



Técnicas respetuosas con el medio ambiente en presas y embalses

Environmental friendly techniques for dams and reservoirs

Revista de Obras Públicas
nº 3.536. Año 159
Octubre 2012
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Raimundo José Lafuente Dios. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Vocal del Comité Nacional Español de Grandes Presas.

Director Técnico. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza (España). rlafuente@chebro.es

Irene Domingo Comeche. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Jefe de Servicio. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza (España). idomingo@chebro.es

Resumen: En este artículo se analizan y resumen las contribuciones presentadas en la cuestión "Q92. Técnicas respetuosas con el medio ambiente en presas y embalses", desarrollada durante el XXIV Congreso Internacional de Grandes Presas celebrado el pasado mes de junio en Kyoto, Japón.

Palabras Clave: Presas; Embalses; Medio Ambiente; Sostenibilidad; Medidas Correctoras; Medidas Compensatorias; Calidad del agua; Sedimentación

Abstract: This paper analyzes and summarizes the contributions submitted to "Question 92. Environmental friendly techniques for dams and reservoirs", which took place during the XXIV International Congress on Large Dams, held last June in Kyoto, Japan.

Keywords: Dams; Reservoirs; Environment; Sustainability; Mitigation measures; Compensation measures; Water quality; Sedimentation

1. Introducción

El tema del medio ambiente es un tema que se lleva tratando de manera regular en los congresos del ICOLD desde 1973, a veces de forma generalista, como en Madrid 1973, con la Cuestión Q40 "consecuencias en el medio ambiente de la construcción de presas", y otras veces haciendo hincapié en un tema concreto, como en Brasilia 2009, con la Cuestión Q89 "Gestión de la sedimentación en presas nuevas y existentes".

En este Congreso, se ha dedicado una Cuestión entera a las técnicas respetuosas con el medio ambiente, dividiéndose en cuatro subtemas:

- 92.1. Técnicas respetuosas social y medioambientalmente en la planificación, proyecto y construcción de presas.
- 92.2. Medidas correctoras y compensatorias.
- 92.3. Problemas relacionados con la calidad del agua y la sedimentación.
- 92.4. Gestión sostenible de presas y embalses.

Se han presentado un total de cuarenta (40) artículos en esta cuestión, relatando experiencias de todas las partes del mundo (Europa- 19, Asia- 15, África- 3, América- 2 y Australia- 1), de los cuales se expusieron en el congreso un total de 20, 5 por cada subtema. Estos artículos dan una idea general del estado del arte en la cuestión medioambiental en el mundo y en España, a través de las aportaciones realizadas por la delegación española (ver Tabla 1).

2. Ponencia del relator general

La ponencia del relator general, Mr. Joji Harada, Senior Advisor en Yhagi Construction Co. Ltd. en Japón, hace una primera introducción en la que repasa históricamente el tratamiento dado por el ICOLD a este tema, tanto en congresos como en boletines y papers, para luego hablar del porqué de la necesidad de tomar en consideración el medio ambiente en la ingeniería hidráulica, las compensaciones a la población afectada y la necesidad de mitigar los impactos



Tabla 1.		
País	Número de artículos	Nº Q
Australia	1	3
Bulgaria	1	9
Canadá	1	4
China	5	28,29,30,31,32
E.E.U.U.	1	26
Eslovenia	1	13
ESPAÑA	2	22,23
Francia	7	12,14,18,19,20,24,25
Indonesia	1	33
Irán	1	5
Japón	8	27,34,35,36,37,38,39,40
Marruecos	1	2
Polonia	1	6
República Checa	1	1
Rumanía	1	10
Rusia	2	7,8
Sudáfrica	2	15,21
Suiza	3	11,16,17
TOTAL: 18	40	

(medidas correctoras), tanto medioambientales como sociales de la construcción y explotación de presas.

Posteriormente hace un análisis de los artículos entregados por subtema. El relator general no divide los artículos específicamente por subtemas, sino que en su ponencia trata los temas y menciona en cada apartado los artículos que tienen que ver con él. Así, por ejemplo, el artículo (R 23), que habla de los diques de cola de la Cuenca del río Ebro, en España, es mencionado en los subtemas de técnicas respetuosas, medidas correctoras y calidad del agua (ver Tabla 2).

Hay dos artículos que, aunque se remitieron como relativos a esta cuestión medioambiental, no se pueden vincular a ningún subapartado. Estos son el (R 9), de Bulgaria, que habla de seguridad en presas, y el (R 11), de Suiza, que describe la gestión de caudales en un sistema de varios embalses en el río Saane.

3. Q92.1. Técnicas respetuosas social y medioambientalmente en la planificación, proyecto y construcción de presas

Con respecto a este subtema, el relato general se queja de que los ingenieros del ICOLD se centran demasiado en la parte de la planificación proyecto y construcción de presas y poco en la parte de técnicas respetuosas social y medioambientalmente.

Xu Zeping (R 28) describe en su artículo las tecnologías aplicadas en la construcción de presas modernas de escollera en China. Estas tecnologías incluyen mejora de materiales, tratamiento de la cimentación y filtraciones principalmente. El autor muestra la idoneidad de los suelos de grava (Gravelly soil) para núcleos de presas de escollera con núcleo de tierras, siempre que el material esté debidamente graduado y supervisado por el ingeniero proyectista.

Zhang Zongliang y otros (R 29) explican los estudios de materiales llevados a cabo para el diseño de la presa de Nuozhadu, en China, de 261 m de altura de escollera con un núcleo compuesto por suelo mezclado artificialmente con piedra procedente de machaqueo y gravas.

El departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad de Tsinghua, en China presenta un artículo (R 30) sobre la presas de RFC (Rock Filled Concrete, u Hormigón Relleno de Roca), un nuevo tipo de tecnología del hormigón para la construcción de

Tabla 2.		
Subtema	Número de Artículos	Nº Q
Q 92.1	7	7, 23, 26, 28, 29, 30, 39
Q 92.2	12	3, 4, 12, 14, 15, 20, 22, 23, 25, 31, 36, 37, 40
Q 92.3	18	3, 5, 6, 10, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 27, 31, 32, 34, 36, 37, 38
Q 92.4	10	1, 2, 8, 13, 14, 20, 21, 25, 33, 35,
No vinculados directamente a ningún subtema	2	9,11

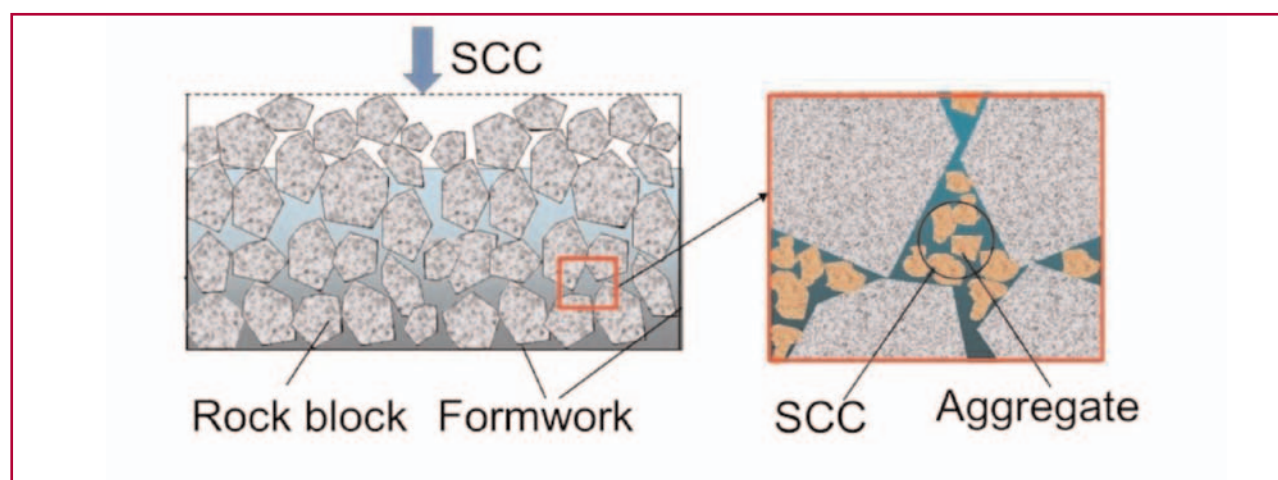


Fig. 1.
Composición
del RFC, Rock
Filled Concrete.

presas, que se desarrolla sobre la base de la tecnología de hormigón autocompactante (SCC o Self Compacted Concrete). El RFC se produce al llenar el espacio vacío entre los bloques de roca con SCC debido a su buena fluidez y poca tendencia a la segregación. Según los autores, la técnica de RFC muestra grandes ventajas en la construcción de presas, por su alta eficiencia a bajo coste, además de bajo calor de hidratación y baja carga ambiental.

La tipología de presas de CSG (Cemented Sand and Gravel, que, traducido al español, sería una grava/arenacemento) es una nueva tipología de presas que se está desarrollando en Japón, que según los autores del artículo (R 39) reduce el uso de materiales y racionaliza el diseño y la construcción. Hasta hace poco se había usado solamente para estructuras complementarias, como ataguías, etc, pero entre 2009 y 2010 se construyó la primera presa de esta tipología, la presa de Tobesu, y actualmente está en construcción la presa de Okukubi, con previsión de finalización para 2012. El relator general echa en falta en este artículo el enfoque desde el punto de vista medioambiental de estas presas, ya que no se habla de los beneficios que esta tipología puede aportar en temas de reducción de emisiones, materiales o plazo de ejecución.

En el embalse de San Justo, E.E.U.U., Graham Bradner y otros (R 26) han utilizado la teoría de ondas para incrementar paulatinamente el nivel de operación del embalse, que había sido restringido a cotas inferiores a la de N.M.N por problemas de inestabilidad de laderas. En la primera fase de este estudio, los autores han ido incrementando el nivel de embalse por pulsos, y han evaluado el comportamiento tanto de las fil-

traciones aguas abajo de la presa como las inestabilidades del terreno en cada parada, de manera que se tiene un conocimiento del comportamiento del embalse a cada nivel, y se puede estimar el nivel de operación óptimo del embalse.

EL artículo (R 7), de Rusia, habla de una central de energía mareomotriz en el mar de Barents. Los autores, pertenecientes al Russian Scientific-Research Institute of Energy Structures (JSC NIIES RusHydro), enfatizan las bondades de este método en materia medioambiental en contraposición con las centrales hidroeléctricas a pie de presa, ya que se evita la inundación de terrenos, y las unidades permiten el paso de plancton y de peces, eliminando el efecto barrera.

Por último, en este subapartado se incluye también el artículo (R 23), que relata la experiencia de la Confederación Hidrográfica del Ebro en la construcción de embalses de cola para usos medioambientales y sociales en distintos embalses de la cuenca del Ebro.

4. Q92.2. Medidas correctoras y compensatorias

4.1. Cambios en el régimen de caudales

Las centrales fluyentes construidas a pie de río no suelen tener problemas con el flujo de caudales. Pero las centrales en derivación, sí suelen dejar un tramo de río con un caudal muy inferior al natural entre la toma y la salida de la central. Los ingenieros de la Shinanogawa Power Station, en Japón exponen en su artículo (R 40) los estudios realizados en la presa

mencionada para racionalizar la suelta de caudales de manera que se garantice el caudal ecológico en todo el tramo entre la toma y la salida de la central.

El artículo (R 4), presentado por AECOM e Hydro-Québec describe las medidas ejecutadas en el proyecto de las centrales en el río Rupert en Canadá para reducir los impactos ambientales de los ríos afectados por la derivación de caudales para estas centrales.

En Guinea, para la regulación de la presa del río Fomi, (R 14) se ha utilizado un modelo de análisis multicriterio con un total de 5 escenarios distintos. Como resultado de este análisis, se ha recomendado la suelta de avenidas artificiales de hasta 24 días de duración para reducir los efectos producidos por la ausencia de avenidas y la falta de aportes sólidos aguas abajo de la presa.

David Van Wyk y otros describen en su artículo (R 15) el caso de la presa del río Berg, la primera en Sudáfrica en incorporar estructuras que permiten liberar al río caudales ecológicos distintos, para épocas secas y de lluvias. Esto se logra a través de niveles a distintas cotas en la torre de desagüe.

4.2. Hábitats de organismos vivos

La construcción de presa afecta a los hábitats naturales por la formación de embalses, la excavación de canteras, la construcción de variantes, etc., además de romper la continuidad entre los ecosistemas de aguas arriba y aguas abajo de la presa, dividiendo los hábitats y las zonas de reproducción de fauna y flora.

En los últimos años ha crecido la concienciación social en temas ambientales, y se han llevado a cabo numerosas acciones encaminadas a conservar los ecosistemas en los proyectos de presas.

El organismo de cuenca del río Níger, la Niger Basin Authority (NBA)(R 14) ha desarrollado un plan de acción sostenible, que ha sido utilizado en el proyecto de la presa del río Fomi. El análisis multicriterio utilizado ha tenido en cuenta la existencia de una garganta y un bosque de alto valor medioambiental, que ha hecho que entre las acciones correctoras resultantes de este plan de Acción Sostenible esté la reducción de la altura total de la presa. Otra medida contemplada es la producción de avenidas

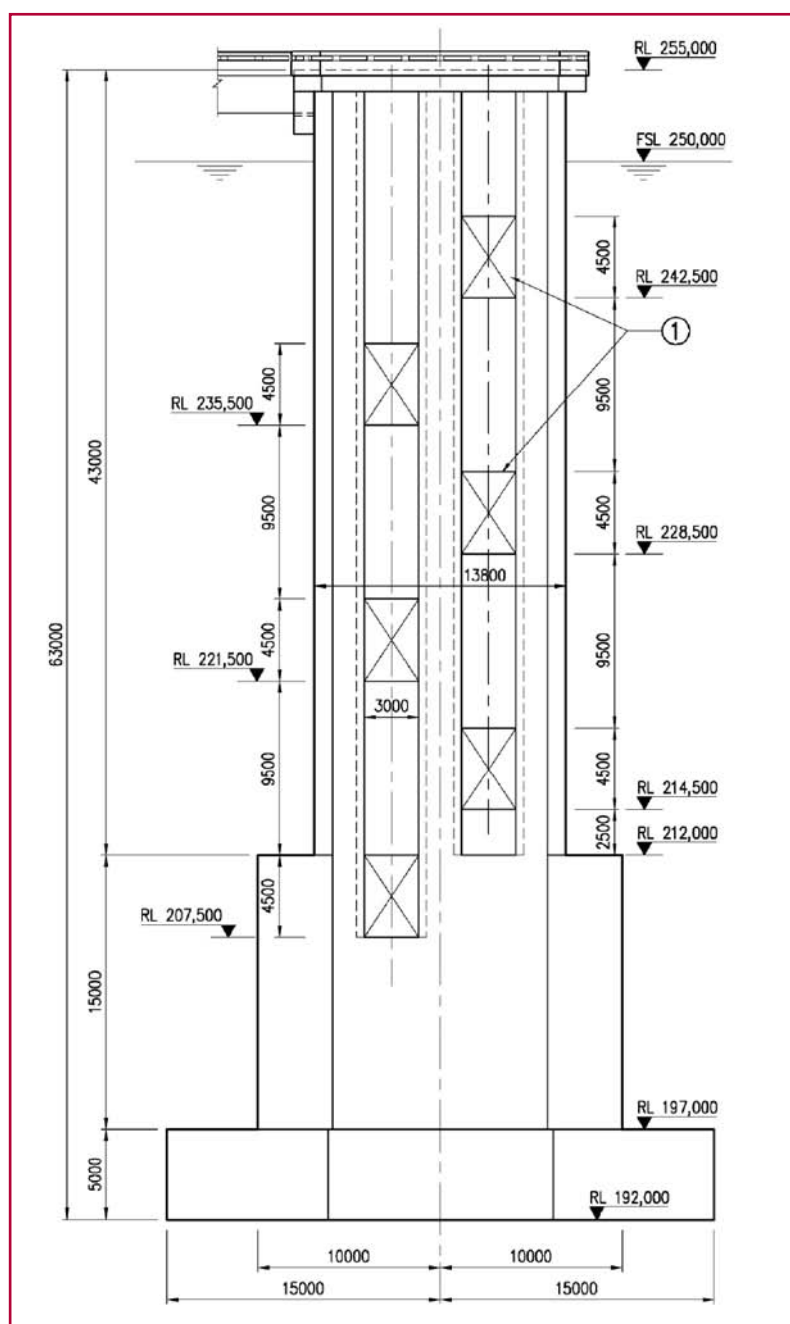


Fig. 2. Sección del desagüe de fondo de la presa del río Berg. Vista de las tomas a diferentes cotas.

artificiales de hasta 24 días de duración, como se comentó en el apartado anterior.

En Canadá, en el diseño de los azudes del río Rupert (R 4), se ha decidido optar por una estructura de 8 pequeños azudes distribuidos en 314 km de río para la explotación hidroeléctrica de los mismos, y así mantener los niveles del río lo más similares a los naturales, limitando el impacto. Además, se han creado áreas de freza y escalas de peces para compensar las pérdidas de hábitats naturales.



En el proyecto de la planta hidroeléctrica más grande de Laos en la actualidad, la presa de Nam Theum 2, se han llevado a cabo numerosos estudios en el área medioambiental y social que se resumen en el artículo (R 25). En el campo de protección de especies y hábitats, se ha llevado a cabo un estudio de la población piscícola de la zona que ha resultado en datos tan sorprendentes como la catalogación de 20 nuevas especies de peces diferentes. Estos estudios se han centrado en la protección de especies protegidas y sus ecosistemas, y en la resolución de los llamados conflictos Humano-Elefante, en colaboración con la NGO, Sociedad de Conservación de la Vida Salvaje. Además, se ha llevado a cabo un proyecto de rescate y relocalización de especies prioritarias hacia la Reserva Protegida de Nakai-Nam, cercana a la presa.

4.3. Medidas para especies protegidas

El relator general hace varios subapartados en esta cuestión: avifauna, fauna piscícola y flora.

En el tema de la avifauna, hace especial énfasis en la protección de las aves rapaces y endémicas y destaca la labor realizada en el embalse de Don Melendo (R 22), en España, en el que se ha creado un humedal artificial para el establecimiento de aves migratorias cerca de la Reserva natural del Parque de Doñana.

En el caso de la fauna acuática, hay dos aspectos a tratar en el ámbito de los embalses: el efecto barrera y el cambio en los ecosistemas producido por la sustitución de un hábitat con agua fluyente por otro de aguas tranquilas o estancadas.

La Compagnie d'aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG), compañía que gestiona el territorio en la zona de la Gascuña francesa, expone en su artículo (R 20) los resultados de varios estudios destinados a clarificar el impacto de los embalses en la diversidad de la fauna piscícola. Estos resultados demuestran que existe una diferencia significativa entre las poblaciones lacustres y las asociadas a un río fluyente. Según el artículo la transformación del ecosistema va acompañada de una renovación total de las comunidades de peces existentes.

El efecto barrera provocado por los embalses y las consecuencias de este en la fauna piscícola es un tema que ha sido tratado en varios artículos presentados para este Congreso. En concreto, en Shinanogawa, Japón (R 40) se han llevado a cabo estudios que han conducido a la modificación de la escala de peces existen-

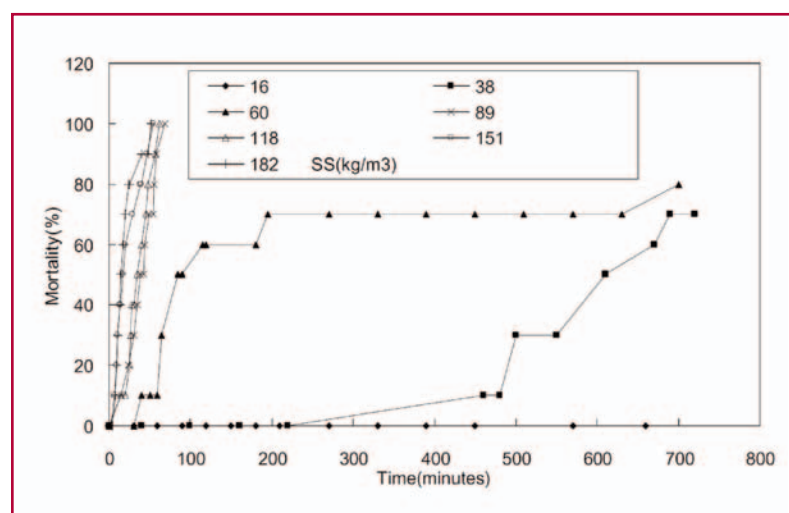


Fig. 3. Variación de la mortalidad de *Cyprinus carpio* con el tiempo a diferentes concentraciones de sólidos en el agua.

te en la presa, de manera que fuese efectiva para las distintas especies a las que iba destinada. Esta escala de peces ha sido probada con salmones de distintos tamaños.

En el caso de China, el China Institute of Water resources and Hydropower Research (R 31) ha estudiado la influencia de la concentración de sedimentos en el río en el comportamiento de la carpa del río amarillo (*Cyprinus carpio*) a raíz de las sueltas de sedimentos producidos por la apertura de los desagües de fondo de la presa de Xiaolangdi, llegando a la conclusión de que cuando el oxígeno disuelto caía a niveles críticos debido al aumento de la concentración de sedimentos en el agua era letal para las poblaciones de carpa del río. Cuando la concentración del sedimento supera los 90 kg/m³ se produce una drástica caída de la concentración de oxígeno disuelto que da lugar a un 100% de mortalidad en la primera hora de suceso.

Por último, en el subapartado de flora, se hace hincapié en el efecto negativo que tienen las presas en la comunidad vegetal de las márgenes, que, sobre todo en presas de control de avenidas y de regulación, se ven sometidas a ciclos de inundación que alteran su ritmo natural.

Una de las medidas para rehabilitar el área de desnudación en el lago Argyle, Australia (R 3), fue la revegetación con plantas arbustivas perennes.

En España, en el embalse de Don Melendo (R 22), se ha optado por la revegetación con especies endémicas para el control de la erosión. En el caso de la Cuenca del Ebro (R 23), se ha optado por la creación de embalses de cola para evitar el efecto de la banda

árida en las colas de los embalses, sobre todo en las cercanías de áreas habitadas.

En el caso del artículo (R 12) presentado por los técnicos del Cemagref, organismo público de investigación francés de carácter científico y tecnológico no se habla de los efectos indeseables de los embalses en la flora autóctona, sino de todo lo contrario, los efectos indeseables de las plantas en las presas de materiales sueltos. Los autores exponen que no sólo las raíces son perjudiciales para este tipo de presas ya que incrementan los riesgos de erosión interna y externa, sino que la parte aérea puede dar problemas también al ser derribada por el viento.

5. Q92.3: Problemas relacionados con la calidad del agua y la sedimentación

5.1. Calidad del agua

El problema de la calidad de las aguas asociado a los embalses se divide en tres puntos diferentes: el problema de la turbidez asociada a las partículas en suspensión que llegan a un embalse después de una riada, el problema de la eutrofización y por último, los problemas que pueden aparecer asociados a las bajas temperaturas de agua que se dan en los embalses.

5.1.1. Turbidez prolongada:

El problema de la turbidez prolongada generada por las partículas en suspensión en los embalses genera, en el vertido de caudales, problemas en los ecosistemas aguas debajo de la presa.

Los Ingenieros del Departamento de Aguas de Perth, Australia (R 3), han tomado una serie de medidas para reducir los aportes de sedimentos en el lago Argyle, generado por la presa del río Ord, que han ayudado también a reducir los problemas de turbidez y a mejorar la calidad de las aguas en el embalse. En este caso se ha optado por medidas en origen, como pueden ser la adquisición de terrenos para evitar su uso intensivo, la reducción de las existencias de ganado y la relocalización de comunidades de asnos salvajes en la zona, así como la revegetación en la cuenca con plantas arbustivas perennes.

Los túneles de bypass de sedimentos, de los que se habla en diversos artículos presentados para el Congre-

so (R 16, Suiza, y R38, Japón, de los que se hablará en el punto de sedimentación), son una medida de control de la sedimentación que, además mejora la calidad de agua de los embalses al reducir la turbidez en los mismos.

El uso de un desagüe multinivel como el descrito en el artículo de Sudáfrica (R 15) permite recrear distintas características del flujo natural en los vertidos de caudales, de manera que se pueden simular avenidas con una determinada concentración de sedimentos y así controlar la turbidez aguas abajo del embalse.

5.1.2. Eutrofización

La eutrofización es un problema que se da en todo el mundo y que preocupa en gran medida a los gestores de embalses. Prueba de ello es la gran cantidad de artículos que se han presentado en referencia a los problemas generados por el exceso de nutrientes en los embalses y las diferentes soluciones a adoptar.

En Francia, un conjunto de organizaciones distintas, entre las que se encuentran la Escuela des Ponts de París y el Museo de Historia natural, han trabajado para desarrollar un sistema llamado PROLIPHYC, (R 18) que permite el seguimiento en tiempo real de la proliferación de fitoplancton en las masas de agua y los ríos con circulación lenta. El sistema, que permite la adquisición, proceso y validación de datos, también puede incorporar avisos al superar ciertos umbrales, y ser usado como Sistema de Ayuda a la Decisión.

Por su parte, una Empresa Consultora iraní (R 5) presenta los resultados de utilizar el programa informático HEC-5Q, desarrollado por el US Corp of Engineers, para la simulación del flujo y la variación de la calidad del agua en el embalse de Ghermi Chai.

La futura presa de Manduriacu, en Ecuador (R 19), presenta una problemática muy específica, al encontrarse su localización aguas abajo de la capital de Ecuador, Quito, que tiene una población de dos millones y medio de habitantes. El sistema de depuración en la ciudad es prácticamente inexistente, por lo que se prevé una rápida eutrofización del embalse. Los ingenieros proyectistas recomiendan la construcción de plantas de depuración de aguas residuales como medida preventiva y, en todo caso, la limitación total de usos en el embalse.

El Instituto de Meteorología y Gestión del Agua (Instituto Nacional de Investigación), de Polonia, presenta un artículo (R 6) en el que expone las técnicas respetuosas



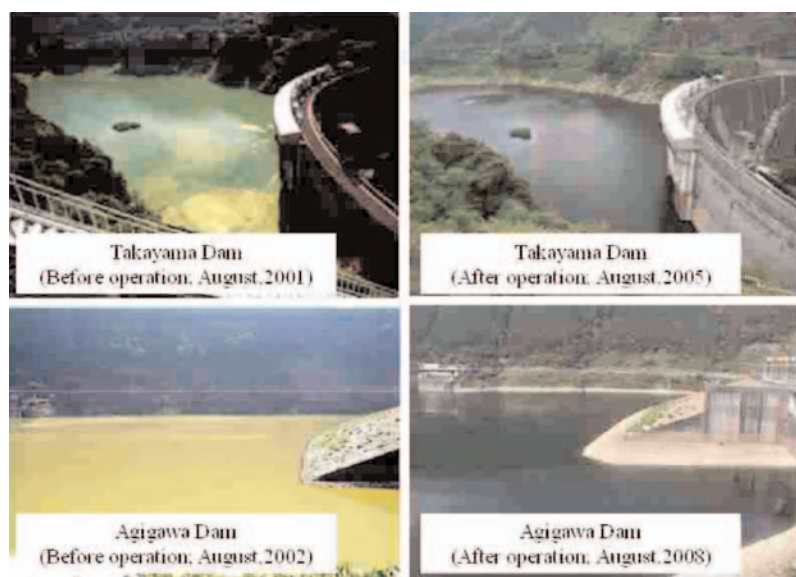


Fig. 4. Embalses de Takayama y Agigawa antes y después de la operación de aireación.

con el medio ambiente para reducción de la sedimentación y aumento de la calidad de agua en embalses utilizadas en 7 presas en Polonia. Como solución para los problemas de las altas concentraciones de nutrientes, sedimentos y metales pesados encontrados en estos embalses, se ha optado por la construcción de embalses en cabecera para retención de estos elementos.

El relator general alude aquí al artículo (R 23), que describe la utilización de diques de cola en la cuenca del Ebro, ya que, aunque la función principal de éstos no sea la retención de sedimentos, este fenómeno se produce efectivamente y contribuye a la mejora de la calidad del agua del embalse principal.

Otra medida utilizada para luchar contra el crecimiento de algas en los embalses es la circulación de aire mediante un sistema de aireación del agua. El artículo (R 27) habla de los estudios realizados por la Agencia Japonesa del Agua para verificar la eficacia de estos métodos de aireación para frenar la proliferación de cianofíceas, como la *Microcystis* y la *Anabaena*. Estos estudios demuestran que el crecimiento se frenó en embalses cuyo gradiente de temperaturas en superficie era de 0°C/m, mientras que en los embalses en los que no era así, el sistema de aireación no fue efectivo, por lo que los autores proponen como parámetro para medir la efectividad de estos sistemas de aireación el gradiente de temperaturas antes mencionado.

Por último, se han presentado dos artículos que relacionan de manera directa la presencia de árboles en el área inundada y la eutrofización del embalse generado (R 36 y R 37). Esto se justifica ya que actualmente en Ja-

pón el coste de la deforestación del vaso del embalse corre a cargo del promotor, cuando antes la deforestación del vaso corría a cargo de las industrias madereras de la zona sin coste alguno, por lo que varios promotores privados japoneses han desarrollado estudios en paralelo para discernir el mínimo porcentaje de vaso a deforestar sin que por ello disminuya la calidad del agua embalsada.

5.1.3. Problemas de la baja temperatura del agua

Aunque ningún artículo de los presentados para el Congreso de Kyoto alude a este problema de manera específica, el relator general considera oportuna su mención en su resumen, ya que es un problema que afecta a las comunidades de peces y a los ecosistemas aguas abajo de los embalses, al soltar éstos agua a temperaturas muy por debajo de las normales en un río cuando se hace un vertido por los órganos inferiores de desagüe. Harada sugiere el uso de varias tomas a distintos niveles para el control de la temperatura del agua aliviada.

5.2. Sedimentación

La sedimentación en embalses es probablemente el problema medioambiental que más preocupa a los ingenieros presistas de todo el mundo. Prueba de ello es la cantidad de boletines publicados por el ICOLD y el que previamente haya sido objeto de una Question específica sobre sedimentación en el Congreso de Brasilia de 2009.

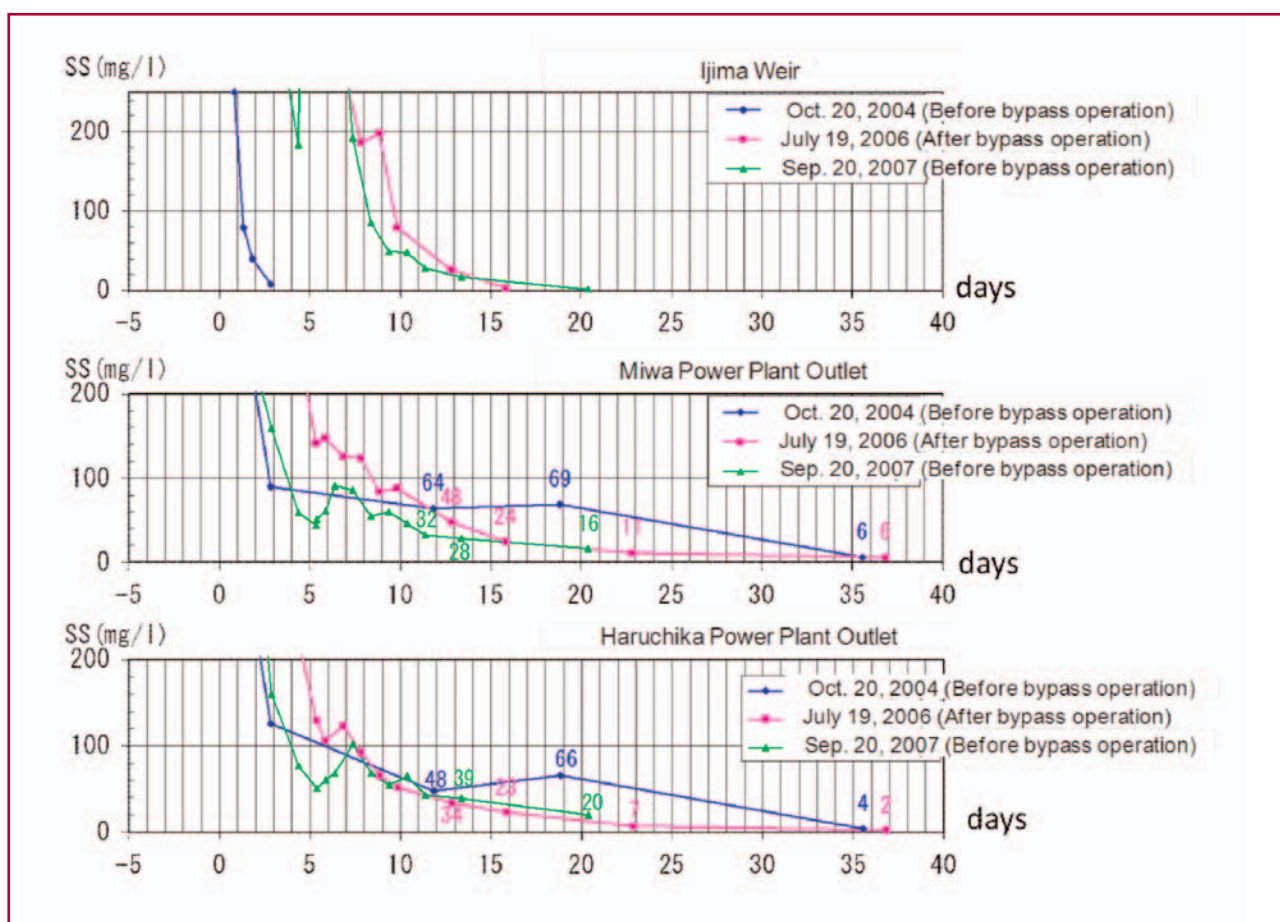
Para este Congreso de Kyoto 2012, de los 40 artículos presentados en el apartado de Medio Ambiente, un total de 12 hacían referencia a la sedimentación y a las medidas necesarias para minimizar sus efectos negativos en la explotación de embalses.

Dentro de las medidas preventivas a llevar a cabo en los embalses, se pueden dividir en medidas a llevar a cabo en la fuente de producción y las llevadas a cabo en el embalse.

5.2.1. Medidas en la fuente de producción

Como medidas en la fuente de producción es interesante el artículo (R 3), de Australia, sobre medidas a llevar a cabo para reducción de la sedimentación en el lago Argyle. Además de las medidas ya comentadas en el apartado de calidad de aguas, de adquisición de terrenos, relocalización y reducción del ga-

Fig. 5. Sólidos en suspensión registrados en varios puntos aguas arriba y aguas abajo del embalse antes y después de operación del túnel de bypass de la presa de Miwa, Japón.



nado y plantaciones con arbustivas, se ha llevado a cabo un programa de seguimiento de estas medidas que evalúa la entrada de sedimentos al embalse.

5.2.2. Medidas en los embalses

En Polonia (R 6) se ha optado por la construcción de embalses en cabecera o embalses preliminares, que retienen el sedimento, de manera que se evita el aterramiento del embalse principal.

La medida más extendida hasta hace unos años para gestionar los problemas que originan los sedimentos en los embalses era la de excavación o dragado y remoción de los mismos.

Esta medida, que se ha demostrado suficiente para la operación de los embalses, pero no para paliar el efecto barrera que tienen en los sedimentos los embalses, ha sido tomada en el río Arc, en la Saboya francesa, por los técnicos de EDF (R 24). Además del dragado de los sedimentos, se ha optado por el cierre de una toma cuando la concentración de sedimento

llega a un umbral determinado y a la realización de una apertura anual de los desagües de fondo.

Actualmente se utiliza también mucho la técnica de *Flushing*, o apertura de los desagües de fondo para evacuación de sedimentos.

En la presa de Manduriacu, en Ecuador (R 19) la modelización con HEC-RAS ha determinado la necesidad de evacuar los sedimentos en base a los datos introducidos, y se ha recomendado en la futura operación de la presa dos evacuaciones anuales de sedimentos en descargas de tres días de duración cada una.

El artículo (R 32) de China, explica las operaciones llevadas a cabo en el río amarillo para movilizar el sedimento retenido por la presa de Xiaolangdi.

Jolanda Jenzer y otros (R 17), de Suiza, presentan sistema para maximizar el vertido de sedimentos por apertura de desagües, manteniendo los sólidos en suspensión a través de una turbulencia originada mediante un chorro de aire. En el caso de una colocación de los chorros de aire óptima y un tamaño de



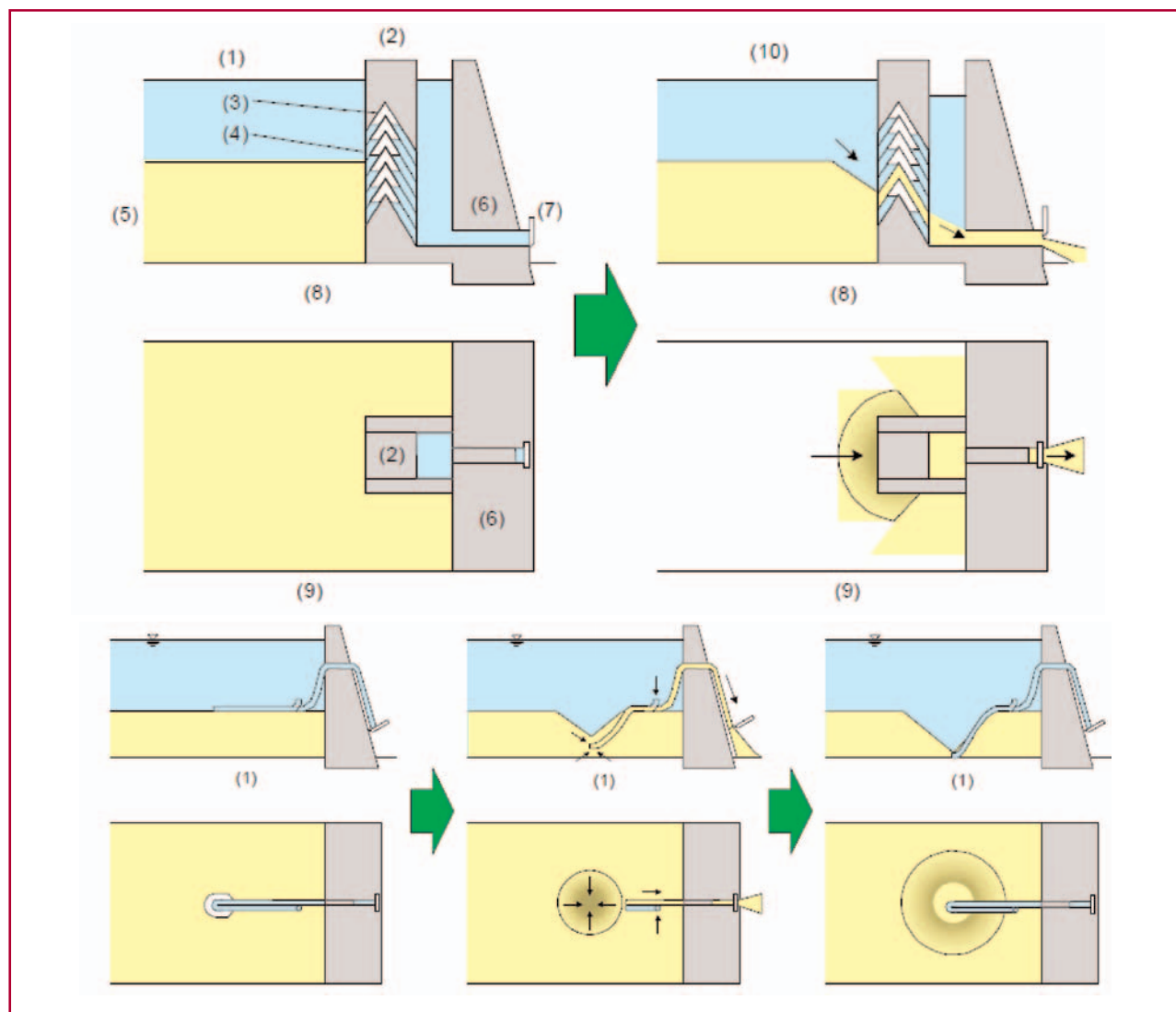


Fig. 6. Esquemas de funcionamiento o de nuevas técnicas para eliminación de sedimentos: arriba, válvula de aire y abajo tubería de succión acoplada para succión de sedimentos.

grano adecuado, los autores concluyen que la eliminación de sedimentos puede llegar a doblar la producida mediante la apertura de desagües tradicional, sin turbulencia inducida.

La gran mayoría de los artículos presentados hablan de las medidas de reducción de la sedimentación, pero hay un artículo presentado por China (R 31) que estudia los efectos en el medio ambiente que produce la gestión de estos sedimentos en las aperturas de los desagües de fondo: cuando el oxígeno disuelto en el río cae a niveles críticos debido al aumento de la concentración de sedimentos en el agua se produce un drástico aumento de la mortalidad en las poblaciones de carpa del río.

Los túneles de bypass de sedimentos son una solución que se presenta en dos artículos. Esta solución su-

pone la construcción de un túnel que transporte el agua turbia y los sedimentos de aguas arriba del embalse hasta aguas abajo en momentos de avenida.

En la presa de Miwa (R 38), en Japón, hay un túnel de bypass de sedimentos funcionando y sobre el que se pueden sacar conclusiones sobre la efectividad real de este método de gestión de los sedimentos, la mejor manera de operación para evitar abrasiones en el túnel y la ausencia de impactos causados aguas abajo por la gestión de las avenidas de esta manera.

Los túneles de bypass de sedimentos son una solución eficaz, pero cara de construir y de mantener, y además limitada a unas condiciones topográficas favorables.

En Suiza, (R 17), el Laboratorio de Hidráulica, Hidrología y Glaciología ha realizado un estudio sobre la

erosión invertida a la que están sometidos estos túneles debido a las altas velocidades combinadas con elevadas concentraciones de sedimentos. Actualmente el laboratorio está llevando a cabo modelos reducidos para optimizar los parámetros de diseño de estos túneles en términos de minimización de esta erosión.

En Japón (R 34) (Fig.6), el Instituto de Investigación de Obras Públicas está estudiando la mejor manera de gestionar los sedimentos para no alterar la geomorfología del río afectado. Este artículo describe dos técnicas nuevas de reposición de los sedimentos aguas abajo del embalse para mejorar el ecosistema de ribera en esta zona. Estas técnicas, que se encuentran actualmente en fase de prueba en el laboratorio son: una válvula de aire para descarga de sedimentos y una tubería de dragado y succión de sedimentos.

En Rumanía la compañía HYDROELECTRICA (R 10) propone una solución para evitar el aterramiento prematuro de pequeños embalses, a través de lo que denominan un embalse de dos canales. Esto consiste en una separación física del embalse mediante un dique longitudinal que separa el circuito hidráulico de la planta hidroeléctrica del circuito natural del río en avenidas. Este sistema se puede implantar en presas en operación, los autores estiman que puede llegar a reducir la sedimentación en pequeños embalses en un porcentaje entre el 60 y el 80%.

6. Q92.4: Gestión sostenible de presas y embalses

En este tema se dan cabida a todos aquellos artículos que, de manera general, relatan las actuaciones llevadas a cabo en los distintos países participantes para asegurar una gestión de las reservas hidráulicas de manera ambientalmente correcta.

Por ejemplo, en el caso de la cuenca del río Opava en la república Checa, (R 1) se han tenido que estudiar una serie de medidas para una eficiente gestión de los caudales. Esta cuenca se ve afectada por avenidas de gran entidad e incluso catastróficas, como la ocurrida en 1997, en la que se llegaron incluso a producir pérdida de vidas humanas. Para la gestión de estos fenómenos se han tomado una serie de medidas que se consideran lo más respetuosas con el medio ambiente posible: la construcción de la presa de Nové Heminovy para laminación de avenidas, consolidación de los terrenos y racionalización de los usos, medidas de gestión en embalses de pequeña entidad, etc.

En Marruecos, (R 2) la realización del proyecto de la presa Tamalout presenta una evaluación ambiental positiva, considerando que el nuevo marco económico y social que afectará a las localidades cercanas contrarrestará los impactos negativos experimentados por la población afectada. Los impactos positivos los objetivos principales de la presa, de abastecimiento y regadío, y además la creación de empleo, la mejora de las condiciones socio-económicas de la población beneficiaria, el desarrollo de nuevos ecosistemas asociados, y el fomento del turismo rural en la zona. Los impactos negativos del proyecto incluyen el desplazamiento de 120 viviendas, la inundación de 370 hectáreas, el desplazamiento de una escuela primaria de alguna vía local de conexión.

En algunos casos, los embalses destinados a la generación de energía hidroeléctrica también necesitan variar los niveles de operación, con el impacto que esto genera en los ecosistemas adyacentes. El Dr.Eng. Vladimir A. Pekhtin y su equipo explican en su artículo (R 8) la manera de gestionar estos cambios de nivel en diversas presas en Rusia para minimizar las afecciones al medio ambiente.

Técnicos del Instituto del Agua de la República de Eslovenia presentan un artículo (R 13) que describe un procedimiento factible tanto técnica como económicamente para la certificación de instalaciones de centrales hidroeléctricas coherente con los requisitos de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) a aplicar para obtener la etiqueta verde en productos de electricidad (Energía Verde). Se presentan además tres casos prácticos de presas en las que se ha utilizado esta metodología para la obtención de la mencionada etiqueta.

En Guinea, el Organismo de Cuenca del río Níger ha desarrollado un plan de acción sostenible para la regulación del río Fomi (afluente del río Níger en la cabecera de la cuenca), (R 14). Se ha realizado un análisis multicriterio para tener en cuenta un tratamiento integral de las acciones a llevar a cabo y entre las actuaciones resultado de dicho análisis están la preservación de varias áreas con alto valor ambiental y la reducción de las zonas inundables aguas abajo a través del pautado de los vertidos en la presa del río Fomi.

La Compagnie d'aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG), compañía que gestiona el territorio en la zona de la Gascuña Francesa, expone en su artículo (R 20) los resultados de varios estudios destinados a clarificar el impacto de los embalses en la diversidad de la fauna piscícola. Los autores exponen cuatro conclu-



siones principales: la creación de un embalse cambia irremediablemente la estructura de las poblaciones de peces del río afectado, los impactos varían según la fase de operación del embalse, la operación de los embalses influye en el ciclo termal de los ríos, y por último, la generación de un embalse fomenta la creación y el desarrollo de comunidades acuáticas específicas en el área.

Andrew Wilson (Sudáfrica) (R 21) describe en su artículo las consideraciones ambientales y sociales tenidas en cuenta en el diseño de la presa de la garganta de Kabompo en Zambia. Estas incluyen: minimizar el impacto en la garganta, la elección de la tipología y materiales de la presa, tener en cuenta las infraestructuras y municipios existentes en el vaso para el cálculo del máximo volumen de embalse, asesoramiento en la zona del embalse para identificar las medidas necesarias para reducir las emisiones futuras de gases de efecto invernadero y la determinación del caudal ecológico, entre otros.

En el proyecto de la planta hidroeléctrica Nam Theum 2, se han llevado a cabo numerosos estudios en el área medioambiental y social que se resumen en el artículo (R 25). Además de los ya expuestos en el apartado de medidas correctoras, se destaca la creación de un laboratorio permanente para la auscultación de la calidad de las aguas.

En el artículo (R 33) se introduce una metodología para optimizar el sistema de mantenimiento de la central hidroeléctrica de Saguling, en Indonesia. Esta metodología se basa en seis pilares principales, de manera que cada actividad se ve emplazada en uno de esos seis pilares para así envolver todas las labores de mantenimiento priorizando la prevención y la detección temprana y retroalimentando el sistema con los resultados de las labores ya efectuadas.

Por último, Dirección de Gestión del Agua del Ministerio de Tierra, Infraestructuras, Transporte y Turismo de Japón presentan un artículo (R 35) en el que destacan las numerosas aportaciones beneficiosas de las presas tras el devastador terremoto que asoló el Este de Japón en 2011: desde la generación extra de electricidad para complementar la no generada por las plantas nucleares, en revisión desde el terremoto, hasta el abastecimiento en zonas afectadas, o la limpieza y recuperación de las zonas afectadas aguas abajo de las presas a través de sueltas controladas de caudales. A través de este artículo pue-

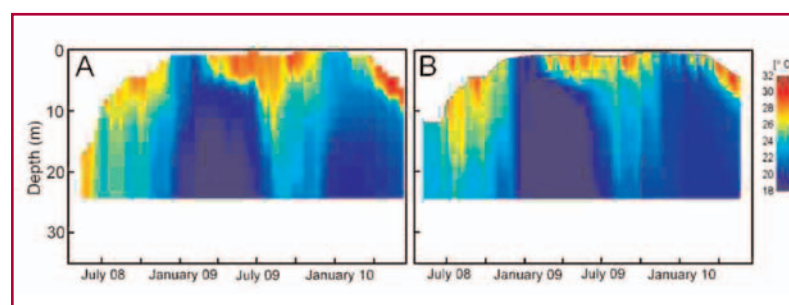


Fig. 7. Comparación entre temperaturas del agua modelizadas (A) y reales (B) en la presa de Nam Theum 2.

de verse la utilidad de las presas bien gestionadas en periodos de emergencia

7. Estructura de las jornadas

La cuestión 92 se desarrolló durante la tarde del día 6 de junio en el Main Hall y la mañana del día 7 de junio en el Annex Hall.

Debido a que los artículos presentados no se ceñían exactamente a los temas propuestos por la organización, las presentaciones orales se dividieron en 4 partes distintas a los subtemas propuestos (ver Tabla 3).

8. Ponencias españolas

De un total de 40 artículos que se presentaron al amparo de los temas de la cuestión 92, sólo 2 fueron españoles, el (R 22) y el (R 23).

El Primero describe las actuaciones llevadas a cabo en el embalse de Don Melendo para su restauración ambiental. Este artículo, enmarcado en el subtema de medidas correctoras y compensatorias, fue expuesto en el Congreso en la mañana del 7 de junio.

El segundo relata la experiencia de la Confederación Hidrográfica del Ebro en la construcción de Diques de Cola como medida de compensación ambiental y social.

Tabla 3.

Subtema	Presentaciones Orales, nºQ
Proyectos sostenibles	13, 14, 21, 25,
Medidas Correctoras y Compensatorias	4, 15, 12, 22 , 40
Sedimentación	3, 15, 38, 17, 34
Calidad de las aguas	19, 5, 27, 36, 18

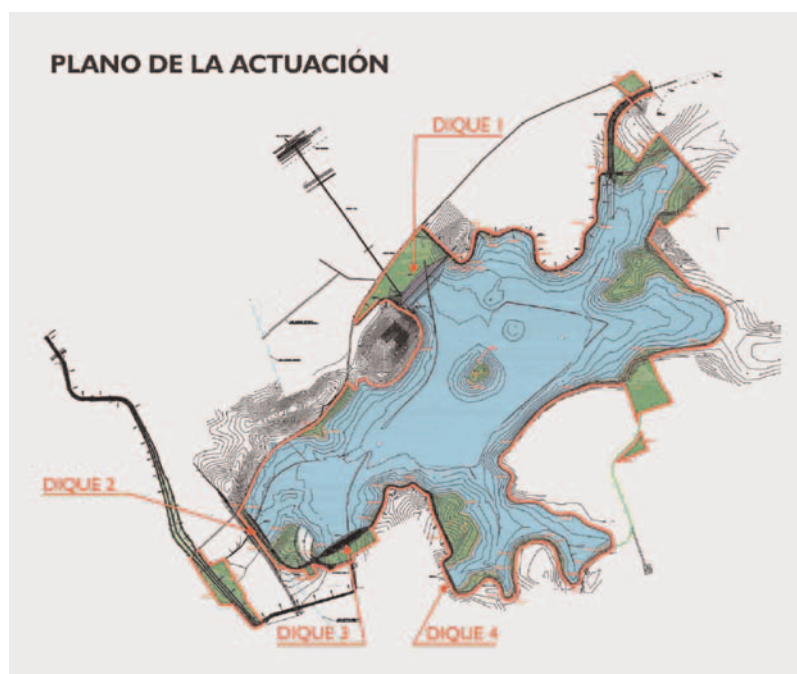


Fig. 8. Plano de la actuación en el embalse de Don Melendo.

A continuación se hace un resumen algo más extenso de ambos artículos:

8.1. Estrategias para la restauración ambiental del embalse de Don Melendo (Andalucía, España).

De embalse a humedal

Juan F. Saura, Director Técnico de la CH Guadalquivir;
José M. Marcos, Director de Obra.

Durante el siglo XX se ha tendido a la desecación de humedales, poniendo en peligro a las comunidades de aves acuáticas. La preservación de los humedales se ha convertido en una obligación para la supervivencia de este tipo de aves.

En las últimas décadas la ingeniería ha experimentado un cambio conceptual, dando una mayor importancia al medio ambiente. Un ejemplo es el embalse de Don Melendo, en el que con un conjunto de medidas correctoras y compensatorias se ha favorecido la creación de un ecosistema apto para el desarrollo de las aves acuáticas.

El embalse de Don Melendo se encuentra a menos de 15 km de Doñana y a 10 km de la Reserva Natural de las Lagunas de Lebrija-Las cabezas, por lo que la creación de una zona húmeda entre estas dos contribuye estratégicamente a la mejora de la diversificación de la comunidad ornitológica del área.



Fig. 9. Revegetación de áreas no inundadas. Embalse de Don Melendo.

La restauración del embalse surgió como recuperación de los valores naturales degradados por la antropización de los alrededores del embalse. Las medidas correctoras y compensatorias implantadas durante el proceso constructivo se diseñaron de acuerdo a tres directrices principales: revegetación con especies autóctonas, control de la erosión y rehabilitación y mejora de los hábitats faunísticos.

Como resultado, se ha creado un humedal artificial que se ha convertido de manera gradual en parte de la ruta de muchas aves migratorias a medida que los biotopos vegetales se desarrollan y ofrecen zonas de descanso y alimentación complementarias a los grandes humedales cercanos.

8.2. Diques de cola en presas de titularidad estatal. Confederación Hidrográfica del Ebro.

Raimundo Lafuente, Jefe del Área de Proyectos y Obras;
Fernando Esteban, Director de Yesa y Lechago. Irene Domingo, Directora de Itoiz y Rialb

En este artículo se hace una presentación de la necesidad de diques de cola en la Geografía de la cuenca del Ebro, en la que los grandes embalses de regulación se llevan en la mayoría de los casos hasta los pies de áreas habitadas.

Los diques de cola se plantean con dos fines principales: uno de ellos es mantener una lámina estable en



las proximidades de cascos urbanos evitándose la aparición de una franja árida y facilitándose su disfrute lúdico y deportivo y, el otro, generar una zona húmeda donde se fomente la formación de unos ecosistemas interesantes

Los diques de cola se plantean en ocasiones como parte de los Planes de Restitución Territorial que, dentro del marco de la Ley de Aguas, pretenden compensar los desequilibrios socio-económicos producidos por la creación de las grandes infraestructuras hidráulicas.

Seguidamente se detallan el caso de seis diques de cola distintos en la cuenca del Ebro, situados en las colas de cuatro embalses principales: Los diques de cola de la Presa de Itoiz, en Navarra, ambos para uso social, los de la presa de Yesa, en Navarra y Zaragoza, uno para uso social y otro con fines puramente medioambientales, el dique de cola de Lechago, en Teruel, de uso medioambiental, y por último, el dique de cola proyectado en la presa de Rialb, en Lérida, de usos mixtos sociales y medioambientales.

9. Conclusiones

En este artículo se han analizado y comentado las aportaciones tanto orales como escritas realizadas en el marco de la Cuestión Q92. "Técnicas respetuosas con el medio ambiente en presas y embalses", con motivo del XXIV Congreso Internacional de Grandes Presas celebrado el pasado mes de junio en Kyoto, Japón.

El tema del medio ambiente es un asunto que preocupa a la sociedad en la actualidad, y por ello la ingeniería de presas se ve afectada por esta preocupación



Fig. 10. Vista general del dique de cola de Oroz -Betelu en la presa de Itoiz.

de manera que el diseño, construcción, operación y mantenimiento de presas en el mundo tienen en cuenta cada vez más estos aspectos.

De los 173 artículos presentados en el Congreso, 40 han sido dirigidos a esta cuestión, aproximadamente una cuarta parte de la aportación total.

Pero, lamentablemente, esta cuestión también ha sido utilizada como "cajón desastre" para presentar ciertos artículos que no tenían cabida en ninguna de las cuestiones, y ha dado como resultado que algunos de los artículos que se presentaban en esta cuestión no tocaran el tema del medio ambiente.

Las aportaciones españolas, aun siendo sólo 2 de un total de 40 escritos, han podido dar una idea al resto de países participantes en el Congreso de las técnicas y medidas utilizadas en nuestro país para proteger y conservar el Medio Ambiente en la ingeniería de presas. ♦

Referencias:

- (1) Several Authors. "Question 92. Environmental friendly techniques for dams and reservoirs". Transactions XXIV International Congress on Large Dams, Kyoto. ICOLD, Paris 2012.
- (2) J HARADA . "General Report Q 92", pp. 641 to 681. Kyoto. ICOLD, Paris 2012.

Q92. Environmental friendly techniques for dams and reservoirs

This paper analyzes and summarizes the contributions submitted to "Question 92. Environmental friendly techniques for dams and reservoirs", which took place during the XXIV International Congress on Large Dams, held last June in Kyoto, Japan.

A total of forty reports submitted for Q.92 form the enterprising contributor, relating experiences drawn from all over the world (Europe-19, Asia 15, Africa-3, America-2 and Australia-1). 20 of these were presented in the congress. 2 of these papers were Spanish, R22 and R 23.

In Czech Republic, (R 1) have studied different flood protection measures to obtain an efficient water regime due to severe floods occurred in 1997. The main objective of paper (R 2) is to evaluate the environmental assessment made for the construction of Tamalout dam in Morocco, considering the negative and positive impacts in the environment and the local economy. In Australia (R 3) some measures have been taken to rehabilitate the catchment denudation and alleviate the sediment load inflow in lake Argyle. (R 4) presents measures that were executed in Canada in order to reduce the environmental impacts of water decreased river by the interbasin diversion of hydropower projects. To investigate the thermal stratification and eutrophication phenomenon in Iran (R 5), the HEC-5Q model was applied to establish a water quality model. Poland presents an article (R 6) in which shows the environmental friendly techniques used to reduce sedimentation and improve water quality in 7 different dams.

(R 7) describes a tidal power plant plan at the Barents Sea shore of Russia. (R 8) studies a way to manage the changes in the water level in some dams in Russia in order to minimize the harmful effects on the environment. (R 9) from Bulgaria, talks about dam security. (R 10) describes a solution for the silting in of small reservoirs in Romania by installing a longitudinal separator dyke to make a two-channel storage in the reservoir. (R 11), from Switzerland, describes the optimization of the operation of the hydropower schemes based on a flood forecast in Saane river. (R 12) relates the undesirable effects of plants (aerial and terrestrial parts) on earthfill dams. Three case studies in Slovenia (R 13) are described to present the results of the project with the application of certification (Certification for Hydro: Improving Clean Energy (CH2OICE)) methodology for HPP's. A sustainable development action plan for the Niger River basin has been developed by The Niger Basin Authority (NBA) (R 14), and, as a consequence, Environmental Impact Assessment has been implemented in the Fomi river dam. (R 15) The first dam in South Africa to fully incorporate a multi-level outlet that permits releasing both low and high environmental flows and reproduce natural flows is shown in this article. (R 16) this article describes a bypass tunnel for sediments in Switzerland. (R 17), from Switzerland presents a system to maximize the sediment discharge by flushing, using a turbulence made by an air jet. The PROLIPHYC system was developed in France (R 18) in order to monitor the proliferation of phytoplankton in fresh water bodies and slow-flowing rivers, to develop a real-time monitoring and warning system for managing risks. Manduriacu dam (R 19), downstream Quito, Ecuador, is

expected to have a very high eutrophication rate, and this paper proposes different methods to lower this and the silting phenomena. (R 20) CACG shows in this paper the results of several studies taken to relate the construction of dams and the change of fish communities and species in the reservoir areas. Andrew Wilson (R 21) describes in his article the environmental and social issues taken in account in the design of the Kabompo Dam in Zambia. Don Melendo reservoir (R 22), in Spain, has recreated an artificial wetland to stimulate the establishment of migratory bird species close to the Doñana wetland. They also have planted endemic species in order to revegetate the area. (R 23) Spain reports about the Ebro River Basin Authority experience on environmental dams, which are dams located at the head of impoundment reservoirs to keep a stable water table for environmental and social uses. (R 24) presents the dredging and relocation measure to deal with reservoir silting. In the project of the Nan Theum HPP (R 25) there have been developed several studies in the environmental and social field that are abstracted in this paper. (R 26) describe the modified operation to recover the water level of a reservoir in USA which was restricted below from the planned one because of the occurrence of landslides. (R 27) explains a method to avoid plant growing based on air circulation. Xu Zeping (R 28) presents in his paper the key technologies of modern high rockfill dams in China. (R 29) describes the construction technology of a 261 m dam in China which uses artificially mixed gravel soil as an impervious earthfill material. University of Tsinghua, in China (R 30) presents a paper about RFC (Rock Filled Concrete) dams. (R 31), China, studies the influence of sediment concentration in yellow river carp behavior. (R 32), from China, explains the techniques used in Xialongandi dam to remove the sediment. (R 33) introduces a new technology to optimize the maintaining program in a HPP in Indonesia. (R 34) Japan is studying new ways of sediment managing. (R 35) highlights the many beneficial contributions of dams following the devastating earthquake that struck eastern Japan on 2011. (R 36) y (R 37) directly relate the presence of the trees that are not deforested before the first filling of a reservoir in the flooded area and eutrophication. (R 38) describes a bypass tunnel for sediments in Japan. (R 39) explains a new type of dam, (Cemented Sand and Gravel) CSG dam, developed in Japan. And last paper, (R 40) talks about the Shinanogawa Power Station, in Japan, where they have used a re-regulation dam to rationalize the water flow and guarantee the ecological flow in the river. They also have designed a new the fish scale in order to make it more effective to the target species. ♦

