

Propuesta de Plan de Avenidas para el control de los efectos de vertidos tóxicos accidentales al cauce del río Guadiamar



El río Guadiamar antes del accidente.

J. Miguel MEDIALDEA
Consuelo RUÍZ
Laura ISAC
M^a Carmen ARNÁIZ
M^a Angeles MONTES
M^a José MORÓN
Beatriz GARCÍA
Isabel GARCÍA
Encarna ESCOT
Fernanda MARTÍNEZ
Celia M^a LÓPEZ
Julián LEBRATO

Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales
Rocío CARMONA
Instituto Politécnico de Sevilla
E.U.P., UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Introducción

El 25 de abril del pasado año, la rotura de una balsa de decantación propiedad de la empresa sueca Boliden Apirsa, S. L., situada en la zona minera de Aznalcóllar (Sevilla) y utilizada para el almacenamiento de residuos procedentes de las labores de tratamiento de piritas, provocaba el vertido de unos cinco hectómetros cúbicos de lodos tóxicos y agua ácida al cauce del río Guadiamar. De ellos, casi 3 millones de metros cúbicos de agua permanecieron retenidos durante meses en la zona conocida como

Entremuros del Guadiamar, sección del cauce situada en los límites del Parque Nacional de Doñana, que fue acondicionada de manera improvisada para frenar la avalancha de agua y lodo tóxico que bajaba por el río.

La mayoría de los estudios llevados a cabo después del accidente se centraron en la zona de Entremuros y tuvieron como objetivo esencial encontrar un método eficaz para elevar el pH del agua retenida y reducir las concentraciones de metales pesados en disolución (Fe, Mn, Zn, Cd, Pb, Hg, As...) hasta valores situados por debajo de los límites, para verti-

dos a cauces recogidos en el Anexo IV del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Ley.29/1985, de 2 de agosto, de Aguas) (Medialdea *et al.* 1999, García Mediavilla *et al.* en prensa, Montes *et al.* en prensa).

Sin embargo, han sido escasas las referencias aparecidas en la literatura técnica o en la prensa común acerca de la necesidad de acometer, además de acciones puntuales encaminadas a la mitigación de los efectos inmediatos del vertido, otras destinadas a la prevención de accidentes del mismo tipo que puedan tener lugar en el futuro.

Entre las medidas de carácter preventivo, que deberían ser tomadas por las diferentes administraciones públicas encargadas de la gestión del río Guadiamar, una de las más importantes es sin duda la puesta en marcha de un Plan de Avenidas que permita conocer exhaustivamente la hidrología del río, a fin de poder prever posibles anomalías futuras en el comportamiento del cauce y afrontar con garantías su recuperación.

En el presente trabajo se describe de manera concisa la propuesta de Plan de Avenidas elaborado por el Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales de la Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla, en el marco del conjunto de estudios llevados a cabo por dicho equipo de investigación con el objeto de comprender el alcance de los efectos del vertido y corregirlos con vistas a la prevención de futuros desastres parecidos.

El mencionado Plan incluye una serie de actuaciones que han de ser acometidas por separado en el río Guadiamar, y que conciernen al acondicionamiento del propio cauce y de los terrenos adyacentes que fueron afectados por el vertido tóxico de las minas de Aznalcóllar:

- * Control de las avenidas propiamente dicho.
- * Control en continuo del caudal de avenida y de la calidad del agua.
- * Estabilización de los suelos afectados por contaminación mediante tratamiento químico.
- * Estabilización de los suelos libres de contaminación mediante tratamiento biológico.
- * Incremento de la sedimentación natural en la zona de Entremuros.

Características hidrológicas de la cuenca del río Guadiamar

El análisis de las series temporales de precipitación correspondientes a la zona de estudio durante el último siglo y medio

Periodo	Mes	Aportación media en l/m ²
INVIERNO	Diciembre	23
	Enero	37
	Febrero	35
	Marzo	41
PRIMAVERA/VERANO	Abril	27
	Mayo	17
	Junio	7
	Julio	5
	Agosto	4
OTOÑO	Septiembre	3
	Octubre	6
	Noviembre	14

Tabla 1. Variación estacional del caudal del río Guadiamar (valores promediados para el período 1942-1994, según datos suministrados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir).

(EMASESA 1981, 1997), sugiere una alternancia regular de períodos secos (< 300 l/m² de lluvia anual) y húmedos (> 750 l/m²) típicamente Mediterránea.

El momento actual puede considerarse estadísticamente enmarcado dentro de un período húmedo, aún cuando no se alcanzan los máximos característicos de los años de pluviometría punta. Es por esta razón por lo que resulta de capital importancia prever los caudales de avenida de aquellos cursos de agua que presentan un comportamiento particularmente irregular en lo referente a volumen de agua transportada, y cuyas variaciones de caudal pueden llegar a tener un efecto catastrófico sobre las poblaciones y el medio natural del entorno.

El río Guadiamar es un río Mediterráneo en el que las aportaciones medias suelen ser máximas en invierno y mínimas en primavera-verano. En la tabla 1 se recogen los volúmenes medios de agua aportados por el río en las diferentes estaciones del año, a lo largo del período 1942-1994, según datos suministrados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

También de acuerdo con datos facilitados por el mencionado organismo, el río Guadiamar es capaz de pasar de un caudal casi nulo a más de 100 m³/seg en el intervalo de un sólo día. A modo de ejemplo, en la tabla 2 se muestran los valores absolutos

de caudal medidos en la Estación de Aforo (EA) del Guijo en los primeros días del mes de Febrero de 1982.

La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir divide la cuenca del Guadiamar (UH 9) en 11 unidades hidrológicas (UH 0901 a UH 0911, Ministerio de Medio Ambiente 1998 a). Las unidades UH 0901 y 0902 tienen una influencia directa sobre el río Guadalquivir y no sobre el Guadiamar, mientras que las UH 0909, 0910 y 0911 se encuentran situadas aguas abajo de Entremuros, por lo que sus aportaciones pueden fluir libremente y no están sujetas a contaminación alguna procedente de aguas arriba de Entremuros. Son las UH 0903 a 0908 (Guadiamar en EA nº 56, 90 y 76; Guadiamar aguas arriba del Brazo de la Torre; Agrío en embalse del Agrío y Arroyo Los Frailes en embalse del Cuervo, respectivamente) las que han de ser consideradas para la elaboración del Plan de Avenidas.

Actuaciones previstas en el Plan de Avenidas

En la tabla 3 se recogen los caudales máximos de avenida en la cuenca completa del río Guadiamar, para distintos períodos de retorno. Los valores mostrados son los que aparecen en el Documento de Síntesis del Plan Doñana 2005.

Tomando como ejemplo un caudal de 1.065 m³/seg debido a

un vertido contaminante masivo como el producido por la rotura de la balsa minera de Aznalcóllar, la única solución posible sería la retención de la avalancha en la zona de Entremuros. Sin embargo, dado que la capacidad de almacenaje de Entremuros es de 3.500.000 m³ de agua, un caudal de avenida como el mencionado provocaría el desbordamiento de este sector del cauce en tan sólo una hora.

En estos casos en los que no es posible dejar fluir libremente el agua debido a su contaminación, es donde se hace evidente la necesidad de contar con un Plan que permita hacer frente a incrementos súbitos del volumen de agua transportada por el río, sin la obligación de retener el agua en Entremuros y el subsiguiente peligro de desbordamiento. Además, un Plan de este tipo permitiría prevenir los riesgos de avalanchas de agua debidas a causas naturales (e.g. intensas precipitaciones) para periodos de retorno razonables.

A continuación se describen muy brevemente las actuaciones previstas en el Plan propuesto:

Control de las avenidas

Esta actuación consistiría en la recogida, desvío o canalización adecuada de todo el agua procedente de la avenida, aguas arriba de Aznalcóllar. La actuación contemplaría intervenciones en dos tramos diferentes del cauce:

Tramo 1: desde el nacimiento del río hasta Aznalcóllar

Para esta zona del río se proponen dos actuaciones básicas:

Vaciado controlado del Embalse del Agrío

El embalse del Agrío, construido en 1977, se localiza en la cuenca del río Agrío o Crispinejo, dentro del término municipal de Aznalcóllar. Fue diseñado para satisfacer necesidades de abastecimiento e industria, y tiene una capacidad máxima de 40 Hm³. Sin embargo, debido a carencias estructurales,

su capacidad real de almacenamiento es de 20 Hm³.

La importancia del embalse del Agrío es crucial para el diseño de un Plan de emergencia de avenidas. En el mes de julio de 1998, tres meses después del accidente, este embalse se encontraba al límite de su capacidad (21 Hm³). Ello hacía temer que, en caso de que se produjeran fuertes precipitaciones en el siguiente otoño, las posibilidades de desbordamiento del pantano podrían ser elevadas. Además, un vaciado de emergencia del embalse podría ser igualmente peligroso, dado el volumen de agua que sería necesario soltar (Consejería de Medio Ambiente 1998).

Afortunadamente, las lluvias del pasado otoño no fueron fuertes, con lo que no resultó urgente actuar sobre el pantano. No obstante, el peligro anteriormente señalado indica la necesidad real de mantener este embalse a un nivel de agua lo suficientemente bajo como para poder absorber un exceso de agua procedente de la zona alta de la cuenca.

Nuestro equipo sugiere un vaciado controlado del embalse del Agrío con el objeto de mantener intacta su capacidad de acogida de agua en exceso. Este vaciado debería ser realizado a finales del verano:

Día	Caudal (m ³ /seg)
10 Febrero	0.55
11 Febrero	0.30
12 Febrero	102.00
13 Febrero	40.40
14 Febrero	34.60
15 Febrero	10.50
16 Febrero	3.70
17 Febrero	2.80
18 Febrero	1.10
19 Febrero	0.82

Tabla 2. Variación de caudal experimentada por el río Guadiamar en los primeros días de febrero de 1992, según mediciones realizadas en la Estación de Aforo del Guijo (UH 0904, datos suministrados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir).

Diseño y establecimiento de conexiones con embalses situados en las inmediaciones de la cuenca objeto de estudio

Esta intervención tendría por objeto recuperar la mayor cantidad posible de líquido aguas arriba de la zona minera, a fin de disminuir el caudal de avenida que alcanzaría las zonas bajas del cauce.

Existen varios embalses en un radio de 30 Km alrededor de la zona de estudio. De ellos, los situados en el río Rivera de Huelva (Guillena, Gergal y La Minilla) se encuentran naturalmente conectados entre sí, y con los del Rivera del Cala (Cala y Portugués) través del embalse del Gergal, que almacena agua de ambos ríos. De todos ellos, el más cercano a la zona minera es el del Cuervo, situado a medio camino entre La Minilla y el embalse del Agrío.

Por lo tanto, resultaría adecuado realizar una conexión entre los embalses del Agrío y el Cuervo mediante una red de tuberías con el objeto de que, en caso de avenida en la zona alta de la cuenca del Guadiamar y Agrío, se pudiese desviar el agua en exceso hacia el embalse del Cuervo y evitar su paso por la zona minera.

Tramo 2: desde Aznalcóllar a Sanlúcar

Durante el período de tiempo en que fueron realizadas las tareas de limpieza de los lodos, se hizo necesario construir desvíos alternativos del cauce del Guadiamar a través de tramos conectados entre sí (Ministerio de Medio Ambiente 1998 a, 1998 b).

Podría resultar conveniente establecer cauces alternativos al actual, especialmente en la zona situada entre Aznalcóllar y Sanlúcar, con el objeto de evitar que posibles avenidas futuras introduzcan agua contaminada en el Parque Nacional de Doñana y su entorno. En concreto, se sugiere la construcción de un cauce alternativo en la margen izquierda del río, en una zona que no fue afectada directamente por la avalancha de lodos tóxicos.

Con este nuevo cauce en funcionamiento, las futuras avenidas de agua no pasarían por el cauce regular del Guadamar, por lo que se podría contar con más tiempo para garantizar una adecuada limpieza de los fondos afectados por el vertido y su perfecta recuperación.

En lo referente a las características del encauzamiento alternativo, éste debería construirse lo más paralelo posible al actual, con el objeto de no desviar en demasía la trayectoria del río, de no modificar significativamente su pendiente y, en definitiva, de no alterar la morfología del río.

Control en continuo del caudal de avenida y de la calidad del agua

Se trata de poder establecer una red tecnológica que permita el seguimiento en continuo de las variaciones en el caudal y en las características físico-químicas y biológicas de las aguas recogidas por los diferentes cauces situados en la zona de estudio.

Para ello, se propone la instalación de una serie de puntos de control a lo largo del río Guadamar, que dispondrían del adecuado equipamiento técnico de medición en continuo, y su conexión a una o varias estaciones de control, en la que se procesarían los datos, con objeto de poder acometer medidas correctoras en un plazo muy corto de tiempo, en caso de variaciones debidas a vertidos u otras causas.

Estabilización de los suelos afectados por contaminación mediante tratamiento químico

Para las zonas que aún no han sido suficientemente limpiadas de contaminantes y en las que se demuestre que la concentración de metales pesados y/o contaminantes organometálicos permanece por encima de los límites establecidos por la legislación vigente, se propone una alternativa técnica que impida que dichos

contaminantes puedan ser arrastrados hacia el río por efecto de las lluvias.

Esta alternativa podría ser el tratamiento físico-químico, utilizando alguno de los agentes floculantes, oxidantes y coagulantes disponibles en el mercado, a unas dosis que serían ensayadas en el laboratorio y en experimentos realizados *in situ* sobre parcelas controladas, para conseguir la precipitación de los contaminantes en disolución o su rotura en intermediarios de reacción inocuos.

Los resultados obtenidos por nuestro equipo de investigación, en el tratamiento del agua retenida en Entremuros sugieren, que la utilización de agentes oxidantes como el permanganato potásico (KMnO_4) es eficaz para la eliminación de metales pesados que se muestran refractarios a tratamientos más convencionales. No obstante, es necesaria más investigación al respecto y el ensayo de diferentes alternativas de tratamiento tanto en el laboratorio como en el campo.

Estabilización de los suelos libres de contaminación mediante tratamiento biológico

Para las zonas en las que la retirada de los lodos ha sido completada, se propone la regeneración de sus suelos mediante la adición de compost. Esta actuación permitiría proteger las orillas del cauce de la erosión provocada por una nueva riada, impidiendo a su vez la redisolución de los metales pesados sedimentados.

El compost a utilizar deberá ser un producto con unas características adecuadas de pH y concentración de materia orgáni-

ca, y con unos contenidos mínimos en metales pesados y otros elementos patógenos. Una posibilidad interesante sería la utilización, una vez que se pusieran en marcha sucesivas estaciones de depuración de aguas residuales en la zona, de los lodos generados en el proceso de tratamiento de las aguas. Esto formaría parte de un programa mucho mayor de gestión integrada de los vertidos a la zona del entorno de Doñana, programa cuya necesidad es más acuciante que nunca.

Finalmente, tras la recuperación del suelo los terrenos serían replantados con especies autóctonas representantes de las diferentes comunidades vegetales que ocupaban el lugar antes de la avalancha de lodos. Este proceso debería ser realizado en otoño para garantizar el éxito de la siembra.

Incremento de la sedimentación natural en la zona de Entremuros

La morfología de la zona de Entremuros comprendida entre los puentes llamados de Don Simón y de Los Vaqueros (aproximadamente 4 Km de encauzamiento), permite que este sector del cauce pueda actuar como decantador natural de la materia en suspensión presente en las aguas que bajan por el curso del Guadamar. En este sentido, puede observarse fácilmente en las imágenes de satélite tomadas tras la rotura de la presa cómo los lodos quedaban retenidos en los diques y zanjas existentes en Entremuros y que separan las parcelas dedicadas comúnmente al cultivo de arroz y otros productos.

P. retorno (años)	5	10	25	50	100	500
Caudal máximo (m^3/seg)	860.2	1065.0	1325.6	1520.3	1714.1	2162.3
Volumen (Hm^3)	100.6	125.2	156.7	180.4	204.6	259.2

Tabla 3. Caudales máximos de avenida medidos en la cuenca completa del río Guadamar para periodos de retorno de entre 5 y 500 años. (datos suministrados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir).

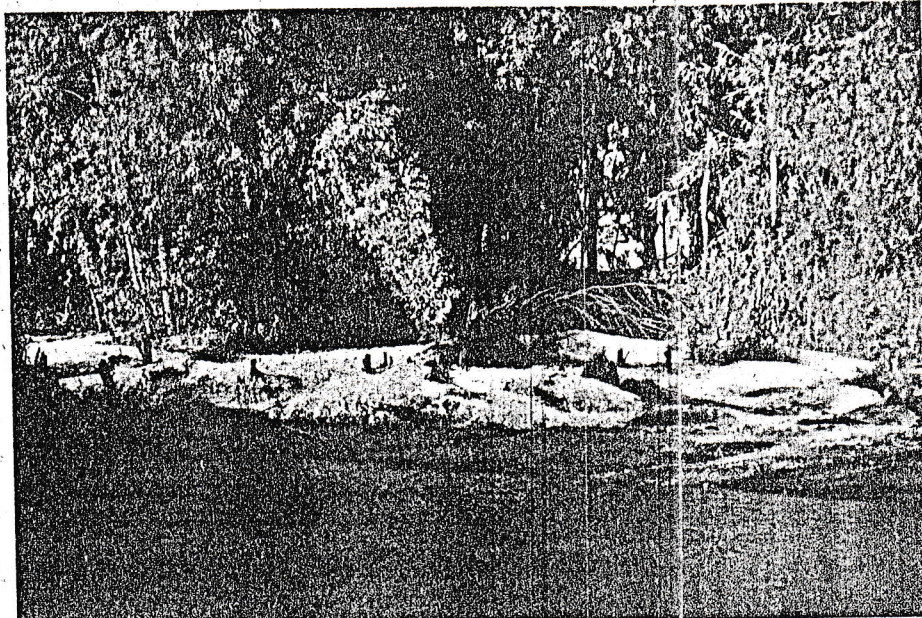
La propuesta de nuestro equipo se basa en el aprovechamiento de esta capacidad natural de sedimentación y en su mejora. Para ello, se propone la construcción de nuevas zanjas y azudes con el objeto de reducir aún más la velocidad del agua, favoreciendo el depósito de sólidos en suspensión de pequeño tamaño. Además, dichas construcciones podrían ser sembradas con plantas acuáticas, que se comportan naturalmente como un filtro y ayudan a la captación y sedimentación de elementos en suspensión.

Conclusiones

Con el Plan descrito, elaborado por nuestro equipo en paralelo a una amplia serie de ensayos de tratamiento que tenían por objeto encontrar una solución técnicamente viable al problema de la contaminación del agua retenida en Entremuros, se ha pretendido dar un paso más en la enorme tarea de corregir los efectos del accidente ocurrido hace ahora un año en las inmediaciones del Parque Nacional de Doñana.

La principal conclusión que puede extraerse tanto del desastre en sí, como del conjunto de actuaciones y propuestas ejecutadas o elaboradas por las diferentes instituciones y organismos que han venido trabajando en el tema, es la necesidad de que no vuelva a ocurrir algo parecido. Para ello, es absolutamente imprescindible emprender paquetes integrados de intervenciones en la zona afectada que tengan como objetivos prioritarios la restauración de las condiciones naturales originales y la prevención de futuros desastres.

El plan de avenidas descrito en el presente artículo no pretende ser más que un modelo integrado de posibles actuaciones que deberían ser llevadas a cabo en el área de estudio. Su puesta en marcha requeriría, obviamente, una mayor profundización tanto en el orden a seguir como en los métodos con los que habrían de ser aplicadas las diferentes medidas.



Detalle de la capa de lodos tóxicos que se depositó en el lecho del río Guadiamar tras la rotura de la balsa minera.

Pretende, finalmente, servir de punto de partida a un necesario foro de discusión sobre la necesidad de aunar esfuerzos desde ámbitos tan diferentes como la Ingeniería, la Ecología o la Política Ambiental, con el objetivo de hacer más seguro el aprovechamiento de nuestros recursos naturales.

Referencias

Consejería de Medio Ambiente. 1998. *Plan de Actuación contra los Efectos de la Rotura de la Balsa de Decantación de la Mina ubicada en el Término Municipal de Aznalcóllar, Sevilla, propiedad de Boliden*. Junta de Andalucía.

EMASESA. 1981. *Memoria Anual 1981. Informe sobre la Sequía*. Publicaciones EMASESA, Sevilla.

EMASESA. 1997. *Crónica de una Sequía, 1992-1995*. Publicaciones EMASESA, Sevilla.

García Mediavilla, B., Medialdea, J. M., Montes, M. A., García Martínez de Simón, I., Escot, E., López, C. M., Morón, M. J., Arnáiz, M. C., Lebrato, J. *Tratamiento físico-químico de las aguas ácidas vertidas tras la rotura de la balsa minera de Aznalcóllar (Sevilla)*. Tecnología del Agua (en prensa).

Medialdea, J. M.; Arnáiz, M. C.; Escot, E.; García Martínez de Simón, I.; García Mediavilla, B.; López, C. M.; Montes, M. A.; Morón, M. J.; Lebrato, J. 1999. *Aplicabilidad del permanganato potásico (KMnO₄) en la depuración del agua tóxica vertida tras la rotura de la balsa de decantación, propiedad de Boliden, situada en el T. M. de Aznalcóllar, Sevilla*. Residuos, 46: 80-85.

Ministerio de Medio Ambiente. 1998 a. *Proyecto de Retirada de Lodos y Restauración Hidrológico Ambiental del Dominio Público Hidráulico del río Guadiamar*.

Ministerio de Medio Ambiente. 1998 b. *Proyecto de Control y Permeabilización de la Marisma de Doñana y Frente del Río Guadiamar al Brazo de la Torre y Entremuros*. Documento de Síntesis.

Montes, M. A., Medialdea, J. M., García Mediavilla, B., Morón, M. J., Arnáiz, M. C., García Martínez de Simón, I., López, C. M., Escot, E., Lebrato, J. *Eliminación de metales pesados en disolución mediante adsorción en carbón activo y arcillas de intercambio catiónico. Ensayos realizados con las aguas ácidas vertidas tras la rotura de la balsa minera de Aznalcóllar (Sevilla)*. Residuos (en prensa).