

Evaluación de la seguridad hidrológica de presas mediante modelos de riesgo simplificados

I. Escuder-Bueno

Universitat Politècnica de Valencia, España

A. Serrano-Lombillo

iPresas S.L., España

J. Fluixá-Sanmartín & A. Morales-Torres

Universitat Politècnica de Valencia, España

ABSTRACT: The article includes a series of methodological aspects developed under the Research Project entitled “Risk based dam hydrological safety assessment (spillway adequacy). Ref. 106/RN08/02.1 Ministry of Environment. Spain”. More in detail, the paper describes the state of the art, inspiring principles and a simplified methodology developed to undertake hydrological risk analysis and evaluation of dams, in a way that is perfectly compatible with existing legislation and good practice, reinforcing dam safety activities and informing decision making.

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la aplicación del análisis de riesgos ha adquirido un destacable desarrollo en el ámbito de la seguridad de presas y embalses, pudiéndose afirmar que la rotura de la presa de Teton en 1976 representó el punto de partida en esta andadura.

Desde entonces, distintos organismos y universidades han creado grupos de trabajo para el desarrollo de metodologías para la evaluación del riesgo como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en seguridad de presas.

Dentro de las aplicaciones más actuales disponibles para la cuantificación del riesgo por rotura de presas cabe destacar el software iPresas (Serrano et al., 2009), que permite la resolución de árboles de eventos mediante diagramas de influencia, ofreciendo una interfaz sencilla para la representación de modelos de riesgo de forma esquemática y compacta. Los diagramas de influencia están constituidos por nodos y conectores: los nodos contienen la información necesaria para el cálculo y los conectores especifican las relaciones entre ellos. Este software “genérico” se toma como punto de partida para la metodología que se presenta, circunscribiendo las necesidades metodológicas a una correcta elaboración de los datos necesarios para las estimaciones de riesgo así como a las arquitecturas más apropiadas para modelos de riesgo que se ajusten a los objetivos planteados.

Por último, por su especial relevancia a la hora de desarrollar los principios que inspiran la metodología que se presenta en este artículo o, en algunos casos, por descansar sobre ellos parte de la propia aplicación de dicha metodología, cabe destacar a:

- Hartford y Baecher (2004), por su completa compilación de las técnicas de análisis de riesgos aplicadas a seguridad de presas.
- Ayyub (2001), por su contribución al entendimiento del juicio experto.
- Fell et al. (2005) y Silva et al. (2008), por sus publicaciones sobre probabilidad de fallo de presas de materiales sueltos.

- Altarejos et al. (2009), por su contribución a la estimación de la probabilidad de fallo de presas de hormigón.
- Graham (1999), Bowles et al. (2009) y Escuder et al. (2010), por sus contribuciones en la estimación de consecuencias por inundación.
- Serrano et al. (2010), por su contribución al cálculo de riesgo en sistemas de presas.
- Bowles et al. (2001, 2004 y 2007), por la definición y aplicación de indicadores de eficiencia de inversiones en seguridad de presas.

2 PRINCIPIOS QUE INSPIRAN LA METODOLOGÍA

La convivencia entre los estándares (códigos) de seguridad y las técnicas de análisis de riesgo como apoyo a la toma de decisiones no solo es conveniente sino necesaria, y se encuentra en la propia génesis de la elaboración de los denominados modelos de riesgo. De hecho, el entendimiento y el reconocimiento de los distintos factores de riesgo presentes en las actividades relacionadas con la seguridad de presas y embalses, constituye la base conceptual para la confección de sistemas lógicos o modelos orientados a informar la toma de decisiones.

Por otra parte, el conjunto de las actividades, estudios y procedimientos de gestión de la seguridad de presas y embalses que, para el caso español, es obligatorio documentar en las Normas de Explotación (NEP), Planes de Emergencia (PEP) e Informes de Revisión y Análisis de la Seguridad (ISP), implican vinculaciones con las distintas componentes del riesgo: las solicitaciones, la probabilidad de fallo y las consecuencias.

Consecuentemente, si todos los procesos involucrados en la gestión de la seguridad de presas se integran en sistemas lógicos o modelos de riesgo capaces de agregar todos los factores o componentes del riesgo intrínseco a estas infraestructuras, se genera una información de gran valor añadido como ayuda a la toma de decisiones.

Si bien cualquier “estándar” o código ingenieril tiene de por sí una limitación binaria (“cumple” vs “no cumple”) y estática (cuando “se cumple” sería el final del proceso), los modelos de riesgo capturan de forma natural el carácter continuado (“cumplir” sería un punto de partida y a partir de ahí hay que seguir trabajando para controlar el riesgo permanentemente) de las tareas de seguridad de presas.

En este contexto, la definición de criterios de tolerabilidad para el riesgo de inundación es la base para la gestión del riesgo de inundación, ya que el concepto de riesgo tolerable es fundamental para la toma de decisiones (Munger et al., 2009).

En general (HSE 2001), se pueden definir tres rangos generales de tolerabilidad. La primera región es la de no aceptación, donde el riesgo existente solo puede ser justificado en circunstancias extraordinarias. La segunda región es el rango de tolerabilidad, donde el riesgo se encuentra bajo el límite de tolerabilidad. En esta región el riesgo debe ser analizado ya que solo es aceptado por la sociedad si cumple el principio ALARP (tan bajo como sea razonablemente practicable). Por lo tanto, el riesgo solo es tolerable si su reducción es impracticable o si los costes de su reducción son desproporcionados. Por último, la región de amplia aceptación comprende el riesgo que puede ser considerado insignificante y que puede ser controlado adecuadamente.

Los pocos criterios desarrollados a nivel internacional se pueden dividir en los que hacen referencia a la tolerabilidad del “riesgo individual” (riesgo que asume la persona más expuesta) y los que están basados en “riesgo social”.

Introducidos los conceptos de riesgo individual, riesgo social y criterio ALARP cabe mencionar que cualquier criterio de tolerabilidad implica un equilibrio entre dos términos hasta cierto punto contradictorios entre sí como son los de “equidad” y “eficiencia”. Así, la equidad está relacionada con garantizar que no se supere un nivel máximo razonablemente bajo de riesgo independientemente de lo eficiente que sea conseguirlo.

A la hora de definir criterios de tolerabilidad de riesgos asociados a presas, éstos se definen en términos incrementales, computando exclusivamente la diferencia entre los daños causados por la rotura de la presa y los que se habrían producido sin que dicha rotura aconteciera.

Como ejemplo de criterios de tolerabilidad existentes para el caso de riesgo incremental por rotura de presas, cabe destacar el esfuerzo conjunto de las tres principales agencias federales norteamericanas (Munger et al., 2009).

En particular, distinguen entre riesgo individual, que se asocia a la probabilidad anual de fallo, y riesgo social, que requiere de contrastar con qué probabilidad anual se produciría un cierto número de víctimas y que se analiza a través de curvas F-N. Además se distingue entre criterios de tolerabilidad para presas existentes y para presas nuevas o modificaciones significativas de las existentes.

Por último, cabe mencionar la existencia de indicadores de eficiencia, que tienen un doble propósito: servir como guía cuantitativa para materializar el criterio ALARP y servir como variables de optimización para priorizar entre diferentes alternativas de reducción de riesgo. Como guía para materializar el criterio ALARP, de entre los indicadores existentes, el más habitualmente utilizado es el de “coste ajustado por vida estadística salvada”, normalmente conocido por sus siglas en inglés ACSLS (Adjusted Cost per Statistical Life Saved, ANCOLD 2004).

3 METODOLOGÍA SIMPLIFICADA DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGO HIDROLÓGICO

Para la aplicación de la metodología desarrollada, en primer lugar, es necesario definir el ámbito de estudio del análisis (Fase I). A continuación, se debe recopilar y analizar toda la información relevante (Fase II) y definir cuál será el “caso base” del estudio (Fase III). Con esto, se puede configurar la arquitectura del modelo de riesgo (Fase IV), procesar los datos de entrada al modelo de manera acorde (Fase V) y realizar el cálculo (Fase VI) y evaluación de riesgo (Fase VII) sobre el caso base. Posteriormente, se incorpora en los modelos de riesgo la evaluación de distintas medidas correctoras que permitan reducir el riesgo de la presa (Fase VIII). Finalmente, es conveniente llevar a cabo un análisis de sensibilidad que permita estimar si la incertidumbre asociada a la simplicidad del modelo resulta un factor excesivamente limitante en comparación con el “nivel” de la decisión a tomar (Fase IX). De forma sistemática deben por tanto acometerse las siguientes fases:

- Fase I. Definición del ámbito de estudio.
- Fase II. Estudio de la situación actual de seguridad.
- Fase III. Definición del “caso base”
- Fase IV. Arquitectura del modelo de riesgo.
- Fase V. Datos de entrada al modelo de riesgo.
- Fase VI. Cálculo del riesgo.
- Fase VII. Evaluación del riesgo.
- Fase VIII. Incorporación y análisis del efecto de medidas correctoras.
- Fase IX. Análisis de sensibilidad e impacto de la incertidumbre sobre toma de decisiones.

En el presente artículo se hace especial hincapié en las Fases IV y V, así como se mencionan algunos aspectos relevantes de la Fase XI (en el apartado 4 de este artículo). Así, comenzando por la Fase IV, dado que se trata de una metodología simplificada, solo se contempla un modo de fallo de todos los potencialmente existentes en la presa y que corresponde con el modo de fallo por sobrevvertido.

La Figura 1 muestra la arquitectura simplificada que se propone, pudiéndose apreciar una serie de nodos y conectores que los relacionan. Estos nodos y conectores constituyen el diagrama de influencia propuesto. Una vez definida la arquitectura del modelo en la Fase IV, se proponen una serie de cálculos previos para obtener los insumos (o “ficheros de entrada de datos”) necesarios para la confección de un modelo completo y simplificado.

Los datos de entrada al modelo de riesgo se organizan siguiendo la misma estructura descrita anteriormente (cargas, respuesta del sistema y consecuencias). La Tabla 1 detalla, para cada componente del modelo, la metodología de elaboración de los datos de entrada al modelo de riesgo.

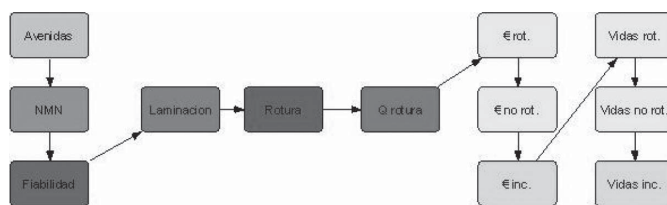


Figura 1. Arquitectura del modelo de riesgo para la metodología de evaluación de la seguridad hidrológica de presas.

Nota: Los nodos de Avenidas, NMN, Fiabilidad, Laminación, Rotura, Q rotura, € rot., € no rot., € inc., Vidas rot., Vidas no rot y Vidas inc quedan todos vinculados a la necesidad de elaborar una información previa tal y como se recoge en la Tabla 1, donde se vincula la metodología de elaboración de dicha información con cada uno de estos nodos.

Tabla 1. Metodología de elaboración de datos de entrada al modelo de riesgo.

Componente del modelo	Simplificado
<i>Avenidas</i> (Nodo: Avenidas)	Hidrogramas disponibles en los documentos de seguridad de la presa y extrapolación en su caso hasta periodos de retorno de 10000 años como mínimo.
<i>Nivel Previo</i> (Nodo: NMN)	Considerar que el embalse se encuentra siempre a su Nivel Máximo Normal (NMN).
<i>Fiabilidad de compuertas</i> (Nodo: Fiabilidad)	Adoptar los siguientes valores para la fiabilidad individual de compuertas de aliviadero (no considerar los desagües de fondo): <ul style="list-style-type: none"> • Nuevas o muy bien mantenidas y operadas sin problemas: 95% • Bien mantenidas y algún incidente menor de operación: 85% • Algún problema conocido en su operación: 75% • No claramente confiable: 50% • No confiable en absoluto o no utilizada: 0% Obtener la fiabilidad de que puedan funcionar desde 0 hasta N compuertas mediante el uso de la distribución binomial.
<i>Laminación</i> (Nodo: Laminación)	Se puede considerar al realizar los cálculos que el caudal desaguado es igual al entrante hasta alcanzar la máxima apertura de las compuertas.
<i>Modos y Probabilidad de fallo</i> (Nodo: Rotura)	Sobrevertido. Utilizar las curvas de fragilidad elaboradas para presas de Hormigón de Gravedad, Arco y Materiales Suetos.
<i>Hidrogramas de rotura</i> (Nodo: QRotura)	Utilizar como base los cálculos realizados en el Plan de Emergencia. En este caso se plantea la utilización de una adaptación la curva propuesta por Froehlich et al. (1995), que relaciona el nivel de embalse con el caudal máximo de rotura.
<i>Consecuencias</i> (Nodos: € rot., € no rot, € inc, Vidas rot, Vidas no rot y Vidas inc)	Utilización de métodos empíricos de estimación de pérdidas de vidas humanas (Graham 2004, Escuder-Bueno et al., 2010) sobre las llanuras de inundación de los Planes de Emergencia, interpolando o extrapolando para otros escenarios de rotura. Para la evaluación de pérdidas económicas utilizar documentos oficiales disponibles como el PATRICOVA (Comunidad Valenciana), INUNCAT (Cataluña), etc. En caso de considerar el coste de reconstrucción de la presa en la función de coste económico puede utilizarse la fórmula de Ekstrand (2000), que estima este coste a partir del volumen del embalse (este coste no se debe aplicar en el cálculo de las consecuencias económicas para el caso de no rotura).

Si bien la Tabla 1 ha sido elaborada para ser auto-explicativa, merece la pena hacer mención especial al cálculo de la fiabilidad de más de una compuerta así como al cálculo de las consecuencias mediante una serie de consideraciones que se aportan a continuación.

Comenzando por el mencionado aspecto de la fiabilidad de compuertas, en caso de disponer de varias compuertas que funcionan (o dejan de hacerlo) de manera totalmente independientes entre sí, conocida la probabilidad de funcionamiento de cada una de ellas se puede emplear la distribución binomial para calcular la probabilidad de que funcione cualquier número de ellas.

Así, la distribución binomial mide el número de éxitos en una secuencia de varios ensayos independientes de Bernoulli (un ensayo de Bernoulli es un experimento aleatorio en el que sólo se pueden obtener dos resultados: sí/no) con una probabilidad fija de éxito en cada uno de los ensayos.

En el caso opuesto, si las compuertas no funcionan de forma independiente, sino que por el contrario si falla una fallan todas, la probabilidad de que funcionen todas es igual a la probabilidad de que funcione una, la probabilidad de que no funcione ninguna es 1 menos la probabilidad de que funcione una y la probabilidad de que funcione cualquier otro número intermedio de compuertas es 0.

En un caso real, habitualmente se estará entre uno de los dos casos, es decir habrá algunos fallos que de ocurrir afectarían a todas las compuertas, habrá algunos fallos que de ocurrir afectarían a algunas compuertas sí y otras no y habrá algunos fallos que de ocurrir afectarían a una única compuerta.

Otra circunstancia es que las probabilidades de fallo afecten fundamentalmente a grupos (por ejemplo de dos en dos compuertas) y en ese caso puede usarse también la binomial por grupos.

Respecto de la estimación de consecuencias, para el caso de la estimación de pérdida de vidas humanas, las metodologías basadas en métodos empíricos a las que se hace referencia en la metodología propuesta utilizan ratios de mortalidad a aplicar al conjunto de la población en riesgo y que dependen del tiempo de aviso, de la severidad de la inundación o del entendimiento de dicha severidad según se define en las referencias mencionadas.

Una vez se concluye la elaboración de todos los datos necesarios para el cálculo del riesgo, y éstos quedan incorporados en la arquitectura de modelo elaborado, se procede a la obtención de los valores de probabilidad anual de fallo y de riesgo para el denominado “caso base”, es decir, partiendo de la situación actual de la presa.

El riesgo total calculado es exclusivamente el derivado de las consecuencias incrementales por rotura de la presa, es decir, descontando todas aquellas consecuencias que habrían sucedido,

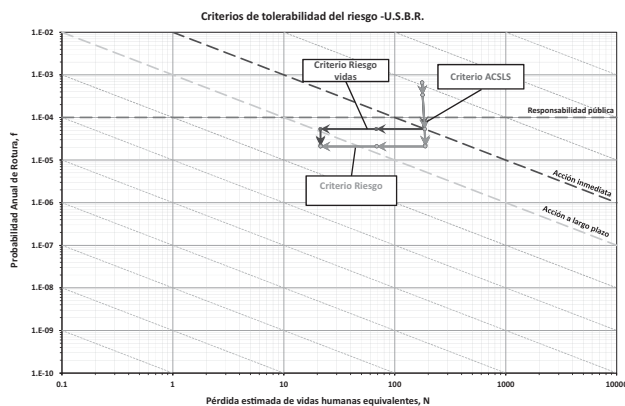


Figura 2. Ejemplo de distintas trayectorias en función del criterio de selección secuencial de las medidas a llevar a cabo (sobre las recomendaciones USBR).

Nota: en caso de querer utilizarse el indicador ACSLS no solo para comparar soluciones entre sí sino como referencia de lo justificada o no que pueda estar una actuación, Bowles (2004) propuso los siguientes umbrales de referencia en dólares de manera orientativa: por debajo de 3 millones de dólares por vida estadística salvada la medida estaría muy altamente justificada y por encima de 140 millones de dólares muy poco justificada.

Tabla 2. Tipificación de las componentes de los modelos de riesgo para llevar a cabo análisis de sensibilidad.

Componente del modelo	Simplificado	Intermedio	Avanzado
<i>Avenidas</i>	Hidrogramas disponibles y extrapolación en su caso	Análisis de incertidumbre sobre la hidrología existente	Hidrología estacional incorporando análisis de incertidumbre
<i>Nivel Previo</i>	Nivel Máximo Normal	Ajuste de niveles históricos	Simulación de aportaciones y demandas
<i>Fiabilidad de compuertas</i>	Valores genéricos recomendados	Árboles de fallo sencillos	Árboles de fallo complejos
<i>Laminación</i>	Caudal desaguado igual al entrante hasta máxima apertura	Normas de Explotación o procedimientos contrastados de actuación	Incorporación del “sistema” de explotación
<i>Modos de fallo</i>	Sobrevertido	Sobrevertido Erosión interna en PMS Deslizamiento en PHG	Todos los resultantes de sesiones de juicio experto
<i>Probabilidades de fallo</i>	Curvas de referencia existentes	Juicio experto	Modelos numéricos y simulaciones Montecarlo
<i>Hidrogramas de rotura</i>	A partir de los supuestos del Plan de Emergencia	Juicio experto distinguiendo para cada modo de fallo	Modelos numéricos y simulaciones de Montecarlo
<i>Consecuencias</i>	Métodos empíricos (daños) + interpolación de Planes de Emergencia	Métodos empíricos (daños) + simulación hidráulica de la respuesta del cauce	Métodos de simulación (daños) + simulación hidráulica de la respuesta del cauce
<i>Medidas correctoras</i>	Tomadas de catálogo de referencia	Memoria valorada	Definidas con nivel de Anteproyecto o Proyecto
<i>Incertidumbre en estimación de riesgo</i>	Sólo análisis de sensibilidad	Incertidumbre sobre las variables más relevantes	Análisis completo de incertidumbre natural y epistémica

para el mismo evento, sin concurrencia de la rotura o fallo de la presa. Dichas consecuencias se estiman, por separado, en términos económicos (siendo las unidades de riesgo anual Millones de Euros/año) y de pérdida potencial de vidas humanas o riesgo social (unidades de vidas/año).

Además de los resultados de probabilidad de fallo y de riesgo, las curvas F-N son una forma muy útil de visualizar el riesgo social de la presa. La representación del riesgo obtenido mediante este tipo de curvas se lleva a cabo de forma igualmente automatizada en el software iPresas.

En principio, si el riesgo estimado es superior a cualquiera de los estándares considerados quedará automáticamente justificada la necesidad de acometer acciones correctoras, salvo que del análisis de sensibilidad resultase una excesiva incertidumbre para el nivel de decisión a adoptar.

Por último, cabe mencionar que la incorporación y análisis del efecto de las medidas correctoras debe comprender los siguientes pasos:

- Definición y evaluación estimada del coste de la medida.
- Identificación de la influencia de dicha medida en cada una de las componentes del modelo de riesgo.
- Revaluación del riesgo una vez supuesta la ejecución de dicha medida.
- Cálculo del ACSLS y comparación con otras medidas en la misma presa o en distintas presas si se está analizando un grupo de presas.

Además, en caso de evaluar “secuencias de medidas correctoras”, es necesario recalcularse el riesgo suponiendo en cada caso que el “caso base” incorpora todas las medidas anteriores contempladas en dicha secuencia de actuación. Así, trayectorias como las representadas en la Figura 2 (con distintos criterios de priorización) pueden servir de ejemplo de presentación de resultados.

4 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad constituye la última fase de aplicación de la metodología y permite estimar el rango de validez del análisis simplificado, siguiendo las pautas que se exponen a continuación.

Para permitir llevar a cabo un análisis de sensibilidad de forma sistemática, se ha procedido previamente a “tipificar” los modelos de riesgo de seguridad de presas cuantitativos (en escenario hidrológico) en función de su grado de complejidad y por comparación con el modelo simplificado desarrollado. La tabla elaborada (Tabla 2) consta de doble entrada y refleja, de un lado, las componentes del modelo (hidrología, nivel de embalse, fiabilidad de compuertas, operación, modos de fallo, probabilidad de fallo, consecuencias, medidas correctoras e incertidumbre) y, por otro, el nivel de sofisticación de cada una de las componentes (simplificado, intermedio o avanzado).

5 CONCLUSIONES

El proyecto ha permitido dar respuesta a una serie de objetivos de carácter general, como el desarrollo de una herramienta genérica y simplificada de evaluación de la seguridad hidrológica de presas basada en riesgo, y otros más específicos, como las investigaciones desarrolladas para la caracterización de la incertidumbre, tanto natural (p.e. la presente en numerosos de los aspectos hidrológicos trabajados) como epistémica, generalmente asociada al uso de distintos modelos conceptuales y de cálculo.

Puede también afirmarse que la metodología se ha elaborado de la manera más simplificada posible (de acuerdo con el objeto de la propuesta del proyecto) pero permitiendo incorporar aspectos de equidad y eficiencia en la toma de decisiones así como el contraste de los valores de riesgo obtenidos (con y sin medidas correctoras) con las recomendaciones de tolerabilidad existentes a nivel internacional.

Cabe remarcar el hecho de haberse incorporado a la metodología una serie de pautas para llevar a cabo análisis de sensibilidad que deben permitir estimar si el grado de complejidad

del modelo es apropiado para la importancia de las decisiones de inversión que puedan derivarse.

Por último, se han identificado una serie de beneficios vinculados al propio proceso de análisis de riesgo y que van más allá de la propia evaluación de la seguridad y riesgo hidrológico en términos de suficiencia de aliviaderos. En particular:

- a. Ayuda al planteamiento de mejoras en la fijación de resguardos estacionales y su distribución entre presas de un mismo sistema de explotación.
- b. Identificación de la necesidad de mantenimientos especiales, reparaciones o sustituciones de mecanismos de compuertas o instalaciones completas.
- c. Plantear mejoras en la forma de operación de las compuertas de presas y sistemas de presas en situación de avenida.
- d. Servir de base para plantear nuevas investigaciones (geotécnicas, del cuerpo de presa), cálculos (equilibrio límite, elementos finitos, etc.) así como mejoras en el sistema de vigilancia y auscultación.
- e. Constituir una herramienta útil para plantear mejoras en los Planes de Emergencia de Presa.

REFERENCIAS

- Altarejos, L., Escuder, I., de Membrillera, M.G. & Serrano, A. 2009. *Risk analysis and probability of failure of a gravity dam*. In 23 International Congress on Large Dams (ICOLD).
- ANCOLD. 2004. *Guidelines on Risk assessment*. Australian National Committee on Large Dams.
- Ayyub, B.M. 2001. *Elicitation of expert opinions for uncertainty and risks*. CRC Press.
- Bowles, D.S. 2001. *Advances in the Practice and use of Portfolio Risk Assessment*. ANCOLD Bulletin.
- Bowles, D.S. 2004. *ALARP Evaluation: Using Cost Effectiveness and Disproportionality to Justify Risk Reduction*. ANCOLD Bulletin.
- Bowles, D.S. 2007. *Tolerable risk for dams: How safe is safe enough?*, Proceedings of the 2007 USSD Annual Lecture, Philadelphia, Pennsylvania.
- Bowles, D.S., Chauhan, S.S., Anderson, L.R. & Glover, T.F. 2009. *A structured approach to incorporating uncertainty into a dam safety risk assessment*. US Society on Dams.
- Ekstrand, E.R. 2000. *Estimating economic consequences from dam failure in the safety dams program*. U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation, EC-2000-01.
- Escuder-Bueno, I., Castillo-Rodríguez, J.T., Perales-Momparler, S. & Morales-Torres, A. 2011. *SUFRI Methodology for flood risk evaluation in urban areas. Decision guidance for decision maker*. Report SUFRI project. WP3.
- Escuder-Bueno, I., Morales-Torres, A. & Perales-Momparler, S. 2010. *Urban Flood Risk Characterization as a Tool for Planning and Managing*. Exploration of Tolerable Risk Guidelines for Levee Systems. Workshop Alexandria, Washington.
- Fell, R. & Wan, C.F. 2005. *Methods for estimating the probability of failure of embankment dams by internal erosion and piping in the foundation and from embankment to foundation*. Sydney: University of New South Wales, School of Civil and Environmental Engineering.
- Froehlich, David C. 1995. *Peak Outflow from Breached Embankment Dam*. Journal of Water Resources Planning and Management.
- Graham, W.J. 1999. *A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure*. DSO-99-06.
- Hartford, D.N.D. & Baecher, G.B. 2004. *Risk and Uncertainty in Dam Safety*. London: Thomas Telford Limited.
- Munger, Dale F., David, S., Bowles, Douglas D. Boyer, Darryl W. Davis, David A. Margo, David A. Moser, Patrick J. Regan & Nathan Snorteland. 2009. *Interim tolerable risk guidelines for USACE*. USSD, Nashville.
- Pla d'emergència especial per inundacions (INUNCAT). Agencia Catalana del Agua. 2009.
- Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA). 2002.
- Serrano-Lombillo, A., Escuder-Bueno, I., G. de Membrillera-Ortuño, M. & Altarejos-García, L. 2010. *Methodology for the Calculation of Annualized Incremental Risks in Systems of Dams*. Risk Analysis Journal.
- Silva, F., Lambe, T.W. & Marr, W.A. 2008. *Probability and risk of slope failure*. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering.