Bombeo del agua embalsada entre las ataguías hasta su agotamiento.
- Reposo y oreo del material del lecho del río.
- Retirada del material con maquinaria en los espesores definidos.

Estas actuaciones han sido planificadas por tramos del cauce, en cada uno de los cuales se ha estudiado de forma particular el modo de intervención, la localización de los puntos adecuados de acopios de material extraído, así como la minimización de posibles afecciones al medio natural. Acompañando a los equipos mecánicos que realizaron las operaciones de extracción, se realizó la toma de muestras del cauce y las determinaciones analíticas correspondientes para evaluar los niveles de contaminación remanentes. Para determinar la eficacia del proceso de limpieza, la medida considerada más idónea fue la basada en la determinación del contenido en azufre como sulfuro, mayoritariamente azufre pirítico. Este indicador, además de presentar la ventaja de la rapidez, es fundamentalmente atribuible al vertido, puesto que los niveles de sulfuros de la zona eran mínimos frente a los niveles de fondo de metales existentes en el río como consecuencia de la existencia en cabecera de explotaciones mineras. El nivel de referencia se estableció en 0,3% de azufre pirítico, que es el valor que se corresponde a unos niveles de metales de acuerdo con la composición del lodo por debajo de los límites de intervención establecidos en la Orden de 18 de diciembre de 1998 de la Consejería de Medio Ambiente, considerados admisibles para zonas sensibles.

Certificación de las operaciones de limpieza: el Protocolo de Actuaciones definía que para la certificación de los tramos ejecutados era necesario una primera inspección visual y la realización de determinaciones analíticas que valoraran los niveles de contaminación definitiva. En el caso de que, bien por los resultados analíticos o bien tras la inspección visual, se detectara algún tipo de

problema, se tendría que proceder a limpiar de nuevo el tramo.

Para recibir la certificación de "visu" se realizaron seguimientos periódicos para verificar el ajuste de las obras conforme al plan de actuaciones previsto. Una vez finalizado un tramo se realizaba una inspección final que permitiera una aprobación provisional de las tareas de limpieza desarrolladas. Conforme se otorgaba la primera aprobación se iniciaban las tomas de muestras para la determinación de los niveles de contaminación. La toma de muestras se ha realizado con una frecuencia de una muestra compuesta a una profundidad de 10 centímetros por cada 50 metros, determinándose el contenido en azufre pirítico, arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc.

Estado final de la limpieza: los trabajos de limpieza abarcaron un total de 55 km de cauce y han supuesto la extracción de un volumen de material cercano a los 200 000 m³, junto con la realización de más de 900 determinaciones analíticas a lo largo del cauce. Las operaciones se llevaron a cabo conforme al Protocolo establecido, en cuanto a la metodología aplicada y calidad ambiental, lo que ha permitido reducir la contaminación del cauce significativamente, quedando ésta confinada a determinados puntos concretos de cota baja con presencia permanentemente de agua.

2.4.2. Afección a aguas subterráneas

Para evaluar el alcance de la contaminación producida sobre las aguas subterráneas por el vertido de Aznalcóllar, la CHG, como organismo gestor del dominio público hidráulico, puso en marcha una serie de actuaciones de emergencia acogidas al Real Decreto-Ley 4/1998, de 22 de mayo (BOE, 1998), entre las que se incluyen dos específicas y complementarias sobre los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Guadiamar: una para evaluar la posible afección a la calidad de las aguas subterráneas (CHG, 1998a); y otra para mejorar la infraestructura hidrogeológica y el grado de conocimiento sobre las condiciones hidrodinámicas de la zona (CHG, 1998b).

La primera actuación para determinar el grado de

afección a las aguas subterráneas fue realizada por la CHG entre los días 28 de abril y 5 de mayo de 1998 sobre 46 puntos de muestreo (pozos y sondeos) distribuidos a lo largo del acuífero aluvial del río Guadiamar. Las muestras se tomaron mediante bombeo, determinándose en campo el pH y la conductividad eléctrica. Posteriormente, las muestras de agua aciduladas con ácido nítrico hasta pH <2 fueron trasladadas al laboratorio para determinar metales pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Hg y As). En esta primera campaña de los 46 puntos muestreados sólo se detectó contaminación en 6 de ellos localizados dentro de la zona invadida por los lodos. Los metales que presentaron una mayor concentración fueron: Zn (452 ppm), Fe (215 ppm) y Mn (92 ppm). También se detectaron concentraciones significativas de Pb, Cu, Cd, Zn y As que, aunque menores a 1 ppm, fueron consideradas como relevantes dado su alto grado de toxicidad.

Los resultados de este muestreo permitieron un primer diagnóstico de la situación provocada por el vertido y sirvieron de base para el diseño de una red estable de 54 puntos de observación para controlar la evolución de la contaminación, tanto en el acuífero aluvial del río Agrio y Guadiamar, como en otros acuíferos de este entorno: Almonte-Marismas y Aljarafe. Sobre esta red gestionada por la CHG fueron realizados, hasta concluir el año 1998, un total de 31 campañas de muestreo con una periodicidad semanal y/o quincenal, cuyos resultados analíticos han sido contrastados por los equipos CSIC-UPC, ITGE y CIEMAT quienes realizan, también desde mayo de 1998, trabajos paralelos aunque con objetivos y métodos ligeramente diferentes. En conjunto, estos equipos han caracterizado la hidroquímica del acuífero aluvial (ver Capítulo 4), así como la evolución de la contaminación del agua subterránea hasta el momento actual (ver Capítulo 6).

Para completar y mejorar la infraestructura hidrogeológica de observación existente en el acuífero aluvial, la CHG ha desarrollado a partir del año 1999 una serie de proyectos de obra. Han consistido básicamente en la realización de una segunda campaña de sondeos de investigación y ensayos de bombeo (CHG, 1999a), así como la construcción de una barrera geoquímica (CHG, 1999c). Esta barrera geoquímica permeable de carácter experimental se ha construido en el acuí-

fero aluvial del río Agrio, un poco más abajo de la balsa accidentada, en la zona que está contaminada (ver Capítulo 10).

Los trabajos financiados por la CHG para caracterizar la afección a las aguas subterráneas han sido realizados por la empresa Compañía General de Sondeos (CGS). Los resultados de estos trabajos fueron incorporados, en buena medida, a los estudios que sigue desarrollando el consorcio de organismos y grupos de investigación cuyo trabajo está financiado por sendos proyectos de investigación FEDER-CICYT para el período 1999-2001, coordinados por el ITGE.

2.5. Seguimiento de la contaminación y actuaciones de remediación

G. Carrero, E.M.^a Vázquez

Aunque el accidente de Aznalcóllar no produjo daños personales, sin embargo, las consecuencias inmediatas sobre el medio natural y socioeconómico fueron relevantes. Así, pese al avanzado estado de degradación previa que ya presentaban, resultaron afectados todos los hábitats que conformaban el cauce del río Agrio-Guadiamar y sus riberas siendo, al menos en principio, la fauna acuática la comunidad más afectada. En cuanto a las actividades primarias, más de 3000 ha de superficie agrícola quedaron anegadas y fueron retiradas de la producción y la actividad de la planta de concentrado de la mina quedó paralizada durante un año.

El accidente minero de Aznalcóllar no ha sido el único de los que han acaecido durante las dos últimas décadas en el mundo. El caso del vertido tóxico de la mina de pirita de Porco, en Bolivia, ocurrido en agosto de 1996, presenta similitudes con el de Aznalcóllar, pero sus consecuencias, a pesar de que el volumen vertido era menor, han sido totalmente catastróficas en términos de salud humana e impacto ecológico, ya que a diferencia con lo ocurrido en Aznalcóllar la intervención pública para remediar sus consecuencias fue mínima. Ello provocó que los efectos del vertido se extendieran aguas abajo afectando a tres países. También puede señalarse el reciente vertido de cianuro y metales pesados del río Tisza, afluente del Danubio, en Rumanía, cuyas accio-

nes de remediación, al menos por el momento, también han sido mínimas. Todo ello ha hecho que en términos ambientales probablemente se hable de un antes y un después del Accidente de Aznalcóllar.

Actuaciones inmediatas de control y minimización de los efectos del vertido

Para responder con la mayor eficacia y rapidez a los problemas ocasionados por el vertido de Aznalcóllar se constituyó una Comisión de Coordinación entre la Administración General del Estado y la Junta de Andalucía. En este marco se diseñaron, asumieron y ejecutaron las medidas necesarias para salvaguardar la salud de los habitantes de la zona y de los operarios que intervenían en las actuaciones de limpieza.

Tras el accidente era necesario, asimismo, diseñar un **Programa de Control y Seguimiento de la Calidad Ambiental** que permitiera observar el efecto y evolución de los contaminantes en el medio físico y natural y la efectividad de las medidas adoptadas. En este sentido se ha llevado a cabo un seguimiento exhaustivo y sistemático de suelos, aguas, aire, sedimentos y seres vivos.

Seguimiento de la calidad ambiental y situación actual de la contaminación

El control de los efectos ambientales se está llevando a cabo mediante dos programas simultáneos, uno con medios propios de la administración y otro dentro del Programa Científico del Corredor Verde del Guadiamar, a través de convenios en los que participan todas las universidades andaluzas y varios centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, tanto de Andalucía como de otras comunidades autónomas.

En lo que se refiere al control efectuado por la Junta de Andalucía, inicialmente se establecieron una serie de puntos de muestreo fijos, que en principio estaban centrados en el seguimiento de la calidad de las aguas superficiales. Esta red se completaba con otra serie de muestreos adicionales que se tomaron para caracterizar determi-

nadas situaciones especiales, tales como la evolución de la calidad de las aguas en Entremuros, eficacia de la depuración, efectos de las lluvias, etc. Paralelamente se establecieron una serie de redes de control de la calidad del aire, de análisis de suelos, de análisis de sedimentos en el río y en el estuario, así como muestreos periódicos para determinar los efectos sobre los seres vivos.

Por su parte, la Administración del Estado mantenía también una red de vigilancia de la calidad de aguas superficiales y subterráneas, en el ámbito de su competencia, que producía información complementaria a la señalada (ver Capítulo 6).

Suelos: finalizados los trabajos de limpieza de las zonas afectadas por el vertido, la Consejería de Medio Ambiente (CMA) inició distintas actuaciones de remediación de la contaminación residual, previas a las actuaciones de regeneración ecológica. Estas actuaciones se rigen por las recomendaciones de los científicos integrados en el **Programa de Investigación del Corredor Verde del Guadiamar**. La planificación de las operaciones complementarias tras la retirada de lodos se realizó sobre la base de un muestreo de más de 2000 puntos de análisis, donde se determinaron los componentes metálicos principales y el porcentaje de sulfuros existentes en los primeros treinta centímetros de suelo. Se dictó también una Orden, que desarrolla para el caso del Guadiamar la Ley Básica de Residuos, y que establece los niveles de intervención para los principales metales existentes en los lodos. El resultado del muestreo permitió planificar las tareas, priorizando según los siguientes criterios:

- En primer lugar, promover la extracción física de materiales contaminados, siempre que tecnológicamente fuera factible.
- Adición de compuestos químicos que neutralicen o disminuyan la biodisponibilidad de los contaminantes (enmiendas calizas, férricas y orgánicas) (ver Capítulo 5.4).
- Diseño de técnicas complementarias (fitorremediación y fitoextracción) en zonas localizadas, en las que las operaciones anteriores no habían podido conseguir los objetivos previstos. Esta medida se aplica en último término

debido a los inconvenientes que presenta, ya que no existe ninguna especie que acumule todo o gran parte del espectro de metales a tratar, y resulta difícil garantizar la no ingestión de la masa vegetal por los herbívoros.

Tras las actuaciones de limpieza llevadas a cabo hay que destacar una diferenciación de la situación a lo largo del curso del río. Así, la zona Norte, desde la balsa hasta el Puente de las Doblas, permanece con zonas aún contaminadas debido a una influencia mayor del vertido, al mecanismo de extracción de los lodos, a la naturaleza del suelo (poco carbonatado y con escaso poder de amortiguación), etc. Por el contrario, en la zona Sur los problemas se reducen de forma notable, limitándose la contaminación residual a pequeños enclaves ligados en general a zonas de antiguos brazos "madreviejas" o densamente arboladas, donde la limpieza (manual) resultó especialmente difícil. La existencia de estas zonas residuales en forma de mosaico avala y justifica la decisión adoptada por el Gobierno y el Parlamento de Andalucía de retirar de forma definitiva para el cultivo los terrenos afectados por el vertido.

Sin embargo, a nivel global y basándose en muestreos integrados, el nivel de eficacia de la limpieza ha sido bueno, superior al 99% de la contaminación inicialmente vertida, y esto se ha reflejado en las consecuencias positivas que ha tenido, por ejemplo, en seres vivos, disminuyendo ostensiblemente el contenido en metales de los mismos.

Aguas: los muestreos en aguas se han realizado con una periodicidad semanal, aumentando ésta cuando ha surgido alguna incidencia tanto en los distintos puntos del río como en el estuario del Guadalquivir (ver Capítulo 6.3). En los primeros días tras el accidente la calidad de las aguas se vio muy alterada, mejorando ostensiblemente los días posteriores, llegando a alcanzar valores, en general, próximos a los normales. Esta situación se ha ido manteniendo, con la excepción del tramo Norte del río, donde debido a las descargas del aluvial y a la contaminación residual de los terrenos, se producen situaciones puntuales de incremento de Zn y Mn, principalmente, y disminución del pH, sobre todo después de producirse lluvias intensas (ver Capítulos 6 y 10). Esta

situación previsiblemente mejorará con la instalación de la barrera geoquímica experimental (ver Capítulo 10) y las enmiendas de suelos que todavía se desarrollan en esta zona.

Atmósfera: los problemas de contaminación atmosférica se presentaron, de forma puntual, en algunos días durante la limpieza de suelos y relacionados con los niveles de partículas en suspensión. No ha existido posteriormente incidencia alguna, estando los valores registrados en las estaciones de vigilancia dentro de la normalidad.

Sedimentos: después de las operaciones de limpieza que de forma generalizada se han realizado en el río y de forma selectiva en las tierras afectadas, la contaminación residual medida es normal para el caso del estuario y aceptable para el resto del lecho del río.

Seres vivos: constituyen en última instancia el reflejo de la situación del medio físico, al hacer de éste su soporte y fuente de materia y energía. La efectividad de las medidas adoptadas para la remediación de la contaminación ha tenido su mayor exponente en la mejora de ecosistemas alterados, que ha permitido la recolonización de los mismos por distintas comunidades vegetales y animales, como demuestran distintos estudios realizados tanto por la Junta de Andalucía como por universidades y organismos del CSIC. Especies que desaparecieron de la zona tras el vertido han empezado a manifestar su presencia en la misma.

Por otra parte ha habido un seguimiento continuado y exhaustivo del contenido metálico en especies, tanto de flora como de fauna. Entre los grupos estudiados cabe destacar el de anátidas de la zona Entremuros, dentro del Parque Natural de Doñana, que en un principio presentaron niveles altos de metales particularmente importantes en hígado, pero que han evolucionado muy favorablemente, estando actualmente los niveles estabilizados y sin diferencias significativas con respecto a individuos de zonas no contaminadas. Otras especies de animales estudiados (conejo, liebre, perdiz) corroboran la favorable evolución.

En la zona de Entremuros se ha prestado también una atención especial a la contaminación acumulada por las plantas que constituyen alimento

para la avifauna allí asentada (enea, castañuela, carrizo). Estas especies, que se sustentan en suelos que fueron fuertemente afectados por las aguas retenidas, presentaban en un principio niveles altos de metales solubles, principalmente cinc, que se acumulaban sobre todo en órganos subterráneos. Esta circunstancia fue la que aconsejó que se retirara toda la vegetación existente, así como los primeros centímetros de tierra, ya que aunque en su mayor parte no fueron afectadas por lodos, la retención de aguas contaminadas durante varios meses facilitó la transferencia de la contaminación a los vegetales e incluso a la capa superficial del suelo. En la actualidad, después de la limpieza y enmiendas realizadas, el problema está prácticamente resuelto.

En el Estuario del Guadalquivir, donde los moluscos han sido considerados como indicadores de las condiciones ambientales, tampoco se han observado niveles que permitan señalar una incidencia directa del vertido.

Por último es importante señalar que en el estudio de la incidencia del vertido en seres vivos se ha observado que existe una fuerte variación de los niveles de contaminación, tanto interespecífica como intraespecífica, por lo que para poder observar tendencias es necesario elegir determinadas especies como indicadores. Así, en estas especies puede realizarse un muestreo amplio, ya que en ocasiones se han medido altos niveles de contaminación, no relacionada exclusivamente con el vertido, que han puesto de manifiesto la existencia de problemas crónicos. Son particularmente importantes en el caso del plomo, que aconseja la adopción urgente de medidas de protección, como la de sustitución de este metal en la munición empleada por los cazadores de aves acuáticas.

2.6. El Corredor Verde del Guadiamar

J. M.^a Arenas, G. Carrero

Introducción

El Corredor Verde del Guadiamar constituye un proyecto de gestión integrada de cuenca impulsado y desarrollado por la Consejería de Medio Ambiente (CMA), de la Junta de Andalucía, que

surge como respuesta al accidente minero de Aznalcóllar. Su objetivo, además de controlar y remediar la contaminación generada por el vertido minero, estriba en establecer un territorio de elevada heterogeneidad ecológica y conectividad que favorezca la función de la cuenca del Guadiamar como corredor de especies y procesos entre los ecosistemas del litoral de Doñana y Sierra Morena Occidental.

Por otra parte, se plantea mejorar la situación socioeconómica de los municipios afectados impulsando para ello un modelo de desarrollo sostenible. Se entiende que el Proyecto del Corredor Verde del Guadiamar no debe ser sólo un corredor ecológico, sino también un corredor socioeconómico con una imagen de marca de calidad asociada a este espacio, que actúe como eje articulador e impulsor de iniciativas de desarrollo entre Sierra Morena y Doñana.

El modelo de gestión que propone el Proyecto del Corredor Verde se basa en un profundo conocimiento de los sistemas naturales y humanos de la cuenca y las relaciones que se establecen entre éstos. De ahí, que el proyecto se fundamente científicamente en un ambicioso programa de investigación: el **Programa de Investigación del Corredor Verde (PICOVER)**, que constituye el programa de investigación multidisciplinar aplicada más importante que se haya desarrollado en España para abordar, desde una perspectiva científica, un problema ambiental y social de la envergadura del ocasionado por el vertido de las minas de Aznalcóllar.

El Programa, con un coste cercano a los 800 millones de pesetas en su primera fase, se articula en torno a 20 convenios con una duración prevista de tres años (1999-2002) en los que participan 28 centros de investigación que abarcan la totalidad de las universidades andaluzas, así como otras universidades españolas y los más importantes centros e institutos del CSIC relacionados con la investigación en las ciencias de la naturaleza. Dada la complejidad del problema y naturaleza sistémica del proyecto del Corredor Verde, en el PICOVER participan más de 200 profesores e investigadores, junto con más de 80 becarios pre y postdoctorales. Su carácter multidisciplinar queda reflejado en el amplio abanico de áreas de especialización científica que inter-

vienen, encuadradas tanto en las ciencias de la naturaleza como en las ciencias sociales, ciencias de la salud y las tecnológicas del medio ambiente (CMA, 1999c).



2.2 Gráfico de la estructura organizativa del Programa de Investigación del Corredor Verde del Guadiamar.

La Estrategia del Corredor Verde

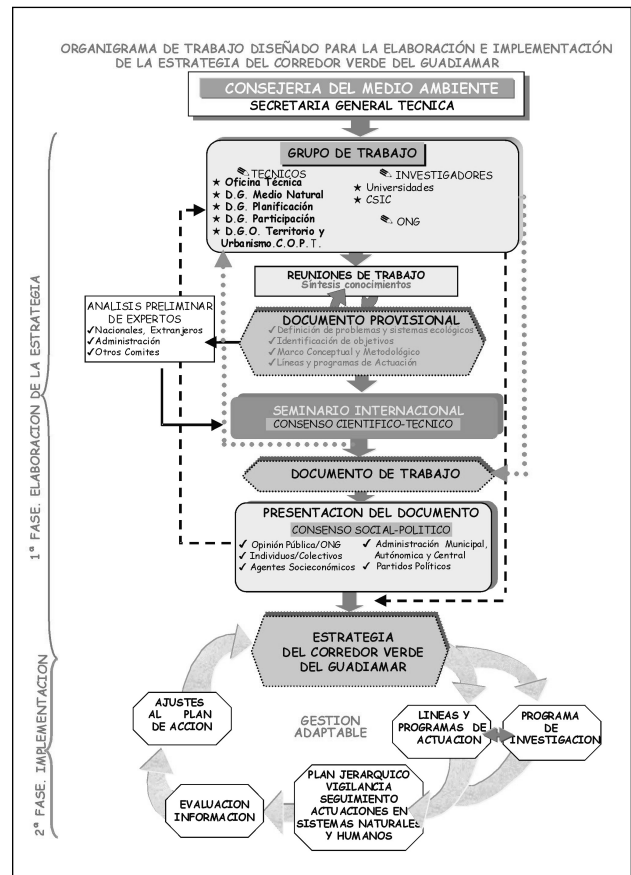
Como paso previo a la fase de implementación del Proyecto del Corredor, la Junta de Andalucía consideró oportuno establecer previamente unas bases técnicas y científicas que sirvieran de referencia para todas las intervenciones de recuperación en la cuenca del Guadiamar. Para ello se trabajó en la elaboración de La Estrategia del Corredor Verde, que constituye el Plan de Acción o documento marco en el que se establecen las directrices y las líneas de actuación a desarrollar

por la Administración autonómica. La Estrategia considera como principios básicos el enfoque integral de la gestión a nivel de cuenca, la adopción de medidas fundamentadas científicamente y la necesidad de un amplio respaldo social e institucional por las diferentes administraciones competentes en la zona.

En la discusión y elaboración de la Estrategia ha participado un nutrido grupo de expertos, técnicos, científicos y representantes de organizaciones conservacionistas durante el Seminario Internacional sobre Corredores Ecológicos, celebrado en Sevilla en junio de 1999 (CMA, 1999b). La Estrategia se estructura en cuatro líneas principales de acción (Fig. 2.3):

- **Diseño del Corredor Ecológico**, que se centra en el estudio de los requerimientos de hábitats específicos para las especies potenciales, el análisis de los ecosistemas y paisajes de la cuenca, para conocer los problemas de fragmentación y conectividad y otros aspectos relacionados con la funcionalidad del Corredor Verde.
- **Seguimiento y Vigilancia de la Contaminación** tanto de las aguas y suelos del cauce y la llanura aluvial como de los seres vivos, mediante la creación de un sistema experto de control de la contaminación.
- **Restauración Ecológica**, que estudia el funcionamiento y la restauración de los procesos ecológicos interrumpido a raíz del accidente y por otras causas de degradación así como los criterios de restauración de carácter geomorfológico, hidrológico, botánicos y faunísticos.
- **Integración de los sistemas naturales y humanos** de la cuenca, que contempla la utilización económica, social y recreativa de este espacio a través del equipamiento de uso público, la educación ambiental y el impulso de un modelo de desarrollo alternativo y sostenible para los municipios afectados.

Para implementar este proyecto la CMA, a través de su Secretaría General Técnica, ha creado una estructura organizativa muy simple en la que adquiere un papel fundamental la Oficina Técnica del Corredor Verde del Guadiamar, que tiene



2.3 Organigrama de la Estrategia del Corredor Verde del Guadiamar.

como principal objetivo la dirección técnica y ejecución de las líneas y programas definidos en su Estrategia o Plan de Acción.

Ámbitos o Marcos de referencia del Proyecto

Debido al carácter integral y a los diferentes tipos de relaciones que se establecen en el marco de la cuenca, la realización del proyecto contempla dos tipos de ámbitos de análisis o marcos de referencia: marcos de referencia de significado ecológico y marcos de referencia de significado socioeconómico.

Marcos de referencia de significado ecológico

- **Ámbito de la cuenca del Guadiamar:** constituye

el ámbito general de referencia para el estudio de la estructura, dinámica y funcionamiento de los sistemas naturales del río Guadiamar y su cuenca y la trama de relaciones que se establecen entre éstos y los sistemas humanos que los explotan. Los objetivos de ordenación para este espacio se dirigen a promover un modelo de gestión de uso múltiple del territorio que permita potenciar esta cuenca, de una gran heterogeneidad ecológica, para favorecer el flujo de procesos y relaciones naturales entre la sierra y el litoral y evitar las disfunciones que se establecen actualmente entre los sistemas de aprovechamientos que se realizan en la cuenca y las medidas de recuperación que se están desarrollando.

Una gran parte de los proyectos de investigación del PICOVER, sobre todo los relacionados con las líneas de trabajo de diseño del Corredor ecológico y de Restauración Ecológica, contemplan como ámbito de análisis la totalidad de la superficie de la cuenca del Guadiamar. En cuanto a la figura de planificación ambiental y territorial de este ámbito, en breve plazo está prevista la tramitación de un Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la cuenca que defina la continuidad del corredor ecológico en la cabecera de la cuenca y establezca las bases para la aplicación de una figura de protección específica del Corredor Fluvial.

- **Ámbito del área prioritaria de restauración:** se corresponde con la zona de la llanura aluvial y de las terrazas bajas, que resultó afectada por el vertido minero. Actualmente, la titularidad de toda esta superficie, cercana a las 4800 ha, corresponde a la Administración autonómica tras su adquisición a los particulares y se está tramitando el cambio de uso agrícola a forestal de estos terrenos. Constituye, por tanto, el ámbito prioritario de las medidas de restauración que se están llevando a cabo. Dentro de los proyectos de investigación del PICOVER, éste constituye el marco de referencia principal de los proyectos de investigación relacionados con la línea de actuación de seguimiento, control y remediación de la contaminación.

Las obras de restauración ecológica dentro del Corredor Verde se iniciaron en el otoño de 1999, una vez finalizadas las obras del Plan de Medidas Urgentes para minimizar el impacto ambiental y

socioeconómico generado por el vertido minero, que permitió la retirada de la práctica totalidad de los lodos, la depuración de las aguas en Entremuros y la inmovilización de gran parte de los metales pesados.

El Proyecto de Restauración Ecológica pretende llevar los ecosistemas destruidos o degradados a las condiciones más parecidas a las que les corresponderían, según del proceso de sucesión ecológica, de no haber sido afectados por las actividades de transformación agrícola y el impacto del vertido minero. La restauración se basa en una zonificación del área en sectores ecodinámicos. Se ha comenzado por las zonas más ecodinámicas donde se han aplicado enmiendas orgánicas para mejorar las propiedades edáficas y de fertilidad del suelo, dejando sin actuar los sectores ecodinámicos considerados como más inestables, que constituyen el "espacio de libertad del río". Una vez que el río ha quedado liberado de la presión antrópica que constreñía sus márgenes, y tras las modificaciones en las características geométricas del cauce provocadas por las operaciones de limpieza, se trata ahora de dejar que el río Guadiamar, con un régimen típicamente mediterráneo y casi carente de regulación, trace su nuevo perfil de equilibrio. Este proceso se ha podido comprobar con ocasión de las crecidas extraordinarias ocurridas en el invierno 2000-2001.

Para poder entender la finalidad del programa de restauración ecológica del Corredor Verde es necesario indicar que se ha partido del concepto de restauración no entendida como la reconstrucción, con unos resultados más o menos estables, de las comunidades vegetales que naturalmente habitaban este espacio. La restauración implica, por tanto, que las comunidades vegetales a reconstruir deben ser el resultado de investigaciones científicas basadas en conceptos ecológicos, como clímax y sucesión, entre otros, para conseguir los objetivos de restauración, y no limitarla simplemente a la implantación de una cubierta vegetal. Ante la ausencia de referencias naturales que permitan conocer el tipo de vegetación que formaban los antiguos ecosistemas debido, como ya se ha expuesto, al estado de degradación que ya presentaban antes del vertido, se están realizando estudios que puedan servir de cuadros de referencia en otras comuni-

dades vegetales cercanas y ecosistemas riparios dentro de la cuenca.

Marcos de referencia de carácter socioeconómico y administrativo

- **Ámbito de análisis socioeconómico del Corredor Verde.** Para responder al objetivo contemplado en el Proyecto del Corredor Verde de impulsar estrategias de desarrollo sostenible, se ha establecido un marco de referencia territorial como ámbito de prospectiva socioeconómica a partir de las primeras conclusiones aportadas por el grupo de trabajo sobre desarrollo sostenible dentro del PICOVER.

Teniendo en cuenta que el municipio constituye el ámbito de organización administrativa más pequeño, se ha definido así un territorio o ámbito de análisis socioeconómico constituido por quince municipios: los nueve municipios que resultaron afectados por el vertido más los municipios de las dos márgenes del río Guadiamar que sirven de conexión entre el área afectada y la parte alta de la cabecera en Sierra Morena y aquellos municipios ribereños cuyos núcleos de cabeceras se sitúan a menos de 2 km del cauce principal. Los municipios incluidos en este ámbito son: Albaida del Aljarafe, Aznalcázar, Aznalcóllar, Benacazón, El Castillo de las Guardas, El Garrobo, Gerena, Huévar, El Madroño, Olivares, Pilas, La Puebla del Río, Sanlúcar la Mayor, Isla Mayor y Villamanrique de la Condesa.

- **Ámbito de Protección Urbanística.** Una vez retirada la contaminación y adquirida la titularidad pública de los terrenos afectados por el vertido, se plantea la necesidad de abordar la ordenación urbanística de los terrenos afectados y sus márgenes para evitar la presión que está surgiendo como consecuencia de nuevas propuestas de promociones urbanísticas y nuevos usos en determinados sectores limítrofes que resultarían incompatibles con la finalidad que persigue el Corredor Verde. En este sentido se está estudiando, junto con la Consejería de Obras Públicas y Transportes, la posibilidad de declarar un perímetro de protección urbanística en torno al área de expropiación del Corredor Verde y la elaboración de un Plan Especial de carácter supramuni-

cipal que evite la urbanización de los terrenos comprendidos en esta franja. Dicho perímetro se ha trazado sobre una franja de aproximadamente 500 m a partir de los terrenos expropiados, aunque en algunos casos es variable para hacerla coincidir con la presencia de líneas naturales o artificiales del territorio (camino, carreteras, vías pecuarias, arroyos, etc.) que faciliten su delimitación.

Conclusión

Actualmente, el Corredor Verde del Guadiamar es un proyecto consolidado que ha permitido cambiar la mala imagen internacional que provocó el vertido minero de Aznalcóllar, consiguiendo que el nombre del Guadiamar se asocie no sólo al ámbito donde ocurrió una importante catástrofe ecológica, sino a una zona donde la comunidad autónoma ha sabido reaccionar llevando a cabo un ambicioso proyecto de restauración ecológica y reactivación territorial avanzado y novedoso que puede ser tomado como ejemplo.

Como reconocimiento al esfuerzo realizado por la Administración, especialmente la autonómica, en minimizar, controlar y remediar el episodio de contaminación por metales pesados provocado por la rotura de la balsa de estériles de la mina de Aznalcóllar hace más de dos años, y a la coherencia y viabilidad del Corredor Verde desde el punto de vista científico, técnico y económico, el proyecto cuenta con un considerable apoyo y reconocimiento tanto a nivel de ciudadano como de los más importantes organismos e instituciones internacionales, tales como la Agencia Americana de Protección Ambiental, la Unión Mundial para la Naturaleza, el Fondo Mundial para la Vida Salvaje y el Consejo de Europa.

En último término, se pretende que esta propuesta de gestión de cuenca del Guadiamar, apoyada en el conocimiento científico de todos sus componentes, pueda servir de proyecto demostración y modelo de referencia para la recuperación y gestión de otras cuencas del ámbito mediterráneo de características similares. De igual modo, el Corredor Verde se convierte en una experiencia pionera que contribuirá al proceso de consolidación de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía como una verdadera red

de espacios protegidos interconectados a través de corredores ecológicos.

REFERENCIAS

Administración General del Estado-Junta de Andalucía (1999). Memoria de Actuaciones. Abril 1999. Comisión de Coordinación para la recuperación de la cuenca del Guadiamar. Administración General del Estado y Junta de Andalucía: 1-133.

Alonso, E; Gens, A. (2000). Rotura de la balsa de residuos mineros de Aznalcóllar. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona (informe pericial).

BOE (1998). Real Decreto-Ley 4/1998, de 22 de mayo, por el que se concede a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir un crédito extraordinario de 4500 millones de pesetas para financiar las actuaciones derivadas de la rotura de la balsa de Aznalcóllar. Boletín Oficial del Estado, nº 123.

BOJA (1998a). Decreto 99 de 12/5/1998, sobre adopción de medidas contra los efectos producidos en el territorio andaluz como consecuencia de la rotura de la balsa de decantación de la mina propiedad de Boliden Apirsa, S.L., ubicada en el término municipal de Aznalcóllar, Sevilla. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, nº 55.

BOJA (1998b). Acuerdo de 2/6/1998, del Consejo de Gobierno, por el que se declara la urgente realización de los trabajos de retirada de lodos procedentes de la rotura de la balsa de decantación de la mina propiedad de Boliden Apirsa, S.L., Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, nº 63.

BOJA (1998c). Decreto 116/1998, de 9 de junio, por el que se regulan medidas excepcionales para la adquisición por la Administración de la Junta de Andalucía de tierras de titularidad privada afectadas por la rotura de la balsa de decantación de la mina propiedad de Boliden Apirsa, S.L., Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, nº 66.

BOJA (1998d). Ley de 377/1998, de concesión de crédito extraordinario para financiar las actuaciones derivadas de la rotura de la balsa de decantación de residuos de la mina ubicada en el término municipal de Aznalcóllar. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía.

BOJA (1999). Orden de 18/12/1998, por la que se fijan las concentraciones límites en los suelos afectados por el accidente minero de Aznalcóllar. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, nº 5.

CAP (1999). Síntesis de las actuaciones a consecuencia de los vertidos producidos por la rotura de la balsa de las minas de Aznalcóllar (Sevilla). Enero 1999. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía: 1-194, planos.

CMA (1999a). Disposiciones de la Junta de Andalucía relativas a la rotura de la balsa de decantación de la mina de Aznalcóllar (Sevilla). Enero 1999. Consejería Medio Ambiente de la Junta de Andalucía: 1-60.

CMA (1999b). La estrategia del Corredor Verde del

Guadiamar. Fundamentos de la Estrategia. Conclusiones del Seminario Internacional sobre Corredores Ecológicos. Sevilla. Junio 1999.

CMA (1999c). Programa de Investigación del Corredor Verde del Guadiamar. PICOVER 1999-2002. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Sevilla: 1-191.

CHG (1998a). Actuaciones para el control de la contaminación de las aguas subterráneas con motivo del vertido de las minas de Aznalcóllar. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, clave SE (AZ)-1279.

CHG (1998b). Actuaciones para la realización de las obras de control y ensayos para el estudio de la contaminación de las aguas subterráneas con motivo del vertido de las minas de Aznalcóllar. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Clave SE (AZ)-1280.

CHG (1998c). Tratamiento y evacuación de las aguas ácidas en Entremuros. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Informe 12/98 (informe interno).

CHG (1999a). Realización de sondeos piezométricos y ensayos de bombeo en el ámbito geográfico afectado por la rotura de la balsa de residuos de Boliden Apirsa, S.L. (Sevilla). Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Clave SE (AZ)-1366.

CHG (1999b). Recuperación de suelos contaminados en la zona de graveras afectados por el vertido de lodos mineros en la cuenca del río Guadiamar. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Ref. 09/99. Clave SE (AH)-1485.

CHG (1999c). Ejecución de la barrera geoquímica experimental. Seguimiento de la contaminación del aluvial del río Agrio. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Clave SE (AH)-1546.

EMGRISA (1998). Definición de los niveles de referencia para los suelos de la cuenca del río Guadiamar afectada por el vertido de la balsa de residuos mineros accidentada en Aznalcóllar (Sevilla). Empresa para la Gestión de Residuos Industriales. Sociedad Estatal. Ministerio de Medio Ambiente, Diciembre 1998: 1-151.

EMGRISA (1999). Campañas analíticas en el cauce del río Guadiamar 1998-1999. Empresa para la Gestión de Residuos Industriales. Sociedad Estatal. Ministerio de Medio Ambiente. Diciembre 1999: 1-23, anexos, planos.

Guijarro, A. (1999). Aznalcóllar tailings darm accident. Purification of waters retained in Entremuros (Guadiamar river, Spain). Mine, Water & Environment, IMWA Congress, Sevilla, Spain: 261-264.

ITGE (1998a). Informe hidrogeológico preliminar relativo a la ubicación de los residuos vertidos como consecuencia de la rotura de la balsa que los contenía, situada en la concesión minera de Aznalcóllar (Sevilla). Informe del Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.

ITGE (1998b). Cartografía y ubicación de los lodos mineros en la cuenca del río Guadiamar. Aznalcóllar-Entremuros. Instituto

Tecnológico Geominero de España. Informe ITGE: RM-001-98. Madrid: 1-7, 11 mapas.

ITGE (1998c). Informe hidrogeológico relativo a la ubicación de los estériles mineros y del concentrador en la corta de Aznalcóllar. Término Municipal de Aznalcóllar (Sevilla). Instituto Tecnológico Geominero de España. Informe AS-7-99. Madrid: 1-13.

ITGE (1998d). Contribución al establecimiento del fondo geológico químico previo a la rotura de la balsa minera de Aznalcóllar, en el aluvial del río Guadiamar (sector Aznalcóllar-

Entremuros). Instituto Tecnológico Geominero de España. Informe RMMA 152/98. Madrid: 1-31.

ITGE (1998e). Informe sobre la depuración de las aguas de Entremuros con una planta de emergencia. Instituto Tecnológico Geominero de España. Ministerio de Medio Ambiente (informe interno): 1-35.

ITGE (1999). Cartografía del lodo pirítico remanente (julio 1999) en la cuenca del río Guadiamar. Instituto Tecnológico Geominero de España. Informe GTB 06/99. Madrid: 1-2, 7 mapas.