de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodrigues, M. (Eds.) 2015
Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación: 1659-1668
Universidad de Zaragoza-AGE. ISBN: 978-84-92522-95-8

Problemática ambiental derivada del vaciado de embalses: propuesta de protocolo de desembalse

M.Ll. Gual Pérez[1], M. Sebastián López[1]

[1]*Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12, 50.009 Zaragoza.*

lluchgual@gmail.com, msebas@unizar.es

RESUMEN: Actualmente en España hay más de un millar de embalses, los cuales precisan en ocasiones de la necesidad de realizar vaciados totales o parciales para su mantenimiento durante la explotación. Los desembalses suponen una afección al medio siempre que se llevan a cabo, dando lugar a problemas ambientales que en muchos casos son difíciles de solventar. Por este motivo, seguir un protocolo de actuación y control es básico para minimizar los efectos negativos generados por el vaciado. El caso del vaciado total del embalse de Escarra (Sallent de Gállego, Huesca), realizado en septiembre de 2013 con el fin de mejorar la seguridad de la presa, es un ejemplo de negligencia con graves consecuencias ambientales al no seguir un procedimiento correcto de desembalse. Este suceso sirve como punto de partida para el estudio de la problemática ambiental que se deriva de la acción y para el desarrollo de una metodología que permita la mejora de la zona afectada, siendo aplicable a eventos similares. El objetivo final es la propuesta de un protocolo de desembalse y control del proceso. El protocolo se inicia en el momento de la decisión de la necesidad de llevar a cabo el vaciado y finaliza con la validación de condiciones ambientales posteriores al llenado, de acuerdo a las dadas antes de llevarse a cabo el desembalse.

Palabras-clave: desembalse, cartografía ambiental, turbidez, sedimentos.

1. INTRODUCCIÓN

El vaciado total y forzado de embalses constituye una operación con evidentes repercusiones sobre los ecosistemas naturales que los contienen (Barrachina, 2002). Son varias las causas que conducen a la necesidad de llevar cabo vaciados completos de embalses aunque de manera resumida pueden sintetizarse en dos: de seguridad y operatividad de los mecanismos de regulación de las presas; de desagües de fondo (Palau, 1998). Los efectos sobre el ecosistema fluvial de este tipo de actuaciones vienen muy condicionados por el nivel de acerramiento y/o el grado de eutrofia del embalse (aspectos ambos notables en buena parte de la geografía española), así como por las características hidrológicas e hidráulicas del río aguas abajo (Palau, 1995).

La perturbación derivada del vaciado total de un gran embalse, puede considerarse irreversible para las comunidades naturales. El presente artículo expone en forma de síntesis, un protocolo de documentación y actuación que pretende minimizar este impacto. Dicha propuesta surge tras la problemática ambiental generada por el desembalse de Escarra en septiembre de 2013, tratada en Gual Pérez (2014), en la que se ha puesto de manifiesto la necesidad de concienciar tanto a la administración pública cómo a los operarios de las presas de los problemas ambientales derivados de procesos de vaciado. Para ello, y tras el estudio exhaustivo del impacto generado por dicha acción, se ha diseñado un protocolo que incide tanto en la importancia de conocer rigurosamente el área de trabajo como en la necesidad de contar con cartografías detalladas de las áreas embalsadas. Esta propuesta se ha desarrollado en el contexto de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de las Tecnologías de la Información, no solo por su valor analítico, sino también por su capacidad de generar cartografía multiescala que proporcione la información esencial para llevar a cabo el proceso minimizando las incidencias.

Resulta esencial realizar vaciados parciales o totales para el buen funcionamiento de las presas y el mantenimiento del vaso, evitando así su colmatación temprana (MOPTMA,1967). La acumulación de sedimentos en el cuenco del embalse es un factor de riesgo indicativo de posteriores problemas ambientales (turbidez, arrastre de fangos al cauce…), no se pretende con este estudio evitar dichos vaciados sino

proponer una actuación integral que implica tanto la caracterización previa del área embalsada como su posterior análisis de impacto ambiental.

2. METODOLOGÍA

El método empírico es la base de obtención de la propuesta de protocolo de desembalse. Se basa en el análisis y cartografiado de los pasos seguidos durante el proceso de vaciado total del embalse de Escarra y los problemas ambientales causados por éste.

Las fuentes de información se organizan en seis grupos (Figura 1), de acuerdo a la clasificación metodológica planteada por Canter y Sadler (1997). De este modo, se realiza una *revisión bibliográfica* de documentos técnicos e informes de distintos organismos con el fin de conocer el estado previo y características de la zona de estudio. Análisis de *fotografías o fotomontajes* para identificar impactos visuales. Revisión de la *normativa* aplicable a la zona de estudio (leyes autonómicas o estatales, directivas europeas). *Estudios de campo*, análisis y monitorización de impactos evidentes para conocer los efectos negativos. *Modelización cualitativa* a partir de la información de carácter descriptivo, obtenida de los grupos nombrados anteriormente, con el fin de comprender las inter-relaciones fundamentales de los aumentos o disminuciones en ciertos aspectos ambientales analizados. Por último se procede a la *sobreposición de criterios*, análisis multicriterio, *y elaboración de cartografía* mediante tecnología GIS (Sistemas de Información Geográfica).

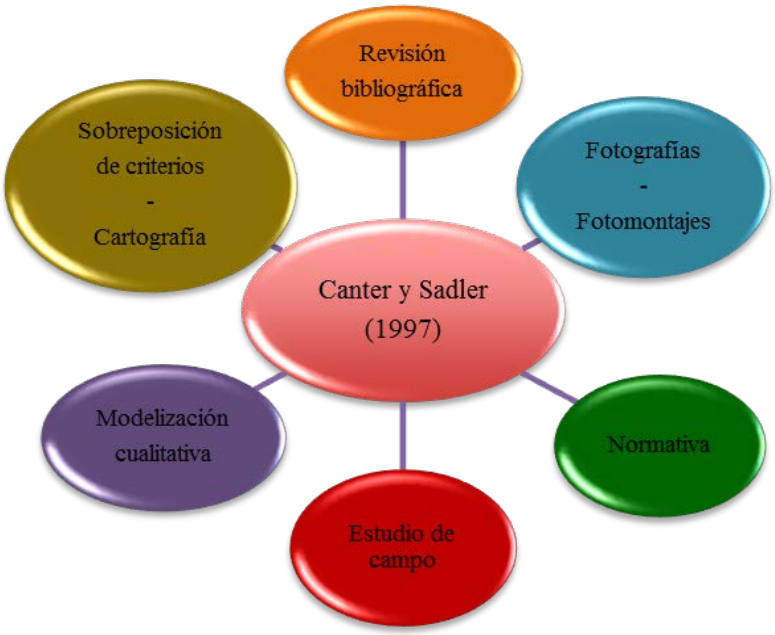

Figura 1. Fuentes de información organizadas en seis grupos, a partir de Canter y Sadler (1997).

La escala de análisis depende del área afectada por el proceso y del conjunto de fuentes de información utilizadas. Según la información que se desea destacar. Escalas entre 1:1.000.000 y 1:100.000 se perfilan como las más adecuadas para realización de estudios de contextualización general. La definición de los elementos del medio y actuaciones que implican mayor resolución se tratan a escalas entre 1:25.000 y 1:5.000. Para documentación de procesos a gran resolución, o las actuaciones que se den en un área muy reducida, se trabaja con cartografía por debajo de 1:5.000.

Se realiza una evaluación preliminar de daños mediante la elaboración de un inventario *in situ* en el que se detalla la fauna ictícola que se encuentra, así como rastros de otras especies (anfibios, mamíferos, aves). Se toman mediante GPS submétrico las coordenadas donde se localizan, la relación cantidad-especie y su estado para evaluar la mortandad. Debido a la alta carga de sólidos del río aguas abajo de la presa que imposibilita el muestreo se recurre a la correlación con muestreos realizados en otras masas de agua para calcular el daño total a la fauna. El rescate de ictiofauna se realiza mediante sacaderas y tanques de agua con oxigenadores. Los individuos rescatados son trasladados aguas arriba del embalse, a zonas aptas para su

supervivencia que han sido determinadas previamente. Tras el llenado del embalse se realizan pescas eléctricas para conocer el estado. Se miden los individuos y se extraen escamas para un posterior análisis de población a partir del cual se determina el estado y se estima el tiempo que debe trascurrir hasta recuperarse. Para calcular el volumen de sedimentos procedentes del embalse se realiza un levantamiento taquimétrico con GPS y se establecen testigos para controlar la evolución y capacidad de autolimpieza de los sedimentos en el cauce del río.

A la hora de determinar la calidad del agua en campo se evalúan los siguientes parámetros físico-químicos: turbidez, correlacionable con la carga de sólidos en suspensión, mediante turbidímetro; pH, mediante pH-metro; oxígeno disuelto, mediante oxímetro. La temperatura la determinan el pH-metro y el oxímetro. Las mediciones se hacen en puntos de muestreo fijos y representativos: aguas arriba justo antes del embalse, en el embalse y justo después del desagüe de fondo de la presa.

La cartografía generada mediante el software ArcGIS 9.3 incluye los siguientes elementos: título, área cartografiada, leyenda, escala gráfica y numérica, orientación, sistema de referencia geodésico y sistema de coordenadas, grid, fuentes de información y elaboración, descripción, mapas de localización auxiliares a distintas escalas y logotipos. La proyección empleada ha sido la UTM (Universal Transverse Mercator) ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) Zona 30 Norte.

3. PROTOCOLO DE DESEMBALSE

El Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, aprobado el 12 de marzo de 1996, contempla algunas referencias técnicas sobre actuaciones en desembalses. No obstante, se aplica, de momento, únicamente a todas las presas nuevas y a las existentes cuya titularidad corresponda al Ministerio de Medio Ambiente. En este contexto, surge el protocolo de vaciado de embalses que se propone a continuación, que nace de la necesidad de establecer un procedimiento de actuación para reducir el impacto ambiental causado por desembalses basado principalmente en métodos empíricos que permiten su aplicación en diferentes áreas. Son cinco las principales actuaciones a realizar antes, durante y después del proceso de vaciado, que a su vez se dividen en una serie de actuaciones secundarias para abordar con éxito las primeras.

3.1. Previo al desembalse

Se recomienda, antes de proceder al vaciado total o parcial de un embalse, conocer las circunstancias y características del conjunto que interviene en el proceso.

3.1.1. Objetivo

Justificar cuál es la razón del vaciado y por qué no se emplean otras alternativas que supongan una menor afección al medio.

3.1.2. Área de estudio

Localización del embalse, presa y red fluvial afectada. Incluir cartografía asociada.

3.1.3. Antecedentes

a) Caracterización geográfica.

Describir los elementos bióticos y abióticos que conforman el área de estudio y, por tanto, que intervienen de manera directa o indirectamente en el proceso de desembalse y en la problemática medioambiental.

Embalse: volumen, cotas máximas, límite de márgenes de explotación, volumen de embalse muerto teórico conocido, presencia de cuenco amortiguador, elementos de la presa (desagüe de fondo, aliviadero de superficie, desagüe de servidumbre) y todos aquellos elementos susceptibles de intervenir en el proceso (Figura 2).

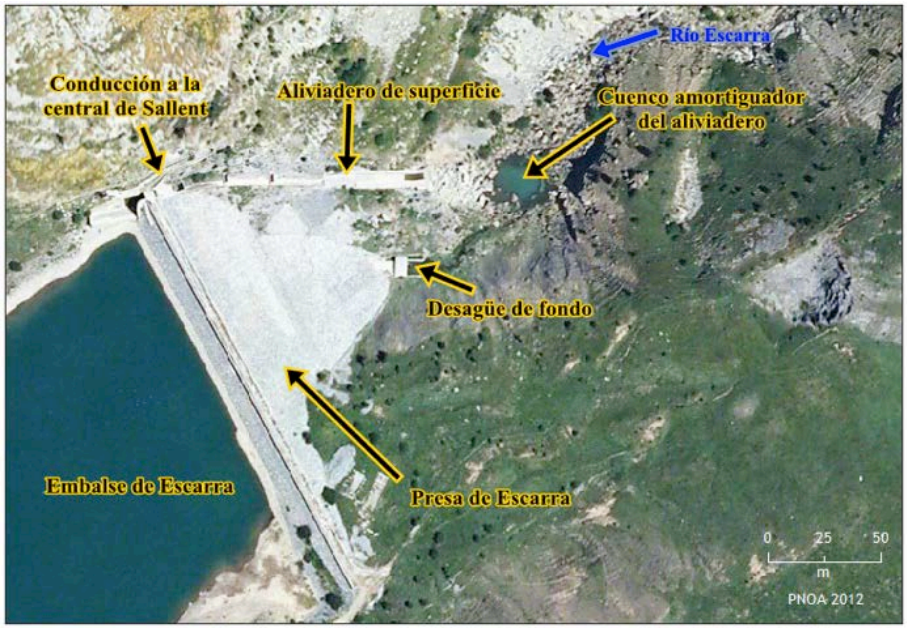

Figura 2. Elementos de la presa de Escarra (Gual Pérez, 2014).

- Contexto geológico: litología, estructura, posibles riesgos asociados al vaciado del embalse (Figura 3).

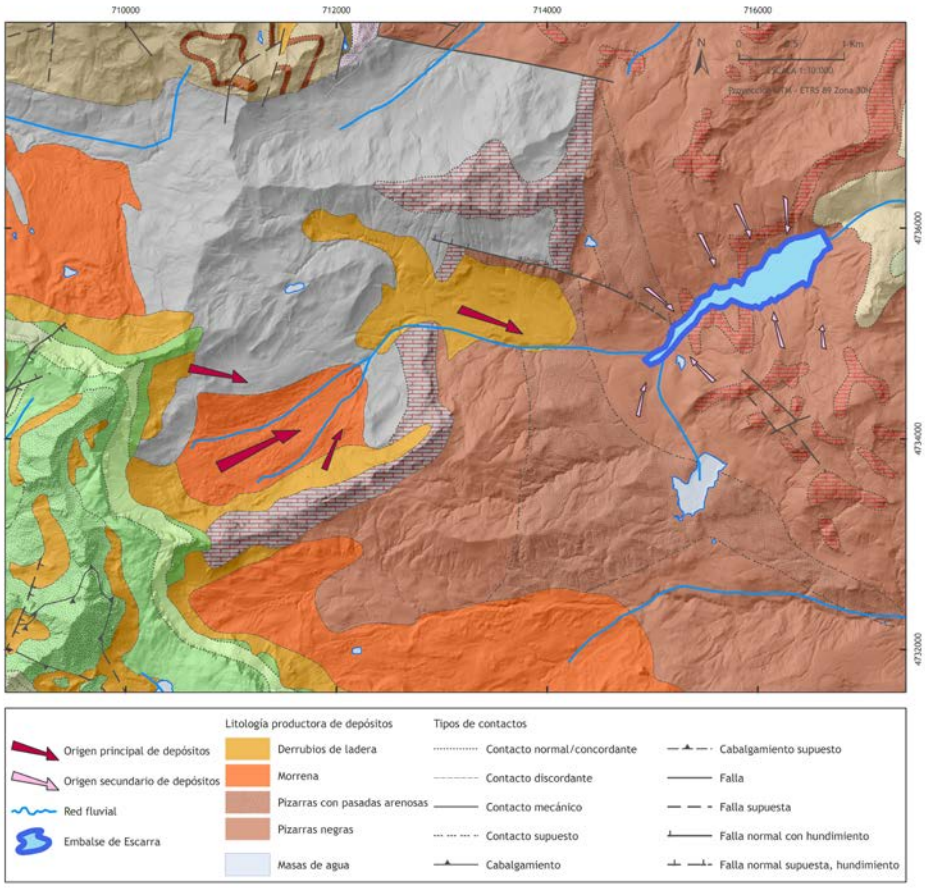

Figura 3. Determinación del origen de los depósitos acumulados en el embalse de Escarra a partir del estudio de la geología de la zona (Ríos, 1989). Se muestra la litología productora de depósitos y su recorrido hasta el embalse, definido por el relieve (Gual Pérez, 2014).

- Climatología: evolución a lo largo del año. Especial interés en precipitaciones.
- Descripción y ecología de especies que se encuentran en el área de estudio y puedan verse afectadas durante el desembalse. Haciendo uso del catálogo Id-Tax se puede controlar el estado ecológico del medio fluvial (MAGRAMA, 2012).
- Figuras de protección del medio ambiente presentes: Parque Nacional, Parque Natural, Reserva Natural, Reserva Fluvial, Monumento Natural, Paisaje Protegido, Microrreserva, Hábitat de Interés Comunitario, Lugar de Importancia Comunitaria (LIC), Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) (Figura 4).

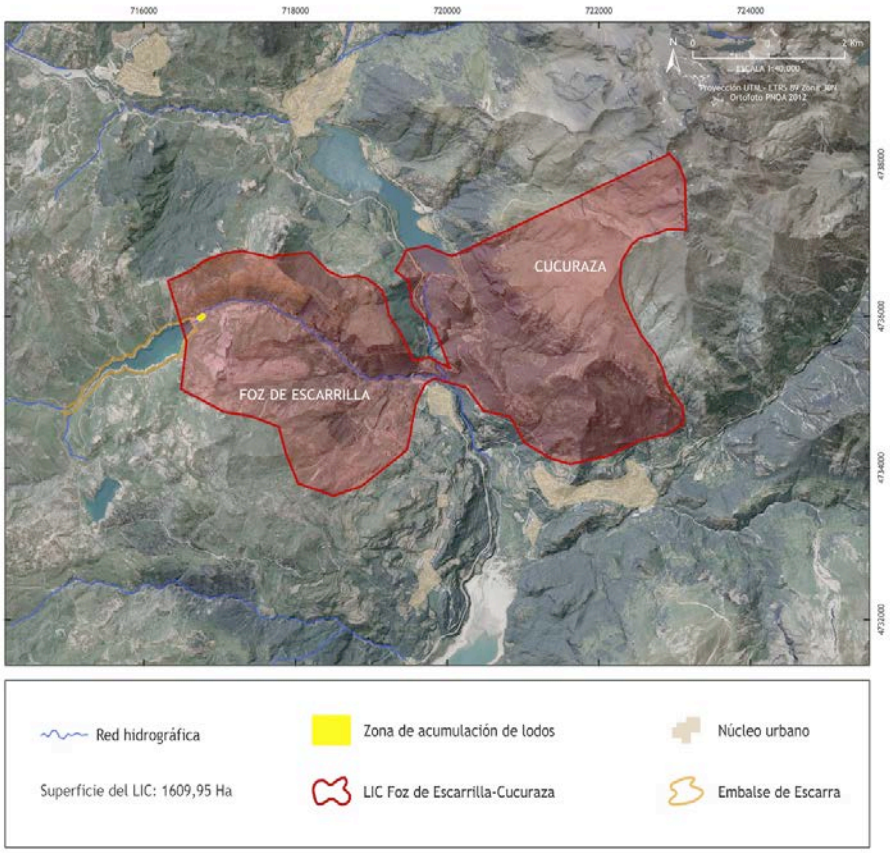

Figura 4. Lugar de Importancia Comunitaria, Foz de Escarrilla-Cucuraza (MAGRAMA, 2003), que se ve afectado por el desembalse de Escarra en el 2013 (Gual Pérez, 2014).

b) Caracterización de estado.

Analizar las características particulares de la zona afectada.

- Medio fluvial:
  - En el embalse: batimetría, aportaciones de sedimento y caracterización del sedimento (Figura 5).
  - En el río, aguas abajo del embalse: secciones geomorfológica e hidráulica del cauce. Anchura, velocidad, tipo de sustrato, profundidad.
  - Calidad del agua: temperatura, pH, turbidez, oxígeno disuelto, sólidos en suspensión, nitrógeno (amonio y amoníaco).
  - Muestreo cuantitativo, distribución, valor como indicador, valor de conservación, composición de especies.

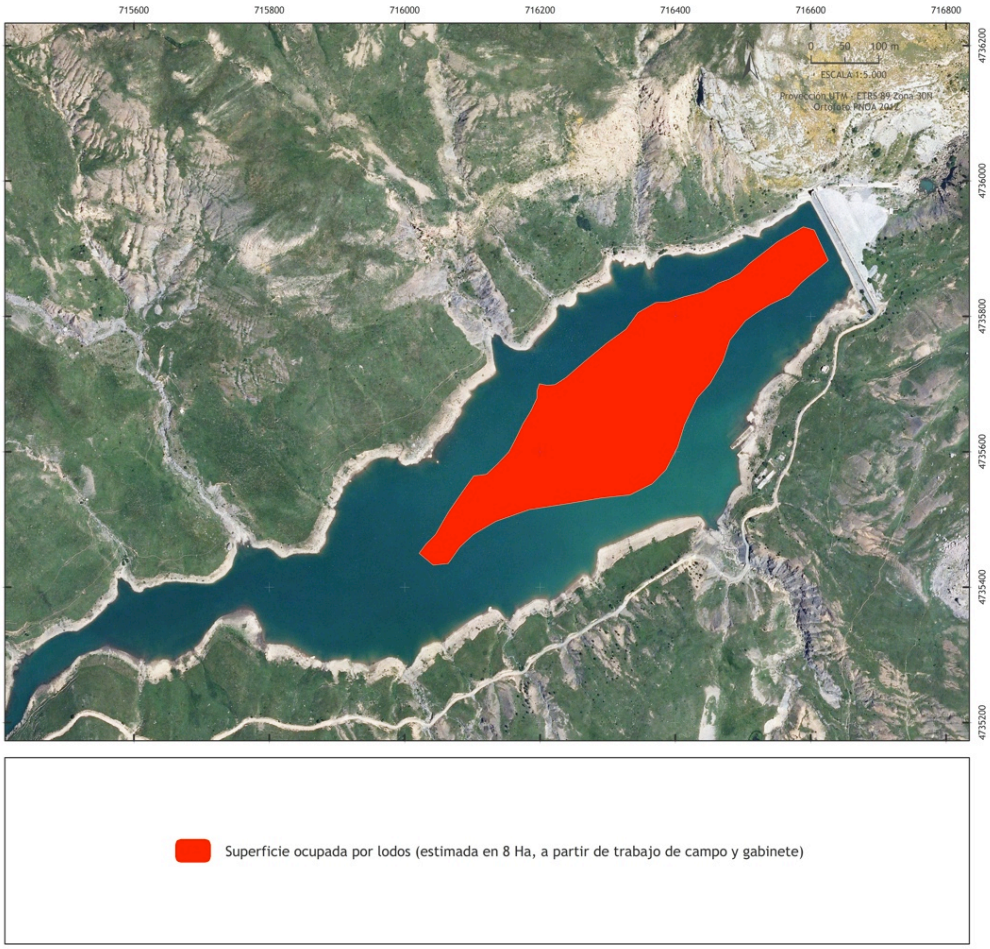

Figura 5. Área del vaso del embalse de Escarra con acumulación de sedimentos superior a la esperada (Gual Pérez, 2014).

- Análisis de intensidad de precipitación-erosión de la cuenca desde el último desembalse realizado, en el caso de que no se lleve a cabo una batimetría al realizarse el vaciado en un tiempo inferior o igual a cinco años desde un anterior desembalse. El fin es valorar la posible colmatación del volumen muerto del embalse.
- Establecer la época más adecuada de desembalse según: ciclo vital de especies, climatología y la posibilidad de regular el caudal.

3.2. Efectos

3.2.1. Durante el vaciado

- Variación del caudal del río aguas abajo del embalse. Inicialmente aumento del caudal y reducción hasta caudal en régimen fluyente durante la última fase.
- Enturbiamiento del río aguas abajo del embalse por el lavado de márgenes al aumentar el caudal (Figura 6, a).
- La reducción rápida a régimen fluyente puede provocar el aislamiento de peces en pozas generadas en los márgenes. (Figura 6, b).
- Reducción del contenido de oxígeno disuelto y de habitabilidad física por disminución del volumen de agua embalsada.
- Enturbiamiento de las aguas del embalse por la erosión del cauce o por la descompresión de sedimento en el cuenco (Figura 6, c).

3.2.2. Durante el mantenimiento en régimen fluyente

- Turbidez por erosión de aguas entrantes o por precipitaciones.
- Disminución de concentración de oxígeno disuelto por oxidación del sedimento.
- Arrastre de lodos del fondo del embalse.

3.2.3. Durante el llenado

- Reducción del caudal que puede provocar el aislamiento de peces en aguas embalsadas río abajo.
- Disminución de concentración de oxígeno disuelto por oxidación del sedimento.
- Turbidez al aumentar la altura de la lámina de agua (Figura 6, d).

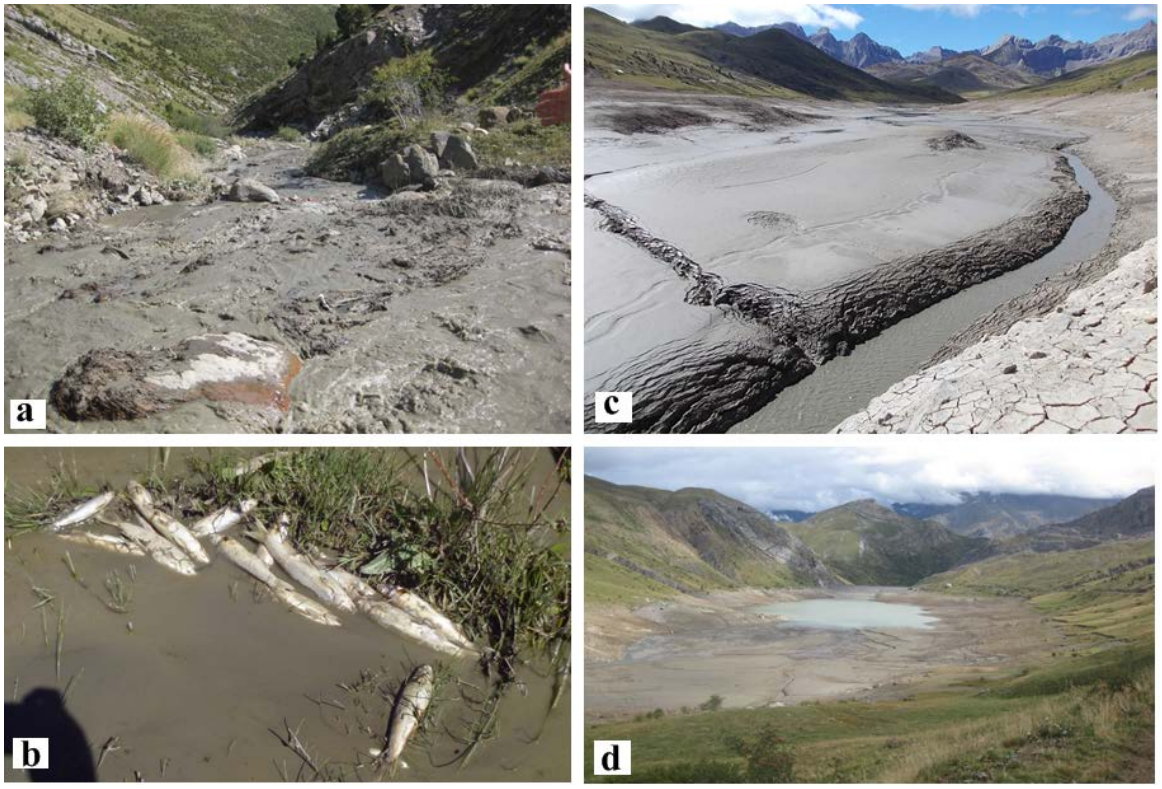

Figura 6. Efectos del desembalse de Escarra en septiembre de 2013. a) Turbidez aguas abajo del embalse por lavado de márgenes y arrastre de lodos. b) Mortandad de peces en una poza con lodo en la margen del río Escarra aguas abajo del embalse. c) Sobre acumulación de sedimentos a la vista una vez vaciado por completo el embalse y erosión por aguas entrantes. d) Enturbiamiento durante el llenado del embalse.

3.3. Medidas preventivas

3.3.1. Vaciado

Planificar el proceso de descenso de nivel de agua.

- Descenso hasta cota mínima de explotación por medio de procesos habituales de evacuación. Por ejemplo: turbinación para embalses hidroeléctricos.
- Una vez en cota de mínima explotación realizar el vaciado por medio del desagüe de fondo.
- Controlar el estado de la fauna.
- Se deberá controlar la turbidez, la existencia de volumen muerto donde albergar los peces, la velocidad de vaciado y el déficit de oxígeno, principalmente. Se deben realizar controles de calidad de agua antes de empezar el vaciado y un mínimo de tres veces al día. Para ello se establecen puntos de medida fijos (en el cauce aguas arriba del embalse, en el embalse y aguas abajo en el desagüe de fondo) y valores de control por los que regirse según las características del embalse y del medio. Se parará el descenso en el

caso de que los valores estén fuera de los fijados (Tabla 1) para realizar el desembalse y se reanudará cuando se estabilicen.

Tabla 1. Indicadores de calidad de agua para el vaciado del embalse de Escarra (Huesca) en septiembre de 2013. Fuente: Servicio Provincia de Medio Ambiente de Huesca, 2014.

Indicadores de calidad del agua	*Valor de referencia admisible*
pH	7,5 (a una temperatura de 10ºC)
Concentración de NH_4^+	4,2 mg/l
Concentración de oxígeno disuelto	>5 mg/l
% de saturación de oxígeno	>50 %
Sólidos en suspensión	< 9 g/l
Turbidez	20 NTU

3.3.2. Llenado

- Cierre parcial del desagüe de fondo para reducir el caudal aguas abajo de la presa hasta que se encuentre en valores ordinarios que permita el llenado del embalse. Ascenso lento del nivel para evitar turbidez.
- Control de calidad del agua.
- Controlar el estado de la fauna.

3.4. Medidas correctoras

3.4.1. Fauna

a) Planificación previa

- Localizar lugares aptos para trasladar los peces o anfibios durante cualquier momento del proceso. Por ejemplo: masas de agua próximas, río arriba, afluentes, etc.
- Material y medios necesarios para realizar el rescate con seguridad.

b) Rescate y traslado

- Valoración de cada individuo y traslado a zonas aptas sólo aquellos individuos que puedan sobrevivir, descartando así los gravemente heridos o enfermos. Los que se encuentren muertos se deberán recoger y trasladar a un vertedero apto.
- Inventario de mortandad y de fauna rescatada. Incluir coordenadas de punto de rescate y de traslado (Figura 7).
- Cartografía. Debe incluir la siguiente información: especie, número de individuos, punto de extracción, punto de traslado.

c) Comparativa

- Una vez comparados los muestreos de estado previo y posterior al proceso de vaciado puede ser necesario llevar a cabo una repoblación en el embalse si la fauna autóctona se ha visto mermada sustancialmente.
- En el caso de que no se haya realizado la caracterización de estado de la fauna previa al desembalse, se puede realizar una comparativa con estudios anteriores o embalses próximos (Tabla 2).

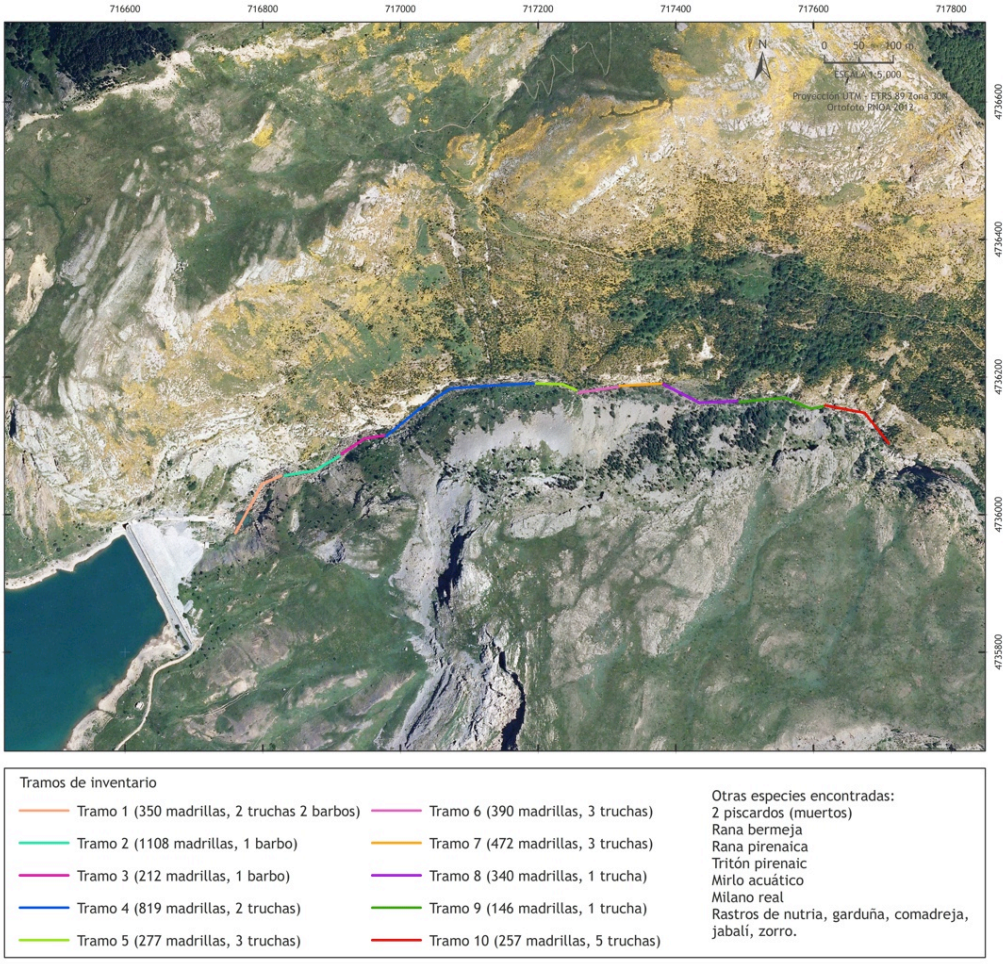

Figura 7. Inventario por tramos de la fauna rescatada a lo largo de 1400 m aguas abajo del río Escarra desde el desagüe de fondo (Gual Pérez, 2014).

Tabla 2. Comparativa entre el embalse de Lanuza (Huesca) y el embalse de Escarra (Huesca) a partir de la concentración de especies de peces en Lanuza y de pescas eléctricas previas, que daban mayor calidad truchera al embalse de Escarra. Fuente: Servicio Provincia de Medio Ambiente de Huesca.

Comparativa		*Especie de pez*				
Embalse		*Gobio lozanoi*	*Parachondrostama miegii*	*Phoxinus bigerri*	*Salmo trutta*	*Barbus haasi*
Lanuza %		20,58	36,87	32,09	10,02	0,44
Escarra	Encontrado	1	4471	2	24	2

3.4.2. Sedimentos en el cauce

En el caso de que se produzca una fuga de lodos procedente del embalse se debe estudiar la necesidad de su extracción del cauce con el fin de evitar una mayor afección al medio ambiente.

a) Caracterización

Se trata de conocer las características del depósito.

- Causa: establecer la razón por la cual se ha producido el vertido.
- Origen de los sedimentos: describir la composición de los lodos y la geología de la zona para determinar su origen.

- Estimación de la afección: mediante las técnicas adecuadas se determinará el volumen de lodos acumulados tanto en el cauce como en el embalse, el área que abarca y los elementos afectados.
- Es recomendable la elaboración de cartografía que contenga información sobre el área y todos aquellos elementos afectados.

b) Plan de extracción

Si al analizar la situación se concluye que la regeneración natural del río es dificultosa a corto-medio plazo por la baja capacidad de autolimpieza, bajo caudal o elevado volumen de sedimentos, se debe intervenir. La propuesta de extracción y traslado del vertido será de acuerdo a las características de la problemática ambiental.

3.5. Finalización del proceso

El proceso de desembalse se dará por finalizado tras la realización de un nuevo control de calidad del agua con valoración positiva dentro de los rangos admitidos para cada indicador.

4. REFLEXIONES FINALES

El desarrollo de las actividades anteriormente descritas es la base fundamental de la planificación de un desembalse. Éstas pueden sintetizarse en tres fases principales: un diagnóstico preliminar, una plan de monitoreo durante la ejecución del desembalse, donde se busca recopilar la información de las área con mayor importancia biológica y un monitoreo del impacto producido de la ejecución del desembalse.

Los Sistemas de Información Geográfica se perfilan como la mejor herramienta para llevar a cabo parte de dichas fases, su versatilidad y su funcionalidad lo identifican junto con las Tecnologías de la Información cómo un elemento clave para el éxito de cualquier proyecto de desembalse.

5. BIBLIOGRAFÍA

Canter, L. y Sadler, B. (1997): “A tool kit for affective EIA practice-Review of methods and perspectives on their application. A supplementary report of the international study of the effectiveness of environmental assessment.” En Environmental and Ground Water Institute. University of Oklahoma, Estados Unidos. 148 pp.

Barrachina, P.; Palau, A. y Espinos, J. (2002): Protocolo para la minimización de efectos ambientales sobre la fauna ictícola en el vaciado de embalses. VII Jornadas Españolas de Presas, Zaragoza.

Gual Pérez, M. Ll. (2014): Problemática ambiental derivada de desembalses: el caso del embalse de Escarra. Universidad de Zaragoza, Trabajo Fin de Máster, 143 pp.

MAGRAMA (2003): ES2410031 LIC Foz de Escarrilla-Cucuraza. Dirección General de Conservación del Medio Natural.

MAGRAMA (2012): Id-Tax. Catálogo y claves de identificación de organismos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico.

MOPTMA (1967) Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas. Dirección General de Obras Hidráulicas.

MOPTMA (1996): Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses. Dirección General de Obras Hidráulicas.

Palau, A. (1995): Evaluación de efectos medioambiental del Proyecto de vaciado del Embalse de Barasona (río Esera, Huesca). Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza. 27 pp.

Palau, A. (1998): “El vaciado de embalses: consideraciones ecológicas y gestión mediambiental”. Ecología, 12:79-92.

Ríos, L. M.; Galera, J. M.; Barettino, D. y Lanaja, J. M. (1989): Hoja 145: Sallent. MAGNA 1:50000. I.G.M.E.