

**ANÁLISIS AMBIENTAL DE LOS SEDIMENTOS Y DEL ENTORNO  
DEL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO (HUESCA) Y EVALUACIÓN DE  
RIESGOS.**

DOCUMENTO 3: Evaluación de riesgos

**Septiembre de 2010**

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| ÍNDICE.....   | 2  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | 2  |
| ANEJOS .....  | 2  |
| 1 INTRODUCCIÓN .....  | 3  |
| 2 ANTECEDENTES .....  | 4  |
| 3 ANÁLISIS DE RIESGOS CUANTITATIVO SOBRE LA SALUD HUMANA.....   | 5  |
| 3.1 Modelo conceptual .....   | 5  |
| 3.2 Análisis de la toxicidad .....  | 9  |
| 3.3 Análisis de la exposición .....   | 11 |
| 3.4 Criterios de aceptación de riesgo .....   | 14 |
| 3.5 Herramienta informática .....   | 14 |
| 3.6 Desarrollo del modelo conceptual .....  | 15 |
| 3.7 Escenarios considerados .....   | 30 |
| 3.8 Caracterización del riesgo y resultados.....  | 34 |
| 3.9 Conclusiones.....   | 37 |
| 4 ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS.....   | 38 |
| 4.1 Escenarios analizados.....  | 38 |
| 4.2 Análisis de exposición .....  | 39 |
| 4.3 Resultados .....  | 40 |
| 4.4 Conclusiones.....   | 40 |
| 5 INCIDENCIA DE LOS FOCOS POTENCIALES DE AFECCIÓN IDENTIFICADOS EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE .... | 41 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Plano de usos del suelo en el entorno del embalse de Sabiñánigo .....   | 28 |
| <b>Figura 2.</b> Esquema resumen del escenario estudiado en la situación actual (contacto aguas embalse-embalse como receptor) ..... | 33 |
| <b>Figura 3.</b> Esquema resumen de la situación hipotética de contacto directo con los sedimentos de colmatación ..                 | 34 |

## ANEJOS

- A-1: Parámetros físico químicos de los compuestos
- A-2: Datos de entrada del programa
- A-3: Resultados y salidas del programa

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge los resultados de la evaluación de riesgos realizada por GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A. (GEOCISA), dentro de los trabajos de *Análisis ambiental de los sedimentos y del entorno del embalse de Sabiñánigo (Huesca) y evaluación de riesgos*.

Su ejecución surge como consecuencia de los resultados obtenidos en la caracterización medioambiental efectuada en este ámbito, y cuyos resultados aparecen reflejados en el Documento nº 2 que precede a esta evaluación de riesgos.

En dicho documento se concluye la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos en los sedimentos subyacentes, y en las aguas subterráneas de su entorno más inmediato, en algunos casos por encima de los valores de referencia establecidos.

Con objeto de evaluar las consecuencias que estas sustancias pueden tener sobre potenciales receptores, se ha efectuado el presente análisis en el que se contempla la situación actual del embalse y su entorno, así como posibles situaciones hipotéticas.

El Análisis se ha dividido en distintos capítulos en función del alcance y los objetivos perseguidos. Se ha elaborado un análisis cuantitativo con el fin de determinar los posibles riesgos sobre la salud humana, y un análisis preliminar para valorar los riesgos sobre los ecosistemas.

El objetivo principal de la evaluación de riesgos es la determinación de los riesgos sobre la salud humana y los ecosistemas, asociados a los compuestos detectados en la caracterización ya mencionada, así como facilitar la toma de decisiones para la gestión del hipotético riesgo.

El ámbito de actuación se limita al embalse de Sabiñánigo y a su entorno más próximo. Según la información facilitada por la CHE el agua del embalse no tiene ningún uso específico, por lo tanto, en el presente análisis de riesgos no se ha contemplado ni el consumo humano de agua (bebida o uso doméstico), ni para el riego de los cultivos colindantes.

La variación sustancial de las condiciones del emplazamiento bajo las cuales se ha realizado el análisis de riesgos, hará que los resultados obtenidos pierdan validez y sea necesaria la

realización de un nuevo análisis.

## 2 ANTECEDENTES

Los antecedentes del emplazamiento en cuanto al desarrollo industrial de la zona y a la justificación de la realización de los distintos estudios que se llevan haciendo desde el año 1.991, se han recogido en el documento de caracterización medioambiental (Documento nº 2).

En este apartado se hace exclusivamente una breve recopilación de los resultados obtenidos en dicha caracterización.

La investigación ha puesto de manifiesto la presencia de tres tipos de materiales dispuestos verticalmente en el embalse y su entorno: un sustrato terciario poco permeable representado por margas y areniscas por encima del cual se presentan unos depósitos aluviales y de terrazas bajas cuaternarios formados por gravas heterométricas de permeabilidad alta, y, finalmente, sedimentos de colmatación constituidos por arenas finas, limos y arcillas.

Se ha constatado la presencia de un acuífero superficial relacionado con los depósitos cuaternarios con una dirección de flujo hacia el embalse. La dinámica de las aguas superficiales en el embalse es variable, desde zonas de mayor energía en la margen izquierda, y zonas de acumulación en la margen derecha.

Los datos del laboratorio han arrojado los siguientes aspectos:

- ✚ En los materiales del sustrato gravoso cuaternario se ha detectado de forma generalizada Hexaclorociclohexano y, en menor medida, Clorobenceno, 1,2 Diclorobenceno, 1,4 Diclorobenceno, Cadmio y Mercurio. De forma puntual se ha registrado Benceno, PAH -Naftaleno, Antraceno- y otros metales pesados como Selenio, Cobre, y Plomo.
- ✚ En los sedimentos de colmatación la afección detectada tiene un carácter local, en especial en la zona de acumulación en la margen derecha (*Brazo Inquinosa*). Las sustancias presentes son similares a las anteriores: Hexaclorociclohexano, Clorobenceno, Benceno, Naftaleno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno,

Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Mercurio, Cadmio, Arsénico, Plomo, Zinc, y puntualmente Tolueno, Cobre, Antimonio y Molibdeno. Además, se ha registrado Fenol y TPH. Los ensayos de ecotoxicidad realizados en los sedimentos muestran que no son ecotóxicos.

- ✚ En las aguas subterráneas no se ha registrado presencia de sustancias con concentraciones superiores a los niveles de referencia, excepto en la zona del vertedero de Sardas, donde se ha detectado Hexaclorociclohexano, Benceno, Clorobencenos, Clorofenoles, Cadmio, y Plomo igualmente con valores por encima de los niveles de referencia.
- ✚ El agua intersticial de los testigos recogidos en dos de los sondeos perforados en la margen derecha presenta Benceno, Tolueno, Fenol, Clorobenceno, Naftaleno, y  $\alpha$ -HCH.

Como consecuencia de la afección detectada en los sedimentos y en el sustrato cuaternario y de las concentraciones de sustancias registradas en las aguas subterráneas se ha elaborado la presente evaluación de riesgos.

### **3 ANÁLISIS DE RIESGOS CUANTITATIVO SOBRE LA SALUD HUMANA**

En este capítulo se realiza un análisis cuantitativo de riesgos asociado a la salud humana, por las sustancias detectadas en los sedimentos y en el agua subterránea del entorno más próximo al embalse de Sabiñánigo.

La evaluación de riesgos se determinará mediante la realización de un análisis basado en el modelo desarrollado por la *American Society For Testing and Materials* (ASTM), utilizando los datos obtenidos en los estudios realizados.

En los siguientes apartados se recoge la metodología empleada en la elaboración del ACR, los escenarios considerados y los resultados obtenidos.

#### **3.1 Modelo conceptual**

Las evaluaciones de riesgos suelen estar basadas en el estudio de una serie de escenarios posibles que responden a la situación actual de “usos del suelo”, y a situaciones futuras

previsibles. Por ello, es preciso proceder a la identificación de todos los parámetros que engloban cada escenario mediante la elaboración del modelo conceptual. La información empleada para su definición es extraída de los estudios e investigaciones llevados a cabo en la zona en estudio.

El modelo conceptual tiene como principal objetivo establecer la relación entre los distintos elementos que configuran el escenario de riesgos. Entre dichos elementos figuran:

- ↪ Foco de riesgo: medio que puede afectar negativamente sobre los receptores.
- ↪ Rutas de exposición: relacionan el foco de afección con los receptores finales de la misma.
- ↪ Receptores: población expuesta a las sustancias detectadas en el medio.

La ruta de exposición está compuesta por el propio foco de riesgo, el medio en el que se encuentra, los mecanismos de migración y la vía de exposición.

El modelo conceptual representa la base de los análisis de los distintos escenarios, por tanto, su definición debe ser lo más ajustada y precisa que sea posible. Ésta consiste en el análisis de los siguientes aspectos, que serán desarrollados con posterioridad:

- ↪ Caracterización de focos de riesgo.
- ↪ Selección de compuestos.
- ↪ Caracterización de los medios.
- ↪ Identificación de rutas de exposición.
- ↪ Identificación de los receptores.
- ↪ Definición de escenarios posibles.

#### *Caracterización de focos de riesgo*

Consiste en determinar la configuración y características de los focos de riesgo registrados. Para ello se definen las dimensiones espaciales del medio afectado (suelos, aguas subterráneas, etc.), las sustancias presentes, sus concentraciones, los gradientes de concentración existentes, etc.

El resultado de este análisis comprenderá, por tanto, el establecimiento de volumetrías y superficies de medios afectados, así como de las concentraciones de compuestos asociadas.

### *Selección de sustancias*

Los estudios e investigaciones previas realizadas pueden haber puesto de manifiesto la presencia de una multitud de sustancias. Como parte del modelo conceptual se procede a la selección de aquellos que se consideren significativos de acuerdo a los siguientes criterios:

- ↪ Información disponible sobre concentración de compuestos en cada medio afectado y su distribución espacial.
- ↪ Presencia de compuestos cancerígenos, incluyendo datos de factores de pendiente de riesgo carcinogénico.
- ↪ Presencia de compuestos susceptibles de causar efectos tóxicos, incluyendo datos de dosis máximas admisibles.
- ↪ Grado de movilización del compuesto en el medio afectado.
- ↪ Persistencia en el medio.
- ↪ Subproductos que pudieran derivarse de la degradación de cada sustancia.

### *Caracterización del medio*

Se trata de definir, a partir de las investigaciones realizadas, el medio sobre el que se localiza el emplazamiento así como su entorno inmediato. Entre la información más relevante se encuentra:

- ↪ Climatología.
- ↪ Geología.
- ↪ Hidrogeología regional y local, identificando acuíferos de interés, explotación, profundidad de las aguas subterráneas, flujos, parámetros hidráulicos, etc.
- ↪ Hidrología superficial.
- ↪ “Usos del suelo” (pasados, actuales y futuros), en el emplazamiento y en su entorno inmediato.
- ↪ Usos de las aguas subterráneas y superficiales (pasados, actuales y futuros), prestando especial atención a los puntos de aprovechamiento.

### *Identificación de las rutas de exposición*

Los procesos que suponen que un receptor potencial pueda entrar en contacto con las sustancias generadas a partir del foco comprende la ruta de exposición. El modelo

conceptual del emplazamiento contiene todas aquellas posibles, independientemente de que posteriormente pueda ser descartada alguna de ellas por su escasa relevancia.

La ruta de exposición está condicionada por los siguientes factores:

- Foco y sustancias asociadas: Sus características ya se han descrito anteriormente.
- Medios donde se produce la movilización de los compuestos: Sus características se han mencionado en anteriores apartados.
- Mecanismos de migración de la afección: Comprende tanto los mecanismos de transporte (advección, difusión, etc.) y los de transformación (física, química o biológica) si se considera relevante. En el modelo conceptual se incluyen éstos mecanismos de modo cualitativo, procediendo en fases más avanzadas a la cuantificación, en la mayoría de los casos mediante modelos. Su descripción se efectúa en un apartado posterior.
- Receptores potenciales: Población expuesta a la afección.
- Vías de exposición: Identificación de las vías de exposición a través de las cuales puedan verse expuestos los receptores potenciales a las sustancias detectadas.

En líneas generales, se pueden identificar las siguientes vías de exposición:

- Inhalación de vapores orgánicos en ambientes exteriores o interiores.
- Inhalación de partículas en ambientes exteriores.
- Ingestión de suelo.
- Contacto dérmico con el suelo.
- Ingestión de agua (bebida, ducha, riego, baño, etc.)
- Contacto dérmico con el agua (bebida, ducha, riego, baño, etc.)
- Ingestión de alimentos.

El grado de exposición mediante estas vías estará condicionado por la actividad que se desarrolle y la particularidad de cada emplazamiento. Asimismo, la selección de qué vías serán aplicables dependerá de cada escenario de riesgos en cuestión.

#### *Identificación de receptores*

Consiste en la identificación de los receptores que puedan verse expuestos a la afección. En este sentido, en un análisis de riesgos para la salud humana la población pertenece a una



especie, por lo que el aspecto a determinar es el tipo de población a proteger (niños y/o adultos).

La selección del tipo de población a proteger está íntimamente relacionada con los usos del suelo. En suelos de uso industrial no es previsible la presencia de niños, por lo que la población es exclusivamente adulta.

Asimismo, en la identificación de receptores es necesario incluir el tipo de actividad que se lleva a cabo, especialmente en los casos de trabajadores de obras que puedan verse expuestos.

#### Definición de escenarios posibles

Como último paso en la elaboración del modelo conceptual, se procede a la definición de los escenarios posibles, los cuales relacionan los focos y compuestos con los receptores potenciales.

En esta etapa es preciso considerar las relaciones foco-ruta-receptor relevantes, prestando especial atención a aquellas que pudieran darse en el futuro. Además, se podrán seleccionar y establecer limitaciones (restricción de agua, etc.) y analizar su repercusión sobre el riesgo.

### **3.2 Análisis de la toxicidad**

El objetivo de esta fase del análisis es ponderar las evidencias disponibles en relación al potencial de los compuestos de causar efectos adversos en los individuos expuestos, y de proporcionar, siempre que sea posible, una estimación de la relación entre el grado de exposición a la sustancia y el incremento de la probabilidad o severidad de dichos efectos adversos.

En el análisis de la toxicidad pueden distinguirse los siguientes apartados:

- Identificación del peligro: Es el proceso mediante el cual se determina si la exposición a un agente químico puede causar un incremento en la incidencia de un efecto adverso para la salud, y si ese efecto adverso es probable que tenga lugar en humanos. La identificación del peligro supone la caracterización de la naturaleza e intensidad de la evidencia de la relación causa-efecto.
- Establecimiento de las relaciones dosis-respuesta: es un proceso de evaluación cuantitativa de la información toxicológica por el que se caracteriza la relación entre la dosis del

compuesto administrada o recibida y la aparición de un efecto adverso sobre la salud en la población expuesta. A partir de esta evaluación cuantitativa se derivan unos valores numéricos (valores de toxicidad), que serán usados en la fase de caracterización del riesgo para estimar la probabilidad de que se produzcan efectos adversos en humanos a diferentes niveles de exposición.

La derivación de tales valores numéricos no es objeto del análisis de riesgos, sino que éstos son generados por la comunidad científica y suministrados por diversos organismos a través de sus bases de datos toxicológicos.

Entre las principales fuentes de información toxicológica destacan:

- ↪ O.M.S. (Organización Mundial de la Salud): Se emplean los valores de referencia establecidos a través de la JECFA (“Joint FAO/WHO Expert Comité on Food Additives”)
- ↪ U.S.-E.P.A. (United States. Environmental Protection Agency): Bases de datos IRIS (Integrated Risk Information System).

En resumen, los componentes que se consideran en el análisis de la toxicidad son:

- ↪ El tipo de efecto adverso asociado a cada sustancia y en relación a cada tipo de población expuesta.
- ↪ La relación entre la magnitud de la exposición y la magnitud de los efectos adversos.

Dentro del análisis de la toxicidad, es importante discernir entre los efectos cancerígenos y efectos tóxicos:

- ↪ Los efectos cancerígenos son aquellos que producen cáncer en los diversos órganos del cuerpo humano. Pueden encontrarse a través de distintas vías, siendo las más comunes ingestión e inhalación. Los datos de exposición se configuran de acuerdo a factores de pendiente, partiendo de la premisa de que cualquier exposición es susceptible de generar cáncer. El criterio que fija la dosis máxima admisible es, por tanto, la aceptabilidad del número de cánceres que puedan generar en la población. Este aspecto se desarrolla en un capítulo posterior.
- ↪ Los efectos tóxicos son aquellos que no generan cáncer. Las vías de exposición estudiadas suelen ser ingestión, inhalación y contacto dérmico, estableciendo para cada vía la dosis máxima aceptable que no genera efectos. Este aspecto se desarrolla más adelante.

### 3.3 Análisis de la exposición

Tiene por objeto la estimación del tipo de magnitud de la exposición a las sustancias tanto en el emplazamiento como en el área de influencia del mismo, afectado a través de la dispersión. El análisis debe efectuarse tanto para las condiciones actuales como futuras de uso del suelo y debe incluir la identificación de las poblaciones expuestas, las rutas de exposición y la duración y frecuencia de la exposición para cada una de las rutas. El resultado final de dicho análisis es el cálculo de las dosis que previsiblemente recibe el individuo para cada una de las rutas. Dicha cuantificación constituye un elemento crítico del proceso de análisis de riesgo.

En este apartado se describen únicamente los aspectos relacionados con la determinación de la magnitud de la exposición, contemplando aquellos parámetros que lo condicionan, ya que la determinación de usos del suelo, identificación de receptores y vías de exposición se han descrito en capítulos anteriores.

#### 3.3.1 Estimación de la exposición

##### *Estimación de la exposición por cada una de las rutas*

Consiste en la cuantificación de la magnitud, frecuencia y duración de la exposición para las distintas poblaciones y rutas de exposición seleccionadas como resultado de las fases anteriores.

Se lleva a cabo en dos etapas: en primer lugar se estiman las concentraciones de exposición en los medios de contacto y a continuación se cuantifican las ingestas específicas para cada ruta. La combinación de ambos elementos permite calcular la ingesta máxima razonable para cada una de las vías.

Se denomina ingesta a la exposición normalizada para el tiempo y peso corporal, expresada en: *mg compuesto x kg-1 peso corporal x día-1*. La fórmula genérica para el cálculo de la ingesta es la siguiente:

$$IDE = C \cdot \frac{TC \cdot FE \cdot DE}{PC} \cdot \frac{1}{TM}$$

donde:

IDE ingesta; se expresa como la cantidad del compuesto en la capa límite (puerta de entrada al organismo) de intercambio y por tanto disponible para la absorción.

|    |   |
|----|---|
| C  | concentración de exposición para el medio de contacto considerado.                                  |
| TC | tasa de contacto, indica la cantidad de medio contaminado contactado por unidad de tiempo o suceso. |
| FE | frecuencia de exposición.   |
| DE | duración de la exposición.  |
| PC | peso corporal, correspondiente al peso corporal medio durante el periodo de exposición.             |
| TM | tiempo promedio de exposición, periodo en el que se promedia la exposición.                         |

Los tres términos de que consta la ecuación corresponden a variables relacionadas respectivamente con la afección (concentración de exposición), con las características de la población expuesta (peso corporal, altura, superficie corporal, etc.) así como su patrón de actividad (tasa de contacto, frecuencia y duración de la exposición), y con el enfoque de la evaluación (tiempo promedio de exposición).

### *3.3.2 Combinación de la exposición por diferentes vías*

La exposición máxima razonable o exposición combinada para cada escenario concreto se calcula como sumatorio de la exposición por las diferentes vías.

Si los efectos del compuesto sobre el receptor difieren dependiendo de la ruta de entrada en el organismo, se calculará el sumatorio de las exposiciones para cada una de las rutas de entrada, siempre que se disponga de información toxicológica para valorar los diferentes efectos.

En todos los casos, se presentará una estimación de la contribución de las distintas vías a la exposición total en el emplazamiento. Esta información puede permitir el establecimiento de medidas dirigidas a la limitación de dicha exposición.

### *3.3.3 Criterios para la cuantificación de la exposición*

#### *Concentración de la exposición*

Es la concentración (C) en el punto o puntos de contacto a lo largo del periodo de exposición para cada uno de los medios. El enfoque en la estimación debe ser conservador.

Los datos en los que se basa el cálculo son de dos tipos:

- Datos analíticos correspondientes a la caracterización química del emplazamiento. Pueden utilizarse directamente siempre que la exposición implique contacto directo con

el medio analizado. Los datos analíticos serán tratados separadamente para un medio concreto en base a las subáreas y vías de exposición identificadas.

- b) Valores resultantes de datos analíticos usados en conjunción con modelos de transporte y comportamiento ambiental de los compuestos. Permiten definir la concentración en aquellos puntos de exposición en los que no se dispongan datos (concentración en espacios cerrados, etc.)

#### *Peso Corporal (PC)*

El valor empleado en la estimación deberá corresponder al peso corporal medio a lo largo del periodo de exposición. Si la exposición sólo tiene lugar durante la infancia se utilizará el peso corporal medio durante este periodo. Para aquellas vías de exposición para las cuales la tasa de contacto difiere mucho según las edades entonces se calculará un peso medio para cada grupo de edad.

#### *Tasa de contacto (TC)*

La tasa de contacto refleja el intercambio con el medio por unidad de tiempo. Si existen datos suficientes para una aproximación estadística, la tasa de contacto se calcula como el límite superior razonable de la tasa de ingesta media; en caso contrario la estimación se basará en la opinión experta.

#### *Frecuencia y duración de la exposición (FE y DE)*

El objetivo a la hora de definir estos parámetros de cara al cálculo final es el de estimar el tiempo total de exposición en el emplazamiento.

#### *Tiempo medio de exposición (TM)*

Se selecciona en función del tipo de efecto tóxico. Es necesario que el periodo de cálculo de exposición coincida con el de la referencia toxicológica empleada.

- Para tóxicos que afectan al desarrollo o crecimiento, la ingesta se calcula promediando para el periodo de exposición real.
- Para tóxicos de efectos por exposición aguda, la ingesta se calcula promediando para el periodo de exposición más corto que produce efectos.
- Para tóxicos no cancerígenos de efectos por exposición duradera, la ingesta se calcula

promediando las ingestas a lo largo del periodo de la exposición (subcrónico o crónico).

- Para compuestos cancerígenos, la ingesta se calcula promediando para toda la vida del individuo la dosis total acumulativa como resultado de esta exposición. Se estima que la duración media de la vida es de 70 años.

### **3.4 Criterios de aceptación de riesgo**

En este apartado se describen los criterios de aceptación del riesgo, tanto por efectos cancerígenos como por efectos tóxicos. Dicho criterio es el que permitirá definir si las concentraciones existentes en el emplazamiento pueden derivar en la existencia de riesgos para la salud humana.

- Efectos cancerígenos: De acuerdo a lo especificado en el RD 9/2005, se ha considerado como criterio de evaluación de los efectos cancerígenos un valor de  $10^{-5}$  (frecuencia esperada de aparición de cáncer para los receptores expuestos de uno por cada cien mil casos), tanto por compuestos individuales como por efectos acumulativos.
- Efectos tóxicos: De acuerdo a lo especificado en el RD 9/2005, se ha contemplado que el cociente entre la dosis recibida por un receptor potencial y la dosis máxima admisible, sea inferior a la unidad, tanto por compuestos individuales como por efectos acumulativos.

### **3.5 Herramienta informática**

El Análisis Cuantitativo de Riesgos se elaborará empleando el programa informático *RBCA TOOL KIT for Chemical Releases*, basado en el modelo desarrollado por la *American Society For Testing and Materials (ASTM)*. Este modelo se describe en la norma *ASTM PS-104 Standard Provisional Guide for Risk-Based Corrective Action*, cuyos procedimientos siguen los criterios de actuación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) (1.989).

El modelo utilizado (Tier 2) permite el cálculo del riesgo asociado a la presencia de sustancias, tanto en el propio emplazamiento considerado, como en potenciales receptores situados a distancias variables del foco causante de la afección.

En función de las vías de exposición consideradas puede utilizar varios modelos de transporte para visualizar la movilización de la afección y calcular las concentraciones de las distintas sustancias en el punto de exposición.



Estos modelos de transporte se pueden dividir entre los que suponen una transferencia de los compuestos entre dos medios distintos (por ejemplo, volatilización desde el suelo al aire) y los que simplemente suponen un transporte y dilución en el mismo medio (por ejemplo, el transporte en aire).

En el primer caso, el modelo de transporte se emplea para el cálculo de un factor de transferencia entre los dos medios (llamado genéricamente Cross-Media Transfer Factor) con el que calcular, posteriormente, la concentración en el punto de exposición a partir de la concentración en el medio.

En el segundo caso, el modelo de transporte se emplea para el cálculo de un factor de transporte (llamado genéricamente Lateral Transport Factor), el cual se aplica a la concentración en un punto dado, para predecir la concentración que habrá a una cierta distancia de dicho punto.

La cuantificación del resultado se genera sumando los coeficientes para cada sustancia y ruta de exposición considerada, recogiendo en el caso del riesgo individual la más crítica de todas, que será la que condicionará la situación. Por último, se recoge la ruta de exposición más crítica (*Critical Exposure Pathway*) que será la que finalmente condicionará la caracterización del riesgo.

### **3.6 Desarrollo del modelo conceptual**

A continuación se resumen los aspectos más relevantes del modelo conceptual elaborado para el embalse de Sabiñánigo.

#### *3.6.1 Descripción general del emplazamiento*

En el informe de caracterización que precede a este documento se hace una descripción detallada del emplazamiento. En este estudio se incluyen únicamente una serie de consideraciones que facilitarán la comprensión de la evaluación de riesgos realizada.

El embalse de Sabiñánigo se sitúa sobre el río Gállego a su paso por el municipio de Sabiñánigo en la provincia de Huesca, a unos 45 km al norte de Huesca capital, hallándose lindando por el sureste con el casco urbano de Sabiñánigo.

Fue construido en el año 1.965 para la producción de energía eléctrica, abarcando una superficie de 11 ha, con una capacidad de almacenamiento en el momento de su construcción de 0,873 hm<sup>3</sup>. En 2.009 la capacidad de almacenamiento se había reducido hasta 0,093 hm<sup>3</sup> debido a la colmatación causada por la acumulación en la cerrada de materiales erosionados y transportados desde áreas situadas aguas arriba por el propio el cauce. El volumen de estos sedimentos de colmatación se estima en unos 780.000 m<sup>3</sup>.

El caudal medio de circulación de aguas a través de la cerrada del embalse es de 15-18 m<sup>3</sup>/s.

Según la información facilitada por la CHE, las aguas superficiales del embalse no tienen un uso específico en la actualidad, y el primer punto de aprovechamiento de las aguas del río Gállego aguas abajo del embalse se localiza a unos 17 km del mismo.

Desde principios de la década de 1.990 la Confederación Hidrográfica del Ebro dispone de una estación de alerta perteneciente a la red SAICA localizada en el río Gallego a la altura de Jabarella (a unos 5 km del embalse), a través de la cual se obtienen los datos relativos a la calidad del agua del río.

En el Anejo 7 del documento de caracterización se recogen los resultados obtenidos en los últimos años.

### *3.6.2 Caracterización de focos de riesgo y selección de sustancias asociadas*

Como principales focos de riesgo se han considerado los sedimentos de colmatación y las aguas subterráneas del entorno más próximo, que presentan compuestos orgánicos e inorgánicos de acuerdo a los resultados de los ensayos analíticos realizados.

A continuación se describen las características más relevantes de cada uno de ellos:

#### *Sedimentos de colmatación*

El foco primario de riesgo lo constituyen unos 780.000 m<sup>3</sup> de sedimentos de colmatación cuyo origen se atribuye a los materiales terciarios y cuaternarios del entorno, y que abarcan una superficie del orden de 11 ha.

Los ensayos granu2 1 indican que se trata de materiales tipo limos arcillosos depositados por decantación, y arenas finas depositadas en regimenes de flujos tranquilos.



La caracterización medioambiental concluyó que éstos presentan compuestos orgánicos y metales, superándose los valores de referencia para la protección de la salud humana en los parámetros que se citan a continuación, y que serán considerados en la presente evaluación de riesgos:

- ↪ *Orgánicos*: HCH (isómeros  $\alpha$  y  $\beta$ ), Benceno, Clorobenceno, hidrocarburos policíclicos aromáticos (Benzo(a) Antraceno, Benzo(b)Fluoranteno, Benzo(a)pireno) y TPH.
- ↪ *Metales*: Mercurio (Hg) de forma generalizada, y Cadmio (Cd) Arsénico (As), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Cinc (Zn), y Antimonio (Sb) y Molibdeno (Mo) de forma puntual. En el momento de la elaboración de este documento se desconoce la forma en la que se encuentran, por lo que se parte de la base de que será en forma inorgánica.

Además, el agua intersticial contenida en los materiales de dos de los puntos de muestreo efectuados en la margen derecha del embalse presentó Benceno, Tolueno, Fenol, Clorobenceno, Naftaleno, y  $\alpha$ -HCH. Esta circunstancia será igualmente valorada en la evaluación de riesgos para estudiar posibles afecciones sobre potenciales receptores que puedan entrar en contacto directo con el agua superficial.

Las concentraciones registradas de cada uno de ellos y su distribución espacial quedan recogidas en los Planos del Anejo I de la caracterización.

### *Aguas subterráneas*

La migración de la carga de afección con el flujo subterráneo constituye un potencial riesgo sobre el embalse.

En los sondeos perforados en el entorno el nivel freático se ha localizado a una profundidad entre 1,32 m y 5,34 m medidos desde la superficie, y la dirección de flujo local se ha determinado hacia el embalse.

Las sustancias presentes que superan los niveles de referencia son:

- ↪ *Orgánicos*: Benceno, Clorobenceno, 1-2 Diclorobenceno, 1-4 Diclorobenceno, 1-2-4 Triclorobenceno, 2,4,6 Triclorofenol, y la Suma de isómeros HCH.
- ↪ *Metales*: Cadmio y Plomo.

Los parámetros físico-químicos y toxicológicos más relevantes de las sustancias contempladas se recogen en el Anejo I.

### 3.6.3 Características toxicológicas de las sustancias detectadas y evaluación preliminar del riesgo

A continuación se recogen, para cada uno de los parámetros contemplados en la evaluación de riesgos, las características más relevantes a efectos de la realización del estudio, así como una breve valoración preliminar de los efectos que sobre la salud humana implica su presencia en los sedimentos y/o las aguas en la situación actual, a falta de los resultados de la valoración cuantitativa que se desarrollará en capítulos posteriores.

#### **Hexaclorociclohexano (HCH)**

Denominado también hexacloruro de benceno (HCB), principal sustancia detectada en el embalse, es un compuesto clorado de fácil fabricación mediante la cloración fotoquímica del benceno, lo que da lugar a la formación del denominado HCH técnico constituido por cinco isómeros estables, alfa, beta, gamma, delta y epsilon, y que se comercializa como pesticida.

El isómero  $\alpha$ -HCH es el compuesto principal del HCH técnico. Es moderadamente persistente en suelos y muy persistente en aguas frías. Debido a esta persistencia puede registrarse en el medio a bajas temperaturas durante largos periodos y bioacumularse en los tejidos animales.

Es susceptible a la degradación biótica y abiótica con una tasa función del clima y el medio. En climas tropicales su degradación es rápida mientras que en climas fríos se produce su acumulación. Es biodegradable en medios abióticos por procesos como la fotodegradación o la hidrólisis, esta última depende fuertemente de la temperatura.

El  $\alpha$ -HCH es el isómero con mayor efecto neurotóxico, hepatotóxica, y clasificado como cancerígeno para los humanos (grupo 2B, según la *Internacional Agency for Research on Cancer* (IARC)).

Los datos sobre los efectos adversos del Alfa HCH en especies animales son muy escasos. Varios estudios han señalado que es un compuesto muy tóxico para los organismos acuáticos determinando una concentración con efectos adversos inferior a 1 mg/l en algas, zooplancton y peces (IPCS 1992, ECOTOX 2007).

El isómero Beta HCH no se elabora como tal, sino como constituyente del HCH técnico en un porcentaje entre el 5 % y 14 %. Las mayores concentraciones de exposición se registran



en aquellas zonas donde se lleva a cabo su elaboración, almacenamiento, gestión o bien en aquellas donde el HCH se usa de forma extensiva como insecticida.

Debido a sus propiedades físicas y químicas que le confieren mayor estabilidad y resistencia a la hidrólisis, y a los procesos de degradación enzimática, el beta HCH es el isómero predominante en el suelo y en el tejido animal.

Está clasificado por la IARC dentro del grupo 2B como cancerígeno, e incluido por la EPA en la IRIS (*Integrated Risk Information System*) como compuesto con efectos cancerígenos sobre la salud humana. Ensayos toxicológicos realizados en laboratorio sobre animales han determinado que tiene efectos adversos sobre el sistema neurológico, y de reproductividad, y es extremadamente tóxico para organismos acuáticos.

El delta HCH, tampoco se elabora como tal sino como constituyente del HCH técnico en un porcentaje entre 6 % y 10 %. Igualmente, las mayores concentraciones se registran en áreas donde se lleva a cabo su elaboración y gestión como residuo. No se dispone de datos toxicológicos suficientes pero se considera como compuesto con efectos tóxicos y cancerígenos.

El resto de los isómeros del HEXACLOROCICLOHEXANO no han sido detectados en los sedimentos de colmatación, ni en los depósitos cuaternarios.

Dadas las características de los isómeros del HCH detectados en los sedimentos, y que el principal isómero registrado es el alfa HCH, el riesgo sobre la salud humana se considera bajo, pues es muy poco probable que pueda existir un contacto directo con los sedimentos dado el uso actual del embalse.

### ***Benceno C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>***

El benceno es un hidrocarburo aromático incoloro, que se elabora de manera artificial derivándose de otros hidrocarburos, o bien se encuentra de forma natural. Es muy volátil, e inflamable y poco soluble en agua.

La principal vía de exposición al benceno es por inhalación, que puede producir, dependiendo de la tasa, desde somnolencia, mareo y hasta la muerte. Igualmente la ingestión de altas concentraciones de benceno en los alimentos causa en humanos vómitos, irritación y hasta la muerte. La exposición prolongada afecta a la sangre y a la médula ósea.

Una exposición prolongada a altas concentraciones en el aire puede tener efectos cancerígenos. La EPA, así como el IARC han determinado que es una sustancia cancerígena en seres humanos.

En los sedimentos de colmatación, esta sustancia se ha registrado únicamente de forma puntual y con bajas concentraciones, tanto en los propios sedimentos como en el agua intersticial.

A priori, sobre la base de los datos facilitados, y teniendo en cuenta que la vía crítica de exposición para este compuesto es la inhalación, el riesgo que generarían estas sustancias sobre la salud humana en la situación actual se estima muy bajo, en tanto en cuanto los sedimentos con presencia de Benceno se encuentran sumergidos (lo que limita su migración al aire y con ello su posterior inhalación).

### **Clorobenceno $C_6H_5Cl$**

El clorobenceno es un compuesto cíclico aromático derivado del benceno mediante una reacción de halogenación en la que se sustituye uno o más de los hidrógenos por cloro. Es igualmente un líquido incoloro, volátil y sumamente inflamable, pero con menor solubilidad en el agua.

Es muy tóxico para los organismos acuáticos. La exposición por inhalación provoca somnolencia, dolor de cabeza y náuseas, y a mayores tasas de inhalación llega a ocasionar espasmos musculares y efectos adversos en la médula ósea. El contacto dérmico causa deshidratación, enrojecimiento, y aspereza mientras que la ingestión, además de los síntomas provocados por inhalación, produce dolores abdominales. La EPA ha determinado que no es clasificable como cancerígeno en seres humanos.

Su presencia en los sedimentos es puntual, por lo tanto la probabilidad de su volatilización al aire se considera casi nula. Igualmente, la exposición por contacto dérmico con los sedimentos se puede considerar como improbable dado el uso real del embalse.

Sobre la base de estos datos se puede concluir que el riesgo sobre la salud humana por la presencia del clorobenceno en los sedimentos en la situación actual es bajo.

### ***Fenol C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH***

Es un sólido cristalino de color blanco a incoloro. Se trata de un compuesto que se obtiene industrialmente mediante la oxidación del Isopropil benceno. Es corrosivo, inflamable, con un fuerte olor característico, y sus gases son explosivos en contacto con la llama. Es moderadamente soluble y se evapora más lentamente que el agua.

La exposición al fenol se produce fundamentalmente en zonas donde existen plantas de su manufacturación, o bien cerca de vertederos donde se realiza su gestión. Su inhalación en altas concentraciones puede causar envenenamiento, vómitos e irritación de las vías respiratorias. El contacto dérmico produce quemaduras de la piel, y por ingestión causa quemaduras internas y la muerte.

Sólo se ha detectado de forma puntual en los sedimentos, y en la situación actual la probabilidad de exponerse a dicha sustancia se considera prácticamente nula (el sedimento está sumergido lo que limita la generación de volátiles, y el contacto directos con estos materiales es inexistente) y, por lo tanto, el riesgo sobre la salud humana es muy bajo.

### ***Naftaleno C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>***

Es un hidrocarburo aromático policíclico. Es muy volátil e inflamable, insoluble en el agua quedando adherido fuertemente a las partículas de los sedimentos, y muy soluble en disolventes orgánicos. No persiste en el medio ya que es fácilmente biodegradable por bacterias y por la luz solar. Tiene un factor de bioacumulación bajo por lo que no se acumula en los tejidos animales.

La exposición a este compuesto se puede producir por ingestión oral, inhalación y/o contacto. En general se considera poco tóxico para los seres humanos y muy tóxico para los organismos acuáticos. La exposición a altas concentraciones causa anemia hemolítica, formación de cataratas, produce sensibilizaciones y puede provocar la muerte, y posibles efectos cancerígenos.

Basándose en estos datos y teniendo en cuenta que solo se ha detectado su presencia de forma puntual en los sedimentos, y del mismo modo que en casos anteriores, considerando el uso actual del embalse, el riesgo en la situación actual sobre la salud humana se considera muy bajo.

### **Antraceno $C_{14}H_{10}$**

Es un hidrocarburo aromático policíclico, sólido a temperatura ambiente, de color amarillo pálido a incoloro. Se adhiere fuertemente a las partículas de los sedimentos sin disolverse en el agua.

Su entrada al medio natural se produce por emisiones y vertidos procedentes de plantas que lo emplean en sus procesos industriales. Las mayores exposiciones a los humanos se dan, principalmente por inhalación causando efectos tóxicos y dificultades respiratorias, e igualmente, por ingestión o contacto dérmico provocando irritación de la piel y de los ojos.

La presencia del antraceno en el embalse es muy puntual, limitándose a 9 muestras de sedimento y, dadas sus vías de exposición más críticas y el uso real del embalse, el riesgo sobre la salud humana en la situación actual vuelve a considerarse muy bajo.

### **Fluoranteno $C_{16}H_{10}$**

Es igualmente un hidrocarburo aromático policíclico sólido de color amarillo claro, casi insoluble en agua pero muy soluble en alcohol, éteres y benceno.

La principal exposición al fluoranteno se produce por su inhalación junto con finas partículas, y en menor medida, por ingestión y contacto dérmico. Es el hidrocarburo aromático policíclico que se detecta con más frecuencia en las aguas y está considerado como muy tóxico para los organismos acuáticos. No está clasificado como cancerígeno.

El Fluoranteno sólo se ha registrado en tres muestras de sedimentos, y dado que estos se encuentran cubiertos por una lámina de aguas superficiales el riesgo sobre la salud humana en la situación actual por la exposición a este compuesto mediante la inhalación de partículas se estima muy bajo.

### **Pireno $C_{16}H_{10}$**

Es otro hidrocarburo aromático policíclico sólido de color amarillo claro a incoloro, muy volátil a altas temperaturas. No hay datos suficientes sobre su toxicidad, pero una exposición puntual por contacto causa enrojecimiento en la piel y en los ojos. Es bioacumulable detectando concentraciones en crustáceos, peces, algas y moluscos.

Igual que en el caso del fluoranteno, el pireno sólo se ha detectado en tres muestras de sedimento todas ellas recogidas en el mismo punto, por lo que la exposición a dicha sustancia se considera muy improbable y, por lo tanto el riesgo sobre la salud humana en la situación actual sigue siendo muy bajo.

### ***Benzo (a) antraceno C<sub>18</sub>H<sub>12</sub>***

Es un hidrocarburo aromático policíclico sólido en forma de cristales blancos o polvo que se produce de forma natural de la combustión incompleta de hidrocarburos fósiles, de allí que es una sustancia común en el aire y en las masas de aguas superficiales encontrándose adherido a finas partículas.

En el caso de un vertido a aguas superficiales es rápidamente adsorbido por los sedimentos y por las partículas en suspensión en la columna de agua, y, de allí, por ingestión en la dieta, se bioconcentra en los tejidos de los organismos acuáticos. La fracción restante es rápidamente degradada por fotólisis o por oxidación. Su fuerte adherencia a las partículas de sedimento impide su desorción a las aguas superficiales o su lixiviación hacia las aguas subterráneas.

La exposición al benzo(a) antraceno se produce por ingestión, inhalación y/o contacto dérmico. No hay datos suficientes sobre su toxicidad en humanos y está clasificada dentro del grupo 2B como probable cancerígeno para los seres humanos.

No obstante, dada su presencia puntual en los sedimentos del embalse (3 muestras recogidas en el mismo punto) y su ausencia en las aguas del mismo, la exposición se considera muy improbable y por tanto el riesgo sobre la salud humana en la situación actual muy bajo.

### ***Benzo (a) pireno C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>***

Es un hidrocarburo aromático policíclico, sólido en forma de polvo o cristales de color amarillo pálido e inodoro. Se forma por condensación de cinco anillos de benceno durante los procesos de combustión a temperaturas entre 300°C y 600°C. Es poco o nada soluble en agua debido a sus propiedades hidrofóbicas. Se usa como endurecedor, como arenas de moldeo, y como fluido de corte.

La exposición al benzo (a) pireno se produce por ingestión, inhalación y/o contacto dérmico. Es altamente tóxico considerado como uno de los hidrocarburos aromáticos de mayor factor de riesgo y potencialmente cancerígeno de clase 2A según la IARC. Provoca irritación de la piel, alteración en la reproducción, y origina lesiones genéticas. Es muy tóxico para los organismos acuáticos, y a largo plazo provoca efectos negativos en el medio.

El riesgo por la exposición al benzo (a) pireno sobre la salud humana se considera bajo en la situación actual, dado que, independientemente de sus efectos adversos sobre la salud humana y el medio, su presencia en el embalse se reduce a tres muestras de sedimentos todas ellas recogidas en el mismo punto.

### ***Benzo (b) fluoranteno $C_{20}H_{12}$***

Es un hidrocarburo aromático policíclico, sólido en forma de cristales coloreados. Es prácticamente insoluble en agua y soluble en benceno, acetona y alcoholes. Se forma por combustión incompleta de hidrocarburos fósiles.

La exposición se produce por inhalación, ingestión y/o contacto dérmico. No hay datos suficientes de toxicidad en humanos pero esta considerada como una sustancia con afectos adversos al medio ambiente. Según la IARC hay suficientes evidencias de que el benzo (b) fluoranteno es cancerígeno.

Su presencia se reduce a tres muestras de sedimentos recogidas en un único punto, por lo que la exposición se considera poco probable y por lo tanto el riesgo en la situación actual sobre la salud humana se estima bajo.

### ***Mercurio (Hg)***

Es un metal pesado presente de forma natural en el medio, principalmente bajo forma de menas de cinabrio (sulfuro de mercurio). Su movilidad depende fundamentalmente de la formación de complejos orgánicos e inorgánicos, y de su evaporación tras la descomposición.

La exposición al Hg elemental es principalmente por inhalación, con efectos sobre el sistema nervioso, pudiendo producir otros efectos como bocio, taquicardia, pulso lábil, gingivitis, irritabilidad, temblores, pérdida de memoria y salivación intensa. Está clasificado por la IARC dentro del grupo 3 como sustancia no cancerígena.





La exposición al mercurio orgánico se produce por ingesta de alimentos bajo forma, principalmente, del metilmercurio. Este afecta al sistema nervioso y está clasificado por la IARC dentro del grupo 2B como “posiblemente cancerígeno”.

En los sedimentos de colmatación acumulados en el embalse, la presencia de Mercurio es generalizada, mientras que en las aguas superficiales se ha limitado a una muestra. No obstante, dado las bajas concentraciones registradas y el uso real del embalse el riesgo generado sobre la salud humana en la situación actual se estima medio a bajo.

### **Arsénico (As)**

El arsénico es un metaloide que se presenta en la naturaleza principalmente como sulfuro de metales como el plomo o el cobre. También se puede presentar bajo otras formas inorgánicas, orgánicas o de forma nativa, en polvos blancos, sin olor, y difícilmente evaporables. Como elemento es insoluble en el agua, pero muchos de sus compuestos lo son.

En la actualidad, se usa principalmente como preservante de madera (70 %), y en menor medida como componente en algunos medicamentos, para la fabricación de semiconductores y como aditivo en aleaciones de lomo y latones. A principios del siglo pasado se usaba como herbicida e insecticida.

Su entrada a la atmósfera se puede producir bien de forma artificial por la fundición de minerales en la industria metalúrgica y por la incineración de carbón o, de forma natural por actividades volcánicas. Mientras que su incorporación a las aguas, tanto subterráneas como superficiales, se produce esencialmente por lixiviación de suelos y/o por vertidos de aguas residuales.

La principal exposición al arsénico se produce por ingesta de alimento, siendo los peces y los crustáceos los que más contenido presentan generalmente bajo forma de un compuesto orgánico (arsenobetaina), por inhalación de partículas con arsénico adherido, o por la ingesta de agua potable.

Es extremadamente tóxico y venenoso. La ingestión de altas concentraciones de arsénico inorgánico en las aguas puede ser letal para los seres humanos, y a concentraciones más bajas provoca irritaciones en el estómago y los intestinos, náuseas, vómitos, anemia y alteraciones nerviosas. Su inhalación en grandes dosis provoca irritaciones en la garganta y



en los pulmones y efectos adversos en la piel. Está clasificado por la IARC como probablemente cancerígeno.

Del arsénico orgánico no se dispone de mucha información sobre sus efectos en los seres humanos. Ensayos realizados en animales han determinado que es menos tóxico que los compuestos inorgánicos.

El arsénico no se ha detectado en las aguas del embalse, mientras que en los sedimentos su presencia es generalizada con concentraciones relativamente bajas, a excepción de tres puntos próximos entre sí y situados en la margen derecha del embalse. Teniendo en cuenta sus características toxicológicas y el uso real del embalse se puede estimar que el riesgo sobre la salud humana en la situación actual es bajo.

#### *3.6.4 Características del medio físico*

A continuación se describen las características del medio físico. Alguno de los aspectos que lo comprenden (geología, hidrogeología, geomorfología, climatología,...) han sido detallados en el documento nº 2 (caracterización), por lo que en este capítulo se hará exclusivamente un resumen de los aspectos más significativos.

##### *Geología e hidrogeología*

Geológicamente los materiales de la zona se estructuran en dos subdivisiones; un basamento de edad terciaria y una cobertera del cuaternario que ocupa las partes bajas de las laderas y los fondos de los valles.

Los materiales del basamento terciario consisten en areniscas y margas, ocupando la parte norte y sur del vaso, respectivamente. La cobertera cuaternaria está constituida por diferentes tipos de depósitos: Coluviales, Fondos de Valle, Terrazas del Gállego y Aluviales, diferenciando un depósito actual formado por los sedimentos de colmatación acumulados en el vaso del embalse, constituidos básicamente por limos y limos arenosos (Véase documento 1, de caracterización).

Desde el punto de vista hidrogeológico, solamente se toman en consideración como horizontes acuíferos los materiales cuaternarios de tamaño grueso dada su alta permeabilidad, trasmisividad, y a que poseen altos coeficientes de almacenamiento. Los materiales del sustrato terciario constituyen la base impermeable de este acuífero superficial

debido a su baja permeabilidad y trasmisividad. El flujo subterráneo de este acuífero es hacia el cauce del río.

### *Climatología*

El clima de la zona se define como sub-mediterráneo de montaña con una marcada estacionalidad. La temperatura media anual es de 10,9° C, con una media de máximas de 29,0°C en julio, y una media de mínima de 3,39°C en enero. Las precipitaciones se distribuyen en dos estaciones húmedas y dos secas, con promedios anuales que oscilan entre 600 mm y 900 mm, y una media de 85 días de lluvia al año.

### *Usos del suelo y de las aguas*

Los usos del embalse, del suelo y de las aguas en su entorno, son factores determinantes al establecer los criterios de la evaluación de riesgos.

### Usos del embalse

De acuerdo a la información facilitada por la CHE, en la actualidad **las aguas del embalse no tienen ningún uso**, ni para actividades recreativas, ni para el suministro de agua potable, o riego. Y no se contempla un cambio de uso a corto-medio plazo.

No obstante, de cara a evaluar una situación crítica, se ha considerado que el embalse pueda ser utilizado con fines recreativos de forma ocasional (baño, pesca). Esta circunstancia es poco probable pero posible, en tanto en cuanto no hay ninguna prohibición al respecto.

Además, la presa se ha construido para la producción de energía eléctrica mediante turbinas hidráulicas dispuestas en la cerrada, por lo cual no se produce un contacto directo con las aguas del embalse.

### Usos del suelo y de las aguas subterráneas en el entorno más próximo al embalse

- Hacia el norte, este y sureste del embalse, los suelos no tienen un uso específico, excepto pequeñas parcelas de cultivo hortícola que se localizan a unos 70 m del ámbito en estudio. El agua empleada para el riego de estos huertos procede del río Gállego, estando su punto de situado aguas arriba del embalse y, por lo tanto, sin ninguna relación con las aguas del mismo.

- Al noreste, a 60 metros aproximadamente del embalse y aguas arriba del mismo, se ubican las dos balsas de lixiviados del antiguo vertedero de Sardas, el paso de la carretera N-330, y el propio vertedero de Sardas, a 250 metros.
- Hacia el oeste lindando con el embalse, se localizan las instalaciones industriales de Inquinosa, Aragonesas y el polígono industrial de Fosforera. Y a 150 m en la misma dirección se localiza el polígono industrial de Castro Romano, y el núcleo urbano de Sabiñánigo.
- Hacia el sur y colindando con la propia cerrada, se halla la derivación hidroeléctrica.
- Las aguas subterráneas en el entorno del embalse no se aprovechan ni para el riego ni para el abastecimiento doméstico. No se han localizado pozos ni puntos de captación en el entorno más inmediato.

En la siguiente figura se recoge un plano del ámbito de estudio y su entorno donde se visualiza gráficamente los usos del suelo en la zona.

Figura 1. Plano de usos del suelo en el entorno del embalse de Sabiñánigo



### Usos de las aguas del Río Gállego aguas abajo del embalse

Según la información recabada, aguas abajo del embalse, en el cauce del río Gállego, además de la pesca deportiva se desarrollan de forma ocasional otras actividades recreativas.

Además se han localizado varias infraestructuras de regulación del caudal del río. La CHE dispone de varios puntos control a lo largo del río Gállego aguas abajo del embalse, donde se llevan a cabo de forma no sistemática analíticas de la calidad del agua y de otros compuestos relevantes. Los puntos de control más próximos son 1089 Sabiñánigo a 220 m, Gállego 2149 a 1640 m, Jabarella 1484 a 5 Km., Hostal Ipiés 1090 a 9,5 Km.

#### *3.6.5 Identificación de receptores*

De acuerdo a los usos actuales de las aguas del embalse y de los suelos de las parcelas colindantes, y atendiendo a la descripción del entorno y del propio emplazamiento, se han identificado como potenciales receptores:

- Los usuarios de las aguas superficiales del embalse (hipótesis de uso del mismo con fines recreativos), así como del cauce del río Gállego aguas abajo.
- Los organismos acuáticos del propio embalse, así como del río aguas abajo (el estudio de una posible afección sobre estos receptores queda recogido en el capítulo 4 “Análisis preliminar de riesgos sobre los ecosistemas”, del presente documento).

#### *3.6.6 Identificación de las rutas de exposición*

En las condiciones actuales y futuras previsibles del uso del suelo y de las aguas, y la situación de los potenciales receptores, se detallan a continuación los aspectos más relevantes en cuanto a las rutas de exposición a contemplar en el modelo.

En la situación actual las aguas del embalse no se aprovechan ni para el abastecimiento de agua potable ni para el riego de los cultivos. Únicamente se emplean para la generación de energía eléctrica, sin descartar actividades recreativas ocasionales como la pesca deportiva o el baño. Por lo tanto las posibles rutas de exposición son:

- Ingestión accidental y/o contacto dérmico con las aguas superficiales y de los usuarios del embalse por la hipotética actividad de baño y pesca deportiva, y, en

menor medida, por parte de de los trabajadores de la central hidroeléctrica. Igualmente se contemplan estas vías de exposición para los usuarios del cauce del Gállego aguas abajo del embalse.

- ↪ El contacto dérmico y la ingestión de agua y sedimento por parte de los organismos acuáticos tanto del propio embalse como del río aguas abajo. El estudio de esta ruta de exposición se recoge en el capítulo 4.
- ↪ Adicionalmente, y si bien se trata de una situación hipotética y poco probable, con objeto de analizar una situación muy crítica, se evaluará el riesgo por el contacto directo con los sedimentos por parte de los potenciales usuarios de las aguas del embalse que pueden entrar en contacto con los mismos.
- ↪ No se contempla la inhalación de vapores en espacios cerrados al no existir ninguna edificación sobre el foco de riesgo, ni la inhalación en espacios abiertos al encontrarse los sedimentos (principal foco de riesgo) sumergidos, lo que limita la generación de volátiles y su migración hacia el exterior.
- ↪ Tampoco se considera la ingestión o el contacto con el agua subterránea al no existir captación alguna en el entorno del embalse.

### **3.7 Escenarios considerados**

Se han establecido dos escenarios de riesgos en los que se estudia la situación actual del embalse y del entorno conforme a los usos del suelo y de las aguas establecidos en el capítulo 3.6.3 de este documento, y una situación hipotética en la que se contempla la posibilidad de que potenciales receptores pudiesen entrar en contacto directo con los sedimentos de colmatación que se encuentran cubiertos por una lámina de agua. Ambas situaciones se han estudiado de forma independiente por exigencias del programa informático utilizado.

A continuación se describen las principales características de cada uno de ellos.

#### *3.7.1 Escenario 1. Situación actual*

En esta situación se evalúa el riesgo teniendo en cuenta el estado actual del emplazamiento y los usos reales del mismo, sobre la base de la información facilitada por la CHE y la información recabada por GEOCISA durante los trabajos de campo.



Los aspectos más relevantes que configuran este escenario son:

- *Ámbitos de exposición:* el ámbito *On site* (receptores sobre el foco de riesgo) se define en el propio embalse.

Adicionalmente, y sobre la base de los resultados que se obtengan en el ámbito referido, y en la situación hipotética de contacto directo con los sedimentos en el embalse (véase el *Escenario 2* que se describe más adelante), se evaluará la situación sobre otros posibles usuarios del río situados aguas abajo del embalse.

- *Receptores:* usuarios del embalse con fines recreativos (pesca y/o baño), y usuarios de las aguas del río Gállego con los mismos fines recreativos.
- *Vías de exposición:*

- o Sobre los posibles usuarios de las aguas del embalse (*On site*): contacto dérmico y/o ingestión accidental de las aguas superficiales derivados de una posible actividad recreativa (pesca deportiva o baño), y la ingestión del propio pescado.

Si bien se considera improbable que los receptores referidos puedan entrar en contacto directo con los sedimentos (se recuerda que éstos se encuentran sumergidos, y que en la zona en la que se encuentran de forma más superficial - entorno del llamado *Brazo de Inquinosa*- la lámina de agua que los cubre puede alcanzar entre 50 cm y 1,50 cm, aproximadamente), esta situación se ha contemplado igualmente en la valoración de riesgos aunque en un escenario independiente por exigencias del programa informático utilizado (véase *Escenario 2*).

En el momento de la elaboración de este documento no se tiene constancia de que las aguas del embalse sean utilizadas para riego, por lo que esta actividad no se contempla en el estudio.

- o *Sobre otros usuarios del río Gállego ubicados aguas abajo:* se parte de la hipótesis de que las aguas del río Gállego puedan ser empleadas igualmente con fines recreativos de forma ocasional, teniendo lugar las mismas vías de exposición que en el punto anterior (contacto dérmico y/o ingestión accidental de las aguas superficiales e ingestión de pescado). Además, en este caso se considera la posibilidad de que en

algún momento los receptores puedan entrar en contacto con sedimentos que se hayan movilizado desde el embalse.

Esta última posibilidad será valorada de forma cualitativa teniendo en cuenta los resultados que se obtengan en el Escenario 2, pues no se tiene constancia de que los sedimentos hayan migrado fuera del embalse, ni de la calidad de los mismos en el caso de que ésta movilización haya tenido lugar.

- En ningún caso se ha considerado el empleo de las aguas superficiales o subterráneas para abastecimiento, en tanto en cuanto las aguas subterráneas no presentan uso alguno, y hasta 17 km aguas abajo del embalse no se han localizado puntos de captación de aguas superficiales.

En este último caso se parte de la base de que las aguas cumplen con los criterios de calidad legalmente establecidos. Los controles analíticos efectuados por la CHE en la estación de alerta localizada en el río Gallego a la altura de Jabarrella (a unos 5 km del embalse e igualmente aguas abajo del mismo) así lo corroboran (véase resultados de los análisis en el Anejo 7 del Documento nº 2).

- *Parámetros de exposición:* se incluyen los adoptados por defecto en el programa para una actividad recreativa (pesca deportiva y baño).
- *Concentraciones de compuestos:* se parte de la hipótesis de que el agua del embalse pueda contener las sustancias y concentraciones obtenidas del agua intersticial de las muestras de sedimentos recogidas en dos de los sondeos perforados en la margen derecha del embalse.

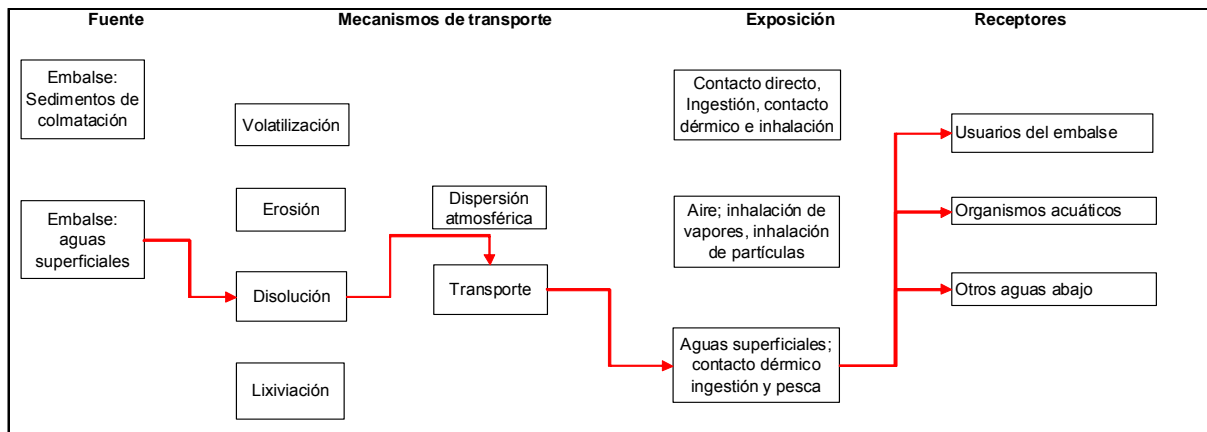
Los compuestos detectados en estas muestras fueron Benceno, Tolueno, Fenol, Clorobenceno, Naftaleno, y  $\alpha$ -HCH.

En el estudio de la afección sobre potenciales receptores situados aguas abajo del embalse, evaluar la situación con estos datos supone analizar una situación conservadora, en tanto en cuanto los parámetros y concentraciones detectadas sobre el foco de riesgo (embalse) son más desfavorables que los detectados en la estación de Jabarrella (presumiblemente más próxima a posibles usuarios del río).



En la figura 2 se recoge un esquema resumen de la configuración de la situación actual.

Figura 2. Esquema resumen del escenario estudiado en la situación actual (contacto aguas embalse-embalse como receptor)



### 3.7.2 Escenario 2. Situación hipotética de contacto directo con los sedimentos

En este escenario se evalúa que incidencia tendría sobre la salud humana si unos potenciales receptores pudiesen entrar en contacto directo con los sedimentos.

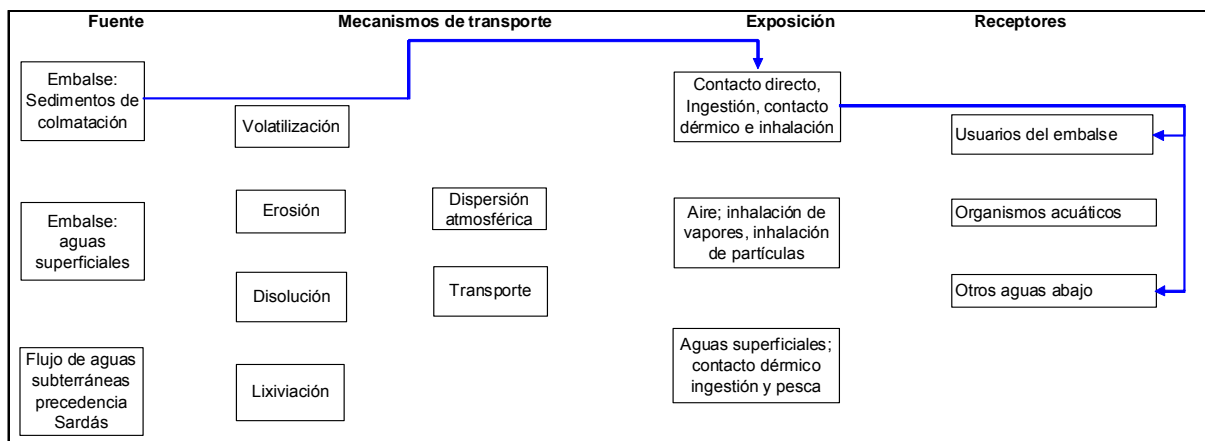
El *ámbito de exposición On site* estaría definido en las zonas de acumulación de sedimentos con sustancias orgánicas o metales, los *potenciales receptores* podrían ser, por ejemplo, unos hipotéticos y ocasionales usuarios de las aguas del embalse en dichas áreas de sedimentación, y las *vías de exposición* asociadas serían el contacto dérmico y/o la ingestión accidental de sedimento e inhalación de partículas.

En cuanto a los *parámetros de exposición* se han adoptado aquellos que vienen por defecto en el programa, excepto la tasa de ingestión, donde se ha considerado el 50% de la que el programa adopta por defecto dado que se trataría de una exposición ocasional. Esta situación se sigue considerando muy conservadora en tanto en cuanto se mantiene una frecuencia de exposición de 250 días/año.

Para evaluar los posibles riesgos en este escenario, se han considerado como concentraciones de partida la máxima registrada de cada sustancia que ha superado los valores de referencia en todas las muestras analizadas de los sedimentos de colmatación.

En la figura 3 se muestra gráficamente la situación hipotética de contacto directo con los sedimentos.

Figura 3. Esquema resumen de la situación hipotética de contacto directo con los sedimentos de colmatación



### 3.8 Caracterización del riesgo y resultados

En este capítulo se resumen los resultados de la evaluación de riesgos realizada sobre la salud humana.

#### 3.8.1 Escenario 1. Situación actual (contacto con las aguas superficiales del embalse)

La evaluación de riesgos efectuada, cuyos resultados se muestran en el Anejo 3 de este documento (véase salidas del programa informático), reflejan que en el caso de que las sustancias detectadas en el agua intersticial de los sedimentos muestreados en los sondeos SE-8 y SE-9 afectasen al agua del embalse, éstas no arrojarían ningún efecto adverso sobre la salud humana por ninguna de las vías de exposición analizadas (contacto dérmico o ingestión accidental de aguas superficiales, o ingestión de pescado).

Los niveles de riesgos calculados, tanto para los efectos tóxicos como para los efectos cancerígenos, son inferiores a los máximos admisibles.

En cuanto a otros posibles receptores situados aguas abajo del embalse, y partiendo de la base de que éstos podrían estar sometidos a los compuestos detectados en el ámbito en estudio, como mínimo, a través de las mismas vías de exposición que se han considerado en el propio embalse, tampoco habría efectos negativos. Si sobre el mismo foco de riesgo no se han registrado consecuencias adversas para la salud humana, en otras zonas alejadas del embalse, donde presumiblemente las concentraciones de las sustancias serían

inferiores, la potencial afección sería aún menor.

### 3.8.2 Escenario 2. Situación hipotética de contacto dérmico e ingestión de los sedimentos de colmatación

En este capítulo se evalúa el posible riesgo, en una situación hipotética, de contacto directo con los sedimento de colmatación por parte de potenciales receptores, como unos posibles usuarios del propio embalse con fines recreativos.

Los resultados indican que existen tres sustancias críticas que podrían contribuir al riesgo de forma más significativa: Benzo(a)pireno, Mercurio y Arsénico.

Con los datos de partida contemplados en el modelo, la concentración máxima admisible por encima de la cual el índice de riesgo es superior a  $10^{-5}$  es de 0,052 mg/kg, 55 mg/kg y 12 mg/kg para cada uno de estos compuestos, siendo la vía crítica de exposición la ingestión de materiales con estas sustancias.

Las determinaciones analíticas realizadas sobre las muestras de sedimento arrojaron concentraciones de Benzo(a)pireno por debajo de 0,052 mg/kg en todas las muestras analizadas, excepto en las recogidas del sondeo SE-18 situado en el entorno de *Energía e Industrias Aragonesas* donde se han medido niveles ligeramente superiores (máximos del orden de 1 mg/kg).

En el caso del Mercurio, los resultados analíticos obtenidos evidenciaron igualmente concentraciones inferiores a 55 mg/Kg en todos los puntos muestreados del embalse, a excepción de dos muestras recogidas nuevamente en el punto SE-18.

Y en lo relativo al Arsénico, solamente 4 puntos de muestreo de los 20 efectuados (los dos más críticos se localizan en el entorno del *Brazo de Inquinosa* y junto a *Energía e Industrias Aragonesas*, a más de 400 metros de la cerrada), presentan valores de este metal por encima de los 12 mg/kg referidos.

La concentración máxima obtenida para este metal es inferior al nivel de referencia considerado en el presente estudio (NGR de la orden 5/05/08 para metales del Gobierno de Aragón establecidos para suelos de otros usos), y por lo tanto es una concentración excesivamente restrictiva.

Este hecho suele ser habitual cuando se evalúan los riesgos generados por un grupo de sustancias de forma conjunta, y no por cada una de ellas de forma individual, y en el caso particular del embalse de Sabiñánigo el valor objetivo se ha calculado sobre la base de que el sedimento presenta todas las sustancias detectadas en la investigación que han arrojado concentraciones por encima de los valores de referencia.

Sobre la base de los resultados obtenidos, y a modo de resumen, se considera que para que realmente hubiese efectos negativos sobre la salud humana, los potenciales receptores tendrían que ingerir del orden de 25 mg/día durante 250 días/año de los sedimentos de colmatación acumulados en el entorno del *Brazo de Inquinosa* y de *Energía e Industrias Aragonesas*.

Y en este sentido se hacen las siguientes consideraciones:

- Aún suponiendo que un usuario del embalse entrase en contacto con los sedimentos, por ejemplo mediante alguna actividad recreativa en la que se efectuasen inmersiones (el sedimento está sumergido), el contacto sería con los niveles superficiales, y en la zona en la que se han registrado valores por encima de los máximos calculados para estos tres compuestos estos valores se encuentran a más de 2 m de profundidad.

Además, para tener efectos negativos tendría que producirse una ingestión del sedimento, lo que se considera muy poco probable. Se asume con ello, que el riesgo sobre la salud humana sería prácticamente inexistente.

- Para otros receptores situados en el río Gállego, en el caso de que se produjese alguna movilización de sedimentos, se parte de la base de que los materiales removidos serían los más próximos a la cerrada (véase el Documento nº 2, de caracterización, en el que se describe la dinámica del embalse).

Las analíticas efectuadas sobre los sondeos realizados junto a ella indican que los valores de estos compuestos son inferiores a los establecidos como máximos, por lo que se asume que el riesgo también sería prácticamente nulo.

Esta última circunstancia –ausencia de efectos negativos sobre la salud sobre receptores identificados en el río Gállego aguas abajo del embalse- se sustenta,

además, con los seguimientos que la CHE efectúa periódicamente en sus redes de control de sustancias peligrosas.

Así, los resultados disponibles de los ensayos periódicos realizados desde el año 1.999 hasta 2.008 sobre muestras de sedimentos recogidas en el Punto Nº SPS-1 - GALLEGO EN JABARRELLA, a unos 5 km del embalse de Sabiñánigo (véase Anejo 7 del documento de caracterización), indican la ausencia de los compuestos orgánicos detectados de forma generalizada en los sedimentos del embalse (HCH y Clorobencenos), y valores de Benzo(a)pireno, Mercurio y Arsénico (compuestos más críticos en la evaluación de riesgos) muy por debajo de aquellos obtenidos en este estudio como valores a partir de los cuales podrían producirse consecuencias adversas sobre la salud.

### 3.9 Conclusiones

Del análisis cuantitativo de riesgos realizado sobre la salud humana se desprenden las siguientes conclusiones:

- ✚ En la situación actual, las sustancias registradas en los sedimentos de colmatación del embalse de Sabiñánigo con valores por encima de los de referencia, no arrojan efectos adversos sobre la salud humana, siendo compatible por lo tanto su presencia con los usos de los suelos y de las aguas que en este momento se desarrollan en el entorno.
- ✚ Esta conclusión se aplica a posibles usuarios del embalse con fines recreativos, y a otros usuarios ocasionales de las aguas del río Gállego, igualmente con fines recreativos, aguas abajo del mismo.
- ✚ En la valoración se han incluido como sustancias y concentraciones representativas del agua del embalse, las registradas en el agua intersticial de sendas muestras de sedimento. Evaluar la situación sobre potenciales receptores situados aguas abajo del embalse con estos datos supone analizar una situación conservadora, en tanto en cuanto los parámetros y concentraciones detectadas sobre el foco de riesgo (embalse) son más desfavorables que los detectados en otros puntos presumiblemente más próximos a posibles usuarios del río (estación de Jabarrella).

- Las sustancias más críticas identificadas son Benzo(a)pireno, Mercurio y Arsénico en los sedimentos de colmatación, pero el potencial riesgo se ha valorado como prácticamente inexistente. Para que hubiese algún efecto negativo sobre la salud tendría que producirse una ingestión del orden de 25 mg/día durante 250 días/año de los sedimentos acumulados en el entorno del *Brazo de Inquinosa* o *Energía e Industrias Aragonesas*.
- Las últimas analíticas efectuadas sobre el sedimento recogido en el punto de control de sustancias peligrosas de la CHE ubicado en Jabarrella “SPS-1”, a unos 5 km del embalse, no presentan ninguno de los compuestos que se han registrado de forma generalizada en los sedimentos del embalse, y los niveles de las sustancias más críticas registradas en la evaluación de riesgos están muy por debajo del valor máximo admisible definido. Esta circunstancia apoya la consideración de que las sustancias registradas en los sedimentos del embalse no afectan negativamente a la salud de posibles usuarios del Gállego.

## 4 ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS

La realización de la evaluación de riesgos sobre los ecosistemas tendrá carácter preliminar, y en ausencia de una normativa estatal específica los efectos adversos sobre la biota se determinarán a partir de los datos de ecotoxicidad disponibles para cada pareja medio-receptor, el umbral de concentración por debajo del cual no se manifiestan efectos adversos (denominada “PNEC” por sus siglas en inglés).

### 4.1 Escenarios analizados

Se ha considerado un único escenario que contempla la situación actual del embalse y de su entorno, y en el que se evalúa el riesgo por ingestión de agua y sedimento, y el contacto dérmico con las aguas y sedimentos por parte de los organismos acuáticos en el propio embalse.

En el caso del agua, se ha contemplado una situación similar a la del estudio sobre la salud humana. Se ha supuesto que ésta podría estar afectada por las sustancias registradas en el agua intersticial analizada los sondeos SE-8 y SE-9 perforados en la margen derecha del embalse - Benceno, Tolueno, Fenol, Clorobenceno, Naftaleno, y  $\alpha$ -HCH-.

## 4.2 Análisis de exposición

La estimación de la exposición en este caso se suele hacer determinando el parámetro denominado PEC (Predictive Exposure Concentration), que se debe calcular para cada una de las parejas receptor-vía de exposición.

Los valores PEC están en función de diversos parámetros como:

- ✚ La distribución espacial a lo largo del tiempo de cada uno de los compuestos.
- ✚ La superficie del área afectada.
- ✚ La biodisponibilidad de cada uno de las sustancias contempladas.
- ✚ Peso vivo, composición de la dieta y tasa de ingestión de los receptores considerados.

Debido al déficit de datos de éstos parámetros se han adoptado, por defecto, unas hipótesis conservadoras que han permitido realizar un análisis preliminar:

- ✚ El 100 % del área de estudio está afectada.
- ✚ La biodisponibilidad de cada uno de las sustancias es del 100%.
- ✚ Se adoptarán datos de menor peso vivo disponibles que corresponde a la mayor tasa de ingestión.

Como concentraciones de compuestos sin efecto adverso (PNEC), para los organismos acuáticos y las sustancias detectadas en las aguas del embalse, y dada la ausencia de datos toxicológicos específicos, se adoptarán, siguiendo los apuntes de la *Guía de Análisis de riesgos para la salud humana y los ecosistemas de Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid*, los criterios de calidad del agua recomendados por la EPA en 2.009 para compuestos prioritarios para la protección de la biota acuática (*National Recommended Water Quality Criteria EPA 2009*). No se estudiará el efecto de los compuestos en los sedimentos sobre los organismos acuáticos dado que se considera despreciable frente a sus efectos en las aguas.

### 4.3 Resultados

La evaluación de los riesgos realizada sobre los organismos acuáticos bajo la premisa de que las aguas del embalse pudiesen contener alguna de las sustancias que se han detectado en el agua intersticial de dos muestras de sedimentos, ha arrojado como resultado que las concentraciones consideradas no superan los criterios de calidad de aguas superficiales continentales recomendados en la “*National recommended water quality criteria USEPA 2002*” establecidos para la protección de la biota acuática.

Para los isómeros del HCH alfa y beta no ha sido posible realizar la evaluación debido a la inexistencia de valores y/o criterios de calidad establecidos para dichos compuestos.

En cuanto al efecto de la ingestión de sedimentos con sustancias sobre los organismos acuáticos se considera despreciable frente a la ingestión y contacto dérmico de aguas con concentraciones elevadas. No obstante, se ha confirmado que los sedimentos no son ecotóxicos al haberse obtenido resultados del  $CE_{50}$  inferiores a los valores de referencia (en el Documento nº 2 se recoge una valoración más extensa de los resultados obtenidos de este parámetro).

### 4.4 Conclusiones

Del análisis preliminar de riesgos realizado sobre los ecosistemas se concluye lo siguiente:

- ✚ Las sustancias registradas en los sedimento de colmatación del embalse en la situación actual no generan efectos adversos sobre los organismos acuáticos.
- ✚ Del mismo modo que en el estudio sobre la salud humana, se ha considerado que la calidad del agua del embalse está representada por las sustancias y concentraciones registradas en el agua intersticial de muestras de sedimento. Y del mismo modo que en el caso anterior, evaluar la situación sobre organismos acuáticos situados aguas abajo del embalse con estos datos supone analizar una situación conservadora por la misma razón expuesta con anterioridad.
- ✚ Los bioensayos realizados sobre las muestras de sedimento recogidas en el propio embalse han arrojado concentraciones para el  $CE_{50}$  que permiten clasificarlo como un material no ecotóxico según el criterio de referencia aplicado.



## 5 INCIDENCIA DE LOS FOCOS POTENCIALES DE AFECCIÓN IDENTIFICADOS EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE

Aguas arriba del embalse, en su **margen izquierda**, se han detectado compuestos orgánicos e inorgánicos en las aguas subterráneas (Benceno, Clorobenceno, Fenoles, Clorofenoles, varios isómeros del Hexaclorociclohexano, Cadmio, Plomo....) cuyo origen se atribuye a las filtraciones desde el vertedero clausurado de Sardas.

Teniendo en cuenta las concentraciones elevadas registradas de estas sustancias y la conexión hidrogeológica directa entre el vertedero y el embalse a través de los depósitos cuaternarios de gravas, habrá que tener en cuenta el posible efecto negativo que, sobre la calidad de las aguas del embalse en su margen izquierda, pueda tener la movilización de estas sustancias con el flujo subterráneo (y es importante incidir de nuevo en que este hecho ha sido constatado con los resultados obtenidos en la investigación efectuada).

Como medida preventiva sería necesario que las autoridades competentes aplicaran las medidas oportunas para interceptar los flujos subterráneos provenientes del vertedero de Sardas. Hasta entonces, la situación medioambiental del embalse podría verse afectada negativamente.

En la **margen derecha** del embalse se valoran tres posibles focos de afección:

1. Los compuestos detectados en las aguas subterráneas muestreadas de los piezómetros perimetrales del embalse. Su incidencia en la calidad de las aguas del embalse se considera baja al encontrarse la práctica totalidad de los parámetros analizados por debajo del límite de detección de la técnica analítica.
2. Los vertidos directos al embalse. Su incidencia en la calidad de las aguas del embalse se considera también baja gracias a los controles que periódicamente efectúa la CHE sobre la calidad de los mismos con resultados favorables.
3. Los propios sedimentos acumulados en el entorno de *Energía e Industrias Aragonesas*. La incidencia de estos depósitos en la calidad de las aguas del embalse se considera baja-media, pues se han detectado sustancias

orgánicas en el agua intersticial de los testigos recuperados de dos de los sondeos perforados en esta zona, que podrían llegar a afectar a la calidad de las aguas del embalse.

La Directiva 2008/105/CE, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, que será traspuesta en breve al ordenamiento jurídico español, supone una reducción importante de las concentraciones de referencia para determinadas sustancias que se fijan como norma de calidad ambiental en las aguas. La entrada en vigor de esta norma va a suponer, de hecho, que se registren incumplimientos en los valores de referencia en masas de agua en las que se han venido registrando concentraciones de sustancias ligeramente inferiores a las normas de calidad vigentes. En el caso del embalse de Sabiñánigo, toda la problemática expuesta anteriormente en relación con los focos potenciales de afección identificados y su influencia en las aguas del embalse, puede dar lugar a que se pase de la situación actual de normalidad a una situación de riesgo derivado del incumplimiento de las nuevas normas de calidad ambiental.