

EL VACIADO DE EMBALSES: CONSIDERACIONES ECOLÓGICAS Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

A. PALAU YBARS¹

RESUMEN

El vaciado total y forzado de embalses constituye una operación con evidentes repercusiones sobre los ecosistemas acuáticos que los contienen. Las causas que conducen a la necesidad de llevar cabo vaciados completos de embalses son, básicamente de seguridad y operatividad de los mecanismos de regulación de las presas, y en particular de los desagües de fondo. Los efectos sobre el ecosistema fluvial de este tipo de actuaciones vienen muy condicionados por el nivel de aterramiento 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.

El presente artículo expone en forma de síntesis, la estrategia seguida y los resultados obtenidos durante la planificación técnica y el seguimiento ambiental del proyecto de vaciado total del embalse de Barasona (río Esera; Huesca).

La perturbación derivada del vaciado total de un gran embalse, salvo circunstancias muy excepcionales, puede considerarse reversible a corto (calidad del agua) o medio plazo (comunidades naturales). No obstante, de acuerdo con su condición de perturbación antrópica, hay que estar del lado de la prevención y eso significa actuar a nivel de conservación de la cuenca y disponer de planes de gestión ambiental de embalses que incluyan el manejo periódico de los desagües de fondo, órganos de regulación que en un país como España, seguramente convendría sacar del olvido para empezar a gestionar los ríos como se merecen.

Palabras clave: Embalses, vaciado total, afectación ambiental, gestión ambiental.

INTRODUCCION

En España no llueve menos que la media mundial ni los caudales específicos por unidad de superficie y tiempo son inferiores a la media europea (MILLA, 1984). El problema está en la irregular climatología de la península en relación a la distribución de las lluvias, tanto a lo largo del año como a lo ancho del territorio. Esta circunstancia junto con la estructura económica productiva del país y el uso del agua, han hecho de España un país de embalses (más de mil grandes presas) en el que la disponibilidad de agua en el sitio adecuado y en el momento preciso es un factor económico de primer orden.

A pesar de la importancia del agua y del protagonismo de los embalses en su gestión, el caso es que

en España, el estado de conservación de los embalses, desde la estructura hidrológico-forestal de su cuenca hasta los mecanismos de cierre, deja bastante que desear, por falta de actuaciones en el primer caso y por falta de manejo en el segundo.

Por otro lado, la creciente sensibilidad social hacia los temas medioambientales ha venido a añadir unos criterios nuevos en la gestión del recurso agua. Los ríos dejan de verse como simples canales de agua y los embalses como meros depósitos de abastecimiento. Este cambio de percepción sobre el agua y los ecosistemas que la contienen, pasando de lo estrictamente cuantitativo (reservas y conducciones de agua) a la incorporación de aspectos cualitativos (calidad del agua, valor ecológico del sistema), está dando lugar a un lento pero irreversible cambio en las pautas de gestión de este recurso y de los sistemas que, en definitiva, lo regulan y administran como son los embalses.

¹ Dpto. Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida (España).

Hoy en día, dentro de la gestión ordinaria de cualquier embalse tienen cabida cuatro funciones que, no necesariamente por orden de importancia, son las siguientes:

- 1) *Función hidráulica*, concretada en la regulación de avenidas y la distribución del recurso.
- 2) *Función sanitaria*, concretada en el control de calidad y uso público del agua para abastecimiento.
- 3) *Función productiva tradicional*, concretada en el beneficio económico del aprovechamiento del agua (riego, hidroelectricidad, industrias, etc.).
- 4) *Función ambiental*, concretada por un lado en la conservación de la funcionalidad de los sistemas acuáticos, y por otro en la acogida de actividades de ocio, aspecto este último en fase exponencial de demanda social y por tanto con claras connotaciones económicas.

Para el cumplimiento de todas y cada una de estas funciones, es condición imprescindible el disponer de embalses plenamente funcionales, y esto, en España supondrá en muchos casos la necesidad de rehabilitar o reparar los desagües de fondo, en la mayoría de casos atorados o inutilizados por el desuso, para lo cual será también en muchos casos necesario proceder al vaciado total del embalse.

El vaciado total y forzado de embalses es una práctica habitual en Francia, regulada por ley con una frecuencia decenal, que se presenta en forma de calendario anual donde se recogen los vaciados del año y los previstos en el siguiente decenio. Los objetivos de esta práctica son fundamentalmente la revisión de los órganos de regulación del embalse y del estado de conservación de la presa. En Francia se considera «vaciado de embalse» cuando el nivel del agua desciende por debajo de la cota mínima de explotación.

En España existe el Reglamento Técnico sobre seguridad de presas y embalses (MOPTMA, 1966) que indica la necesidad de mantener en perfecto estado de operatividad todos y cada uno de los órganos de regulación del embalse. El problema en España es el tipo de gestión que se hace del agua y, sobre todo, de las obras hidráulicas que sirven para su regulación y abastecimiento, que

ha llevado en un buen número de grandes presas al desuso de los desagües de fondo y, por sinergia con otros factores, a la colmatación de los embalses y a la interrupción del transporte sólido natural en los ríos.

PRINCIPALES CONDICIONANTES EN EL VACIADO DE EMBALSES

El vaciado completo y forzado de un embalse es, por principio, una actuación de carácter extraordinario dentro de su explotación. Varios son los condicionantes que afectan a la elaboración y planificación de un proyecto de vaciado total de un embalse, siendo los más importantes los que se indican y comentan a continuación:

- 1) *El suministro de agua*. Todos los embalses cumplen como función básica y en muchos casos única, el suministro de agua para uno o más usos determinados. Este hecho supone la existencia de unos usuarios directos e indirectos y de un calendario de usos que puede presentar o no incompatibilidad en las necesidades de agua.

Los dos usos más condicionantes son el suministro de aguas a poblaciones, que no puede interrumpirse en ningún momento más allá de las capacidades de reserva de agua de los núcleos de población que deben ser abastecidos, y el suministro de agua para riego, que puede interrumpirse al final de la campaña de riegos, siempre que se garantice que para el inicio de la siguiente, el embalse estará en condiciones de asegurar el suministro de agua.

El proyecto de vaciado debe ajustarse a las posibilidades que ofrece el calendario de suministro de agua, y si ello no es posible o no permite ofrecer garantías, el propio proyecto debe contemplar suministros de agua alternativos.

- 2) *El régimen hidrológico del río*. Una vez establecida la mejor época de vaciado a partir del calendario de suministro de agua, la fecha debe acabar de definirse teniendo en cuenta el régimen hidrológico del río por tres razones, una relacionada con los caudales entrantes al embalse y por tanto con la duración del vaciado (interferencias en el plan de obra), otra

referida al riesgo de avenidas y la última a la disponibilidad de los caudales necesarios para el llenado posterior del embalse lo más rápido posible con el fin de restablecer el normal suministro de agua.

3) *El estado trófico del embalse.* Según el grado de eutrofia del embalse y de los usos y valores ambientales de conservación existentes aguas abajo, puede ser conveniente tener en cuenta los periodos de mezcla y estratificación del embalse en la medida en que afectan a la calidad de las aguas salientes de vaciado, casi siempre de fondo (hipolimnéticas) y, en definitiva, al tramo de río situado aguas abajo.

4) *Las características de la presa y el estado de los desagües de fondo.* El volumen de agua embalsado, el número, tipo y localización de los dispositivos de vaciado, la capacidad de los desagües, el estado de las compuertas y mecanismos de cierre, el estado de los accesos para inspecciones visuales de los desagües etc. son un conjunto de aspectos condicionantes de consideración imprescindible en la planificación de un vaciado ya que de ellos depende en gran medida el éxito del proyecto.

5) *Los usos del agua en el propio embalse y aguas abajo de éste.* Al margen de las concesiones de suministro de agua directamente relacionadas con el embalse, lo normal es que aguas abajo de éste existan un buen número de captaciones y usos periféricos del agua del río, con pleno derecho a la disponibilidad de agua (núcleos de población, industrias, actividades recreativas, etc.).

En muchos de estos casos, la calidad del agua de la captación es tanto o más importante que la cantidad, de modo que un vaciado, en la medida en que puede afectar a la calidad de las aguas circulantes por el río aguas abajo del embalse, debe recoger en el proyecto una previsión de la afección a los usos cuantitativos y también cualitativos del agua, proponiendo alternativas si es necesario.

6) *El valor ambiental de conservación del propio embalse y del río aguas abajo.* Todo sistema natural posee, por definición, un valor de conservación propio en la medida en que es único e irrepetible. Este valor de conservación

se ve modificado (aumentado) en función de las características de singularidad, rareza, fragilidad, etc. del sistema en cuestión. El propio embalse a vaciar, o el río aguas abajo, pueden ser ambientes con un valor paisajístico remarcable o albergar comunidades naturales de reconocido interés.

Resulta imprescindible, por tanto, conocer el valor de conservación de los sistemas naturales (o cuasi-naturales, como el embalse) susceptibles de verse afectados por el vaciado, tanto para diseñar las adecuadas medidas de previsión, como para evaluar la magnitud y sentido de las afecciones, así como para establecer las medidas correctoras y/o de compensación pertinentes.

7) *El estado de colmatación del embalse y la calidad del sedimento.* El volumen de sedimentos retenidos en el interior del embalse, su distribución en la cubeta, su estructura física (textura, compactación, etc.) y composición química, van a condicionar varios de los aspectos más trascendentales del vaciado de cualquier embalse.

El volumen de sedimentos, su distribución y estructura física tendrán mucho que ver con las posibilidades de su movilización hacia el río aguas abajo y con su comportamiento una vez en el cauce. Por su parte la composición química junto con la cantidad de sedimentos movilizados, serán los factores responsables de la calidad del agua durante el vaciado y en los días posteriores, explicando prácticamente la totalidad de las principales afecciones sobre las comunidades acuáticas.

El estudio batimétrico del embalse y la caracterización del tipo de sedimentos movilizables resulta indispensable para prever la afección ambiental del vaciado aguas abajo, así como para estimar la posible mejora trófica y volumétrica de la cubeta de embalse.

8) *Las características de regulación de la cuenca.* La presencia de otros embalses aguas arriba, aguas abajo o en cauces paralelos confluyentes al que va a recibir las aguas de vaciado, es un aspecto que aporta una extraordinaria versatilidad en las operaciones de vaciado y abre unas amplias opciones de minimizar la afección

ción ambiental, fundamentalmente por la posibilidad de reducir la propagación de aguas turbias o de generar crecidas controladas para la mejora de la calidad del agua de vaciado (dilución) o bien para la limpieza y regeneración del cauce, como opciones más importantes.

Los tres primeros apartados son los condicionantes más básicos en la definición de la fecha de vaciado. El cuarto aspecto indicado determina la duración del vaciado y de las obras de revisión, reparación o sustitución de los desagües de fondo. El quinto y el sexto son los dos ámbitos sobre los que, en definitiva, se miden las afecciones ambientales y socioeconómicas del vaciado, mientras que el séptimo marca, entre otras cosas, la magnitud de la afección. Finalmente el último apartado constituye un factor clave en la minimización de las afecciones ambientales y socioeconómicas.

EL PROGRAMA DE VACIADO

La elaboración del proyecto y la previsión de afecciones

El proyecto de vaciado es el documento técnico que planifica la actuación y sirve para establecer la previsión de acciones, obras o instalaciones susceptibles de provocar una afección ambiental significativa. En el caso de obras o acciones sobre cauces públicos, en España es obligatoria la elaboración y presentación de un estudio de las afecciones ambientales acompañando al proyecto, redactado según el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (R.D. 849/1986) y Ley de Aguas (LA, 1985).

El vaciado completo de un embalse comporta efectos medioambientales directos y evidentes, sobre él mismo y sobre el medio fluvial aguas abajo. Se trata de definir (prever de forma razonable) su alcance, sus repercusiones y establecer las medidas de prevención, compensación o reparación que se consideren adecuadas para la minimización y restauración satisfactoria del medio afectado a todos los niveles y muy concretamente a nivel ecológico y socioeconómico.

Las acciones de un proyecto de vaciado susceptibles de causar una afección medioambiental significativa se indican y comentan a continuación,

procurando mantener la secuencialidad de su ocurrencia (PALAU, 1995):

- 1) La consecuencia inmediata del vaciado de un embalse es el traslado de un volumen de agua desde un compartimento artificial, cerrado y regulado (embalse) a otro compartimento natural y abierto (el río); es decir, la primera acción del proyecto derivada de un vaciado es eliminar (temporalmente) la función del embalse como elemento regulador y suministrador de agua.
- 2) El volumen de agua retenido en el embalse constituye el soporte para la vida de varias comunidades de organismos acuáticos, desde las algas microscópicas del fitoplancton hasta los peces y la fauna de ribera asociada.

La desaparición temporal de este volumen de agua comporta por tanto la desaparición de unas comunidades y la necesidad de redistribuciones poblacionales en otras. Por otro lado, las actividades diversas (ocio, deporte, etc.), dependientes del agua, que pueden acoger los embalses se ven lógicamente interrumpidas durante buena parte del vaciado.

- 3) El traslado de los organismos acuáticos del embalse al río supone pérdidas de individuos del embalse como en cualquier proceso de desplazamiento masivo y forzado de poblaciones.

En el caso de los peces, el trasvase de organismos entre el embalse y el río aguas abajo, abre algunas opciones interesantes en relación a la gestión de los equilibrios poblacionales entre especies exóticas (introducidas, alóctonas) y especies autóctonas, así como en los casos de existencia de poblaciones piscícolas desestructuradas.

- 4) La recepción de los organismos acuáticos del embalse por el río, supone reajustes y cambios en las poblaciones de éste.
- 5) Junto con el agua, del embalse salen materias en suspensión (sedimentos) y una cierta carga de elementos y compuestos químicos que determinarán una pérdida transitoria significativa de la calidad del agua en el río receptor, tanto como soporte de vida para las comunidades acuáticas como para los usos y concesiones situadas aguas abajo.

La salida de sedimentos será causa sinérgica (con el déficit de oxígeno y el aumento de caudal) de afección directa a la fauna acuática en general (abrasión) y también indirecta (cambios en el hábitat físico del río aguas abajo por la decantación del material en suspensión).

- 7) En función de los caudales salientes y de la carga de sólidos en suspensión, se podrán producir efectos diversos sobre la vegetación ripícola, desde su arrastre, hasta la formación de depósitos de finos que favorecerán su colonización. La afección sobre la fauna de ribera será función de los niveles alcanzados por las aguas y de la duración de las condiciones de entarquinado del cauce.
- 8) El vaciado supondrá una exportación de elementos y compuestos retenidos en el sedimento lacustre (metales pesados, nutrientes, etc.) que, una vez en el río, pueden ser físicamente más móviles (dispersión) pero en algunos casos químicamente más estables, por precipitación (oxidación).

Con el embalse vacío se producirá una exposición del sedimento a la atmósfera que dará lugar a su oxidación y secado, determinando cambios físico-químicos en su estructura y composición, de carácter positivo para la calidad del agua y del propio sedimento una vez llenado de nuevo el embalse, al permitir la estabilización de nutrientes y elementos o compuestos sujetos a los mecanismos de precipitación/disolución regulados por oxidoreducción. Esta oxidación determinará una disminución de la posible carga potencial eutrofizante del embalse.

- 9) El vaciado del embalse cambia temporalmente la percepción paisajística del lugar, lo cual, por el hecho de ser temporal, puede dar nuevos motivos de visita a la zona e incluso permitir algún aprovechamiento recreacional y didáctico.

Todas las afecciones medioambientales indicadas en los puntos anteriores siguen un gradiente de intensidad decreciente en dirección aguas abajo.

Finalmente, cabe indicar que el vaciado de un gran embalse constituye un «macro-experimento» de baja frecuencia que, una vez calificado de

necesario y viable, debe aprovecharse para obtener la máxima información posible sobre sus consecuencias, al objeto de contribuir en el avance de una mejor gestión de los sistemas naturales (o cuasi-naturales), así como en el conocimiento de su organización y funcionamiento.

En cuanto a la jerarquización de los posibles efectos ambientales, de la combinación entre las acciones del proyecto de vaciado y las características del medio (embalse + río), es posible elaborar una matriz, tan sencilla o complicada como se desee, que resume y cuantifique de forma comparada y orientativa tales efectos y que, en definitiva, sirva de base para establecer las medidas de atenuación de las posibles afecciones ambientales.

La Figura 1 muestra una sencilla matriz elaborada, en el marco de la previsión de afecciones, para el caso del vaciado completo del embalse de Barasona (Huesca; PALAU, 1995).

En la valoración realizada, se han calificado con un «0» aquellas relaciones «acción-componente» nada o muy poco trascendentes. Con signo negativo, se han indicado las que van a suponer una alteración de tipo regresivo (al margen de que todas ellas tuvieran un carácter temporal) y con signo positivo las que pueden suponer una mejora para algún componente concreto del medio natural o para su conjunto.

En la última columna se presenta un balance (sumatorio simple) sin ninguna otra pretensión que la de centrar la atención en los componentes del medio más susceptibles de afecciones significativas y en el sentido global esperable de éstas.

La acción que causa una mayor afección negativa global es la de vaciado, mientras que la que engloba el mayor número de afecciones positivas es la referida a la gestión posterior del embalse. La clave de la valoración globalmente positiva de esta última acción indicada está en la consideración de la mayor versatilidad y posibilidades de uso que el hecho de disponer de unos desagües de fondo operativos, puede suponer para la gestión del embalse y el tramo de río asociado.

En el caso concreto de Barasona, la reparación de los desagües de fondo, se ha traducido en la posibilidad de suministrar, y en el suministro, de un caudal de mantenimiento en el río aguas abajo,

		ACCIONES DEL PROYECTO					
C O M P O N E N T E S D E L M E D I O N A T U R A L		Apertura desagües (vaciado)	Obras de reparación compuertas	Cierre desagües (llenado)	Gestión posterior embalse	Afección global (balance)	
		Calidad agua embalse	-2	0	+1	+2	+1
		Hábitat embalse	-2	0	+1	+1	0
		Plancton embalse	-2	0	+2	+1	+1
		Bentos embalse	-2	0	+2	+1	+1
		Peces embalse	-2	0	-1	+1	-2
		Fauna asociada embalse	-1	0	+1	0	0
		Calidad agua río	-2	0	-1	+2	-1
		Hábitat río	-2	0	-2	+2	-2
		Fitobentos río	-1	0	+1	+2	+2
		Zoobentos río	-2	0	-1	+1	-2
		Peces río	-2	0	-1	+1	-2
		Vegetación ripícola	-1	0	+1	+2	+2
		Fauna ripícola	-1	0	-1	+1	-1
		Usos del agua	-1	0	0	+2	+1
		Paisaje lacustre (embalse)	-2	0	+2	0	0
		Paisaje fluvial	-1	0	-1	+1	-1
	Actividades recreativas	-2	0	-1	+2	-1	

Fig. 1. Las valoraciones expuestas se realizaron respecto a la situación preoperacional del embalse y del tramo de río regulado asociado, considerando al mismo tiempo la secuencialidad de las acciones del proyecto de vaciado. Cabe señalar que la época del año prevista para el vaciado es también un factor a tener en cuenta en la valoración de las afecciones. El rango de puntuaciones queda entre -2 (máxima afección negativa) y +2 (máxima afección positiva).

inexistente hasta el momento del vaciado, lo que a su vez ha determinado que el balance negativo previsto para la calidad del agua, el hábitat fluvial y las comunidades acuáticas, haya sido finalmente positivo de forma clara.

En sentido contrario, el balance referido a la comunidad piscícola del embalse, tuvo un resultado mucho más negativo del previsto, por la inoperatividad de la estrategia de rescate adoptada.

La organización de comités de consulta y asesoramiento

La Figura 2 muestra, en forma de organigrama, una propuesta de fases y componentes principales del proceso de ejecución de un proyecto de vaciado, desde el punto de vista del control de las afecciones medioambientales.

La organización presentada se basa en experiencias francesas (CARDINAL, 1989) y se ha adaptado y utilizado con éxito, en el vaciado del embalse de Barasona (Huesca, España), llevado a cabo en octubre de 1995 en su primera fase. Hay que indicar que el proyecto de Barasona se ha ejecutado en tres fases o vaciados consecutivos completos del embalse (1995-97).

A partir del proyecto técnico y el informe ambiental correspondiente, la Administración

Hidrográfica competente (Organismo de Cuenca), establece dos comités de trabajo, uno denominado «Comité de Expertos» y el otro «Comité de Científicos», con un coordinador de enlace entre ambos.

La composición del Comité de Expertos debe estar formada por representantes de la propia Administración Hidrográfica, de las Administraciones locales y autonómicas con competencias diversas (sanidad, medio ambiente y recursos naturales, protección civil, etc.), de los usuarios (regantes, pescadores deportivos, etc.) y de entidades conservacionistas. Sus funciones son las de exponer todas y cada una de las opiniones y criterios sobre las características técnicas del proyecto y, especialmente sobre las afecciones ambientales de su ejecución, proponiendo al mismo tiempo posibles soluciones o alternativas.

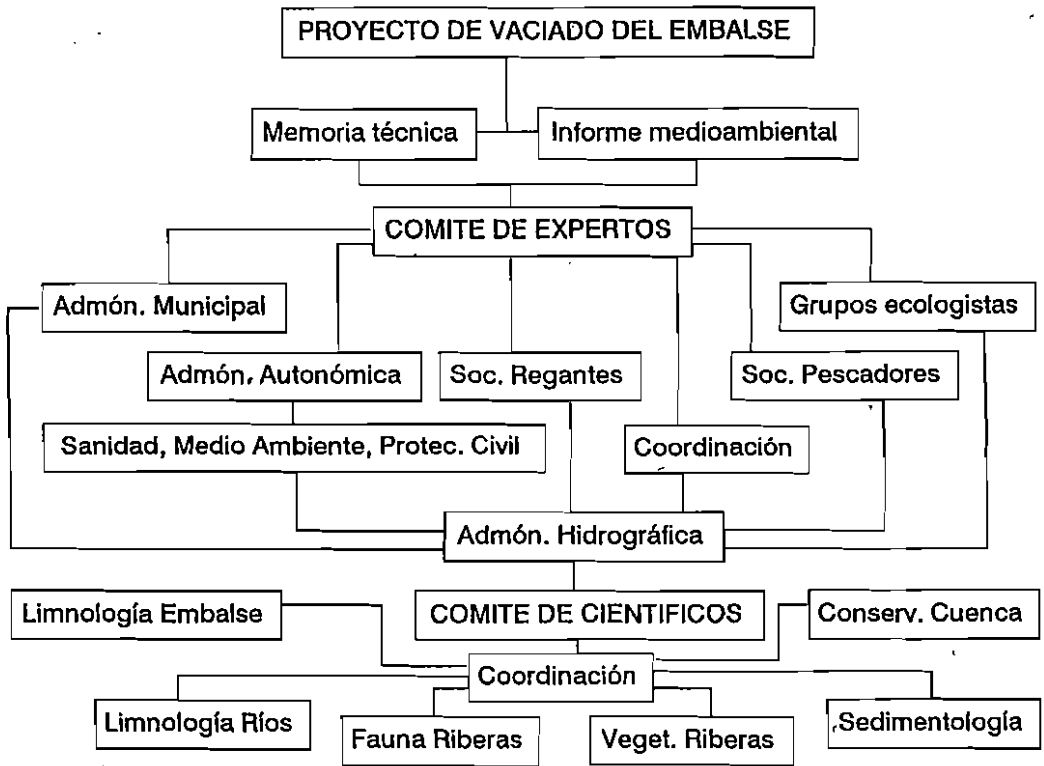


Fig. 2. Esquema de los niveles de organización técnica y científica establecidos para la evaluación, toma de decisiones y seguimiento, del proyecto de vaciado del embalse de Barasona (río Esera; Huesca).

Las propuestas del Comité de Expertos se incorporan al avance del proyecto y se comunican a través del coordinador, al Comité de Científicos, formado por especialistas en los distintos ámbitos que competan al proyecto.

El Comité de Científicos tiene funciones consultivas y de asesoramiento, y aporta la información medioambiental necesaria para que el Comité de Expertos pueda decidir con el mayor conocimiento de causa posible. En el caso de Barasona este comité estaba organizado en los siguientes ocho bloques de estudio, cada uno con su correspondiente director y equipo de trabajo:

- Bloques 1 y 2) Características limnológicas del embalse (físico-química del agua y comunidades naturales indicadoras: plancton y peces).
- Bloques 3 y 4) Características limnológicas de los ríos afectados (físico-química del agua y comunidades naturales indicadoras: macrobentos y peces).
- Bloques 5 y 6) Vegetación y fauna de riberas (embalse y tramos de ríos afectables aguas abajo).
- Bloques 7 y 8) Estado de conservación de la cuenca hidrológica del embalse. Análisis sedimentológico del embalse y de los tramos de ríos afectables aguas abajo.

Es imprescindible que los equipos inicien sus trabajos con suficiente antelación al vaciado, a fin y efecto de disponer de una caracterización precisa del estado preoperacional. Un plazo mínimo de 10-12 meses, en función de la magnitud y alcance del proyecto, puede ser suficiente. Del mismo modo, estos equipos deben continuar sus trabajos después del vaciado, con una duración en este caso más discrecional según el tipo de estudios, para poder reconocer las tendencias de variación del sistema fluvial y determinar las afecciones ambientales reales.

En el proceso de organización de los comités de consulta, las fases clave son por tanto tres:

- 1) La elaboración del proyecto y del informe ambiental correspondiente.

- 2) La constitución de los comités de trabajo.
- 3) La convocatoria y puesta en marcha de estos comités.

Un primer balance global sobre el funcionamiento de este organigrama de trabajo en el caso de Barasona apunta, como aspectos más remarcables, por un lado la multidisciplinariedad de enfoques y opiniones conseguida en el seno del Comité de Expertos sin menoscabo de su operatividad en la toma de decisiones, y por otro las posibilidades de difusión y transparencia de los resultados que ha ofrecido la organización de trabajo establecida.

En este sentido es interesante que al margen de las labores de difusión de los propios Comités de Expertos y de Científicos, el Organismo de Cuenca responsable, organice exposiciones temáticas de tipo informativo y/o participativo, tanto para usuarios (regantes, empresas hidroeléctricas), como también en foros universitarios.

El seguimiento ambiental de las operaciones de vaciado

El seguimiento ambiental de las operaciones de vaciado se inicia con la evaluación del proyecto y debe ser llevado a cabo por personal cualificado.

La Figura 3 muestra un esquema de la metodología adoptada en el seguimiento del proyecto de vaciado del embalse de Barasona y los comentarios siguientes que la acompañan se refieren todos ellos a esa experiencia de vaciado.

Tras la evaluación del proyecto y el reconocimiento de la zona de estudio, una vez creado el Comité de Expertos, se puede constituir y reunir el Comité de Científicos cuyos objetivos propios, al margen de su función consultora, son los siguientes:

- 1) Planificación y puesta en marcha de los estudios de caracterización de los sistemas y componentes naturales susceptibles de recibir afección por el proyecto de vaciado.
- 2) Documentación y seguimiento de las operaciones técnicas realizadas para o por, el proyecto de vaciado.
- 3) Elaboración y aplicación de un protocolo de seguimiento ambiental. Este protocolo debe

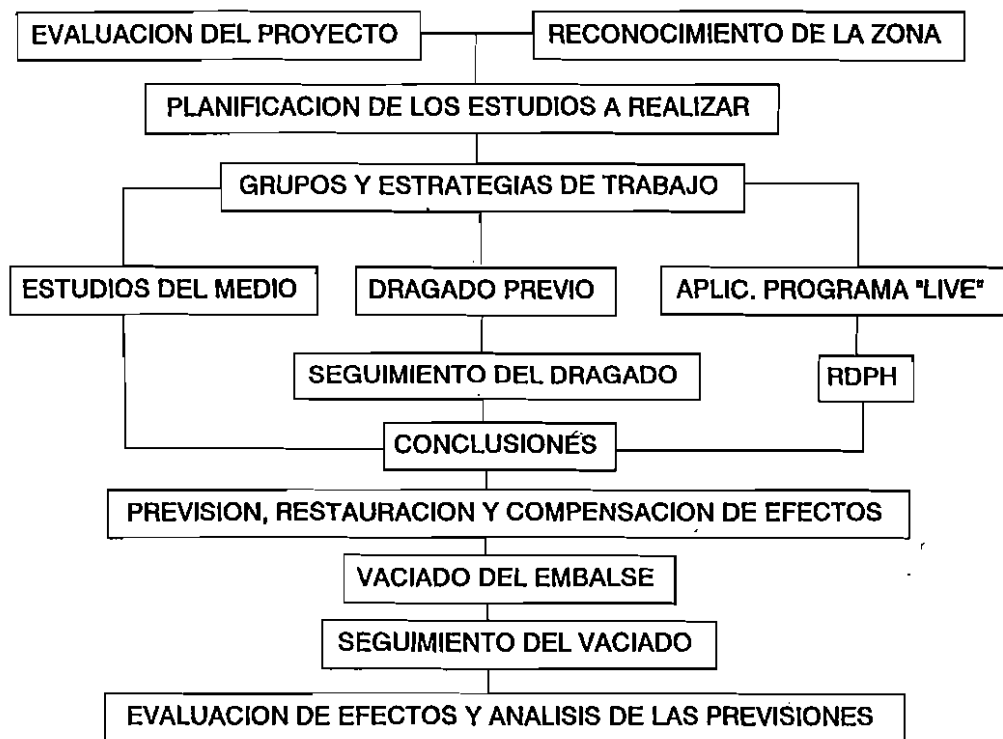


Fig. 3. Esquema de la metodología adoptada en el proceso de seguimiento ambiental del vaciado del embalse de Barasona, desde la evaluación ambiental del proyecto hasta la valoración y análisis de los efectos y la previsión de las tendencias de variación del ecosistema fluvial.

permitir establecer de una forma relativamente sencilla, los siguientes aspectos:

- a) Los parámetros indicadores clave en el seguimiento (normalmente la concentración de oxígeno disuelto y amonio-amoniaco, y la carga de sólidos en suspensión), así como los umbrales admisibles de cada uno de ellos para limitar las afecciones del vaciado. La Figura 4 muestra la dinámica seguida por estos tres parámetros durante el vaciado. Su afección ambiental no se reduce a los valores extremos absolutos alcanzados, sino que también deben tenerse en cuenta los efectos de posibles sinergias entre ellos (GARRIC *et al.*, 1990).
- b) Las clases de riesgo asociadas a distintos valores de los parámetros indicadores.

- c) La previsión de la dinámica probable para los parámetros indicadores-clave en el río aguas abajo del embalse.
- d) La estrategia de seguimiento durante el vaciado. Los puntos de muestreo (número, distribución), así como las frecuencias de muestreo.
- e) Las medidas preventivas y correctoras más oportunas.

En Francia, existe un protocolo de este tipo denominado LIVRE (Limitation de l'Impact des Vidanges de Retenues»; CARDINAL, 1989) que en el caso de Barasona se adaptó a la legislación española (RD 849/1986. Reglamento del Dominio Público Hidráulico; RDPH), bajo la denominación de LIVE (Limitación del Impacto del Vaciado de Embalses).

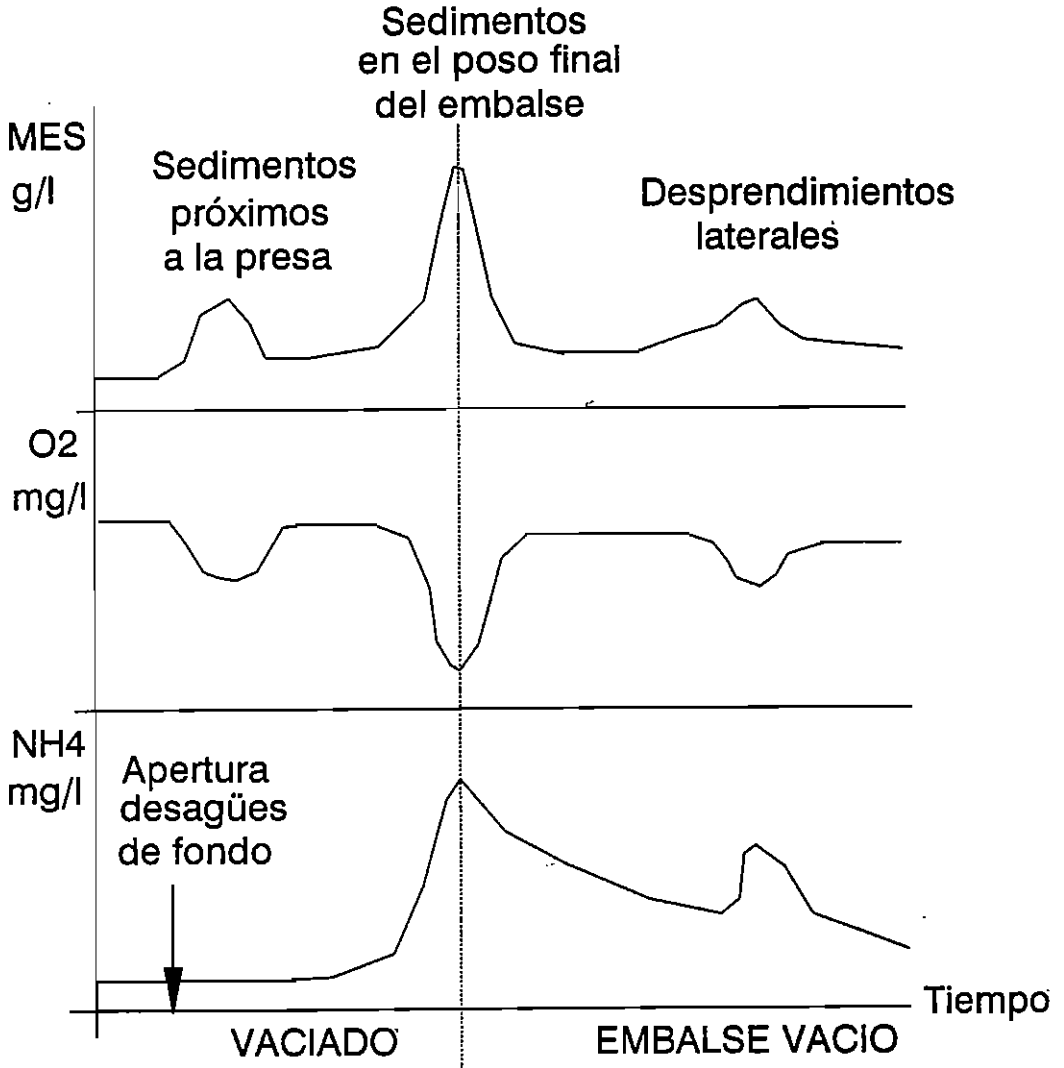


Fig. 4. Dinámica general de los principales parámetros indicadores en el seguimiento de la calidad del agua, durante el vaciado de embalses. Este esquema de origen genérico, se ajustó a la perfección a lo ocurrido en el caso del vaciado del embalse de Barasona (río Esera; Huesca). Se producen tres momentos críticos. El primero a la salida de los lodos próximos a los conductos de desagüe; el segundo, que además es el más crítico tiene lugar al final del desembalse; con el embalse vacío el río recupera su antiguo cauce en la cubeta, provocando desprendimientos laterales de sedimentos y dando lugar también a episodios críticos transitorios pero de menor entidad.

De los estudios realizados sobre el medio, del conocimiento de las operaciones técnicas propias del vaciado y de la aplicación del protocolo LIVE, se debe poder extraer las conclusiones pertinentes para establecer el plan de previsión, restauración y

compensación de los efectos ambientales derivados de vaciado; es decir, se está en condiciones de elaborar el preceptivo estudio de posibles efectos ambientales del proyecto de vaciado, que indica el art. 237 del RDPH (RD 849/1986).

La fase siguiente ya es el seguimiento en continuo del vaciado, desde unos días antes de la apertura de los desagües de fondo hasta unos días después del vaciado completo, con cadencias de muestreo que van desde varias horas hasta unos pocos minutos, según el momento.

Como ya se ha indicado, una vez realizado el vaciado completo del embalse, cada equipo de trabajo, en función de las características de su ámbito de estudio, debe proceder a realizar las campañas de muestreo y determinaciones que considere oportunas para evaluar los efectos reales del vaciado y así analizar el grado de ajuste de las previsiones de afección hechas antes del vaciado y la necesidad o no de actuaciones de restauración de los componentes afectados.

Reducción de las afecciones ambientales de un vaciado

Para reducir al máximo las afecciones ambientales no deseables que pueden derivar del vaciado completo de un embalse, existen una serie de medidas posibles que pueden agruparse en dos categorías (PALAU, 1995):

- 1) *Medidas preventivas.* Su objetivo es reducir la magnitud, frecuencia o alcance de las afecciones, mediante actuaciones que se llevan a cabo antes de que se produzca la afección. Dentro de este apartado están incluidas las siguientes medidas:
 - a) *Selección adecuada de la fecha de vaciado.* Permite llevar a cabo las operaciones en el periodo más adecuado, tanto para el embalse (estructura de la columna de agua) como para el sistema natural receptor de la afección (cauce aguas abajo).
 - b) *Modelización físico-química del vaciado.* Permite una aproximación necesaria y suficiente a la dinámica esperable en la transferencia y el comportamiento de los sedimentos (y polución asociada) en el río aguas abajo, así como para prever los niveles alcanzables de ecotoxicidad y su relación con los umbrales admisibles.
 - c) *Operaciones previas de dragado.* Permiten retirar los lodos acumulados en las inmediaciones de la presa y facilitar las opera-

ciones de apertura de los desagües de fondo, así como reducir la punta inicial de sólidos en suspensión que se produce inmediatamente después de la apertura de los desagües de fondo del embalse.

- d) *Rescate de peces del embalse y en el río aguas abajo.* Permite reducir la mortalidad de los peces. Dentro de esta misma medida preventiva se establece la conveniencia de construir aguas abajo de la presa un sistema de captura y salvamento de los peces vivos, así como de recogida y eliminación de los peces muertos. El vaciado completo de un embalse es una ocasión excepcional para la eliminación de especies alóctonas, el equilibrado de las clases de edad y de las proporciones predador-presa, así como para la evaluación de los efectivos poblacionales.
- e) *Selección de la velocidad de vaciado.* Permite reducir de forma muy considerable las afecciones ambientales a todos los niveles, por regulación de los caudales salientes.
- f) *Sueltas preliminares de agua.* Permiten evitar sinergias entre la carga de sólidos en suspensión movilizada desde el embalse y la resuspendida desde el cauce del río. Por otro lado pueden hacer la función de señal de aviso para las comunidades acuáticas y de ribera de un cambio inminente del medio. Finalmente aplicadas en simultáneo a la apertura de los desagües de fondo pueden reducir los valores extremos de determinados parámetros físico-químicos problemáticos.
- g) *Disponibilidad de otros embalses en serie o en paralelo.* Permite reducir la dispersión de las aguas salientes del vaciado o diluirlas, controlando por ejemplo los umbrales de calidad del agua que se hayan preestablecido.
- h) *Planificación y puesta en marcha de abastecimientos alternativos de agua.* Permite eliminar los trastornos temporales que el vaciado ocasiona a los usuarios aguas abajo del embalse a vaciar y los independiza de las vicisitudes que puedan acontecer durante el proceso.

i) *Decantación de las aguas salientes del vaciado.* La utilización de espacios de ribera degradados o que permitan la deposición de finos, previamente acondicionados para poder ser inundados con las aguas salientes del vaciado de un embalse, permite disminuir por un lado la carga de materias en suspensión dispersadas por el río, reduciendo la longitud del tramo de río afectado, y al mismo tiempo aporta un sustrato excelente para la recuperación natural o intervenida de espacios de ribera.

2) *Medidas correctoras.* Su objetivo es corregir las afecciones, es decir, restaurar el estado inicial del medio, a través de actuaciones que se lleven a cabo después de que se produzca la afección. Dentro de este apartado están incluidas las siguientes:

a) *Retirada de los posibles ejemplares de peces muertos o vivos aislados, retenidos en la cubeta del embalse o en el cauce aguas abajo.* En el caso de los ejemplares vivos, se posibilita su recuperación. En el caso de los muertos se evitan posibles problemas de índole sanitario y estético, y además se contribuye a la descarga trófica de una posible excesiva carga orgánica en el medio.

Dado el caso, los ejemplares muertos pueden utilizarse, en forma de compostaje, para el abonado de espacios de ribera próximos con una cubierta vegetal degradada.

b) *Retirada de restos y arrastres inertes (troncos, bidones, plásticos, etc.).* Puede representar un volumen de material importante. Es un aspecto esencial desde un punto de vista paisajístico, pero también para la recuperación del espacio natural de ribera y para evitar afecciones a captaciones de agua o bien a otros usuarios del río.

c) *Sueltas de limpieza desde el embalse.* Una vez cerrado de nuevo el embalse, recuperado el nivel de explotación ordinario y retirados del río los restos, es conveniente proceder a sueltas de limpieza del cauce que movilicen y redistribuyan el posible exceso localizado de las fracciones granulométricas más finas depositadas en el cauce aguas abajo del embalse.

d) *Acondicionamiento del cauce y las riberas.* Sólo es de aplicación en el caso en que se detecten modificaciones no coherentes o pérdidas de la aptitud y capacidad biótica del cauce o las riberas para acoger, como mínimo, el mismo tipo y grado de organización de las comunidades naturales existentes antes del vaciado.

e) *Repoblación del embalse y del tramo de río afectado.* Se refiere tanto a las repoblaciones piscícolas, como a la posible necesidad de revegetaciones puntuales de la ribera o al conjunto de actividades encaminadas a la reocupación de la zona (cauce y riberas) por las especies existentes antes del vaciado. Se aplica lógicamente a las comunidades naturales de menor tasa de renovación poblacional.

f) *Reposición de los abastecimientos de agua.* Se trata de reponer el abastecimiento de agua en los casos en que las obras realizadas para de suministro alternativo durante el vaciado, tenía un carácter temporal. Cabe indicar no obstante que en algunos casos (pequeños núcleos de población, etc.), tales obras se proyectan como una mejora del abastecimiento original, de modo que quedan como permanentes después del vaciado.

CONCLUSIONES

El vaciado completo de un embalse constituye una actuación con afecciones ambientales significativas sobre los sistemas acuáticos en los que tiene lugar. En el caso de España, de acuerdo con las características de explotación de los embalses, se trata de una acción que deberá irse implementando progresivamente hasta incorporarla a la gestión ordinaria de las cuencas hidrográficas.

El vaciado completo de un embalse comporta en la gran mayoría de casos la apertura de los desagües de fondo y la liberación directa al río de aguas de fondo del embalse y de los fangos acumulados en la zona de la presa. Salvo en el caso de embalses muy pequeños, con posibilidades de retener los caudales circulantes aguas arriba o de derivarlos directamente aguas abajo, donde puede contemplarse su vaciado por bombeo no

existen alternativas viables al vaciado de grandes embalses, que no pasen por la apertura de los desagües de fondo que, de hecho son conductos proyectados y construidos precisamente con esa finalidad, entre otras.

La calidad de las aguas liberadas por los desagües de fondo, los caudales circulantes y la carga de fangos movilizables desde el embalse, son los tres factores clave en la previsión, magnitud, alcance y duración de los efectos ambientales del vaciado de embalses que, en cualquier caso (salvo situaciones muy excepcionales ligadas por ejemplo a la presencia de tóxicos recalcitrantes y bioacumulables) tienen un carácter totalmente reversible, lo que permite mediante la aplicación de las medidas pertinentes, la plena recuperación natural de los componentes ambientales afectados a corto o medio plazo, en el peor de los casos.

Toda actuación del hombre sobre los sistemas naturales comporta cambios que son, en mayor o menor grado, significativos. El carácter positivo o negativo de tales cambios ha de evaluarse en términos de un balance a partir de los resultados obtenidos y sobre escalas de tiempo adecuadas. Está claro que si la actuación se evalúa inmediatamente después de su aplicación es muy probable que sólo se constaten efectos negativos o efectos positivos.

Para juzgar adecuadamente una actuación sobre los sistemas naturales resulta, por tanto, imprescindible evaluar con detalle el estado preoperacional del sistema natural afectable y conocer su capacidad de respuesta frente al motivo de cambio para poder, si es necesario, dirigir y ayudar a la recuperación del sistema natural sin sustituir o anular los mecanismos de reparación propios de éste.

La reversibilidad de este tipo de perturbaciones no es sin embargo justificante de la no adopción de las medidas preventivas disponibles para evitarlas o minimizarlas. En este sentido, el mantenimiento del estado de conservación de la cuenca, (que redundará en un mejor estado trófico del embalse y un menor aterramiento) y la realización de sueltas periódicas (aperturas controladas de los desagües de fondo) son los principales aspectos de la mejor estrategia para la integración de los embalses en sus cuencas, tanto a nivel ecológico como en relación a la funcionalidad hidráulica plena de la presa.

En efecto, la rehabilitación y manejo periódico de los desagües de fondo de embalses, a partir de actuaciones mediante vaciados completos, comporta unas extraordinarias posibilidades de incorporar aspectos ambientales a la gestión ordinaria de embalses. Sin duda la más evidente es la posibilidad de suministrar a través de tales desagües, un caudal de mantenimiento en los tramos de ríos regulados que garantice como mínimo, la conservación de unas comunidades naturales acuáticas adecuadas, pero hay más, como por ejemplo, la mejora en el transporte sólido de los ríos, la conservación de deltas y riberas (en general zonas de depósito) o las posibilidades de permitir una renovación preferencial de las aguas de fondo de los embalses, lo que constituye un aspecto clave en el control de su eutrofia y en la mejora de la calidad de las aguas, tanto del propio embalse como del río aguas abajo. Evidentemente, abordar estos planteamientos de gestión ambiental requiere voluntad política pero, como mínimo, la rehabilitación de los desagües de fondo abre la posibilidad técnica de llevarlos a cabo.

SUMMARY

This paper is a sort of general extrapolation from the applied strategy, the obtained results and experiences in the technical planning and the environmental control monitoring of total and forced emptying of Barasona Reservoir (Esera River; Huesca. NE Spain).

The total and forced emptying of reservoirs is a significant action in terms of environmental effects downstream of dam and in the reservoir itself also. It is usually due to the restoration of dam bottom outlets. The hidrological and hidraulic characteristics of river downstream, the accumulate level of sediments and the state of eutrophication of reservoir are determining factors to anticipate the magnitude of possible environmental consequences.

In spite of the fact that the reversible condition of this type of disturbance, it seems imperative to prevent or reduce its potential effects through an adequate catchment conservation strategy and also through an environmental management of reservoirs, including the accurate maintenance of bottom outlets as a way to control the sediment retention and water quality in the reservoirs, and certainly also to provide the instream flow requirements in the spanish rivers case at least.

Key Words: Reservoirs, total emptying, environmental impact, environmental management.

BIBLIOGRAFIA

- CARDINAL H. 1989: *Bilan des recherches et recommandations en matière de vidanges de retenues. Procedure LIVRE*. Direction des Etudes et Recherches, EDF. Chatou (France). 94 pp.
- GARRIC J., MIGEON B. & VINDIMIAN E. 1990: «Lethal effects of draining on brown trout. A predictive model based on field and laboratory studies». *Wat. Res.*, 24(1): 59-65.
- MILLA A. 1984: «La planificación hidrológica». *El Campo*, 96: 82-85.
- PALAU A. 1995: *Evaluación de efectos medioambientales del Proyecto de vaciado del Embalse de Barasona (río Esera, Huesca)*. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza. 27 pp.