

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

LAS HERRAMIENTAS BASADAS EN ANÁLISIS DE RIESGOS DENTRO DE LA GESTIÓN DE SEGURIDAD DE PRESAS Y EMBALSES

Manuel G. de Membrillera Ortuño ¹

Ignacio Escuder Bueno ²

Luis Altarejos García ³

Armando Serrano Lombillo ⁴

RESUMEN: La sociedad exige una mayor transparencia en la administración y toma de decisiones; en este contexto se ubica la creciente complejidad que acompaña la gestión de la seguridad de presas y embalses.

La seguridad de presas y embalses ha estado encomendada al enfoque ingenieril tradicional, consistente en controlar los riesgos mediante el seguimiento de reglas y procedimientos sancionados por la práctica así como verificar coeficientes de seguridad, entendidos como una medida conservadora y prudente. Este planteamiento se ha desarrollado durante muchos años, primero para el diseño y construcción de nuevas presas y últimamente para llevar a cabo la explotación. La inspección, la auscultación, las revisiones periódicas de seguridad, el mantenimiento regular, la aplicación de normas de explotación sancionadas por la práctica, así como la implantación de planes de emergencia constituyen la base de una buena gestión de la seguridad. Sin embargo, este enfoque se ha mostrado insuficiente para dar respuesta a todas las necesidades que la explotación actual de un sistema presa-embalse demanda.

Titulares de todo el mundo están complementando la gestión con metodologías basadas en “riesgo”; aportando un importante valor añadido que permite optimizar la toma de decisiones y priorizar medidas. España se incluye como un nuevo referente.

¹ Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos – Grupo iPresas, UPV / Ofiteco / Vocal Colaborador CNEGP

² Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos - Grupo iPresas, Univ. Politécnica Valencia / Vocal CNEGP

³ Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, DEA – CPS Ingenieros / Grupo iPresas, Univ. Pol. de Valencia

⁴ Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, DEA – Grupo iPresas, Universidad Politécnica de Valencia

1. INTRODUCCIÓN

La sociedad está evolucionando continuamente y lo cierto es que la exigencia por una mayor transparencia en la administración y toma de decisiones se ha convertido en una realidad de la que no es posible sustraerse. En este contexto es donde se ubica la creciente complejidad que acompaña la gestión de la seguridad de presas y embalses.

Por razones históricas y técnicas, la seguridad de presas y embalses ha estado encomendada al enfoque ingenieril tradicional, consistente en controlar los riesgos mediante el seguimiento de reglas y procedimientos sancionados por la práctica así como verificar coeficientes de seguridad, entendidos como una medida conservadora y prudente. Este planteamiento se ha desarrollado durante muchos años, constituyendo la base para el diseño y construcción de nuevas presas.

Es evidente que la inspección, la auscultación, las revisiones periódicas de seguridad, el mantenimiento regular, la aplicación de normas de explotación sancionadas por la práctica, así como la implantación de planes de emergencia constituyen la base de una buena gestión de la seguridad. Sin embargo, este enfoque tradicional se ha mostrado insuficiente para dar respuesta a todas las necesidades que la explotación actual de un sistema presa-embalse demanda. De esta manera, titulares de presas en todo el mundo están complementando la gestión de seguridad con metodologías basadas en “riesgo”; aportando un importante valor añadido que permite optimizar la toma de decisiones y priorizar medidas de seguridad.

Estas herramientas incluyen, en primer lugar, el Análisis de Riesgo, que utiliza la información disponible para estimar el riesgo que sobre personas, propiedades o medio ambiente puede tener cualquier evento con un potencial para causar daños. Por otra parte, la Evaluación de Riesgo examina y juzga la importancia del riesgo estimado a la luz de la normativa vigente y los propios criterios de tolerabilidad del riesgo que maneje el titular del embalse. Finalmente, el Control del Riesgo propone la implementación de medidas específicas de reducción de riesgo para el embalse, revisando periódicamente la efectividad de las mismas.

La cuestión que plantea esta comunicación es la necesidad de cualquier titular por comparar de forma homogénea el nivel de seguridad/riesgo en todas las presas que explota, al menos en términos relativos. Esta comparación, que no puede realizarse de manera objetiva con los métodos tradicionales, es la que permite planificar de forma óptima las inversiones en medidas de seguridad, bien estructurales o no estructurales, así como enfocar los estudios e investigaciones adicionales necesarios para el control de la seguridad.

La metodología propuesta puede aportar a los titulares de presas la forma más rigurosa y conveniente de contestar la crítica pregunta de “**¿cómo de seguro es lo suficientemente seguro?**”

2. LA GESTIÓN DE SEGURIDAD POR PARTE DEL TITULAR

En pleno siglo veintiuno, un Titular de presas responsable, además del cumplimiento estricto de la **normativa vigente** a través de los documentos

específicos que ésta exige, debería tener en consideración aspectos como los siguientes:

- Procedimientos auditables y transparentes que permitan abordar riesgos del tipo *baja probabilidad-altas consecuencias* desde el ámbito de la gestión de seguridad. La sociedad exigirá en breve **sellos de calidad** en el ámbito de la gestión de seguridad de presas.
- Priorizar y justificar de cara a la sociedad, o un consejo de administración, las millonarias **inversiones** en seguridad y los gastos de explotación. En algunos casos, esta justificación servirá para lograr las inversiones necesarias.
- Cumplir las **obligaciones** clásicas que la seguridad de una presa exige (inspecciones, auscultación, plan de emergencia, etc.)
- Cumplir obligaciones de tipo contractual o mantener una **concesión**.

A fin de poder incluir dentro de la gestión de seguridad los mencionados aspectos se requiere algo más que el cumplimiento de coeficientes de seguridad o el seguimiento de reglas establecidas. Cuando se utiliza de forma apropiada, la *gestión basada en riesgo* proporciona potentes medios en este último sentido. Estas metodologías parten del enfoque tradicional de la seguridad y, sin sustituirlo, lo complementan.

De forma general, los resultados que a la gestión de seguridad puede proporcionar el enfoque basado en riesgo pueden dividirse en:

1. Análisis objetivo del **nivel de seguridad** que en un momento concreto está presente en las presas. La seguridad es un concepto dinámico que evoluciona en el tiempo y, siendo controlada en el día a día, debe ser revisada de forma especial cada cierto tiempo.
2. A partir de ese nivel de seguridad medido, el Titular puede planificar y desarrollar las **actividades ordinarias** de la explotación: operación del embalse siguiendo las normas de explotación, inspecciones visuales, auscultación, vigilancia y activación del escenario 0 del plan de emergencia cuando sea necesario.
3. A partir del nivel de seguridad medido y con el desarrollo de las actividades ordinarias, el Titular puede llegar a decidir la toma de **medidas de seguridad a corto plazo**, como disminuir el nivel de embalse o activar escenarios superiores del plan de emergencia.
4. En paralelo con las anteriores actividades, el Titular deberá tener un Programa general de gestión de seguridad a medio o largo plazo, lo que se denominará como *Control de Riesgo*. Este programa se dividirá entre **medidas de reducción de riesgo**, estructurales o no estructurales, y un paquete de **estudios e investigaciones**.
5. La metodología tiene aportaciones directas y, de hecho, se integra en la **organización y estructura del Titular** que se hará cargo de las responsabilidades civiles, la imagen corporativa, seguros a terceros, un plan de inversión y financiación, procesos de auditoría y una serie de relaciones institucionales y administrativas.

3. METODOLOGÍAS BASADAS EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS

En el contexto de la seguridad de presas, las metodologías basadas en análisis de riesgos constituyen un proceso mediante el que se decide, por un lado, si los riesgos existentes son tolerables y, por otro, si las medidas de control resultan adecuadas. En este último caso, se puede llegar a determinar si son justificables medidas de control alternativas o ampliadas.

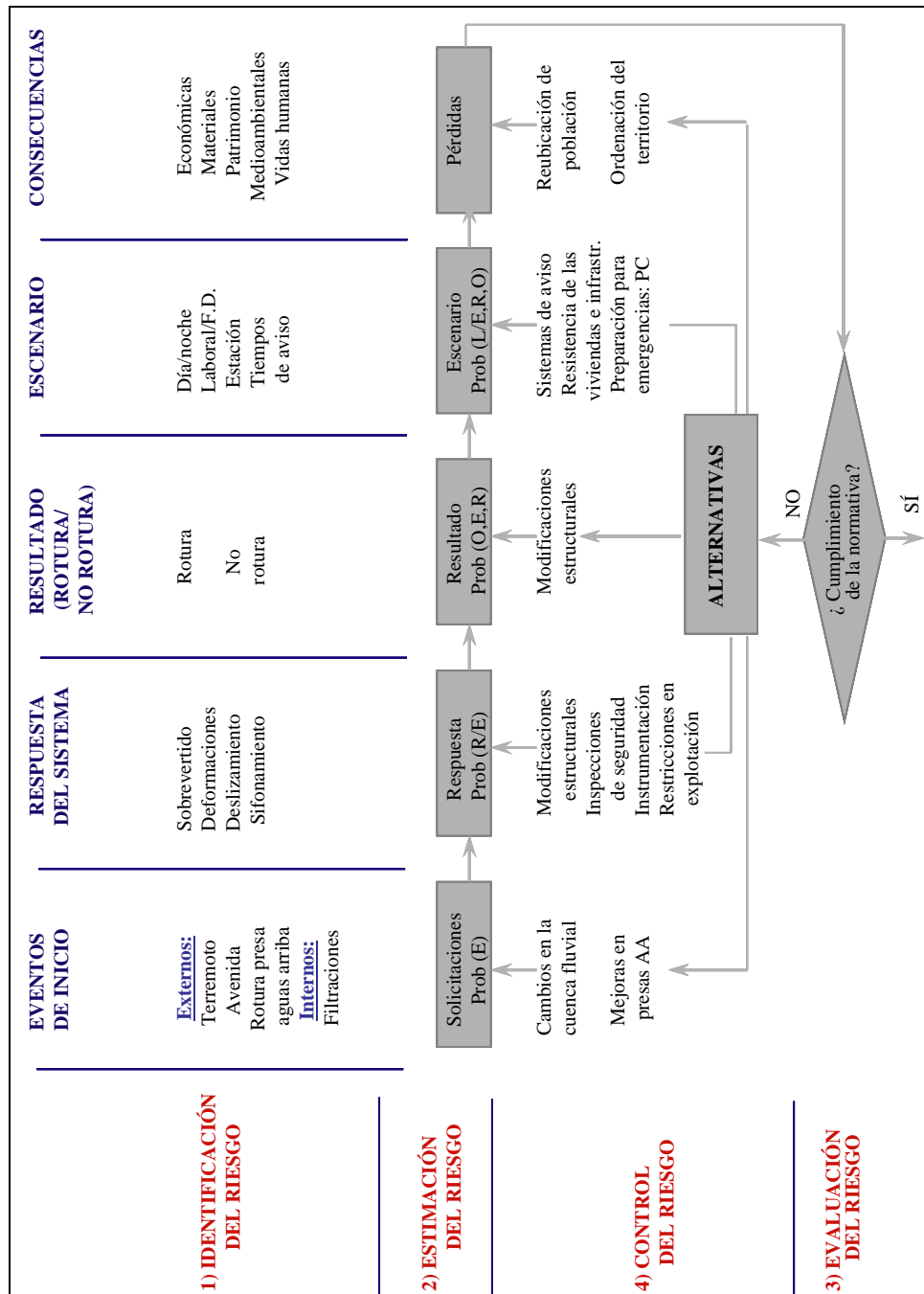


Figura 1.- Esquema general para el modelo de riesgo de una presa. Fuente: Adaptado de D.S. Bowles en G.Membrillera, 2007.

La *Figura 1* muestra el esquema que conforma el modelo de riesgo establecido para una presa concreta. Por “filas” se incluye los componentes básicos de la metodología: el Análisis de riesgo (identificación y estimación del riesgo), la Evaluación de riesgo y el Control de riesgo. Por “columnas” se refleja las componentes indisolubles del riesgo: las solicitaciones sobre la presa (eventos de inicio), la respuesta del sistema presa-embalse (columnas de respuesta y resultado) y las consecuencias (resto de columnas).

De forma general, el proceso implicará que los diversos agentes involucrados en su desarrollo den respuesta a una serie de preguntas:

- *A contestar por el equipo de técnicos que desarrolle el trabajo (fase del Análisis de riesgos):*

- ¿Cuáles son las solicitaciones y cargas que pueden actuar sobre la presa y su embalse? (escenarios de solicitación)
- ¿Qué puede desarrollarse de forma inadecuada? (modos de fallo)
- ¿Cuál es la probabilidad de que algo se desarrolle de forma inadecuada? (cálculo de las probabilidades de rotura o fallo)
- ¿Cuáles son las consecuencias de que algo se desarrolle de forma inadecuada? (pérdida potencial de vidas humanas, pérdidas económicas, impactos no mesurables sobre la sociedad y las personas)
- ¿Cuáles son los riesgos? (combinación de las probabilidades de fallo y consecuencias)

- *A contestar por el equipo de técnicos que desarrolle el trabajo, la administración y el titular de la presa (Evaluación de riesgos y Control de riesgos):*

- ¿Es la presa lo suficientemente segura? (comparación entre los riesgos estimados y los criterios sociales de tolerabilidad).
- Si los riesgos no fueran tolerables, ¿cómo pueden ser reducidos? (medidas estructurales y no estructurales)
- ¿Son los riesgos residuales, existentes tras las medidas de reducción, tolerables? (comparación de los nuevos riesgos con los criterios sociales de tolerabilidad)
- ¿Cómo puede gestionarse la seguridad y los riesgos a largo plazo? (estrategia para implementar medidas de reducción del riesgo y, tras ello, vigilancia, auscultación, formación del personal, revisión de las Normas de Explotación, revisión de las primas de los seguros donde proceda y nueva revisión del riesgo)

3.1. EL ANÁLISIS DE RIESGOS

El riesgo sólo puede caracterizarse mediante la integración de sus tres componentes fundamentales: las solicitaciones, la respuesta estructural del sistema presa-embalse y las consecuencias. En esa estimación de riesgo, la base fundamental la constituye el análisis de los mecanismos y modos de rotura específicos para cada sistema presa-embalse.

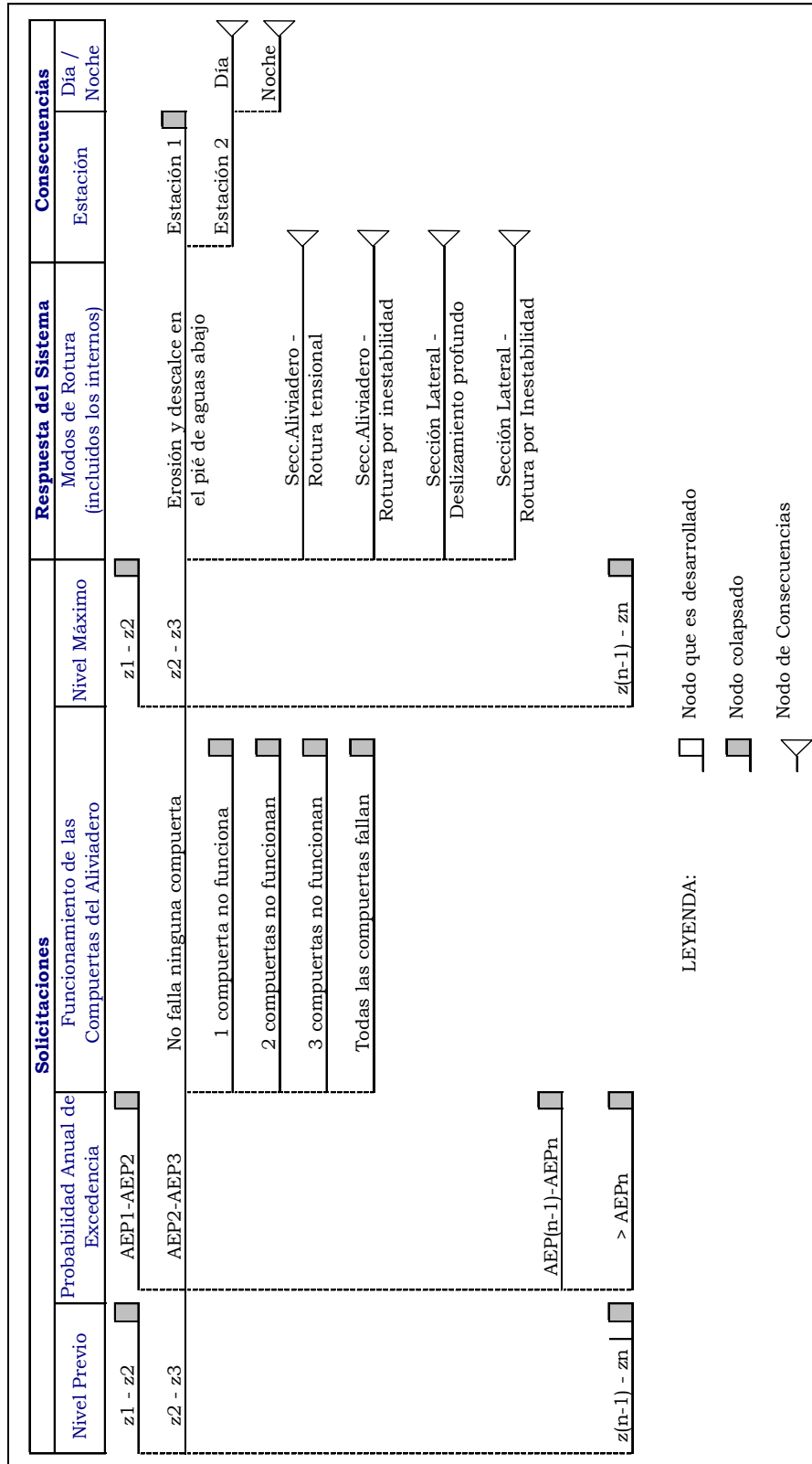


Figura 2.- Ejemplo de un árbol de eventos en escenario de solicitud hidrológica, como modelo básico empleado en la fase del análisis de riesgos.

Una vez que los modos de rotura han sido identificados y caracterizados cualitativamente, incluyendo el desglose del mecanismo o secuencia de eventos que pueden dar lugar al mismo, el siguiente paso es tratar de cuantificar su influencia sobre la seguridad global de la presa. Dicha cuantificación implica calcular las probabilidades condicionales de ocurrencia para cada modo de rotura, que son una magnitud adimensional y “condicionada” a la aparición de un determinado escenario de sollicitación.

De las tres componentes del riesgo, las consecuencias son las que suelen tener una mayor repercusión sobre el mismo y, de hecho, en ocasiones se utiliza indistintamente los conceptos de riesgo y consecuencias. Sin ir más lejos, la clasificación de presas en España se efectúa realmente teniendo como base la estimación de consecuencias ligadas a una rotura de la presa.

Esa importante repercusión de las consecuencias hace que, en el contexto de los sistemas presa-embalse, la estimación del riesgo implique habitualmente la combinación de magnitudes muy grandes y pequeñas a la vez, corriéndose el peligro de acabar con una indeterminación matemática. Es por esta razón que, en el caso de querer cuantificar el riesgo, los autores desaconsejen manejar valores medios o promediados. Por el contrario, es necesario llevar a cabo una integración, literal y completa, de las tres componentes del riesgo. El modelo lógico que constituye la base para realizar la integración numérica de las variables involucradas en el análisis siempre es un árbol de eventos, como el mostrado en la *Figura 2*.

3.2. LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

La *Evaluación de riesgos* es una cuestión que necesariamente varía según países y depende directamente de las expectativas que la comunidad social involucrada tenga, dado que una presa constituye un riesgo impuesto (véase Bowles, 2007). Teniendo en cuenta que la seguridad absoluta no existe, la *Evaluación de riesgos* sienta las bases de lo que constituye el **riesgo tolerable**, para el que existe una definición asumida mundialmente (véase HSE, 2001 y ICOLD, 2005):

- Se puede convivir con los riesgos existentes y, al mismo tiempo, asegurar unos determinados beneficios sociales en contrapartida
- El riesgo se ubica en un rango no entendible como despreciable o ignorable
- Se necesita revisar cada cierto tiempo, y de manera sistemática, el riesgo
- Se tiene que reducir el riesgo hasta el máximo de nuestras posibilidades teniendo en cuenta la primera de las premisas (en definitiva, se trata del principio **ALARP**, “*as low as reasonable practicable*”)

Salvo el caso de Holanda, donde cuentan con una legislación que incluye de forma explícita criterios de tolerabilidad del riesgo (véase Vrijling et al, 2004), en el resto del mundo se encuentra ejemplos de criterios propuestos por organismos reguladores, como el *Health and Safety Executive* británico, comités profesionales como el *ANCOLD* australiano (véase la *Figura 3*) o titulares de presas, como el *Bureau of Reclamation* (véase G.Membrillera, 2007).

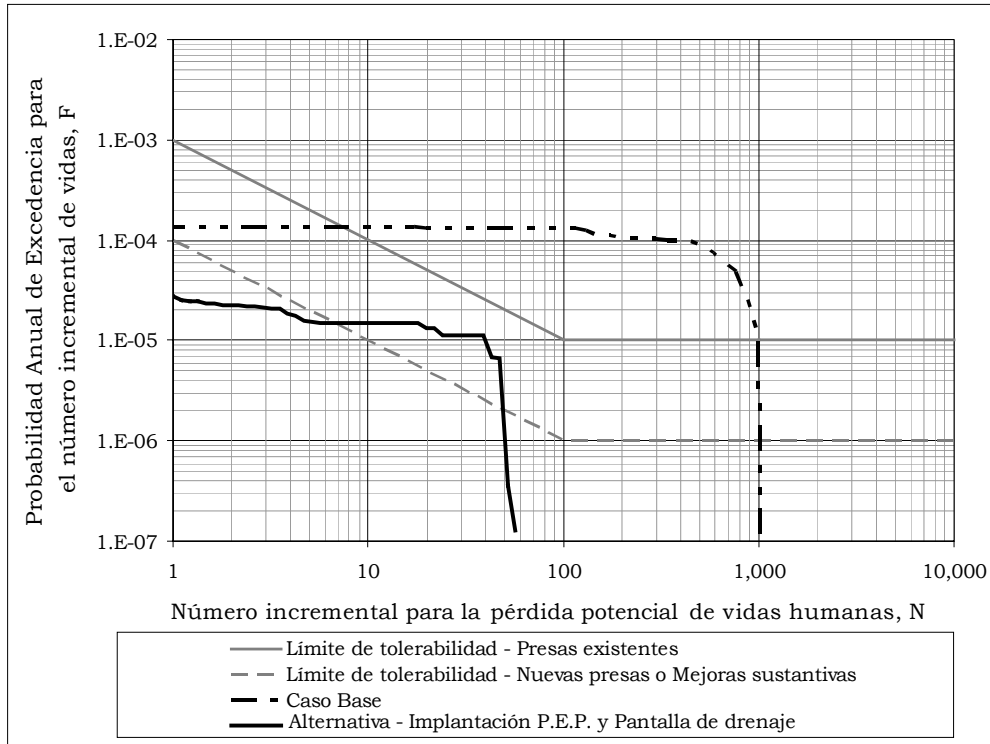


Figura 3.- Ejemplo de la representación F-N del riesgo con el criterio de tolerabilidad del ANCOLD (2003). Para una presa existente, el Caso Base incumpliría parcialmente el criterio, mientras que la Alternativa lo verificaría.

3.3. METODOLOGÍAS BASADAS EN RIESGO A NIVEL MUNDIAL

Diferentes metodologías basadas en análisis de riesgos son empleadas por reguladores, administraciones y titulares de presas en todo el mundo. Aunque el nivel de detalle y los fundamentos son diversos, en todos los casos aportan un notable valor añadido a la gestión de seguridad. Para mayor detalle puede consultarse ICOLD (2005) o G.Membrillera (2007), aunque puede destacarse **Australia**, donde se aplica de manera generalizada en los distintos estados y partiendo de las recomendaciones del ANCOLD; **Holanda**, país pionero en legislación y aplicación de estas metodologías a todo tipo de estructuras, incluidos sus diques de protección; **Estados Unidos** con el *Bureau of Reclamation*, *U.S. Corps of Engineers*, el *FERC* y el complemento desde el ámbito académico; **países nórdicos**, etc. Desde la Universidad Politécnica de Valencia, empezando en 2004, el Grupo iPresas ha desarrollado una metodología específica que se está aplicando a presas de la Confederación Hidrográfica del Duero, en **España**, y a las grandes centrales de Edelca en el río Caroní, **Venezuela**.

4. PRINCIPAL INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA METODOLOGÍA BASADA EN ANÁLISIS DE RIESGOS

La información inédita que la metodología basada en análisis de riesgos proporciona al Titular, se obtiene tras evaluar el modelo de riesgo paralelamente sobre el *Caso Base* y cada una de las *alternativas de reducción de riesgo*

contempladas. Si a lo largo del todo el proceso se ha tenido en cuenta las incertidumbres presentes y se las ha modelizado de forma adecuada, todas se encontrarán integradas en los resultados. La **incertidumbre del modelo** queda representada mediante funciones de probabilidad asignadas a cada una de las variables obtenidas, entre las que puede destacarse:

- *Probabilidad anual de rotura, P_r [roturas/año]*, tras integrar escenarios de solicitudes y probabilidades condicionales de los modos de fallo (como criterio, siempre es recomendable obtener valores inferiores a 10^{-4})

- *Riesgo como pérdida potencial de vidas humanas, R_V [vidas/año]*, tras integrar la probabilidad anual de rotura y las consecuencias sobre la vida aguas abajo de la presa.

- *Riesgo como pérdidas potenciales económicas, R_E [€/año]*, tras integrar la probabilidad anual de rotura y las consecuencias económicas.

- *Reducción anual del riesgo sobre vida humana, r_V [vidas/año]*, la diferencia entre los riesgos sobre la vida humana antes y después de una alternativa. De forma análoga se define la *Reducción anual del riesgo económico, r_E* .

- *Coste no ajustado por vida estadística salvada, C_{NAVS} [€/vida]*, es el cociente entre el coste anualizado de una alternativa (€/año) y el anterior valor de r_V (vidas/año). Serviría para priorizar alternativas desde el punto de vista estrictamente económico, aunque no se emplea en la práctica.

- *Coste ajustado por vida estadística salvada, $CAVS$ [€/vida]*, es el cociente entre el coste anualizado de una alternativa (€/año) menos el anterior valor de r_E (€/año), y todo dividido por el valor de r_V . Sirve para priorizar alternativas según el principio **ALARP**, sabiendo qué efectividad tiene sobre la “reducción del riesgo en términos de vidas humanas” cada euro invertido.

Para todas las medidas de reducción de riesgo planteadas, la priorización suele buscar como primer objetivo disminuir al máximo la pérdida potencial de vidas humanas; hasta un punto en el que no resulta razonable el coste necesario para la reducción incremental de riesgo lograda. A partir de ese estado, las medidas restantes se ordenan buscando la máxima reducción en el riesgo económico anual. Además de estas consideraciones, en todo momento se intenta mantener probabilidad total por debajo de un determinado umbral.

5. CONCLUSIONES

La aplicación de una metodología robusta y sistemática de la declaración de riesgos puede permitir la comparación homogénea del nivel de seguridad presente en un grupo de embalses, o entre los distintos modos de fallo de una presa concreta. Este hecho es el que permite priorizar las inversiones o las necesidades de investigación y planificar los pasos encaminados a reducir el riesgo. En definitiva, proporciona al Titular de la presa una **información objetiva e inédita** de cara a la toma de decisiones en materia de gestión de seguridad.

Cualquier análisis de riesgo se construye a partir del estudio, específico, de los potenciales modos de rotura en la presa. En este sentido, la información reinterpretada y recopilada por el análisis siempre aporta un importante valor

añadido al Titular de la presa. La correcta interpretación de la información proveniente de la auscultación constituye otro paso relevante en esta fase.

El objetivo último de un análisis de riesgos no es la obtención de una cifra absoluta que represente la probabilidad de rotura o el riesgo; los valores siempre tendrán una métrica relativa y los análisis de sensibilidad e incertidumbre son preceptivos. El objetivo último de un análisis de riesgos es la obtención, partiendo de la información disponible, de una gestión robusta y equilibrada.

REFERENCIAS

Altarejos, L. (2004) *Estudio del potencial del código FLAC como herramienta de análisis completa para presas de gravedad*, Diploma de Estudios Avanzados, Universidad Politécnica de Valencia, España.

ANCOLD (2003), *Guidelines on Risk Assessment*, Australian National Committee on Large Dams, Australia.

Bowles, D.S. (2006) "Dam safety portfolio risk assessment and management", *Proceedings of the US Society on Dams Annual Conference*, San Antonio, Texas.

Bowles, D.S. (2007) "Tolerable risk for dams: How safe is safe enough?", *Proceedings of the 2007 USSD Annual Lecture*, Philadelphia, Pennsylvania.

G.Membrillera, M., Escuder, I., González, J. y Altarejos, L. (2005) *Aplicación del análisis de riesgos a la seguridad de presas*, Universidad Politécnica de Valencia, ISBN 84-9705-779-1.

G. de Membrillera, M., Escuder, I., Bowles, D.S., Triana, E., Altarejos, L. (2006) "Justification for an operating restriction in Spain incorporating Ancold guidelines on risk assessment", *Proceedings of the Australian National Committee on Large Dams Conference on Dams, Sydney, Australia*.

G.Membrillera, M. (2007) *Contribución a la aplicación del análisis y declaración de riesgos en presas españolas, incluyendo priorización de inversiones*, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Health and Safety Executive (2001), *Reducing risks, protecting people - HSE's decision-making process*, Health and Safety Executive, Gran Bretaña.

ICOLD (2005) *Bulletin130: Risk Assessment in Dam Safety Management: A reconnaissance of benefits, methods and current applications*, International Commission on Large Dams - Committee on Dam Safety, Francia.

Serrano, A. (2007) *La modelación numérica del comportamiento de presas en el contexto del análisis de riesgos*, Diploma de Estudios Avanzados, Universidad Politécnica de Valencia, España

Triana, E. (2007) *Contribución a la estimación de consecuencias de fallo y rotura de presas en el contexto del análisis de riesgos*, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Vrijling, J.K., Goossens, L.H., Voortman, H.G., Pandey, M.D. (2004) A framework for risk criteria for critical infrastructures: fundamentals and case studies in the Netherlands, *Journal of Risk Research* - Vol.7.6, pp.569-579.