

Auscultación y prevención de inundaciones

Dam monitoring and flood prevention

Jürgen Fleitz. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director General de OFITECO. jfleitz@ofiteco.es

Resumen: En el presente artículo se reflexiona sobre la evolución en el tiempo de dos conceptos distintos, pero a la vez relacionados: la prevención de inundaciones y la auscultación de presas. Las presas y embalses y más concretamente su capacidad de retención y laminación de avenidas son los medios más eficientes para prevenir inundaciones y reducir daños. No obstante, ha de considerarse que se trata de infraestructuras que puedan imponer un riesgo potencial para las personas y bienes aguas abajo de la presa. La solución más eficaz para minimizar este riesgo intrínseco, es el desarrollo y la aplicación de un adecuado y eficaz programa de vigilancia de presas, que incluya como elemento fundamental la auscultación.

Palabras Clave: Prevención de inundaciones; Gestión integral de avenidas; Riesgos de inundación; Vulnerabilidad; Medidas estructurales; Medidas no estructurales; Vigilancia; Auscultación; Modos de fallo

Abstract: The present paper describes how two different but related concepts are changing with time: flood prevention and dam monitoring. Dams and reservoirs are the most efficient tools to prevent floods and to reduce damage due to its regulation and routing capacities. On the other hand they may create a potential risk for people and goods in the downstream area. The design and performance of dam surveillance activities, including dam monitoring as one of its major elements, is the most effective policy to minimize this intrinsic risk.

Keywords: Flood prevention; Flood risk management; Vulnerability; Structural measures; Non structural measures; Surveillance; Monitoring; Failure modes

1. Introducción

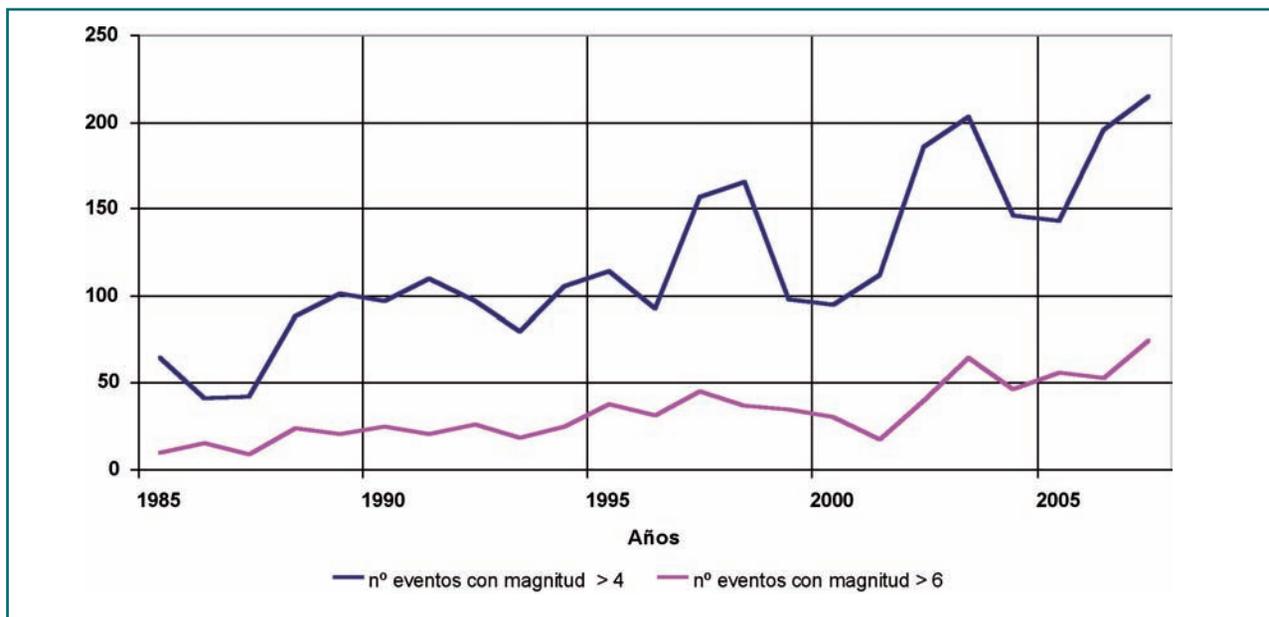
Las inundaciones son uno de los más importantes desastres naturales que afligen a la humanidad. Como demuestran las estadísticas, un 70% de todos los desastres acaecidos en todo el mundo están relacionados con fenómenos de índole hidrometeorológica. Las presas y embalses forman parte de actuaciones estructurales destinadas a la reducción de impactos de inundaciones. A lo largo de los últimos años, se puede observar una clara tendencia hacia un enfoque integral que contemple la evolución del entorno social y medioambiental a partir de una visión holística de la problemática de inundaciones, desarrollando modelos conceptuales de gestión de riesgos de inundaciones.

Tradicionalmente la protección de bienes y personas frente a avenidas, se ha abordado casi exclusivamente mediante soluciones estructurales en for-

ma de obras hidráulicas, principalmente presas y encauzamientos. El enfoque de las medidas de prevención era la contención de las aguas en el espacio y en el tiempo, creando volúmenes de retención y protecciones de cauces para evitar desbordamientos.

El dinamismo de la sociedad moderna y su impacto en los usos del suelo, especialmente el desarrollo urbano e industrial, ha contribuido a incrementar muy significativamente la vulnerabilidad frente a desbordamientos de cauces. A estos cambios sociales se suman los efectos del cambio climático que puedan modificar la frecuencia e intensidad de precipitaciones y por tanto los hidrogramas resultantes considerados en el diseño de las infraestructuras hidráulicas. Por consiguiente, estamos ante un fenómeno considerablemente más complejo de tres dimensiones: la geometría del espacio fluvial, su uso dinámico por la actividad económica y la variabilidad del clima.

Fig. 1. Registro mundial de episodios de avenidas entre 1985 y 2007 en función de su magnitud (Fuente: www.dartmouth.edu).



Las presas y embalses siguen siendo herramientas claves en la gestión integral de avenidas. A la vez que una adecuada explotación de embalses permite mitigar los efectos de avenidas en los territorios situados aguas abajo, no se puede obviar que las presas forman parte de las grandes infraestructuras que llevan asociado un riesgo potencial muy significativo. La construcción de embalses somete a un riesgo a las poblaciones situadas aguas abajo, a las personas, los bienes y el medio ambiente.

La solución más eficaz para minimizar este riesgo intrínseco, es el desarrollo y la aplicación de un adecuado y eficaz programa de vigilancia de presas que incluya como elemento fundamental la auscultación de presas.

2. Riesgos de inundación

Según el observatorio Dartmouth que recopila datos sobre avenidas (www.dartmouth.edu) y sus consecuencias procedentes de fuentes gubernamentales y medios de comunicación a nivel mundial, se detecta una tendencia creciente del número de episodios. Dartmouth define un índice correspondiente a la magnitud del evento como logaritmo del producto de la duración, gravedad y superficie afectada (fig. 1).

Debido a los crecientes riesgos para personas y bienes en una época de gran variabilidad climática, la gestión de avenidas se ha convertido en objetivo

principal de múltiples programas de investigación, tanto a nivel europeo como mundial.

En el Simposio Europeo sobre Investigación de Gestión de Avenidas (EFRM 2007), celebrado en febrero de 2007 en Dresde (1), se presentaron los resultados más recientes obtenidos en los 38 países participantes.

Las conclusiones del Simposio confirman que las avenidas constituyen una importante preocupación en todo el mundo. A pesar de importantes esfuerzos, a lo largo de los últimos años en Europa se han producido varios episodios de avenidas de consecuencias catastróficas y la tendencia de los daños producidos es creciente. Se puede afirmar que una protección absoluta frente a avenidas no es alcanzable ni sostenible, debido a su elevado coste y sus incertidumbres inherentes; pero si se pueden reducir los riesgos, desarrollando una adecuada política de gestión. Un concepto moderno para la gestión de riesgos de inundación debe abordar el análisis, la evaluación y la reducción del riesgo considerando aspectos hidrológicos-hidráulicos, medioambientales y sociales.

De la declaración resumen del Simposio, se pueden destacar los siguientes puntos:

- Las inundaciones seguirán siendo un serio riesgo para Europa, que se puede reducir pero no eliminar. Incluso en zonas bien protegidas se mantiene el riesgo en caso de avenidas extremas o rotura de obras de defensa.

Tabla 1: Fases de actuaciones previstas en la Directiva Europea para evaluación y gestión de riesgos de inundación

| Fases | Fecha límite |
|---|-------------------------|
| 1. Evaluación preliminar del riesgo de inundación | 22 de diciembre de 2011 |
| 2. Mapas de peligrosidad por inundaciones y mapas de riesgo de inundación | 22 de diciembre de 2013 |
| 3. Planes de gestión del riesgo de inundación | 22 de diciembre de 2015 |

- Se insta a analizar los posibles efectos del cambio climático para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- Se observa una creciente vulnerabilidad como consecuencia de la presión social y económica. Se han identificado medios para reducir esta vulnerabilidad y se debería abordar su aplicación.
- Se requiere la aproximación a la integración del rendimiento, la efectividad y la eficiencia de métodos e instrumentos de la gestión de riesgos, especialmente en el contexto de un escenario cambiante e incierto.
- La investigación de riesgos de inundación debería centrarse en una mejorada comprensión del entorno junto con el desarrollo de estrategias integradas, métodos y tecnologías para la gestión de riesgos de inundación.

En este contexto nace la Directiva Europea 2007/60/CE del 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación(2), que pretende "establecer un marco para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, destinado a reducir las consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a las inundaciones en la Comunidad."

3. La Directiva Europea para evaluación y gestión de riesgos de inundación

La Directiva define tres ámbitos de trabajo por fases, que se detallan a continuación (Tabla 1):

3.1. Evaluación preliminar del riesgo de inundación

Sobre la base de la información de que se disponga o que pueda deducirse con facilidad, como datos

registrados y estudios sobre la evolución a largo plazo, en especial sobre el impacto del cambio climático en la frecuencia de las inundaciones, se debe evaluar preliminarmente el riesgo de inundación con objeto de proporcionar una evaluación del riesgo potencial. La evaluación preliminar debe contener al menos los siguientes aspectos:

- Mapas de la demarcación hidrográfica
- Descripción de las inundaciones ocurridas en el pasado que hayan tenido impactos negativos significativos y que tengan una probabilidad significativa de volver a producirse
- Descripción de las inundaciones de importancia ocurridas en el pasado cuando puedan preverse consecuencias adversas de futuros acontecimientos similares

Los resultados de la evaluación preliminar del riesgo de inundación, permite determinar las zonas para las cuales se haya llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial de inundación significativo o en las cuales la materialización de tal riesgo pueda considerarse probable.

3.2. Mapas de peligrosidad por inundaciones y mapas de riesgo de inundación

En la siguiente fase, se prepararán, para cada demarcación hidrográfica y cada unidad de gestión, mapas de peligrosidad por inundaciones y mapas de riesgo de inundación, a la escala que resulte más apropiada.

Los mapas de peligrosidad por inundaciones incluirán las zonas geográficas que podrían inundarse según los escenarios siguientes:

- Baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos

- Probabilidad media de inundación (período de retorno ≥ 100 años)
- Alta probabilidad de inundación, cuando proceda

Respecto a cada uno de los escenarios anteriores se indicarán los elementos siguientes:

- Extensión de la inundación
- Calados del agua o nivel de agua, según proceda
- Cuando proceda, la velocidad de la corriente o el caudal de agua correspondiente

Los mapas de riesgo de inundación mostrarán las consecuencias adversas potenciales asociadas a la inundación en los escenarios indicados anteriormente, expresadas mediante los parámetros siguientes:

- Número indicativo de habitantes que pueden verse afectados
- Tipo de actividad económica de la zona que puede verse afectada
- Instalaciones a que se refiere la Directiva 96/61/CE relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación que puedan ocasionar contaminación accidental en caso de inundación y zonas protegidas que puedan verse afectadas indicadas en la Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas
- Cualquier otra información que se considere útil, como la indicación de zonas en las que puedan producirse inundaciones con alto contenido de sedimentos transportados y flujos de derrubios e información sobre otras fuentes importantes de contaminación

3.3. Planes de gestión del riesgo de inundación

A partir de la información de peligrosidad por inundaciones y mapas de riesgo de inundación, se establecerán planes de gestión del riesgo de inundación coordinados por demarcación hidrográfica o unidad de gestión.

Se establecerán objetivos adecuados de gestión del riesgo de inundación para cada zona, centrándose su atención en la reducción de las consecuencias adversas potenciales de la inundación

para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, y, si se consideran oportuno, en iniciativas no estructurales o en la reducción de la probabilidad de las inundaciones.

Los planes de gestión del riesgo de inundación tendrán en cuenta: los costes y beneficios, la extensión de la inundación y las vías de evacuación de inundaciones, así como las zonas con potencial de retención de las inundaciones, como las llanuras aluviales naturales, los objetivos medioambientales indicados en la Directiva 2000/60/CE, la gestión del suelo y del agua, la ordenación del territorio, el uso del suelo, la conservación de la naturaleza, la navegación e infraestructuras de puertos.

Además abarcarán todos los aspectos de la gestión del riesgo de inundación, centrándose en la prevención, protección y preparación, incluidos la previsión de inundaciones y los sistemas de alerta temprana, y teniendo en cuenta las características de la cuenca o subcuenca hidrográfica considerada.

Los planes de gestión del riesgo podrán incluir la promoción de prácticas de uso sostenible del suelo, la mejora de la retención de aguas y la inundación controlada de determinadas zonas en caso de inundación.

4. La prevención de inundaciones en España

La capacidad de regulación de las cerca de 1300 grandes presas españolas y el efecto de laminación de sus correspondientes embalses, constituyen elementos muy eficaces para mitigar efectos de avenidas, a pesar de que sólo el 2% de las presas españolas tiene como objetivo principal o único la laminación de avenidas (3). Sin embargo, en la gran mayoría de las presas españolas se establecen resguardos estacionales para laminación de avenidas. Por consiguiente, existen múltiples referencias de episodios en los que se ha puesto de manifiesto la importante reducción de caudales y por consiguiente de daños personales y materiales gracias al efecto beneficioso de las presas y embalses (4) y (5).

A raíz del impacto que supusieron las inundaciones de octubre y noviembre de 1982 en el litoral mediterráneo, y un año después en la franja cantá-

brica, la administración hidráulica empezó a revisar y diseñar nuevos programas de prevención. El desarrollo del Plan Nacional de Defensa frente a las Inundaciones (1987-1992) que contempla más de 1000 actuaciones y los planes específicos de defensa de avenidas en las cuencas del Segura y Júcar, supusieron un punto de inflexión y permitieron iniciar la transición de un concepto tradicional enfocado a resolver problemas específicos y localizados hacia la gestión integral de cuencas.

El Plan de defensa de inundaciones impulsó una de las medidas no estructurales más eficaces: el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). Se trata de una red de telemetría de variables hidrometeorológicas (precipitaciones, niveles en ríos y embalses, caudales en ríos y canales, posiciones de compuertas y válvulas de presas, etc.) que registran y transmiten en tiempo real sus datos al centro de control de cuenca, donde se dispone de herramientas de análisis de la información con el fin de facilitar la toma de decisiones tanto para la gestión de avenidas como para los recursos en general. Los SAIH se han implementado en el ámbito de las Confederaciones Hidrográficas, empezando a mediados de los años 80 en el Júcar y Segura y a día de hoy se encuentran operativos prácticamente en todas las cuencas, a falta de la finalización de las obras de instalación en la cuenca del Duero.

Más de veinte años después de su implantación en las cuencas mediterráneas, los SAIH han evolucionado muy significativamente, no solamente migrando paulatinamente su tecnología de instrumentación, comunicación e información, sino sobre todo en los servicios orientados a la gestión de recursos hídricos en general y de avenidas en particular. Los centros inicialmente concebidos exclusivamente para monitorizar la red de sensores, se van convirtiendo en centros de información y de gestión integral de la cuenca, apoyados en sistemas de ayuda a la decisión (SAD). Aparte de la monitorización en tiempo real, en muchos SAIH se dispone de la siguiente información:

- Previsiones meteorológicas cuantitativas e imágenes radar y satélite de creciente calidad y resolución
- Cartografía actualizada de alta resolución y modelos digitales del terreno

- Modelos de precipitación-escorrentía, hidrodinámicos y de operación de embalses
- Validación y análisis estadístico de series históricas de datos hidrometeorológicos
- Normas de explotación de presas, especialmente en lo referente a los resguardos estacionales, pautas de gestión de avenidas y manejo de los órganos de desagüe, así como umbrales de daños por inundaciones en la zona del cauce de aguas abajo
- Planes de emergencia de presas, con especial hincapié en los umbrales de aviso y alerta de escenarios de riesgo y la zonificación territorial y conocimiento de afecciones

La capacidad de análisis del conjunto de la información mediante personal experimentado y cualificado, tecnologías de la información y modelos de simulación y predicción, facilita una rápida evaluación de la situación y la planificación de medidas y actuaciones destinadas a prevenir y reducir daños por inundación. Los márgenes de error de los modelos de simulación hidrometeorológica, dependen en gran medida de la calidad de las previsiones meteorológicas, especialmente de la distribución temporal y espacial de las precipitaciones. A pesar de avances significativos, sobre todo por el creciente uso de información de radares meteorológicos, la mejora de las previsiones de precipitaciones beneficiará considerablemente la gestión de recursos hídricos y contribuirá a la optimización de la operación de embalses en situación de avenidas.

En las cuencas mediterráneas las condiciones atmosféricas se caracterizan por su gran variabilidad, lo que aumenta el margen de error de las previsiones meteorológicas. Las tormentas más importantes son de tipo convectivo con precipitaciones muy intensas que puedan generar escorrentías de forma casi inmediata. El hidrograma resultante tipo de estas avenidas alcanza caudales punta elevados pero volúmenes relativamente reducidos, debido a la escasa base temporal, en general no mayor de 2 horas (4). Estas condiciones han fomentado el diseño de embalses de laminación en cuencas de cabecera de pequeño tamaño (hasta 300 km²), considerados en los planes de defensa de avenidas de las cuencas Júcar y Segura.

En la figura 2 se puede observar la importante reducción de la zona inundable que se obtiene en

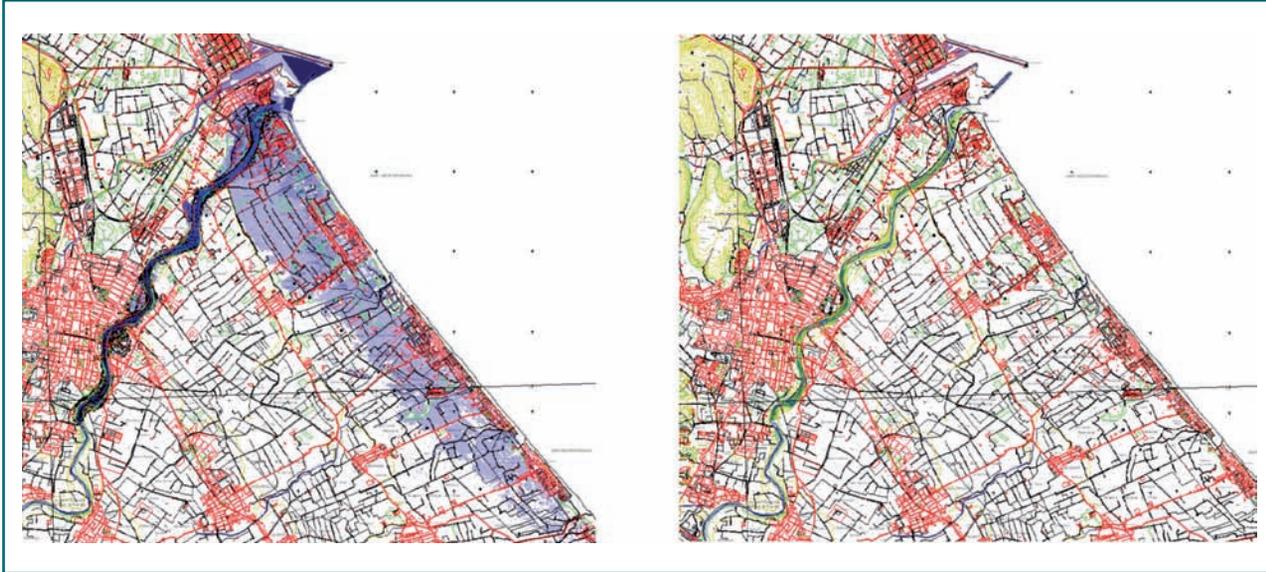


Fig. 2. Comparación de la zona inundada en el Bajo Serpis en situación actual (izquierda) y futura (derecha) para una avenida de período de retorno de 100 años (Proyecto Presa Terraiteig desarrollado por ACUAMED).

el entorno de la desembocadura del río Serpis en Gandía (Valencia) mediante la construcción de una presa de laminación de 26,5 m de altura sobre cimientos y capacidad total de 7,86 hm³ en la cuenca alta de la rambla Vernissa, afluente del río Serpis y la ejecución de una serie de obras de defensa.

5. La vigilancia y auscultación de presas

En los capítulos anteriores se ha abordado la evolución del concepto de prevención de avenidas. A pesar de la creciente importancia de recurrir a medidas no estructurales como sistemas de predicción y alerta y políticas de ordenación del territorio, las presas y embalses siguen siendo los elementos más importantes para mitigar los efectos de avenidas. A pesar de estos efectos beneficiosos y como ocurre también con otras grandes infraestructuras, las presas llevan asociado un riesgo potencial muy significativo. La construcción de embalses somete a un riesgo a las poblaciones situadas aguas abajo, a las personas, los bienes y el medio ambiente.

Por este motivo, la normativa española vigente obliga a todos los titulares de grandes presas a efectuar una clasificación de la obra en función del riesgo potencial y en caso de que este sea significativo (categoría A o B) a redactar un plan de emergencia considerando escenarios de rotura de la presa. De hecho, en los documentos de los planes de emergencia se

suelen cuantificar las consecuencias de un mal funcionamiento y de una rotura de una presa. A pesar de que los daños producidos por la rotura de una presa pueden alcanzar dimensiones catastróficas, la probabilidad real de que se produzca se puede considerar muy baja. El riesgo intrínseco, resultado del producto de las consecuencias de una rotura y la probabilidad de ocurrencia puede ser variable y de difícil cuantificación.

El objetivo de un programa de vigilancia de presas es la gestión de este riesgo y la reducción de la probabilidad de ocurrencia de fallos, utilizando métodos para la detección temprana de fenómenos no deseados que pudieran dar lugar al desarrollo de mecanismos de fallo. Con el fin de reducir al mínimo la probabilidad de fallo de una presa, los responsables de su vigilancia y auscultación deberían:

- Identificar los posibles modos de fallo y diseñar un adecuado programa de vigilancia enfocado a su control
- Detectar con la máxima antelación posible las fases iniciales de fenómenos evolutivos que pudiesen dar lugar a desarrollar mecanismos de fallo
- Comprender el comportamiento de la presa y sus obras complementarias empleando parámetros físicos

La vigilancia de presas es una parte del programa de seguridad de presas y se contempla tanto en

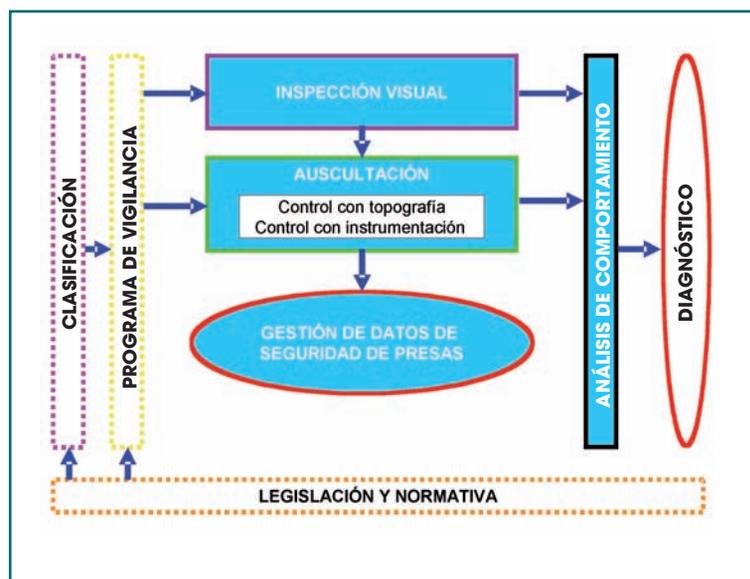


Fig. 3. Actividades de Vigilancia de Presas según boletín 138 de ICOLD(6).

el Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses con aplicación a las presas estatales como en el Real Decreto 9/2008 que modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986 aplicable al conjunto de las grandes presas españolas.

La rigurosa aplicación de los programas de vigilancia de presas adquiere una importancia adicional si se considera el envejecimiento del patrimonio hidráulico: el 60% de las presas españolas lleva más de 30 años en servicio. La organización de las diferentes actividades que forman parte de las tareas de vigilancia, se indican en la figura 3, extraída del reciente boletín 138 de ICOLD.

6. Conclusiones

Las presas y embalses en España tienen un destacado papel en la prevención de inundaciones y la limitación de daños de avenidas. En paralelo, la Administración hidráulica lleva desde hace más de 25 años impulsando medidas no estructurales como son los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH). La importante evolución de estos sistemas junto a los avances en otros campos como por ejemplo en la planificación territorial, ha facilitado la transición hacia el desarrollo de conceptos integrales de gestión de cuencas. Como pone de manifiesto la Directiva Europea 2007/60/CE del 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, se trata de una tendencia generalizada en los países desarrollados, en los que las demandas sociales y medioambientales requieren que la problemática de inundaciones se aborde desde un punto de vista holístico. Aparte de los efectos positivos de las presas, también constituyen un riesgo para la población ubicada aguas abajo. Para controlar este riesgo, la normativa española establece el alcance de actividades de inspección y vigilancia. La auscultación y la inspección visual son actividades de destacada importancia en un programa de vigilancia de presas, más aún si se tiene en cuenta el creciente envejecimiento del conjunto de las presas españolas. Para diseñar un sistema de auscultación adecuado, es imprescindible identificar posibles modos de fallo y analizar el comportamiento esperado de la estructura. ♦

Referencias:

- (1) Dresden Communication on Flood Risk Management Research in Europe. (2007)
- (2) DIRECTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de octubre de 2007
- (3) BERGA, L. (2008). Las presas en España. Capítulo 1 del libro *Las presas en España*
- (4) BERGA, L. (2008). Presas y avenidas. Capítulo 12 del libro *Las presas en España*
- (5) CIFRES, E. (2006). Benefits of dams - General Report. *Proceedings of the International Symposium on Dams in the Societies of the 21st Century*, ICOLD-SPANCOLD, Barcelona