

# El papel de las presas en la mitigación de las inundaciones

L. BERGA (\*)

**RESUMEN** Las inundaciones son el desastre más importante entre los riesgos naturales, ya que significan alrededor del 30% del número total de desastres naturales, el 30% de los daños económicos, y el 20% de las víctimas producidas por los desastres naturales. Entre los años 1975 y 2001 han ocurrido, en media, unas 100 avenidas importantes por año, que han causado unas 11,000 víctimas por año, y afectado a más de 150 millones de personas por año.

Las presas y embalses desempeñan un importante papel en la mitigación de los impactos producidos por las inundaciones, función que hay que contemplar dentro del marco de la Gestión Integrada de las Inundaciones (GII). Las presas constituyen una medida estructural muy efectiva, ya que pueden laminar las avenidas, almacenando importantes volúmenes de avenida y modificando su propagación, con lo que se pueden reducir significativamente los caudales punta de avenida.

Las presas y embalses en numerosas ocasiones reducen la frecuencia y la severidad de las avenidas recurrentes. Pero como ocurre con cualquier otra alternativa, hay que evitar crear la sensación de seguridad y protección total, aunque la protección será mayor debido a su capacidad de laminar las avenidas. Por ello, es esencial que en la gestión de las presas de laminación de avenidas se planifique cuidadosamente y se controlen los desarrollos e implantaciones en las zonas inundables aguas abajo.

Todas las presas y embalses producen beneficios en la laminación de avenidas si están bien proyectadas y se explotan correctamente, pero estos beneficios dependen ampliamente de la relación entre la capacidad de embalse dedicada a la laminación y el volumen de la avenida. Los máximos beneficios se obtienen en las presas y embalses en los que el objetivo principal es la laminación de avenidas.

La experiencia en el mundo y numerosos casos reales demuestran los grandes beneficios que las presas y embalses pueden producir en la laminación de las avenidas y en la lucha contra las inundaciones. En general estos efectos beneficiosos pueden mejorarse sensiblemente con la aplicación coordinada y conjunta de otras actuaciones y medidas estructurales y no-estructurales, especialmente la gestión de las llanuras de inundación, el desarrollo de zonificaciones y usos del suelo, y la implementación de sistemas de previsión de avenidas y de alarma de inundaciones. En esta comunicación se describen casos reales significativos de mitigación de inundaciones mediante presas y embalses en Japón, USA, China, Corea, Brasil, España, América Central, etc. Estos casos demuestran su efectividad en la reducción de los caudales punta de avenida, así como en otros indicadores de mitigación tales como la reducción de las áreas de inundación, la pérdida de vidas, la prevención de impactos sociales y medioambientales y la reducción de los daños económicos.

## THE ROLE OF DAMS IN FLOOD MITIGATION

**ABSTRACT** *Floods are the most important disaster among the natural hazards. They account for about 30% of natural disasters by number, 30% of economic damage and 20% of the fatalities. Each year between 1975 and 2001 there were some 100 significant floods. On average they caused 11,000 fatalities and affected about 150 million people.*

*Dams and reservoirs play an important role in flood mitigation within the framework of Integrated Flood Management. Dams are very effective structural measure because they can store large flood volumes, modifying flood routing and significantly reducing peak flows.*

*Dams and reservoirs often reduce the frequency and severity of recurrent floods but, as in the case of other alternatives, any tendency to create a perception of total security should be avoided –although safety will undoubtedly be greater due to their role in flood routing. In the management of flood-mitigation dams and reservoirs the development of downstream flood-plains must be carefully planned and controlled.*

**Palabras clave:** Avenidas, Inundaciones, Presas, Embalses, Laminación, Gestión Integrada.

(\*) Presidente del Comité de Presas y Avenidas. ICOLD. Presidente de ICOLD. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Barcelona, España.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son el desastre más importante entre los riesgos naturales. Representan, en número, alrededor del 30% de la totalidad de los desastres naturales, el 30% de los daños económicos, y cerca del 20% de las víctimas. (1, 2, 3). En el periodo entre los años 1975-2001 han ocurrido, en media, unas 100 inundaciones significativas por año, que han causado alrededor de 11.000 víctimas por año, y han afectado a unos 150 millones de personas por año. Así pues, durante la última década del siglo XX, cerca del 25% de la población mundial se ha visto afectada por las avenidas e inundaciones. Los daños económicos producidos por las inundaciones son también muy elevados, y se evalúan en unos 20.000 millones de \$ por año. Las tendencias en los impactos de las inundaciones muestran un crecimiento exponencial en las décadas más recientes. Desde los años 1950 hasta el final de la década de los 90 el número de grandes inundaciones se ha cuadruplicado, mientras que los daños económicos se han multiplicado por ocho (4).

Esta importante y preocupante evolución en la tendencia mundial se debe a los siguientes factores:

- El crecimiento de la población y su concentración en áreas urbanas.
- Asentamiento de las poblaciones en las llanuras de inundación. Uso indiscriminado de las zonas inundables, y falta de regulación y zonificación de los territorios expuestos a riesgo de inundación.
- Cambios en los usos del suelo de las cuencas vertientes. Urbanizaciones masivas y deforestación.
- Gran número de viviendas, construcciones e infraestructuras en las zonas inundables.
- Construcciones no resistentes a las fuerzas de las avenidas.
- Concentración de infraestructuras de transporte a lo largo de las márgenes fluviales.
- Canalización de los ríos, aumentando los riesgos aguas abajo. Falta de mantenimiento de los diques de encauzamiento. Envejecimiento de las infraestructuras hidráulicas.
- Inadecuados sistemas de previsión de avenidas y de alarma de inundaciones.
- Infundadas sensaciones de seguridad de la población en relación con las inundaciones.

Los análisis y encuestas de ICOLD (5) en países que tienen un gran número de grandes presas, y en países en

los que las inundaciones son el mayor desastre natural, muestran que la recurrencia media de inundaciones es de unos siete años, siendo el tiempo medio transcurrido entre inundaciones importantes menor de diez años en el 85% de los casos.

La Tabla 1 muestra el número medio de víctimas por año causadas por las inundaciones, aunque hay que remarcar que los efectos puntuales de eventos extremos pueden producir un número de víctimas muchísimo más elevado.

La mayoría de víctimas ocurren en los países asiáticos. Sin embargo, hay que señalar la situación de USA y Japón (93 y 115 víctimas por año, respectivamente). En ambos casos se trata de países altamente desarrollados en los que hay una extensa ocupación de las llanuras de inundación, lo que junto al impacto de las avenidas relámpago da lugar a estos valores elevados.

Los daños económicos medios producidos por las inundaciones se muestran en la Tabla 2. De nuevo los altos valores de los daños en Japón y USA están en relación con los elevados valores de las inversiones e infraestructuras asentadas sobre las llanuras de inundación. También en numerosos países en vías de desarrollo se producen fuertes impactos económicos, que con relación a su estado de desarrollo pueden ser muy importantes, lo que junto a las afecciones sociales causadas por las inundaciones, puede constituir un factor muy limitante para su progreso.

Los indicadores de impactos de inundaciones, que evalúan los impactos con relación a otros datos sociales y económicos, son muy interesantes para la comparación de los efectos de las inundaciones entre diferentes países, y también para la observación de las tendencias a través de los años. El primer nivel de indicadores lo constituyen el número de víctimas medio anual por millón de habitantes, y los daños económicos medios anuales en relación con el Producto Interior Bruto (PIB).

La Figura 1 muestra el indicador de víctimas anuales. Destaca Corea del Sur con más de 5 víctimas por año por millón de habitantes, y también China con un valor del indicador de 2.

La Figura 2 muestra el indicador económico para los efectos de los impactos económicos de las inundaciones (daños económicos medios anuales en relación con el PIB en ‰).

Destacan el alto impacto de las inundaciones en China con un valor medio anual cercano al 0.3% del PIB, y valores superiores al 0.15% en Japón y Rusia.

VÍCTIMAS	PAISES
0 - 10	Argentina, Australia, Brasil, Canada, Irlanda, Italia, Holanda, Noruega, Africa del Sur, Suecia, Rusia.
10 - 20	España, Francia.
50 - 100	Indonesia, USA.
100 - 150	Japón.
> 150	Korea (250), Bangladesh* (200), India (1500), China (2000 - 3000).
* Incluye únicamente las inundaciones causadas por avenidas en los ríos. No considera las inundaciones causadas por ciclones y mareas ( que producen muchas víctimas).	

TABLA 1. Número medio de víctimas por año (1990-2002).

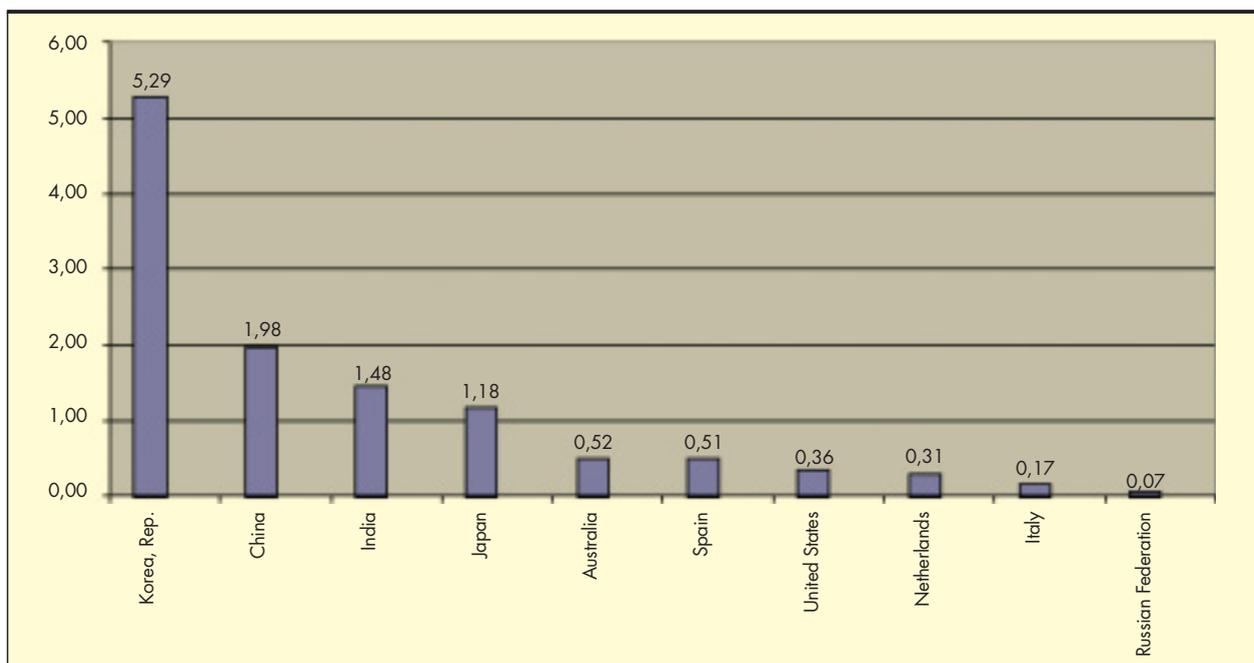


**EL PAPEL DE LAS PRESAS EN LA MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES**

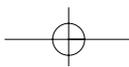
PAÍS	DAÑOS (millones \$ por año)
Brasil, Francia, Irlanda, Africa del Sur, Suecia	< 10
Noruega	27
Argentina	30
Rumania	100
Canada	100
Bangladesh*	135
Holanda	150
India	240
Australia	320
Rusia	380
Francia	420
Korea	500
España	600
Italia	800
China	3000
USA	3400
Japón	7200

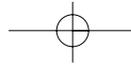
\* Únicamente inundaciones causadas por avenidas de los ríos.

**TABLA 2.** Daños económicos medios anuales producidos por las inundaciones (1990-2003).



**FIGURA 1.** Víctimas por año por millón de habitantes.





### EL PAPEL DE LAS PRESAS EN LA MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES

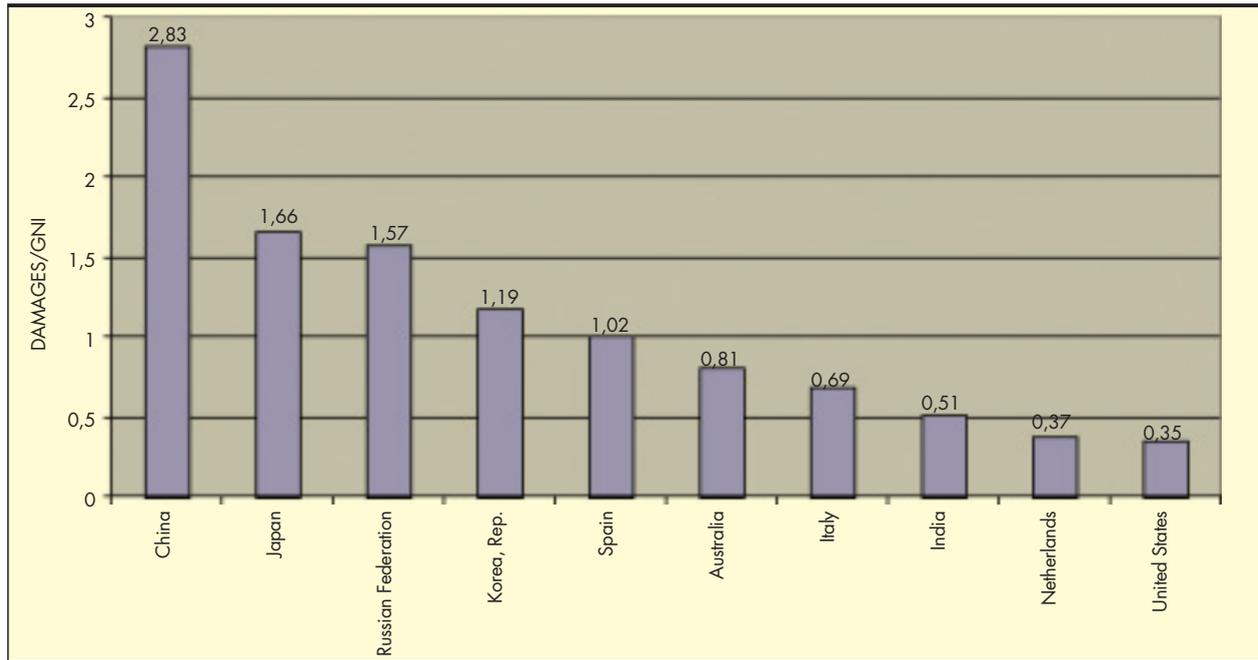


FIGURA 2. Daños económicos medios anuales. Daños por año/pib (por mil).

## 2. GESTIÓN INTEGRADA DE INUNDACIONES (GII)

Las actuaciones y medidas para reducir los impactos de las inundaciones pueden clasificarse en dos grandes grupos (Figura 3): 1) Actuaciones estructurales que interfieren en los fenómenos de la génesis y propagación de las avenidas (conservación de suelos, reforestación, presas, embalses de regulación y laminación de avenidas y otras infraestructuras hidráulicas, y 2) medidas no-estructurales que prevengan, prevengan y mitiguen los daños (gestión de las llanuras de inundación, zonificación y planificación de los usos del suelo, sistemas de seguros, códigos de las construcciones, sistemas de alerta de avenidas y de previsión de inundaciones, planes de emergencia frente a las inundaciones y desarrollo de culturas de riesgo frente a las inundaciones).

Con relación a la evolución de las actuaciones y medidas frente a las inundaciones se pueden distinguir cuatro etapas o generaciones:

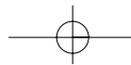
1. Adaptación natural.
2. Control de avenidas. Actuaciones estructurales.
3. Gestión de inundaciones. Medidas no-estructurales.
4. Gestión Integrada de Inundaciones. (GII). Visiones holísticas, enfoques integrados.

En las primeras épocas de la humanidad las poblaciones adoptaron, en numerosas ocasiones, formas de vida y culturas fluviales y deltaicas, ocupando las productivas llanuras de inundación y usando sus recursos naturales. Las inundaciones suponían beneficios mediante los sedimentos y nutrientes que aportaban a las zonas inundables, pero también eran un riesgo muy importante. Las poblaciones adaptaban sus vidas a este tipo de riesgos, y en general se defendían mediante pequeñas actuaciones locales.

A lo largo de los tiempos, con el desarrollo de las sociedades, las autoridades públicas tuvieron que tener un mayor protagonismo y una mayor intervención en la resolución de la problemática de las inundaciones. Esto llevó a la segunda

generación, en la que se intentó el control de las condiciones hidrológicas extremas, y el uso intensivo de los recursos de agua para satisfacer las demandas de abastecimiento de agua potable, regadíos, hidroelectricidad, etc. Esta segunda generación culminó en la década de los años 1970, en la que dominaron las ideas de control de los fenómenos hidrológicos y de las inundaciones, y todo ello mediante actuaciones estructurales. Suponía un enfoque fundamentalmente ingenieril para la gestión del agua y de las inundaciones. La experiencia en todo el mundo ha demostrado la importante contribución de estos enfoques estructurales en la reducción de los impactos de las inundaciones, y al desarrollo económico y social de los países, así como al bienestar de la humanidad. Sin embargo, estos enfoques también tienen inconvenientes remarcables, ya que crean una falsa sensación de total seguridad, favorecen la ocupación de las zonas inundables, y finalmente pueden producir significativos impactos medioambientales.

A la vista de esta situación, en la década de los años 80 emergió con fuerza otra estrategia, una nueva generación, basada en la gestión de las inundaciones mediante medidas no-estructurales. Los promotores de estas nuevas estrategias, que provenían principalmente de grupos conservacionistas, argüían que en principio, para la resolución de la problemática de las inundaciones había que implantar medidas no-estructurales, medidas de gestión. Estas medidas incluían la zonificación de las zonas inundables, la planificación de los usos del suelo en las llanuras de inundación, y el desarrollo e implantación de sistemas de previsión de avenidas y de alarma de inundaciones, conjuntamente con planes de emergencia frente a las inundaciones. Estas soluciones y medidas eran presentadas como una alternativa completa a las actuaciones estructurales, y sus propuestas eran igual de optimistas a las que en años anteriores formulaban los defensores de las actuaciones estructurales. En otras palabras, se creía que todo se podía solucionar con el desarrollo de únicamente medidas de gestión. Numerosas experiencias en



## EL PAPEL DE LAS PRESAS EN LA MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES

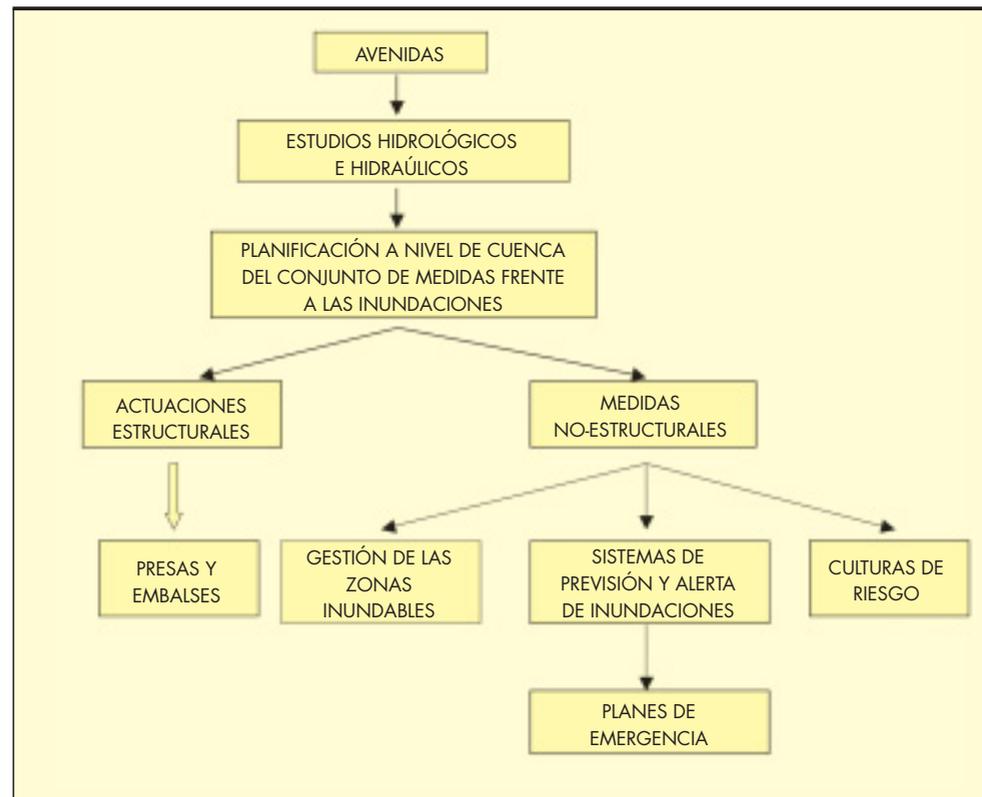


FIGURA 3. Medidas frente a las inundaciones.

el mundo han demostrado que este enfoque también presenta importantes limitaciones, ya que en general ninguna opción por separado puede resolver toda la problemática de las inundaciones.

Así, al comienzo del siglo XXI ha nacido una nueva generación basada en una visión holística, un enfoque integrado, denominado Gestión Integrada de Inundaciones (GII). Esta visión es más realista, más crítica y menos optimista (6, 7). En la gestión de las inundaciones deben aplicarse enfoques integrados tanto a nivel de cuencas hidrográficas como a nivel de actuaciones y medidas.

En las cuencas los planificadores y gestores deben considerar los diversos aspectos del desarrollo y de la gestión del suelo, tales como el agua, el suelo, los asentamientos de población y su desarrollo, la planificación de los usos del suelo, las actividades agrícolas y ganaderas, los sistemas de transporte, las actividades recreativas y turismo, el medioambiente, etc. Los planes de desarrollo y gestión de las cuencas deben tener en cuenta la hidrología y la hidráulica de la formación y propagación de las avenidas conjuntamente con los aspectos económicos, sociales y medioambientales. Las alternativas para la mitigación de los impactos de las inundaciones deben considerar todas las actuaciones posibles y viables, implementando conjuntamente y coordinadamente actuaciones estructurales y medidas no-estructurales.

Todas las actuaciones y medidas deben analizarse en el marco de la gestión integrada. En general, la conservación y la restauración del medioambiente y de los ecosistemas, tienen una posición central y determinante, tendiendo en cuenta que en los países en vías de desarrollo la reducción de la pobreza es también un objetivo esencial. Alrededor de estos puntos esenciales es necesario enmarcar los elementos básicos de la Gestión Integrada de Inundaciones, que inclu-

yen la laminación de las avenidas, las presas y embalses, la construcción y el mantenimiento de diques, la zonificación de las zonas inundables, la planificación de los usos del suelo, los sistemas de seguros, las regulaciones legales, la organización institucional, los sistemas de previsión y alarma de avenidas, los planes de emergencia de inundaciones, etc., es decir todas las actuaciones y medidas que pueden jugar algún papel en la mitigación de los impactos de las inundaciones.

### 3. EL PAPEL DE LAS PRESAS EN LA MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS DE LAS INUNDACIONES

En la Gestión Integrada de Inundaciones los planificadores deben considerar las presas y embalses, en general, como una alternativa viable y efectiva. En realidad, los embalses de laminación constituyen una actuación estructural capaz de almacenar volúmenes importantes de avenida y modificar la propagación de las ondas de avenida, con lo que se pueden reducir significativamente los caudales punta de avenida. Además, hay que tener en cuenta que en muchos países del mundo grandes ciudades con abundante población se han asentado históricamente en extensas llanuras fluviales, que constituyen la medula de los ejes de su desarrollo. En estos casos la implementación de medidas no-estructurales es muy difícil o imposible (por ejemplo reasentamientos de poblaciones, usos del suelo consolidados, etc.), por lo que una de las medidas más efectivas para reducir los impactos de las inundaciones puede ser el desarrollo y gestión de presas y embalses de laminación de avenidas.

Las presas y embalses se pueden clasificar en cuatro categorías según su función en la laminación de las avenidas (5):

## EL PAPEL DE LAS PRESAS EN LA MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES

1. Presas con el único objetivo de regulación de caudales (abastecimiento de agua a la población, regadíos, producción de energía hidroeléctrica, caudales medioambientales), con pocos efectos en la mitigación de inundaciones.
2. Presas con objetivos múltiples en las que la laminación de avenidas constituye un objetivo importante, pero secundario a los otros objetivos de regulación.
3. Presas con objetivos múltiples en las que la laminación de avenidas es el principal objetivo, combinado con otros objetivos secundarios.
4. Embalses en los que el único objetivo es la laminación de avenidas y la reducción aguas debajo de los impactos de las inundaciones.

En algunas ocasiones el objetivo de laminación se planifica fundamentalmente durante la estación de las avenidas. En estos casos los embalses se explotan para la laminación y la mitigación de los impactos de las inundaciones durante la estación de las avenidas, y para otros objetivos durante el resto del año. Por ello y dada la relación estacional de laminación estas presas suelen denominarse presas de laminación estacional de avenidas.

En general, todas las presas presentan beneficios para la laminación de avenidas si están bien proyectadas y correctamente explotadas, pero estos beneficios dependen de la relación entre el volumen de embalse dedicado a la laminación y el volumen de la avenida. Los beneficios máximos se obtienen en las presas y embalses en los que el principal objetivo es la laminación de avenidas.

En numerosas ocasiones las presas y embalses reducen la severidad de las inundaciones recurrentes, pero, como en cualquier otra solución, hay que evitar crear la sensación de seguridad y protección total, aunque la protección será mayor debido a su capacidad de laminar las avenidas. Para ampliar los efectos beneficiosos de los embalses es necesario su aplicación coordinada con otras actuaciones estructurales y no-estructurales, especialmente la gestión de las zonas inundables, la planificación de los usos del suelo, y la implementación de sistemas de previsión y alarma de avenidas. Por ello, es esencial que en la gestión de las presas de laminación de avenidas se planifique cuidadosamente y se controlen los desarrollos e implantaciones en las zonas inundables aguas abajo.

La experiencia de numerosos casos reales muestra los grandes beneficios de las presas y embalses en la laminación de avenidas. (9). Recientemente el Comité de Presas y Avenidas de ICOLD ha analizado diversos casos significativos en varios países (en Japón, USA, China, España, Brasil, Noruega, Corea del Sur, Túnez, etc.). En estos casos se demuestra el importante papel de las presas en la reducción de los daños producidos por las inundaciones(5). Los efectos de laminación fueron muy significativos con reducciones del 25% al 82% en los caudales punta de avenida, y del 10% al 73% en los volúmenes totales de avenida. En numerosas situaciones de avenida la reducción de los caudales punta fue superior al 50%. Los valores mayores en la laminación se presentaron en los casos en los que había mayores resguardos de embalse dedicados a las avenidas, y en los casos en los que la laminación era uno de los objetivos principales de la presa. Es también interesante señalar que en diversos embalses hidroeléctricos que habían sido proyectados únicamente para la producción hidroeléctrica, contribuyeron de manera importante a la laminación de avenidas mediante la adaptación de las normas de explotación en situación de avenida y la implementación de sistemas de previsión de avenidas.

Entre otros casos significativos recientes (10) se puede citar la presa de El Cajón, que mitigo de manera importante los daños causados por el huracán Mitch en Honduras en 1998. Este huracán produjo unas 14.000 víctimas y afecto a mas de dos millones de personas en América Central, principalmente en Honduras y en Nicaragua, países en los que su desarrollo se vio retrasado en unos 20 años. El huracán pasó sobre la cuenca del embalse de El Cajón. Aguas arriba del embalse los daños fueron muy importantes. El caudal punta de entrada al embalse fue de 9.800 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a la avenida de 500 años de periodo de retorno, y al 70% de la PMF. El embalse retuvo unos 1.5 km<sup>3</sup>, y el caudal máximo desaguado por la presa fue de únicamente 1.200 m<sup>3</sup>/s, lo que representa una reducción del 88% de los caudales punta. Aguas debajo de la presa se encuentran dos llanuras fluviales intensamente pobladas, y la laminación producida por el embalse evito mayores desastres en estas áreas. Se puede argumentar que los beneficios de la laminación que produjo el embalse de El Cajón durante el huracán Mitch, justificaron por si solos la construcción de la presa. (11, 12).

Otro caso se refiere al tifón Rusa en Corea del Sur en 2002, que causo 246 víctimas y más de 5.200 billones de won en daños económicos. Las presas y embalses en los ríos principales del país redujeron las inundaciones en numerosas zonas. Los volúmenes de entrada en las 14 principales presas de objetivos múltiples alcanzaron un total de 4.2 km<sup>3</sup>, de los que unos 1.4 km<sup>3</sup>, el 34% fueron retenidos por los embalses. En el río Han River, el mayor del país, el efecto de los embalses redujo el caudal punta de avenida en un 32% (18.919 m<sup>3</sup>/s), y en río Nakdong en un 51% (20.970 m<sup>3</sup>/s).

Aparte de examinar el papel de los embalses en la laminación de las avenidas en diversas situaciones de inundación, es también importante analizar las actuaciones de las presas de laminación durante toda su vida de operación. La presa de Danjiangkou en China esta en el río Han. Este río es uno de los mayores afluentes del río Yangtze, en el que desemboca en la ciudad de Wuhan. El área usualmente sufría recurrentes y fuertes inundaciones afectando a 13 millones de personas y a 1.1 millón de hectáreas de cultivos. Una gran inundación en 1935, con un caudal punta de mas de 50.000 m<sup>3</sup>/s, produjo 84.000 víctimas y afecto a 3.7 millones de personas, inundando 430.000 hectáreas de cultivo, y causando unos 800 millones de \$ de daños económicos. La presa se termino en 1968, y el embalse se ha explotado desde entonces fundamentalmente para la laminación de avenidas. El embalse tiene una capacidad de 20.9 km<sup>3</sup>, de los que 8.8 km<sup>3</sup> están dedicados a la laminación. Durante 22 años de operación (1968-1989), ha habido 58 avenidas con caudales superiores a 10.000 m<sup>3</sup>/s, con un maximo de 34.300 m<sup>3</sup>/s. La reducción media del los caudales punta de avenida ha sido del 64%, con un maximo 96% y un minimo del 15%. En la mayor parte de las avenidas la reducción fue de más 50%. Con ello en la mayoría de sucesos de avenidas (el 90%) el embalse ha transformado avenidas importantes en crecidas normales hacia el Yangtze, salvaguardando la ciudad de Wuhan.

Además de evaluar el efecto de los embalses en la reducción de los caudales punta de avenida es también interesante analizar el valor de los daños económicos que se han evitado, con lo que se puede entender mejor las dimensiones reales de los embalses en la mitigación de los daños de las inundaciones, y calcular sus beneficios económicos.

En USA diversos casos significativos ilustran el papel sustancial de los embalses en la reducción de daños de inundaciones. En la gran inundación del Midwest en 1993, se ha evaluado que los embalses han prevenido daños por un valor de unos 11.000 millones de \$. Una serie de presas en el río

## EL PAPEL DE LAS PRESAS EN LA MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES

Missouri, construidas con un coste de 13.000 millones en \$ corrientes, ha prevenido hasta la actualidad más de 25.000 millones en daños de inundaciones en Nebraska. En los últimos 12 años el proyecto de la presa de Oroville ha reducido en más de 1.300 millones de \$ los daños económicos de las inundaciones. También las presas del Portugués y Cerrillos en Puerto Rico han evitado unos 450 millones de \$ en daños económicos durante los huracanes Hortense en 1996 y Georges en 1998 (5).

En la cuenca del río Columbia, la explotación de un extenso sistema de presas y embalses ha producido una reducción media del 27% del caudal medio diario máximo anual entre 1949 y 1998. La reducción mayor ha sido del 50% y la menor del 3%. Sin embargo, desde que en el año 1972 se modificó el sistema de operación de los embalses para una mejor gestión de las avenidas, se han producido sustanciales mejoras en la laminación de avenidas. La reducción media de los caudales punta se ha incrementado al 38%, con unos valores máximos y mínimos del 50% y del 25%, respectivamente. Los beneficios económicos de la mitigación de las inundaciones son también muy importantes. Las evaluaciones de estos beneficios muestran que durante 50 años de operación del sistema de embalses (1949-1998), se han evitado unos 2.350 millones \$ en daños económicos (sin tener en cuenta los ajustes debidos a la inflación). Desde el año 1972 la cifra media anual ha aumentado hasta unos 80 millones de \$ por año. El beneficio total se ha evaluado en 20.200 millones en \$ del año 1998 (10).

En Japón se han producido numerosas inundaciones en el río Kitakami, (uno de los ríos de mayor longitud del país), que han causado importantes daños económicos. Los tifones de los años 1947 y 1948 causaron 4.862 víctimas y unos 1.600 millones de \$ en daños económicos, por lo que en el año 1951 se proyectó un plan de defensa frente a las inundaciones. El objetivo era reducir el caudal de avenida de 13.000 m<sup>3</sup>/s a 8.500 m<sup>3</sup>, mediante la laminación de 2.600 m<sup>3</sup>/s con embalses, y de 1.900 m<sup>3</sup>/s a través de diversas zonas de inundación controlada. Un estudio virtual que reproducía la avenida del año 1947 evaluó los beneficios que el plan, y las presas y embalses, hubieran producido. La reducción de impactos se estimó en 2.900 hectáreas de zonas urbanas, y 4.800 casas inundadas, con un valor total de 4.100 millones de \$. Ya en términos reales los beneficios durante la última inundación del año 2000 fueron de 2.900 hectáreas, 5.900 viviendas, y 2.300 millones de \$ en daños económicos totales.

Para poder tener visiones más generales que muestren los beneficios de las presas y embalses en la mitigación de

las inundaciones a nivel nacional o regional, se requieren investigaciones y análisis más extensos. Por ejemplo, una evaluación general de los beneficios de las presas y embalses en la reducción de los impactos de las inundaciones en China muestra que en el periodo de cinco años de 1998 a 2002, las 85.130 presas existentes almacenaron un total de 155.7 km<sup>3</sup> de volúmenes de avenida, evitando la inundación de 13.36 millones de hectáreas de cultivo, y de 1.845 ciudades, lo que hubiera afectado a más de 220 millones de personas. Los beneficios económicos se han estimado en 62.300 millones de \$.

#### 4. REFERENCIAS

1. CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED) (2005). International disaster database. <http://www.cred.be>
2. ZUPKA, D (1998). Economic impact of disasters. UNDRR News. Jan-Feb.
3. WORLD WATER COUNCIL (WWC) (2000). World Water Vision. Making water everybody's business. 2nd World Water Forum. The Hague.
4. MUNICH RE (2004). Topics. Annual review of natural catastrophes. Munich.
5. INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD) (2003). Dams and Floods. Guidelines and cases histories. Bulletin 125. Paris.
6. WORLD WATER COUNCIL (WWC) (2003). World Water Actions. Making water flow for all. 3rd World Water Forum. Kyoto.
7. WORLD WATER COUNCIL (WWC) (2003). Analysis of the 3rd World Water Forum. Kyoto.
8. UNITED NATIONS WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT (2003). Water for people, water for life. UNESCO. Paris.
9. BERGA, L (2000). Benefits of dams in flood mitigation. 20th International Congress on Large Dams. R35. Q77.
10. INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD) (2006). Review paper on the role of dams in flood mitigation. (Draft). Paris.
11. HYDROPOWER AND DAMS (1998). El Cajon reduces hurricane damage in Honduras. News. 6, 3.
12. WORLD COMMISSION ON DAMS (2000). Assessment of Flood Control and Management Options. WCD Thematic Reviews. Options Assessment: IV. 4.