

Q96. Innovación en el uso de presas y embalses



F. Javier Baztán Moreno

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Vocal titular del Comité Nacional Español de Grandes Presas

Resumen

En este artículo se presenta un resumen del desarrollo de la cuestión Q.96 del XXV Congreso Internacional de Grandes Presas de Stavanger sobre 'Innovación en el uso de presas y embalses', analizando el informe del ponente general y las comunicaciones seleccionadas para su presentación oral, dedicando una especial atención a las comunicaciones presentadas por los ingenieros españoles.

Palabras clave

Innovación, cambio climático, almacenamiento de energía, centrales hidroeléctricas reversibles, presas multipropósito, gestión de recursos, biodiversidad

Abstract

This article presents a summarize of Q.96 from the XXV International Congress on Large Dams in Stavanger about "Innovation in the use of dams and reservoirs", analyzing the general reporter speech and the papers selected for oral presentation, placing particular emphasis on those presented by Spanish engineers.

Keywords

Innovation, climate change, energy storage, pumped storage power plants, multipurpose reservoirs, resources management, biodiversity

1. Introducción

El tema elegido para la Q.96 del XXV Congreso de ICOLD 'Innovación en el uso de presas y embalses', que tuvo lugar en Stavanger (Noruega), está motivado por el hecho de que el mundo está cambiando a una velocidad considerable y es, por lo tanto, cada vez más importante la adaptación de nuestro sector a estos cambios.

Esta evolución está motivada, por una parte, por el auge de la energía hidroeléctrica en el mundo, consecuencia de una creciente demanda de energía. La energía hidráulica se complementa, a su vez, con la aparición de plantas de producción de energía eléctrica intermitente (eólica y solar), lo que hace necesario poder almacenarla para asegurar la estabilidad en la red, cobrando protagonismo para ello las centrales hidráulicas reversibles, que permiten el almacenamiento de energía.

A este cambio se le suma igualmente el creciente consumo de agua para regadío por el crecimiento de la población que, unido al cambio climático, hace necesaria la construcción de estructuras que almacenen agua para épocas

de sequía y protejan de las inundaciones en épocas de avenidas. La ecología es cada vez más limitante en estos proyectos.

Estos cambios han motivado la aparición de embalses multifunción, compaginando la generación de energía eléctrica con la regulación del agua para riego, protección frente a avenidas y reserva de agua para épocas de sequía.

2. Temarios de la cuestión Q96 e informes presentados

Los temas seleccionados por ICOLD para la Q.96 fueron:

- Tema 1: 'Innovación en la función de las presas y embalses (almacenamiento de energía, presas en el mar)'.
- Tema 2: 'Presas multipropósito y embalses para abordar el cambio climático y la gestión requerida de los recursos hidráulicos (planificación, diseño y operación)'.
- Tema 3: 'Presas de hormigón y presas de materiales sueltos pequeñas (necesidades en el diseño y especificaciones, construcción e instrumentación, nuevas soluciones)'.

- Tema 4: ‘Necesidad de mejoras técnicas y evolución de la profesión de ingeniería de presas para garantizar continuidad en el conocimiento y experiencia’.

Se recibieron 41 ponencias de 17 países (ver tabla 1), destacando la contribución europea (50 %) y la asiática (30 %). La distribución de las contribuciones en los distintos subtemas de la Q.96 fue la siguiente:

- 6 ponencias sobre centrales hidroeléctricas con almacenamiento mediante bombeo.
- 4 ponencias sobre embalses multipropósito.
- 4 ponencias sobre control de inundaciones.
- 4 ponencias sobre cambios en necesidades y cambio climático.
- 4 ponencias relativas a biodiversidad y medio ambiente.
- 4 ponencias sobre presas pequeñas.
- 3 ponencias con cuestiones de gestión técnica.
- 3 ponencias sobre presas y riesgos.
- 6 ponencias que abarcan otros temas.

País	Contribuciones
Australia	2
Burkina Faso	1
China	3
Eslovaquia	1
España	5
Francia	7
Irán	1
Italia	2
Japón	5
Noruega	2
República Checa	1
Rumanía	2
Rusia	4
Sudáfrica	1
Reino Unido	1
EE. UU.	3

Tabla 1. Contribuciones entregadas por países para la Q.96 del XXV Congreso de ICOLD

La sesión se abrió con una exposición general del papel que tienen la innovación y la creación de nuevo conocimiento en la ingeniería de presas. La exposición fue realizada por el Chairman de la Q96, Ignacio Escuder Bueno (fig. 1), al que acompañaron Eric Halpin, del USACE, y Luciano Canale, del Banco Mundial, que dieron una visión de cómo la gobernanza requiere de innovación y es a su vez generadora de progresos significativos en campos tan importantes como la gestión de riesgos.



Fig. 1. Ignacio Escuder Bueno, chairman de la cuestión Q96

La sesión continuó con la presentación de un informe general por parte del ponente general Luc Deroo, al que siguieron la presentación oral de 22 ponencias seleccionadas, agrupadas en torno a los cuatro ejes temáticos ya comentados:

- Tema 1. ‘Innovación en la función de las presas y embalses (almacenamiento de energía, presas en el mar,...)’: 6 presentaciones (ver tabla 2).
- Tema 2. ‘Presas multipropósito y embalses para abordar el cambio climático y la gestión requerida de los recursos hidráulicos (planificación, diseño y operación)’: 9 presentaciones (ver tabla 3).
- Tema 3. ‘Presas de hormigón y presas de materiales sueltos pequeñas (necesidades en el diseño y especificaciones, construcción e instrumentación, nuevas soluciones)’: 5 presentaciones (ver tabla 4).
- Tema 4. ‘Necesidad de mejoras técnicas y evolución de la profesión de ingeniería de presas para garantizar continuidad en el conocimiento y experiencia’: 2 presentaciones (ver tabla 5).

Autores	Título
M. Hughes	'Swansea Bay Tidal Lagoon'
H. Janssen	'Delta works in Netherland'
Mr. Han il Kim	'Sihwa tidal plant'
F. Lemperiere	'New tidal energy solutions'
G. Ruggieri	'Benefits from hydropower dams and pump storage powerplants'
Javier Baztán, A. Martin, N. Rodríguez	'Pumped storage projects between existing reservoirs in Spain by Gas Natural Fenosa'

Tabla 2

Autores	Título
Satoru Ueda	'World Bank strategy for capacity development and climate change for hydropower and dams development'
E. Branche	'Sharing the water uses of multipurpose hydropower reservoirs: the SHARE concept'
Mr. Khaziakhmetov	'Flood control HPPs in the Amur River basin'
Mikio Nonaka	'Flood control for typhoon 18 at the yodo river system in 2013'
Mark Locke	'Dams to Deliver Environmental Flows'
Lars eid Nielsen	'Rossvatn and Falforsen Basins'
JP Chabal	'Dams and the Environment: update from ICOLD Technical Committee'
Martin J. Teal	'Preserving Regulated Rivers Through Strategic Dam Operations'
Tor Haakon Bakken	'The effects of change in climate and irrigation practice on the hydropower resources in Kizilirmak river (Basin, Turkey)'

Tabla 3

Autores	Título
Mr. Masakazu Matsuura & Mr Ueno	'Technological development of small-low earthfill dams in Japan'
Mr Founeme Millogo	'Small dams in Burkina Faso'
D. Puiatti	'Lime for innovative small dams'
H. Blohm	'The need for small dams - current trends USA'
Paul Royet	'"RISBA" Project: Safety of innovative low dams in the Alps'

Tabla 4

Autores	Título
E. Halpin e Ignacio Escuder Bueno	'Role of knowledge on dam safety governance'
E. Cifres	'Dams and River Basin Management: update from ICOLD Technical Committee'

Tabla 5

3. Resumen de las contribuciones españolas

Las contribuciones españolas a la Q96 fueron las siguientes:

- Ponencia presentada por el *chairman* de la cuestión Q96, Ignacio Escuder Bueno, profesor de la Universidad Politécnica de Valencia:

- 'Gobernanza inteligente de programas de infraestructuras: hacer frente a la nueva generación de desafíos con éxito'.

- Ponencias españolas presentadas a la Q96 y que fueron seleccionadas para su exposición oral:

- 'Gestión de Presas y Cuencas hidrográficas: novedades del Comité Técnico de ICOLD'. Enrique Cifres.

- 'Proyectos de centrales hidroeléctricas reversibles entre embalses existentes en España de Gas Natural Fenosa'. Javier Baztán, Nuria Rodríguez y Ana Martín de Gas Natural Fenosa IDG.

-Ponencias españolas presentadas a la Q96 sin presentación oral:

- ‘Los proyectos hidráulicos multipropósito de Nandi Forest y Ewaso Ng’iro en Kenia’. José R. González Pachón, Juan Ojeda Couchoud y Jaime Ruiz.

- ‘Necesidad de formar profesionales en seguridad de presas: lecciones aprendidas del fallo de la presa de Aznalcóllar’. J. Polimón, vicepresidente de ICOLD y presidente de SPANCOLD.

Se resumen a continuación las ponencias:

3.1. Gobernanza inteligente de programas de infraestructuras: hacer frente a la nueva generación de desafíos con éxito
La ponencia fue presentada por Ignacio Escuder Bueno, profesor de la Universidad Politécnica de Valencia así como presidente de iPresas, y Eric Halpin, del USACE, e incluida dentro del tema 4 –‘Necesidad de mejoras técnicas y evolución de la profesión de ingeniería de presas para garantizar continuidad en el conocimiento y experiencia’–.

La gobernanza inteligente se puede definir como el conjunto de principios, factores y capacidades que constituyen una forma de gobernar capaz de hacer frente al estado y exigencias de la sociedad.

La ponencia relato como por una parte, el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos (USACE), que posee y explota 700 grandes presas y 2.500 sistemas de diques (fig. 2), y Estados Unidos ha implantado técnicas para evaluar los riesgos debidos a numerosos sucesos como inundaciones, desbordamientos, fallos de presas, etc. El USACE tiene su propia regulación, capaz de desarrollar sus propias políticas y procedimientos en materia de seguridad. Para ello, establecen grupos organizados con objetivos diferentes (evaluar los riesgos, desarrollar modelos), establecen procedimientos para caracterizar los riesgos e implantar normas (estándares y criterios técnicos, guías y programas de políticas).

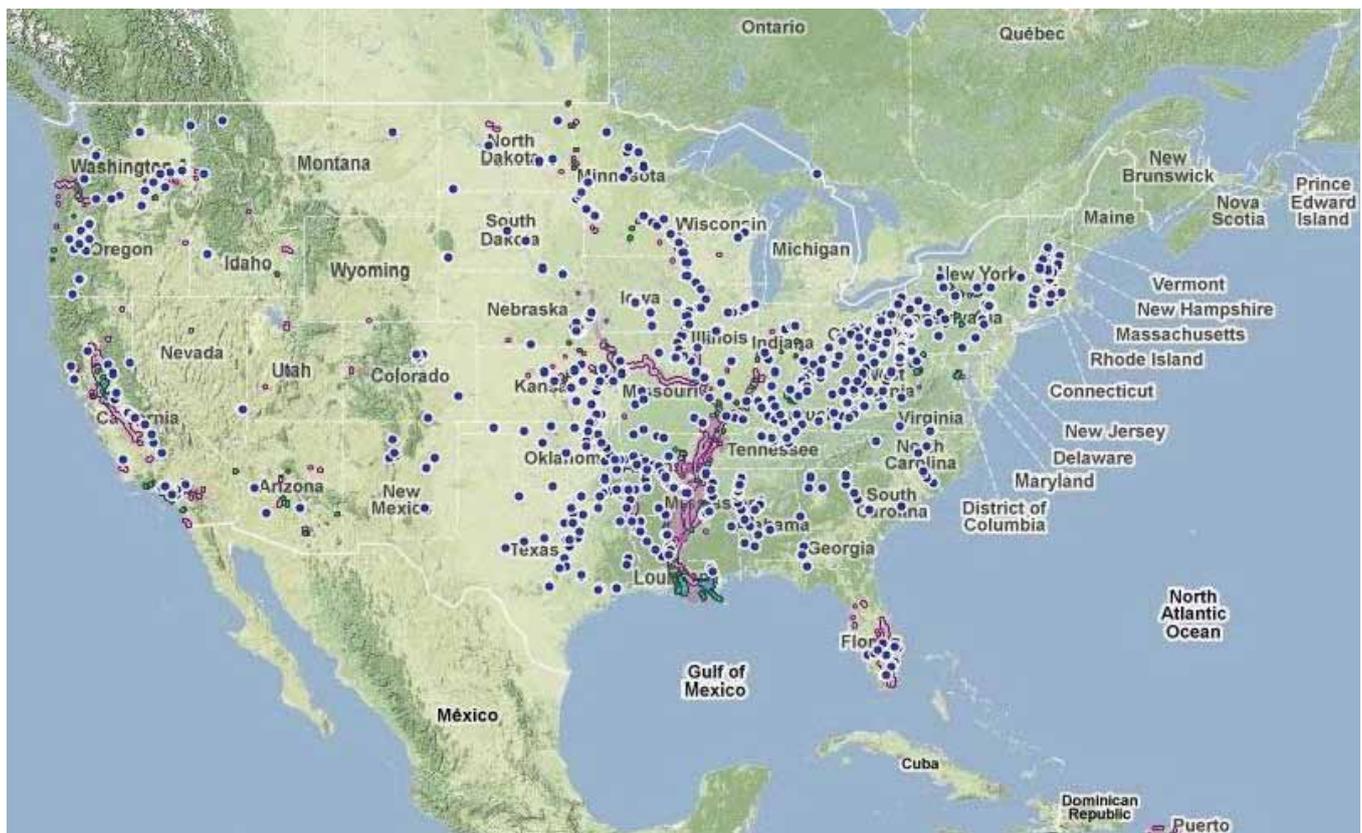


Fig. 2. Presas y diques del USACE en Estados Unidos

En la ponencia se trató igualmente el caso de España. En nuestro país, los periodos de sequía y lluvias explican la necesidad de las 1.200 presas que están construidas, siendo el país europeo con más número de grandes presas y el cuarto del mundo. Un tercio de las grandes presas españolas son propiedad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Magrama). España pertenece a la Unión Europea, por lo que la legislación europea nos afecta en la gestión de presas.

En cualquier caso, el marco legal que define los criterios generales en cuestiones de seguridad de presas en España es responsabilidad del Magrama, a través de la Secretaría del Estado de Medio Ambiente y la Dirección General del Agua. El desarrollo de este marco legal comenzó en 1967 con la 'Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas'.

En España, tanto la Universidad Politécnica de Valencia como el Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD) han tenido mucho que ver en el desarrollo de la gestión de riesgos en materia de seguridad de presas. El proyecto piloto de Magrama 2008-2013 consistió en el desarrollo y la comprobación de las normas de seguridad de presas y la gestión de riesgos y evaluación cuantitativa de estos por la Confederación Hidrográfica del Duero. Este proyecto propuso algunas contribuciones a la 'Guía Técnica de Explotación de Presas y Embalses: Análisis de Riesgos Aplicado a la gestión de Seguridad de Presas y Embalses'.

Los casos de Estados Unidos y España tienen algunas similitudes y diferencias:

- La principal diferencia es la escala (EE. UU. como único país comparado con el conjunto de países de la Unión Europea) y los diferentes sistemas legales.
- Desde la primera mitad del siglo XX, EE. UU. y España han sido países pioneros en el concepto de la gestión integrada del agua, con la creación de la Confederación Hidrográfica del Ebro en 1920 y las Autoridades del Río Mississippi y Afluentes en 1930. En la segunda mitad del siglo pasado, ambos países comenzaron procesos paralelos en modernización del concepto de seguridad y normativa.
- En las últimas décadas, tanto EE. UU. como España, se han enfrentado a catástrofes con pérdidas de vida humana. España ha realizado sus propios avances a partir de las pautas

americanas en cuestión de seguridad de presas y más tarde en gestión de riesgos.

- Las experiencias españolas han mostrado cómo tomar decisiones, dando un nuevo punto de vista, nuevas técnicas y métodos innovadores para tomar decisiones.
- El USACE es una fuente de inspiración a gran escala hoy en día, tanto en EE. UU. como globalmente.

Gracias a estos avances en gestión de riesgos, actualmente han crecido las inversiones que conllevan grandes riesgos y se toman mejores decisiones estudiando alternativas, aumentando la eficiencia y la eficacia. Sin embargo, aun hay muchas organizaciones que no han desarrollado tanto la gestión de riesgos y quedan muchos retos que abordar en este aspecto.

3.2. Gestión de presas y cuencas hidrográficas: novedades del Comité Técnico de ICOLD

La presentación invitada por la mesa de la Q96 corrió a cargo de Enrique Cifres (fig. 3), chairman del Comité Técnico Internacional de Presas y Gestión Integrada de Cuencas, pudiendo englobarse la ponencia en el tema 4 –'Necesidad de mejoras técnicas y evolución de la profesión de ingeniería de presas para garantizar la continuidad en el conocimiento y experiencia'–.



Fig. 3. Presentación de Enrique Cifres (*chairman* del Comité Técnico Internacional de Presas y Gestión Integrada de Cuencas)

Comenzó el ponente exponiendo cómo en el siglo XXI se parte desde una posición muy extendida en la sociedad de que las presas son una agresión al medio ambiente y al medio social. La ponencia versó sobre la tendencia actual en el enfoque del problema a nivel mundial y en especial en los países emergentes y en vía de desarrollo, donde se ha producido una cierta recuperación en la financiación de proyectos de presas. El marco financiero y social condiciona de forma especial estos proyectos, muchas veces claves para el desarrollo.

Los principales retos son la seguridad alimentaria, el abastecimiento de las megaurbes en que se va concentrando la población, la influencia de las infraestructuras hidráulicas en la salud y en la propagación de enfermedades hídricas, la armonización de la oferta conjunta con energía renovables no reguladas y los nuevos condicionantes debido al cambio climático, en especial haciendo hincapié en los fenómenos extremos como sequías e inundaciones donde el rol de las presas será creciente.

Este Comité Internacional de Presas y Gestión Integrada de Cuencas desarrolla una nueva metodología para la evaluación de la sostenibilidad social de proyectos de presas, aplicable a nivel de cuenca, a fin de afrontar el reto de los conflictos de cuencas transfronterizas, los mecanismos *win-win*, la función multiuso de embalses y las sinergias financieras derivadas de ello.

3.3. Proyectos de centrales hidroeléctricas reversibles entre embalses existentes en España de Gas Natural Fenosa

La ponencia fue presentada por Javier Baztán, Nuria Rodríguez y Ana Martín, de Gas Natural Fenosa IDG, e incluida dentro del tema 1 –‘Innovación en la función de las presas y embalses’-. La presentación oral en el congreso corrió a cargo de Ana Martín (fig. 4).



Fig. 4. Presentación por parte de Ana Martín (Gas Natural Fenosa)

Comenzó la ponencia haciendo mención a cómo España hace frente al desafío de integrar la creciente producción de energías renovables no gestionable, principalmente eólica y solar. Esta integración necesita de sistemas de almacenamiento de energía. Gas Natural Fenosa (GNF) busca alternativas para almacenar energía, desarrollando proyectos de almacenamiento mediante bombeo con embalses existentes. Estos proyectos de centrales hidroeléctricas reversibles (CHR) tienen como objetivo utilizar la energía solar y eólica (intermitente) que no puede entrar en red, para bombear agua de un embalse a otro, y poder turbinar y generar energía cuando sea necesario.

GNF tiene en la actualidad tres nuevos proyectos de CHR en fases diferentes de desarrollo por el área de Ingeniería de Gas Natural.

Los 3 proyectos tienen en común el uso de presas y embalses existentes, lo que permite optimizar los costes y disminuye su impacto medioambiental y social. La elección de estos embalses se basó en conseguir proyectos con coeficientes L/H más interesantes y que a su vez fueran viables económicamente. Otra ventaja es la existencia de líneas de transmisión y accesos a la zona de obra, así como de canteras actualmente en desuso que podrán utilizarse como vertederos en el periodo de obra.

Un factor importante a tener en cuenta fue la ubicación de las nuevas tomas, encontrando el óptimo entre la profundidad mínima definida por la submergencia y la regulación del volumen necesario para el ciclo turbinación-bombeo, y las consideraciones constructivas, especialmente los accesos y la bajada del nivel del embalse durante la construcción.

En resumen, las presas existentes pueden ser una buena elección para implantar centrales hidroeléctricas reversibles para conciliar los criterios de sostenibilidad para una red estable y fiable.

Se realiza a continuación una breve descripción de las tres centrales reversible de Gas natural presentadas en la ponencia.

CHR Belesar III

Este proyecto utilizará el embalse de Belesar (654 hm³), con una altura de presa de 132 m, la más alta de España en su día, y un contraembalse, Peares, con 182 hm³ y una presa de 118 m de altura. Ambas pertenecen a GNF y están localizadas en el río Miño, en Lugo. La central tendrá instaladas 2 turbinas Francis reversibles, sumando una potencia de 215 MW, con un caudal máximo de turbinación de 180 m³/s, y 169 m³/s de bombeo.

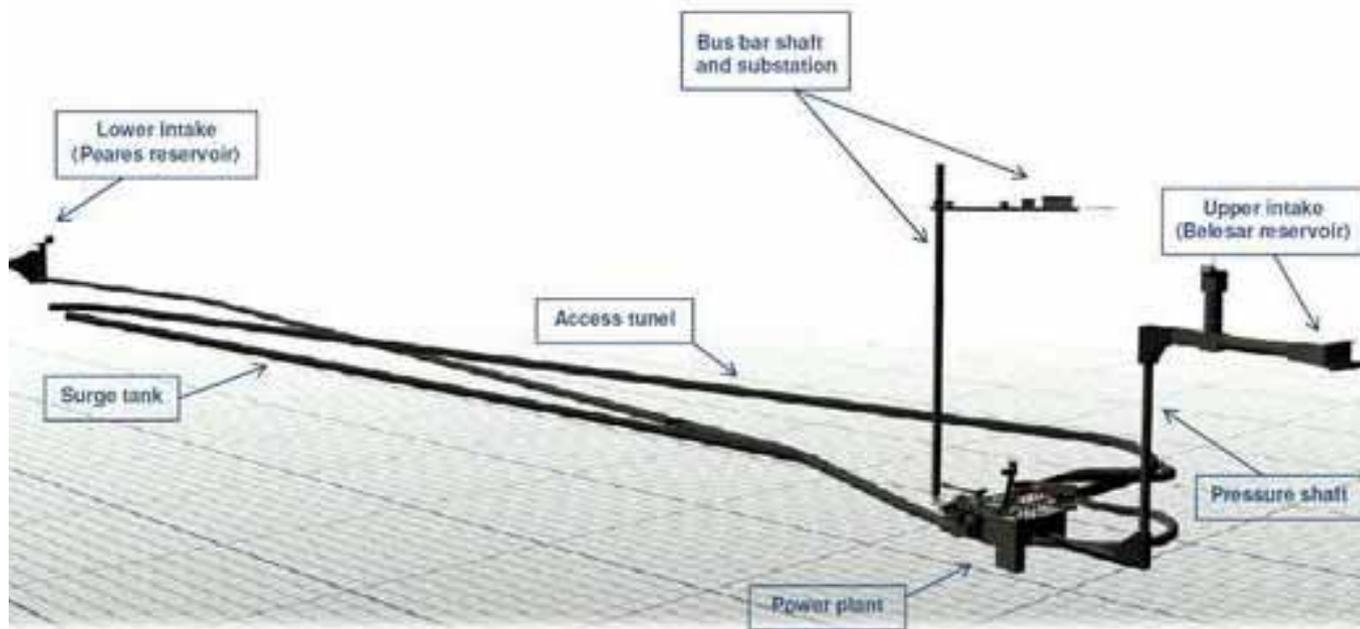


Fig. 5. Esquema de la CHR Belesar III

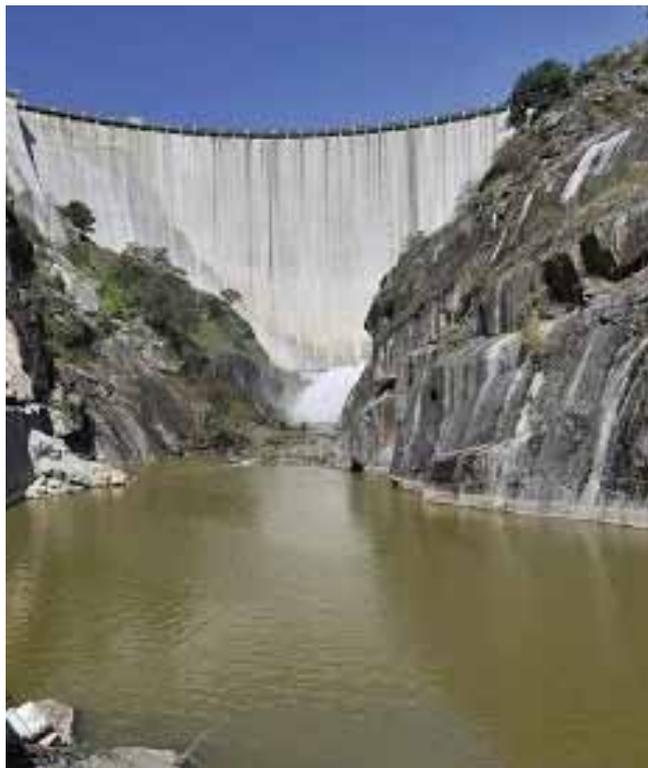


Fig. 6. Presa de Belesar

Como se observa en el esquema (fig.5), el proyecto consiste en una toma superior en el embalse de Belesar (fig.6), túnel de toma, pozo de carga (de 115 m), túnel de presión, casa de máquinas en caverna y bifurcadores de entrada y salida, túnel de descarga, toma inferior en el embalse de Peares (fig.7), chimenea de equilibrio y túneles de acceso.

La distancia entre embalses es de unos 3 km con un salto bruto de 137 m.



Fig. 7. Presa de Peares

Para llevar a cabo la construcción de las tomas será necesario bajar el nivel de ambos embalses hasta una cota que permita ejecutar accesos hasta la zona de obra y trabajar en estas de forma segura. Este proyecto aprovechará la existencia de la línea de transmisión y subestación existente de Belesar, así como algunos accesos, y las antiguas canteras se utilizarán como puntos de vertido para los materiales sobrantes de la excavación. De esta forma, se consiguen proyectos con menor impacto medioambiental.

CHR Salas-Conchas

El embalse de Salas (fig. 8) tiene una capacidad de 75,6 hm³ y una presa de 50 m de altura, mientras que el contraembalse, Las Conchas (fig. 9), tiene una capacidad de 69 hm³ y una presa con 46 m de altura. Ambas pertenecen a GNF y se sitúan en la frontera con Portugal, en los ríos Salas y Limia. La central estará equipada con 2 turbinas Francis reversibles (2x185,5 MW), con un caudal máximo de turbinación

y bombeo de 150 m³/s y 123,7 m³/s respectivamente. Las estructuras principales tienen una configuración similar a la de BIII, en este caso con una distancia entre embalses de 6 km y un salto bruto de 285 m (fig. 10).

CHR Edrada

El embalse de Edrada tiene una capacidad de 10,5 hm³ con una presa de 37 m de altura, mientras que el embalse de San Esteban tiene un volumen de operación de 213 hm³ y una presa de gravedad de 115 m de altura. Ambos están en Orense, localizados en los ríos Edrada y Sil respectivamente. La central tendrá 3 grupos reversibles de 255,7 MW cada uno, con un caudal máximo de turbinación de 150 m³/s y 115 m³/s para bombeo.

El proyecto consta de estructura similar a Belesar III y Salas-Conchas, en este caso con una distancia entre embalses de 5 km y un salto bruto de 585 m (fig. 11).



Fig. 8. Presa de Salas



Fig. 9. Presa Las Conchas

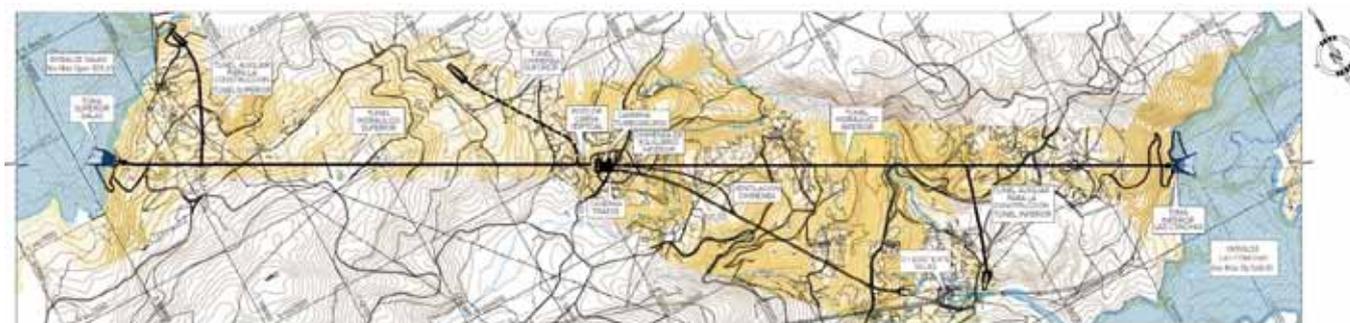


Fig. 10. Esquema de la CHR Salas-Conchas

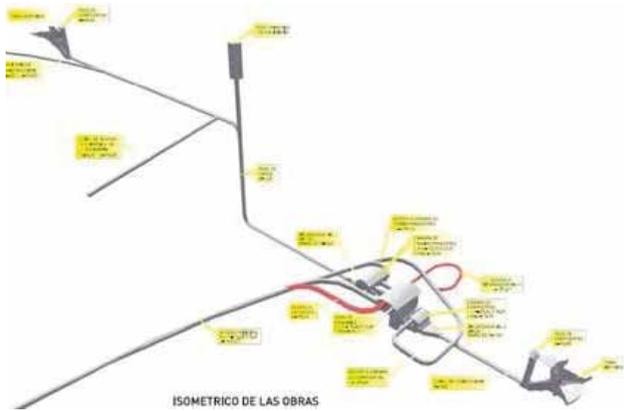


Fig. 11. Esquema de la CHR Edrada

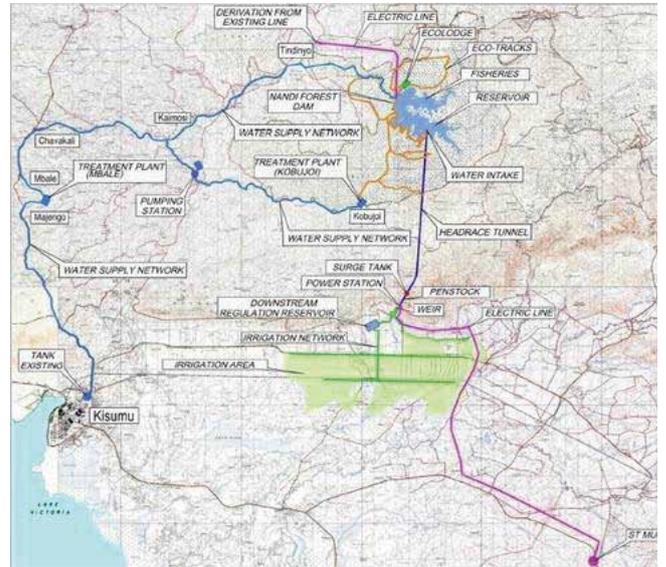


Fig. 12. Proyecto Nandi Forest

3.4. Los proyectos hidráulicos multipropósito de Nandi Forest y Ewaso Ng'iro en Kenia

La ponencia fue escrita por José R. González Pachón, Juan Ojeda Couchoud y Jaime Ruiz Casanueva, de la empresa Typsa, e incluida dentro del tema 2 –‘Embalses multipropósito’. Se realiza a continuación un resumen de la presentación recogiendo los aspectos más importantes destacados por los autores:

El Gobierno de Kenia está impulsando proyectos de desarrollo integrado para aumentar el crecimiento y sostenibilidad del país. En este programa se encuentran 6 proyectos de presas multipropósito en desarrollo, la mayoría con generación de energía como principal objetivo.

Desde enero de 2010 hasta diciembre de 2013, la empresa consultora española Typsa en colaboración con AMA, empresa keniana, llevaron a cabo los Estudios de Factibilidad, Estudios de Impacto Ambiental y Proyectos Constructivos de los proyectos de Nandi Forest y Ewaso Ng'iro South, ambas presas multipropósito.

a) Proyecto Nandi Forest, localizado en la cuenca del río Yala (fig. 12): presa de hormigón compactado con rodillo de 69 m de altura, con 230 hm³ de embalse y un túnel de desvío de 14 km que lleva a la central hidroeléctrica en Nyando de 50MW de potencia, generando un salto de 550 m y un embalse de 5,5 hm³ aguas abajo. El caudal, una vez

turbinado, se utilizará para la zona regable de Kano Plain, de 7.250 ha, adaptando el caudal turbinado a la demanda de agua para riego. Además, el proyecto incluye el abastecimiento de agua a 600.000 habitantes, pesca interior, desarrollo de turismo en la zona, 14 km de carreteras y 10 km de línea eléctrica.

b) Proyecto Ewaso Ng'iro South, en la zona baja de la cuenca del río Ewaso Ng'iro (fig. 13), consiste en un aprovechamiento hidroeléctrico en cascada con una potencia total instalada de 180 MW, incluyendo un trasvase del río Amala: presa de materiales sueltos con núcleo de arcilla de 150 m de altura y 50 MW; presa arco de 54 m de altura y central en derivación de 56 MW con un túnel de desvío de 7 km; y una presa de gravedad de hormigón de 34 m de altura y central en derivación de 99 MW y túnel de desvío de 4,4 km. Otro usos adicionales son: embalse de regulación secundaria de 0,75 hm³, regadío de 4.400 ha, abastecimiento de agua a 3 poblaciones, pesca interior, desarrollo de turismo, más de 175 km de carreteras y accesos y sobre 160 km de nuevas líneas de transmisión.

Estos dos grandes proyectos tienen un gran componente social y medioambiental debido a los impactos que este tipo de trabajos tienen en la zona de implantación. En este caso se tuvo en cuenta el efecto de la deforestación, incluyendo en el proyecto la reforestación de la zona afectada, y los caudales ecológicos necesarios.

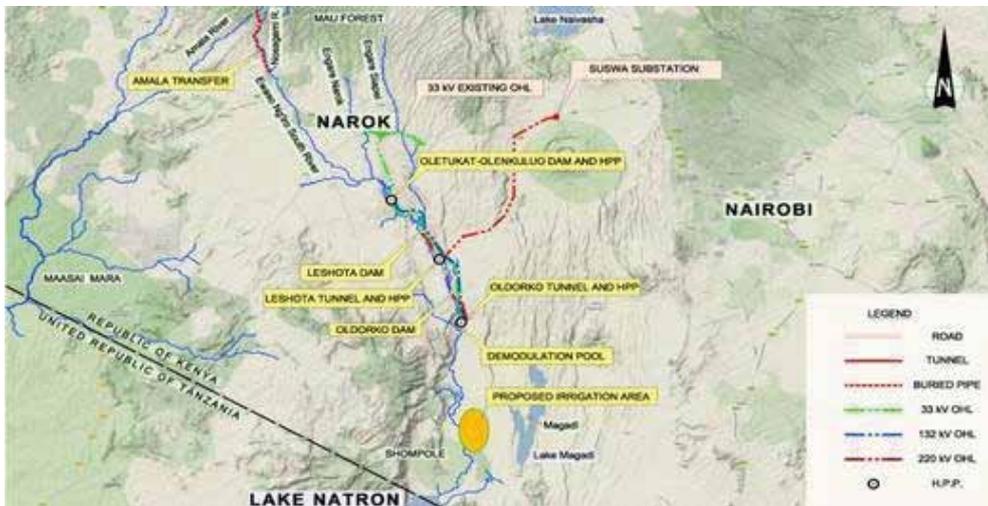


Fig. 13. Proyecto Ewaso Ng'iro South

3.5. Necesidad de formar profesionales en seguridad de presas: lecciones aprendidas del fallo de la presa de Aznalcóllar
 La ponencia fue escrita por J. Polimón, vicepresidente de ICOLD y presidente de SPANCOLD y está englobada en el tema 4 –‘Necesidad de mejoras técnicas y evolución de

la profesión de ingeniería de presas para garantizar continuidad en el conocimiento y experiencia’. El autor destaca la importancia de formar profesionales transmitiéndoles lecciones aprendidas. Por este motivo, se explicó a continuación el caso del fallo de la presa de Aznalcóllar y las lecciones aprendidas del mismo.



El proyecto consistía en una balsa de contención de residuos. La zona en la que la presa fue completamente destruida es en su zona más alta, de 27,19 m. Como se observa en la sección transversal (fig. 14) se colocó una pantalla en los aluviones para evitar la filtración, y un filtro que no llegaba hasta la coronación, ¿por falta de material de filtro?

Tras el fallo, desapareció una longitud de 45 m de presa y la zona adyacente, la balsa pequeña, sufrió deslizamientos. El fallo ha sido analizado por diferentes expertos, llegando a una secuencia basada en los siguientes hechos:

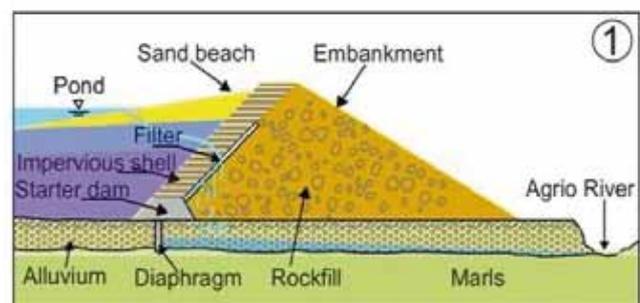


Fig. 14. Planta y sección transversal de la presa de Aznalcóllar

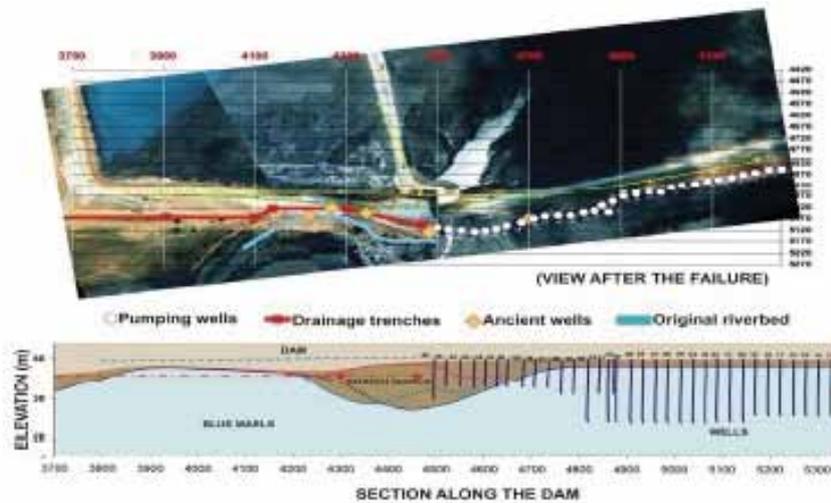


Fig. 15. Sistema de drenaje presa de Aznalcóllar

- Grandes filtraciones en el pie de la presa desde noviembre de 1994.
- Inyección de lechada en la zona de unión en 1995.
- Perforaciones en el pie de presa para frenar las filtraciones: 11 en 1995 y 46 en 1997.
- Fugas de agua de 1.000 m³/h en febrero de 1998.

La siguiente imagen (fig. 15) muestra el sistema de drenaje puesto en operación en 1996-1997 formado por zanjas de drenaje al sur y pozos de bombeo en la zona norte. Otra pregunta es: ¿por qué se perforaron los pozos creando una zona débil justo en la zona del pie de presa? Los motivos de estos pozos de 11 m de profundidad pueden ser varios.

La secuencia del fallo pone en evidencia los problemas relacionados con la poca altura que alcanzan los filtros, favoreciendo la erosión interna, y la importancia de las filtraciones en la cimentación a través de las margas azules. La experiencia muestra que los fallos suelen estar provocados por la suma de diferentes causas: construcción deficiente (diferencias entre lo proyectado y lo construido), excesivo volumen embalsado, filtraciones forzadas a través de los pozos de bombeo, ausencia de avisos de desplazamientos, falta de gestión, etc.

La lección aprendida de este proyecto que destaca el autor es que es primordial tener un equipo de operación con experiencia en explotación de presas. Esto conduce a la necesidad de formación del personal en seguridad de pre-

sas. SPANCOLD, consciente de esta necesidad ofrece un Máster Internacional en Explotación y Seguridad de Presas y Balsas.

4. Resumen general. Informe del reporte general

Fue ponente general de la Q.96 Luc Deroo (Francia). En este resumen general, en primer lugar, se establece el marco actual y las tendencias económicas y ambientales que afectan a nuestro sector. A partir de este marco general se exponen las ideas recogidas en las diferentes ponencias que fueron presentadas y, por último, la evolución que se espera para los próximos años. A continuación, se resume lo tratado por el ponente en su informe general.

4.1. Datos y cifras globales que llevan al cambio en el uso de presas

En esta sección el ponente trató de dar una idea global de diferentes hechos que ayudarán a entender las tendencias en los usos de embalses.

En el Foro Económico Mundial de 2014 se establecieron los 10 riesgos globales de alto interés, de los cuales 5 están relacionados con el sector hidráulico: crisis del agua, crisis alimentaria, insuficiente mitigación del cambio climático, mayor frecuencia en eventos climáticos extremos (inundaciones, tormentas, incendios) y fuerte diferencia de ingresos.

4.1.1. Evolución de necesidades

De acuerdo con el estudio realizado por la Agencia Internacional de Energía, la demanda de electricidad se espera que crezca desde los 18.000 TWh en 2011 hasta los 38.000 TWh

en 2050. La contribución hidroeléctrica actualmente es del 16 % aproximadamente.

Como se puede ver en la figura 16, en los últimos años se ha producido un considerable aumento de la capacidad de energía hidroeléctrica instalada en el mundo (datos del Registro de Presas en el Mundo, ICOLD).

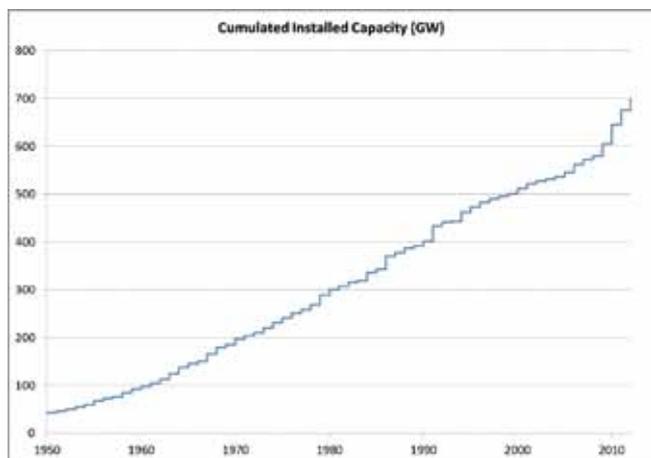


Fig. 16. Capacidad instalada acumulada (centrales hidroeléctricas)

En Europa la capacidad de almacenamiento de energía alcanzó los 45 GW en 2011 y se espera un aumento de 27 GW hasta 2020. Teniendo en cuenta que la energía generada es de 3.200 TWh en Europa, la capacidad de almacenamiento respecto a la energía generada es de 14 MW/TWh mientras que el ratio mundial es de 7 MW/TWh. Esto se explica por la gran capacidad instalada de energía renovable, intermitente. Extrapolando estos datos, con un ratio de 14 MW/TWh, la necesidad mundial de almacenamiento de energía sería de 400 GW en 2050. Estos datos son groseros y podrían variar mucho, basado en otras consideraciones, una ponencia predice unas necesidades de hasta 1.500 GW en 2050.

En cuanto a la necesidad de riego, se cree que de las 287 millones de ha de zonas de regadío (2.600 km³ de agua) en 2005, se podrían alcanzar 318 millones de ha en 2050 (2.900 km³). Sin embargo, las proyecciones para el 2050 son variables debido a que el cambio climático afecta directamente a las necesidades de riego, así como la evolución en técnicas agrícolas que optimizan el uso del agua y los cambios en las dietas hacia alimentos que exijan más agua y el desarrollo de biocombustibles. En la siguiente gráfica (fig. 17) se muestra la tendencia de los últimos años de los embalses dedicados principalmente a regadío.

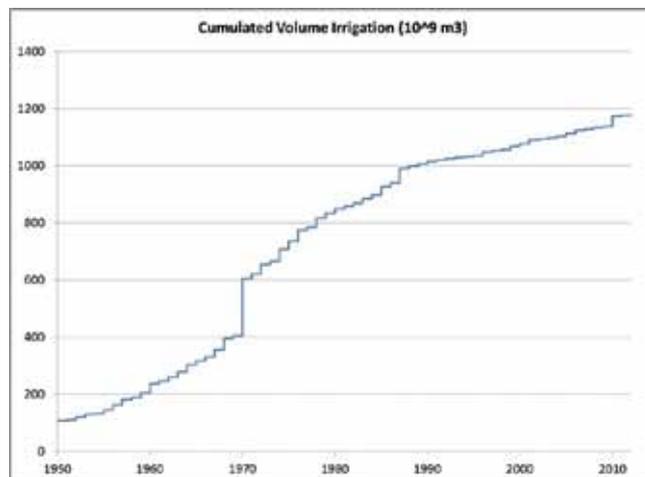


Fig. 17. Volumen acumulado de embalses dedicados principalmente a regadío

Debido al cambio climático, se calcula que la fracción de población expuesta en el siglo XX a avenidas con un periodo de retorno de 100 años podría ser a finales del siglo XXI tres veces mayor al año en zonas con altas emisiones que en las zonas que producen bajas emisiones.

4.1.2. Evolución de restricciones

La evolución de los recursos disponibles afecta directamente a nuestro sector. El cambio climático es un hecho, y tiene impacto en los cambios del volumen de precipitación, en la variabilidad (irregularidad estacional e interanual) y en la evapotranspiración. Los embalses aumentan el recurso hidráulico. ICOLD destaca el fuerte impacto que tiene la variabilidad de los caudales sobre generación de energía hidroeléctrica. En el caso de España, los recursos hídricos disponibles sin presas son de 9 % respecto a los recursos naturales, mientras que con presas alcanza el 50 %.

A priori las presas tienen una percepción negativa para la biodiversidad que debe moderarse mediante compensación de los impactos que tienen sobre los ecosistemas. Sin embargo, algunos embalses han tenido impacto ambiental positivo, convirtiéndose en hábitats. Incluso existen presas específicamente construidas para mantener la biodiversidad. Actualmente, la evaluación cuantitativa del impacto de los embalses en la biodiversidad es todavía una cuestión abierta.

4.1.3. Costes y Precios asociados a los distintos usos del agua
Basándonos en datos recientes, el coste asociado a la producción de un kWh, teniendo en cuenta la construcción y

operación de las centrales se muestra en la tabla 6. Se ha considerado un coste del carbón de 30 USD por tonelada.

	Discount rate 5%	Discount rate 10%	Main factor of variation
Nuclear	30 to 80	40 to 140	
Coal	55 to 120	70 to 140	Cost of CO2 capture
Gas	70 to 120	80 to 120	Cost of fuel
Onshore wind	50 to 160	70 to 240	Load factor
Offshore wind	100 to 190	150 to 260	Load factor
Solar cells	215 to more than 600	330 to more than 600	Load factor
Hydropower (incl. PSP)	10 to 150	30 to 300	Load factor

Tabla 6. Coste de producción eléctrica (USD/kWh), IEA 2010

El coste de la hidroeléctrica es muy variable, ya que incorpora diferentes tecnologías difíciles de comparar como la mini-hidráulica y las reversibles. La hidráulica es muy económica en condiciones favorables: con un coste de construcción de 2.000 USD/kW, factor de carga 5.000 horas, O&M 2 % al año y tasa de descuento del 5 %, el coste del kWh es de 33USD.

Para tener una idea sobre el coste de producción de 1 m³ de agua (USD/m³) se ha tenido en cuenta el coste de construcción y la regulación (Volumen regulado/volumen del embalse). No se ha tenido en cuenta el transporte (tabla 7).

Yield variability / Construction conditions	Low regulation intensity (4)	Moderate regulation intensity (5)	High regulation intensity (6)
	Vreg / Vtot = 4	VReg / Vtot = 1.5	VReg / Vtot = 0.25
Favorable conditions (1)	0.02 USD/m ³	0.05 USD/m ³	-
Average conditions (2)	0.06 USD/m ³	0.15 USD/m ³	0.85 USD/m ³
Poor conditions (3)	0.20 USD/m ³	0.50 USD/m ³	2.80 USD/m ³

Tabla 7. Coste de regulación de 1 m³ de agua (USD/m³)

Las condiciones de construcción indicadas en la tabla 7 corresponden a (1) coste de construcción 1 USD/m³, (2) 3 USD/m³ y (3) 10 USD/m³. Este criterio también se ha utilizado para calcular el coste de la capacidad de almacenamiento de 1 m³ para control de avenidas y almacenamiento de energía (tabla 8):

Construction costs	Yearly cost of providing 1 m3 of water storage
Favorable conditions (1)	0.08 USD/m ³
Average conditions (2)	0.23 USD/m ³
Poor conditions (3)	0.80 USD/m ³

Tabla 8. Coste de capacidad de almacenamiento (USD/m³)

Para hacernos una idea del precio de 1 m³ de agua en el mercado, para riego y usos domésticos e industriales, incluyendo el precio del transporte, se muestran los siguientes datos (tabla 9). Debe tenerse en cuenta la variabilidad del uso de agua en función del tipo de cultivo, principalmente.

	Market value of one m ³	Comment
Irrigation	0.25 USD / m ³	On average: 0.04 USD/m ³ for « low crop value » and 0.80 USD/m ³ for « high crop value ». Few differences between continents.
Domestic and industrial uses	0.70 USD / m ³	

Tabla 9. Precio en el mercado de 1 m³ de agua para riego y usos domésticos o industriales

Una de las ponencias expone una evaluación del valor económico del agua almacenada en embalses en España: 0,55 €/m³. Esta evaluación incluye riegos, usos doméstico e industrial y generación de energía hidráulica. De estos valores se obtiene que la construcción de una presa para uso exclusivo de riegos no está justificado económicamente, si bien es algo necesario.

Para cuantificar el valor económico de la construcción de una presa para protección frente a avenidas, se han propuesto diferentes coeficientes:

- CCR: Ratio de control de captación. volumen de lluvia controlado por el embalse / volumen de lluvia total en la zona a proteger.
- SCR: Ratio de capacidad de almacenamiento. Capacidad de almacenamiento del embalse / volumen de avenida.
- HER: ratio de eficiencia hidráulica. Máximo flujo con presa/ máximo flujo natural.
- EER: ratio de eficiencia económica: pérdidas evitadas/ volumen de capacidad de almacenamiento.

	CCR	SCR	Estimated HER	EER
R22, typhon 18	29%	70% (approx)	24%	200 USD/m ³ (*)
R7 et R8, Amur river	40%	50%	28%	
R7 et R8 ; Selemja project				0.01 USD/m ³ /year (**)
R13, Abugawa dam – Hagi city, 2013 flood	75%	100%	75%	
R13, Abugawa dam – Hagi city, 544 mm rainfall	75%	28%	40%	
R38, Gier, 100-years flood	20%	25%	10%	
SeineGrandsLacs [14]				50 USD/m ³ (***)

Tabla 10. Eficiencia de la regulación de inundaciones con presas

De los ratios indicados se obtiene la siguiente conclusión: el control de avenidas mediante embalses para zonas urbanas densas es viable económicamente, como se demuestra con los casos de Kioto (R22, tifón 18) con un EER de 200 USD/m³ y París (Seine Grand Lacs) con 50 USD/m³.

Finalmente, el debate sobre el cambio climático conduce al coste de producción de carbono. Actualmente, una tonelada de CO₂ está valorada en 8 euros en el mercado europeo, este precio es demasiado bajo para promover la producción de energía libre de carbono.

4.2. Avances presentados en las diferentes ponencias

4.2.1. Presas multipropósito

Algunas ponencias explicaron cómo las presas construidas para producción hidroeléctrica han sido progresivamente utilizadas para otras funciones, ya que la población aguas abajo espera agua en épocas secas y protección en caso de avenidas. También se puso de manifiesto la necesidad de una correcta operación: predicción de avenidas. Las herramientas de simulación y los dispositivos automáticos de control de operación han permitido grandes mejoras.

En países como Kenia e Iraq, se están diseñando embalses multipropósito, teniendo como objetivo principal la generación hidroeléctrica y otros secundarios como el riego, agua potable y gestión de caudales. En todos los casos se genera una complejidad: desarrollo de normas de explotación que optimicen los usos. Los procedimientos de gestión integrada de recursos hídricos proporcionan una solución satisfactoria. Una forma de compaginar todos los usos es considerar un

conjunto de presas a gran escala (embalses en cascada), siendo cada embalse utilizado para un propósito diferente.

4.2.2. Soluciones para almacenamiento de energía. Centrales reversibles

El rápido crecimiento de uso de energías renovables intermitentes (eólica y solar) en Europa a principios de siglo, ofrece un marco favorable para el desarrollo de centrales hidroeléctricas reversibles (CHR). Sin embargo, la interconexión en Europa limita las consecuencias de la intermitencia y el rápido desarrollo de las nuevas plantas de gas (ciclo combinado) en Europa ha llevado a la sobrecapacidad. Además, los países europeos no han establecido mecanismos para evaluar los servicios prestados a la red por este tipo de centrales.

Durante el congreso se dieron varios ejemplos, como el de Italia, donde la única central reversible que ha tenido éxito está localizada en Sicilia, aislada de la red principal. El resto de CHR construidas (7,6 GW en total) han sufrido un declive pasando de las 1.000 horas de funcionamiento en 2002 a 260 horas en 2011. En el caso de Francia, consideran que a partir de un 30 % de capacidad instalada de energías renovables es necesario el almacenamiento de energía. El proyecto de CHR en la isla de Guadalupe (fig. 18) se espera que alcance un factor de planta de 3.300 horas anuales.

Rumanía, actualmente, tiene una potencia instalada con uso de recursos renovables del 15 % sobre la capacidad total, y se espera que se triplique para el 2020, lo que ha motivado el estudio de tres CHR, con un total de 2,3 GW. En la ponencia española de Gas Natural fenosa sobre este tipo de centrales se describen las 3 centrales actualmente en estudio. Por úl-

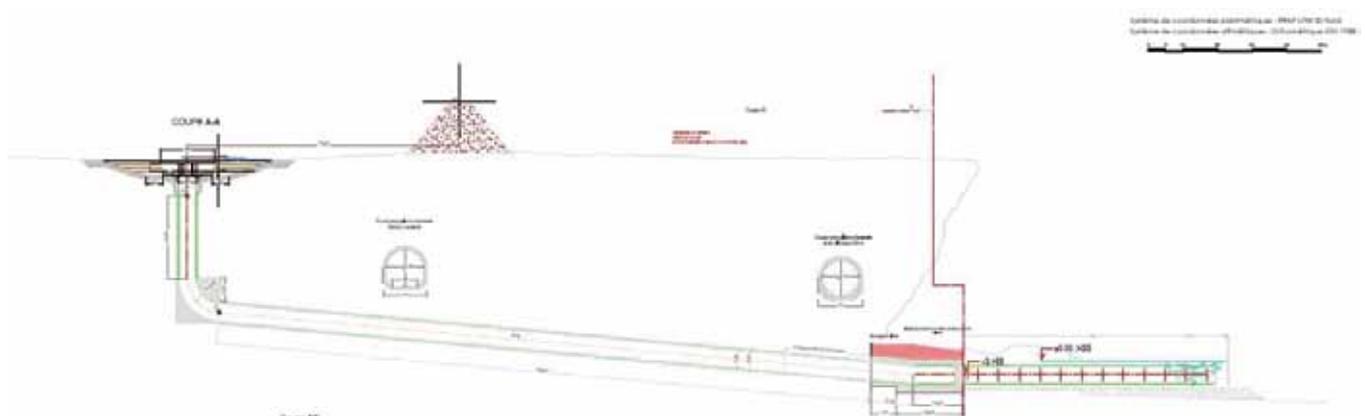


Fig. 18. Esquema hidráulico de la CHR en la isla de Guadalupe

timo, se presentó el caso de la CHR en Rusia de Zalenchuk, con 466 MW de potencia instalada.

La tendencia global es el desarrollo de grandes capacidades de almacenamiento de energía, y el uso de embalses existentes es una opción interesante para este tipo de proyectos.

4.2.3. Protección frente a avenidas

Las ponencias realizadas sobre este tema pusieron de manifiesto los siguientes puntos:

- La importancia de recaudar la máxima información posible de eventos de avenidas pasados. De esta forma, se elaboran normas de explotación más completas y mejores diseños para la construcción de presas.

- La explotación durante avenidas es un tema muy importante que se debe ser previsto.

- Un uso mejor de la capacidad del embalse para protección de avenidas está en conflicto con otros usos existentes. Por este motivo es necesario el uso de herramientas específicas para simular distintos escenarios.

4.2.4. Integrar impactos del cambio climático

El cambio climático tiene un efecto directo sobre el cambio en avenidas y, por lo tanto, en los recursos hídricos y la producción de energía hidroeléctrica. En muchas ponencias se mencionó este hecho, siendo cuantificado. En la ponencia de Noruega y Turquía se mostró un modelo de simulación de los efectos del cambio climático, cambios en temperatura y precipitación, en 2050 y 2090. Francia también utiliza otro modelo de simulación considerando la precipitación y la temperatura aplicada a su región. Según el modelo francés, en 2050 el escenario medio indica que no habrá cambios en la escorrentía durante el invierno, pero sí descensos del 50 % durante el verano y del 25 % en primavera y otoño.

Es esencial integrar el efecto del cambio climático en nuestros proyectos. Nuestra profesión todavía necesita contribuciones científicas para mejorar la calibración de los modelos de la futura evolución de la escorrentía, su variabilidad estacional y anual y su impacto en la evapotranspiración.

4.2.5. Conocer las necesidades ecológicas

No son muchos los proyectos que tienen en cuenta las necesidades ecológicas del emplazamiento. Uno de los ejemplos presentados es lo realizado en Perú, donde con el proyecto

de Río Grande se pretende construir una presa que sirva como barrera para los materiales contaminados procedentes de la minería.

Los beneficios de los embalses en términos de biodiversidad, aparecen incluso sin que el propósito de la presa sea este. Un ejemplo de ellos son los embalses construidos en París para evitar inundaciones y proporcionar un caudal al río Sena durante los veranos. Ocupan un área de 8.000 ha y han creado un entorno de flora y fauna de gran importancia.

4.2.6. Encontrar técnicas adecuadas para pequeñas presas

La técnica de construcción de pequeñas presas fue el tema central de varias ponencias. La principal característica de las contribuciones es la innovación: innovación para disminuir los costes, reducir el impacto y mejorar la seguridad. La optimización del coste de las presas pequeñas comienza con la adaptación a las condiciones locales.

Algunos de los ejemplos expuestos para optimizar los costes son: uso de materiales disponibles en la cerrada, análisis profundo de riesgos en la estructura si no se puede invertir en tratamientos específicos y contratos llave en mano.

La seguridad también es el centro de otras innovaciones. En Japón se realizan estudios sobre el comportamiento de las tierras compactadas, especialmente la pérdida de resistencia durante terremotos en el talud de aguas arriba de la escollera saturada. En Italia y Francia también se están analizando las balsas para producción de nieve artificial, que cada vez exigen mayores tamaños (fig. 19).



Fig. 19. Balsa de Montagnoli para producción de nieve artificial de estación de ski

En algunos casos, la optimización del coste y la seguridad vienen de la mano. En Francia y Bélgica estudian la posibilidad de usar suelos limosos para el diseño de nuevas pequeñas presas. Los ensayos en laboratorio indican que incluir un 2 %-3 % de limos proporciona propiedades interesantes en cuanto a permeabilidad y resistencia.

4.3. Cambios previstos en proyectos hidráulicos

A la vista de las experiencias aportadas en las distintas ponencias se prevén los siguientes cambios a futuro en los proyectos hidráulicos.

4.3.1. Más presas

Mientras crece la demanda de agua para riego y generación de energía hidroeléctrica, muchas regiones experimentan un descenso del recurso hídrico debido al cambio climático. Las consecuencias de estos hechos son: necesidad de construir nuevos embalses y rivalidad entre los diferentes usos de estos con el riesgo de la predominancia de usos comerciales (generación hidroeléctrica y agricultura).

4.3.2. Presas para generación de energía eléctrica

La producción de energía crecerá en los próximos años considerablemente (fig. 20). Este crecimiento debería apoyarse en energías renovables. Por este motivo, es importante que la energía hidroeléctrica juegue su papel y sea más competitiva que las centrales térmicas.

Sin embargo, existen algunas barreras: los proyectos hidroeléctricos necesitan más estudios preliminares, técnica y

medioambientalmente, lo que conlleva mayor tiempo y coste, y la viabilidad de los proyectos depende de la hidrología. La evaluación de costes (análisis coste-beneficio) debería utilizarse para comparar diferentes proyectos o diferentes fuentes de energía.

4.3.3. Almacenamiento de energía

Aunque en este congreso se expuso la posibilidad de almacenar energía mediante centrales hidroeléctricas reversibles, existen tecnologías muy competitivas que ofrecen hoy en día el almacenamiento de energía (centrales eléctricas de gas) e incluso podrían proporcionar almacenamiento reversible (baterías). La interconexión de redes a lo largo de grandes regiones también es una respuesta a la intermitencia de los recursos energéticos renovables.

4.3.4. Embalses multipropósito: normas de explotación

Los proyectos multipropósito necesitan herramientas de gestión: simulación hidráulica para establecer diferentes escenarios y obtener las normas de explotación apropiadas, herramientas de previsión de avenidas y estimación de demanda para operaciones diarias, herramientas de simulación de explotación para formar a los operarios en cómo actuar y sistemas de control automático en tiempo real de las compuertas.

Las herramientas de simulación se pueden utilizar tanto en instalaciones nuevas como en existentes. Más allá de las herramientas de gestión, el propietario o las autoridades son los que tienen la capacidad para regular, que es esencial.

4.3.5. Pequeñas presas: gran necesidad de progreso

Actualmente es necesario que se desarrolle la técnica para optimizar costes, ejecución y seguridad de pequeñas presas. La dirección indicada a seguir para optimizar el coste se basa en partir de los estándares establecidos para grandes presas y aplicarlos en la selección de los materiales, tratamientos del cemento, diseño para resistencia de sismo y dispositivos de evacuación.

Aunque se ahorre un 10 %, 20 % o incluso 50 %, hay otros problemas tras la construcción: funcionamiento (volumen de agua menor al esperado), seguridad (fallos por erosión interna) y durabilidad (algunas se deterioran muy rápido). El Boletín 157 'Presas pequeñas, diseño, vigilancia y rehabilitación' se recogen las particularidades de estas y las recomendaciones para evitar fallos en el funcionamiento, seguridad y durabilidad.

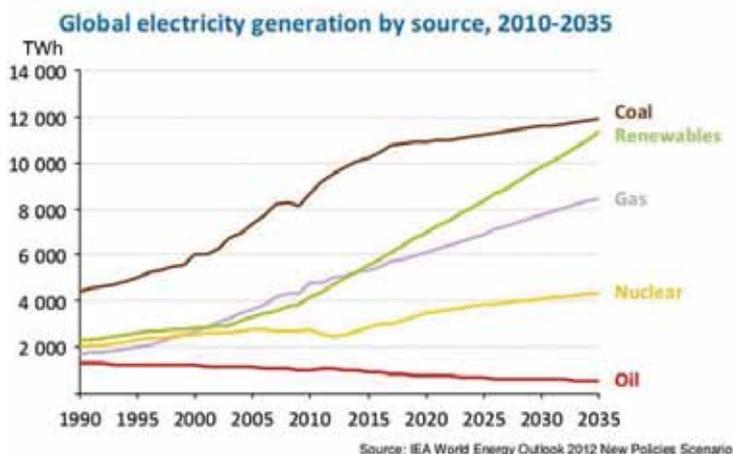


Fig. 20. Previsiones de generación de electricidad clasificada por tecnologías

4.3.6. Presas para protección de avenidas

Las presas dedicadas a protección frente a avenidas necesitan diseños y normas de explotación específicas debido a sus características. Los principales factores que influyen en la eficacia del control de avenidas son: proporción de volumen de agua captada que es controlada y el volumen disponible de almacenamiento.

Las presas para protección de avenidas se pueden clasificar en dos categorías:

- Pasivas: sin compuertas, adecuadas para casos en los que se necesita una reacción rápida.
- Activas: con compuertas, opción preferida en el caso de tener avenidas de duración mayor a un día.

4.3.7. Seguridad de presas

En varias ponencias se mencionaron los métodos de análisis y clasificación de riesgos. Los métodos de análisis de riesgos han cambiado la profesión en Estados Unidos y España. Sin embargo, son necesarias otras herramientas:

- Interpretación científica y técnica de los incidentes y accidentes. Utilizar lecciones aprendidas del pasado en los nuevos proyectos.
- Evaluación de proyectos por terceros cuando estos tengan grandes riesgos para la población.

4.3.8. Cambio climático

Las principales dificultades en este ámbito son tener una base de datos hidrológica suficiente para caracterizar la situación actual y ser capaces de transformar el escenario hidráulico global del IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático) en escenarios regionalizados. Es conveniente analizar la sensibilidad de los diseños a los parámetros que afecta el cambio climático.

4.3.9. Biodiversidad

Los factores fundamentales a tener en cuenta en un proyecto hidráulico son: calidad del agua, régimen del caudal, flujo de sedimentos, peces migratorios, fauna terrestre, inundación de hábitats, lagos, especies invasoras. No podemos actuar sobre todos los factores, pero podemos actuar de alguna forma.

Debemos considerar la biodiversidad como un componente principal de nuestros proyectos. Es muy importante analizar

los proyectos en los que los embalses han tenido una buena respuesta medioambiental tras su construcción para los nuevos diseños. En la redacción del proyecto puede ser muy útil definir y monitorizar indicadores de la calidad del agua y de los ecosistemas acuáticos. Aunque queda mucho por avanzar en este tema, la adaptación de los proyectos puede tener un impacto muy positivo.

4.3.10. Presas que utilizan recursos marítimos

Una ponencia de Francia propone el desarrollo de CHR con aguas marítimas. Consiste en utilizar un embalse en tierra (embalse de aguas arriba) y utilizar como contraembalse (aguas abajo) el mar. Este proyecto francés tendría una capacidad de 50 MW. El coste objetivo de 1.500 €/kW se podría alcanzar en condiciones favorables.

Por otra parte, en la misma ponencia, también se propuso una nueva solución para producir energía hidroeléctrica. Las centrales mareomotrices combinan una laguna artificial y turbinas movilizadas por las mareas. Actualmente los emplazamientos de alto potencial deben tener entre 3 y 5 metros de carrera de marea, como el caso de la central de Rance en Francia (fig. 21). El potencial global de este tipo de energía se estima que podría alcanzar los 1.500 TWh generados al año, lo que representa la mitad de la actual producción hidroeléctrica. Los costes aproximados son de 100 €/MWh, menores que los de otras energías renovables, y tiene la ventaja de que las mareas no son intermitentes.



Fig. 21. Central mareomotriz Rance (Francia)

4.4. Factor humano

Finalmente, hay que destacar algunas ponencias sobre la importancia del factor humano en los proyectos. Para seguir evolucionando en la profesión es necesario formar a gente joven y transmitir los conocimientos actuales para seguir innovando y optimizando los proyectos hidráulicos. También es necesaria la preparación de guías técnicas sobre seguridad de presas, bases de datos de avenidas y el desarrollo de las herramientas de gestión.

5. Conclusiones

El ponente general Luc Deroo realizó una serie de recomendaciones a raíz de los temas tratados en la Q.96 del XXV Congreso de ICOLD:

1. Las evaluaciones económicas de los proyectos hidráulicos deben incluir algún tipo de valoración de los servicios no cuantificables económicamente. Esta valoración es la mejor forma de conseguir un equilibrio entre los usos comerciales, las necesidades de la población y los servicios medioambientales. Además es una forma de ganar ventaja a otras tecnologías como la generación con combustibles fósiles.
2. Las presas cuyo propósito fundamental es la protección frente a inundaciones, requieren un desarrollo específico para maximizar la eficiencia y la seguridad.
3. Los proyectos que emplean agua del mar son prometedores y deben apoyarse.
4. Deberíamos considerar la biodiversidad como el principal componente de nuestros proyectos. De los diferentes enfoques que se dieron, destaca la instalación de dispositivos para controlar la calidad del agua y datos ecológicos en los embalses y ríos aguas abajo, de la misma forma que se controla el comportamiento de las presas.
5. Los proyectos hidráulicos tienen la desventaja de necesitar estudios técnicos y medioambientales preliminares que llevan mucho tiempo. Se podrían promover programas de incentivos y ayudas financieras para estos estudios.
6. Los proyectos de presas pequeñas requieren estudios preliminares más minuciosos para reducir la alta probabilidad de fallo que se ha observado actualmente. Debería fomentarse la financiación de estos, llevando a cabo estudios hidrológicos (avenidas, sedimentos) de amplias regiones.

7. Los nuevos proyectos y la optimización de los embalses existentes requieren datos hidrológicos fiables y abundantes, pero actualmente son escasos. Sería muy beneficioso económicamente financiar la medición de estos datos.

8. Deberían impulsarse los modelos de simulación de gestión de embalses, son de gran ayuda para la gestión de los recursos y establecer diferentes escenarios de avenidas. Estos modelos son muy útiles para la redacción de las Normas de Explotación, imprescindible para embalses multipropósito y presas con compuertas para el control de caudal. **ROP**

Referencias

- [1] ICOLD General Report Q96. Luc Deroo (Francia).
- [2] World Economic Forum «*Insight Report. Global Risks 2014, Ninth Edition*» Geneva, Switzerland., 2014.
- [3] International Energy Agency, «*Energy Technology Perspectives 2014 (ETP 2014)*» 2014.
- [4] Ecoprog, «*The European Market for Pumped Storage Power Plants*» 2011.
- [5] ICOLD, «*Dams for Hydroelectric Energy*».
- [6] E. A. Ingram, «*Worldwide Pumped Storage Activity*» HRW-HYDRO REVIEW WORLDWIDE, 2010.
- [7] FAO, «*Climate change, water and food security - FAO water reports*» Rome, 2011.
- [8] UNESCO, «*Water footprint scenarios for 2050 - Research Report Series No. 59*» 2012.
- [9] IPCC, «*Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A, Chapter 4 : Terrestrial and inland water systems*» 2014.
- [10] J.H.Lawton et R.M.May, «*Extinction rates*» Oxford University Press, Oxford.
- [11] Comité scientifique de Petit-Saut, «*Petit-Saut, l'empreinte environnementale du barrage*» 2014.
- [12] International Energy Agency, «*Projected Costs of Generating Electricity*» 2010.
- [13] WORLD ENERGY COUNCIL - Bloomberg New Energy Finance, «*World Energy Perspective - Cost of Energy Technologies*» 2013.
- [14] *Pumped storage in Spain*. Revista Waterpower. Javier Baztán Moreno (Gas Natural fenosa), Bruno Troulli and M. Bhattarai (MWH). Junio 2013
- [15] El salto reversible de Belesar III. Hydro 2012 Bilbao. Javier Baztán, Ana Martín (Gas Natural Fenosa).