



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE VALENCIA



DEPARTAMENTO  
DE INGENIERÍA  
HIDRÁULICA  
Y MEDIO AMBIENTE



## CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Valencia, 1 de Octubre de 2007

Autor: Manuel G. Membrillera Ortuño

Director: Dr. Ignacio Escuder Bueno

**Tesis Doctoral**

### Indice de contenidos

2

#### I. Estado del conocimiento

##### **1.- Introducción**

##### 2.- Marco de referencia

#### II. Propuesta y aplicación de la Declaración de Riesgo

##### 3.- Justificación de la metodología

##### 4.- Caso práctico de estudio

#### III. Propuesta para el desarrollo de un análisis de riesgos cualitativo en el contexto español

##### 5.- Propuesta en el contexto español

#### IV. Conclusión

##### 6.- Conclusiones y futuras líneas de investigación



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



## 1. Introducción

### ➤ Las grandes infraestructuras y el riesgo

3

- Todas las sociedades reconocen mayoritariamente los extraordinarios beneficios asociados a las grandes presas
- Junto con otras grandes infraestructuras que el hombre ha construido, resultan imprescindibles para el desarrollo
- Sin embargo, vienen acompañadas de un riesgo impuesto sobre gran número de personas y propiedades
- Históricamente se ha admitido que el concepto *infraestructura segura* iba ligado al de *seguridad absoluta*
- No obstante, grandes infraestructuras construidas de acuerdo con los más elevados estándares han sufrido severos accidentes



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



## 1. Introducción

### ➤ Las grandes infraestructuras y el riesgo

4

#### ➤ ¿Qué se entiende por riesgo ?

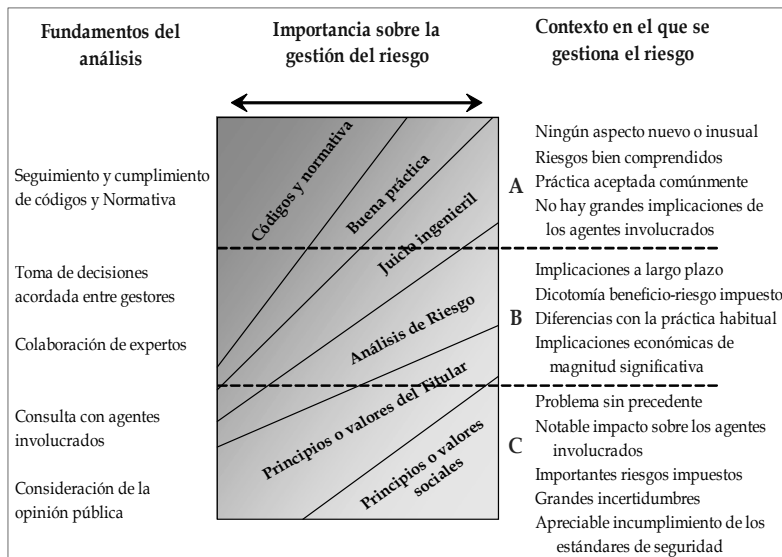
- R.A.E.: contingencia o proximidad de un daño
- STARC (UE): consecuencia incierta que un evento o actividad puede tener sobre cualquier aspecto valorado por el ser humano
- CSA, ICOLD: la oportunidad de producirse pérdidas o daños, entendidos como una medida de la probabilidad y severidad de los efectos adversos sobre la salud, la propiedad, el medio ambiente u otro elemento de valor



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño





Marco general para la toma de decisiones durante la gestión del riesgo. Fuente: (Brinded, 2000)



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



- Se parte de los principios considerados en el **enfoque tradicional** de la seguridad en presas:
  - controlar los riesgos mediante el seguimiento de reglas sancionadas por la práctica y
  - verificando coeficientes de seguridad
- Se entronca con la **declaración de riesgos**:
  - reconociendo explícitamente los riesgos mediante un tratamiento formal de la incertidumbre
  - analizando de forma homogénea el riesgo existente en distintas presas
  - discretizando la influencia que cada alternativa de reducción de riesgo puede tener sobre la probabilidad de rotura, la pérdida potencial de vidas y el coste del riesgo



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



I. Estado del conocimiento

1.- Introducción

**2.- Marco de referencia**

II. Propuesta y aplicación de la Declaración de Riesgo

3.- Justificación de la metodología

4.- Caso práctico de estudio

III. Propuesta para el desarrollo de un análisis de riesgos cualitativo en el contexto español

5.- Propuesta en el contexto español

IV. Conclusión

6.- Conclusiones y futuras líneas de investigación



- Existen múltiples incertidumbres en la gestión de la seguridad:
  - (*solicitaciones, resistencias, errores de diseño y ejecución, dimensiones reales, mantenimiento, etc.*)
- Los esfuerzos durante las últimas décadas han ido dirigidos a disminuir esas incertidumbres:
  - (*técnicas constructivas, mejora en modelos, adelantos tecnológicos, control de calidad, etc.*)
- En este contexto, la base ineludible de una buena gestión son:
  - *inspección, auscultación, revisiones, mantenimiento, normas de explotación sancionadas por la práctica, implementación de planes de emergencia*
- Todas estas herramientas y prácticas emplean actualmente un enfoque determinista

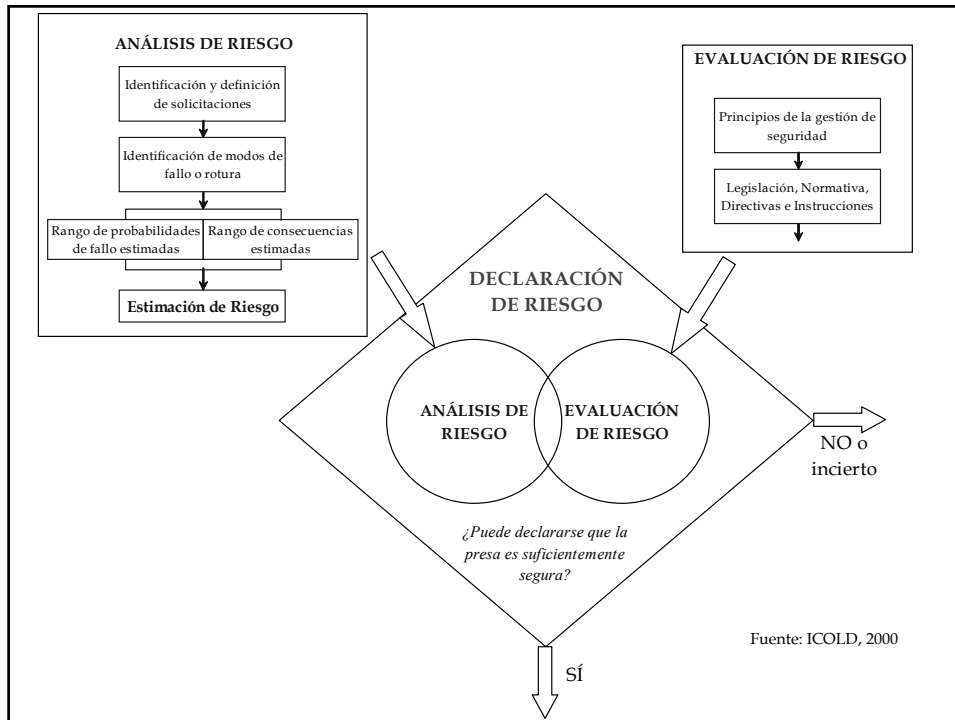


- El envejecimiento del parque de presas
- La exigencia por mayores niveles de seguridad para la población, los bienes económicos y el medioambiente
- La necesidad de concretar de forma práctica la normativa existente dentro de un contexto en el que conviven diferentes administraciones, titularidades, usuarios, intereses, etc.
- Evaluar el coste de la seguridad de presas y embalses, tanto en el ámbito estatal como privado
- La obligación, pública y privada, de plantear una estrategia de inversiones en materia de seguridad de presas y embalses
- La necesidad de establecer criterios de eficiencia para las inversiones en seguridad de presas y embalses



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



**❑ Riesgo aceptable:**

Riesgo que la sociedad está dispuesta a asumir sin efectuar cambios en las medidas de control.

**❑ Riesgo tolerable:**

Riesgo, dentro de un determinado rango, con el que la sociedad puede convivir de manera que, en contrapartida, se obtenga ciertos beneficios sociales netos. Es un rango no considerado como despreciable por la sociedad, sino que se mantiene en revisión y es reducido en la medida de lo posible.

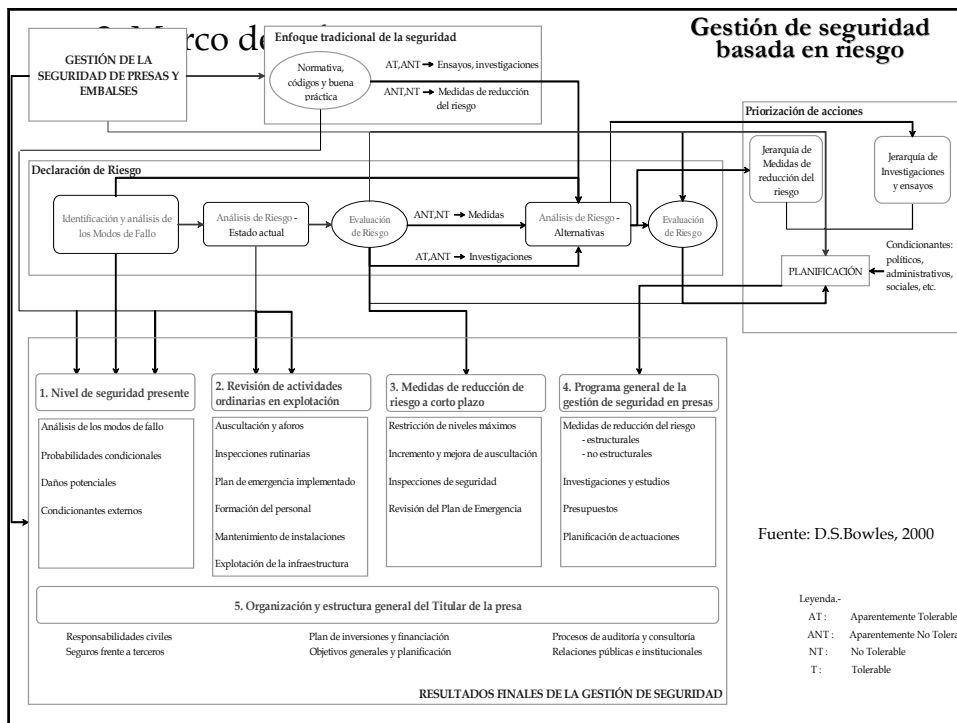
**❑ Principio “ALARP” (tan bajo como sea posible: “as low as reasonably practicable”):**

Criterio social por el que el riesgo se asume únicamente si su reducción es impracticable o si el coste es desproporcionado para la mejora de seguridad lograda.



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



➤ Niveles de la Declaración de Riesgo

Nivel	Tipo	Tipo de información ingenieril	Estimación de probabilidades de rotura	Estimación de consecuencias	Método para la evaluación de riesgo
Cribado	Cualitativo o cuantitativo	Básica	Cribado o preliminar	Básica a moderada	Básico
Preliminar	Cuantitativo	Moderada a básica	Preliminar	Moderada	Moderado a básico
Detallado	Cuantitativo	Avanzada a moderada	Detallada	Avanzada a moderada	Detallado a moderado
Muy detallado	Cuantitativo	Muy avanzada a avanzada	Muy detallada	Muy avanzada a avanzada	Detallado o muy detallado

Fuente: ANCOLD, 2003



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



- Estados Unidos de Norteamérica
  - Bureau of Reclamation
  - USACE
  - FERC
  - FEMA
  - Utah State University
- Australia
- Reino Unido
- Holanda
- Canadá
- Noruega, Finlandia y Suecia
- Alemania
- ESPAÑA



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



I. Estado del conocimiento

- 1.- Introducción
- 2.- Marco de referencia

II. Propuesta y aplicación de la Declaración de Riesgo

**3.- Justificación de la metodología**

- 4.- Caso práctico de estudio

III. Propuesta para el desarrollo de un análisis de riesgos cualitativo en el contexto español

- 5.- Propuesta en el contexto español

IV. Conclusión

- 6.- Conclusiones y futuras líneas de investigación



3. Justificación de la metodología

Resumen de aportaciones principales asociadas

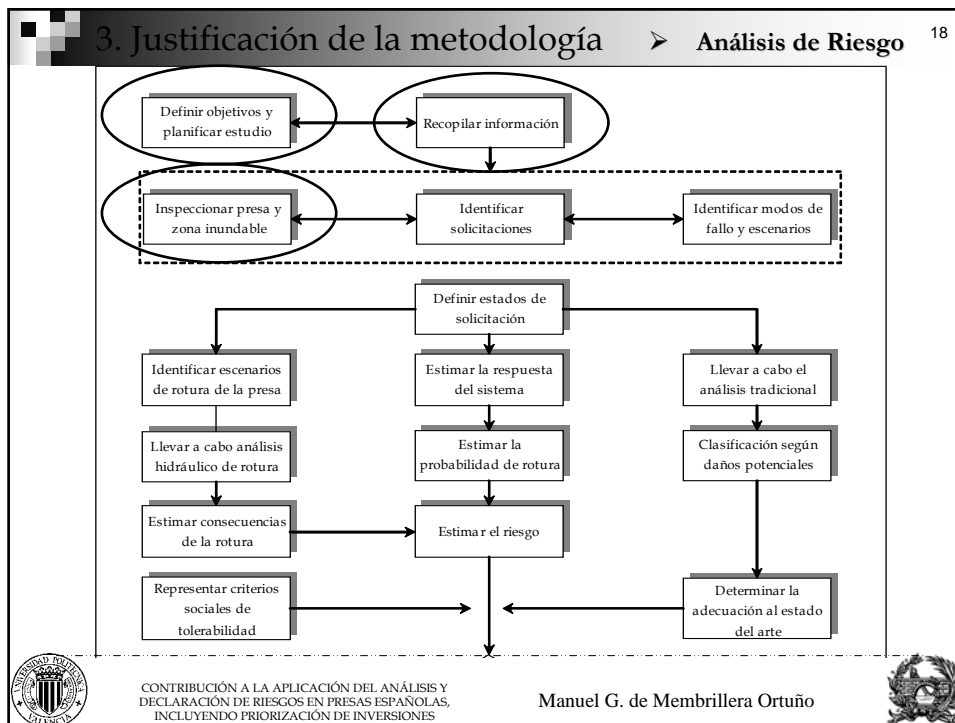
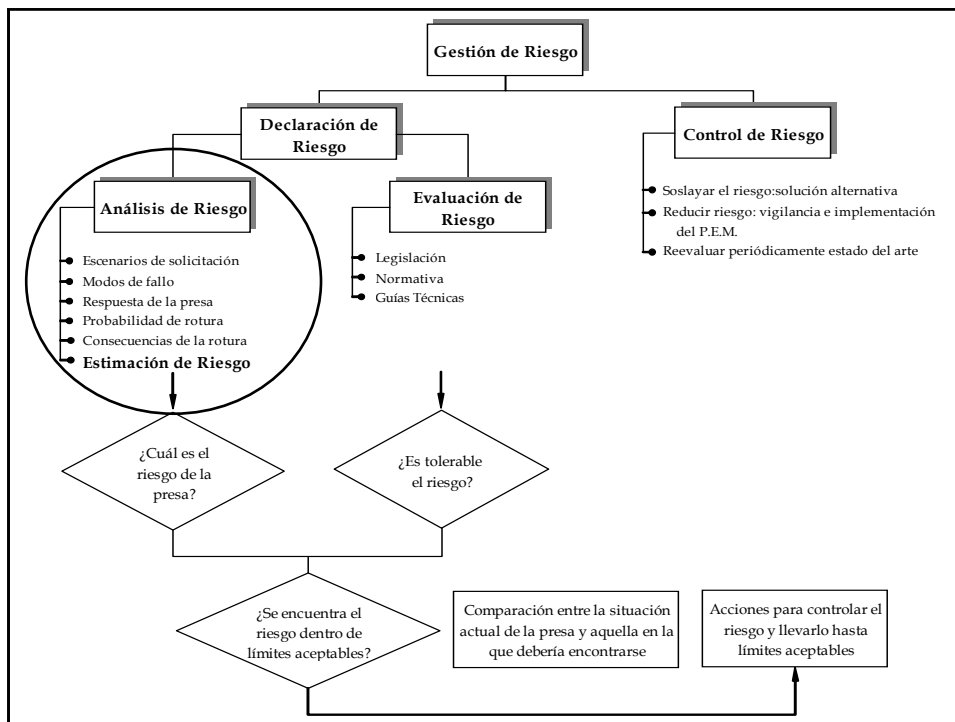
Dentro del contexto de la gestión de seguridad en presas, propuesta de un enfoque particular para el análisis cuantitativo del riesgo:

- a) Árboles de eventos en la confección del modelo general de riesgo del sistema y en el estudio de modos de fallo
- b) Métodos de Monte Carlo (muestreo por hipercubos latinos) para modelar la incertidumbre y cuantificar el riesgo
- c) Modelo clásico de formulación de probabilidades condicionales mediante juicio de experto
- d) Modelos numéricos para describir subsistemas

Desarrollo de una rutina numérica optimizada, generalizable y adaptada de forma concreta para la medida del riesgo en sistemas presa-embalse. Es una particularización del *muestreo por hipercubos latinos*







### 3. Justificación de la metodología

19

FICHA 2.- ANOTACIONES DURANTE LA VISITA DE CAMPO

Nº	ELEMENTO ANALIZADO	CONDICIÓN ACTUAL EN RELACIÓN CON LA DECLARACIÓN DE RIESGO	POSIBLE ESTADO FUTURO S/ MEDIDAS
1	Acceso a la presa		
2	Accesibilidad en los alrededores de la presa		
ESTADO DE LA PRESA			
	Cimentación		
	Coronación		
	Galerías de inspección		
3	Paramento de aguas abajo		
	Estribos y sus contactos		
	Área del pie de aguas abajo		
	Paramento de aguas arriba		
	Casa de Admón. - SAIH		
ESTADO DEL EMBALSE			
4	Sedimentaciones		
	Taludes		
	Riberas		
DESAGÜE DE FONDO			
5	Tipología		
	Toma (tipo y estado)		
	Salida (tipo y estado)		



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

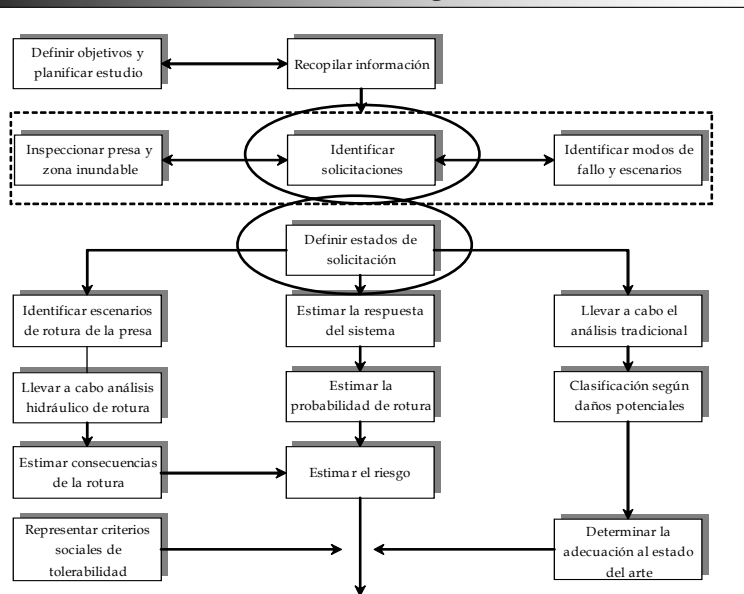
Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología

#### ➤ Análisis de Riesgo

20



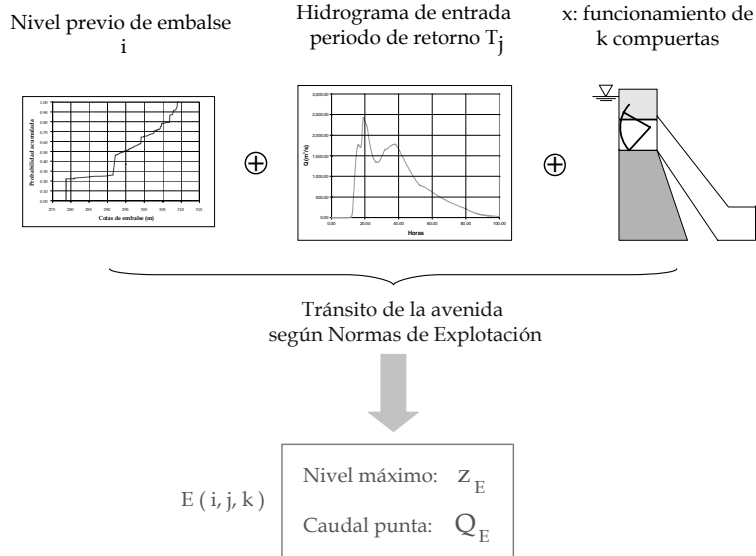
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología

21



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

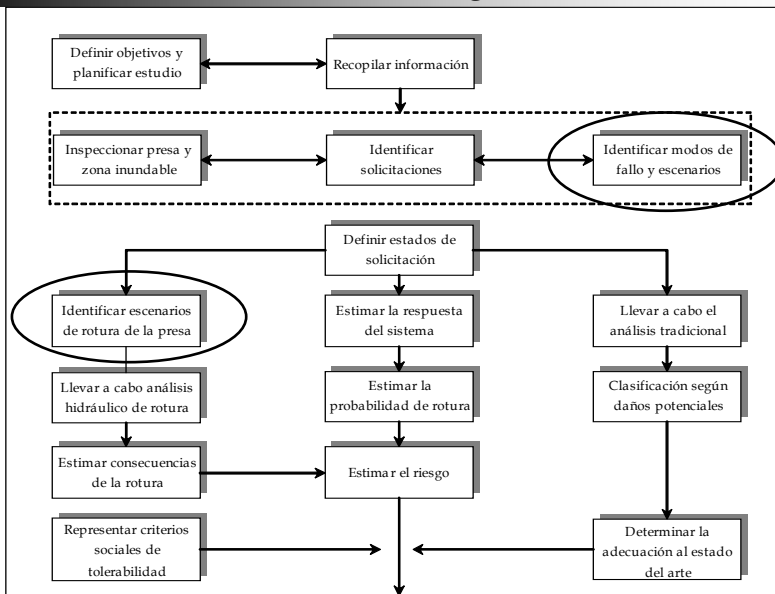
Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología

#### ➤ Análisis de Riesgo

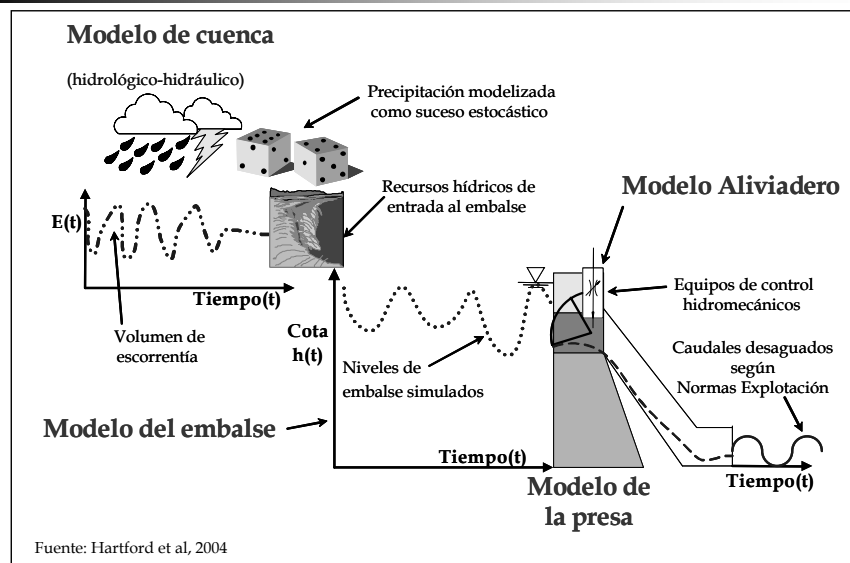
22



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño

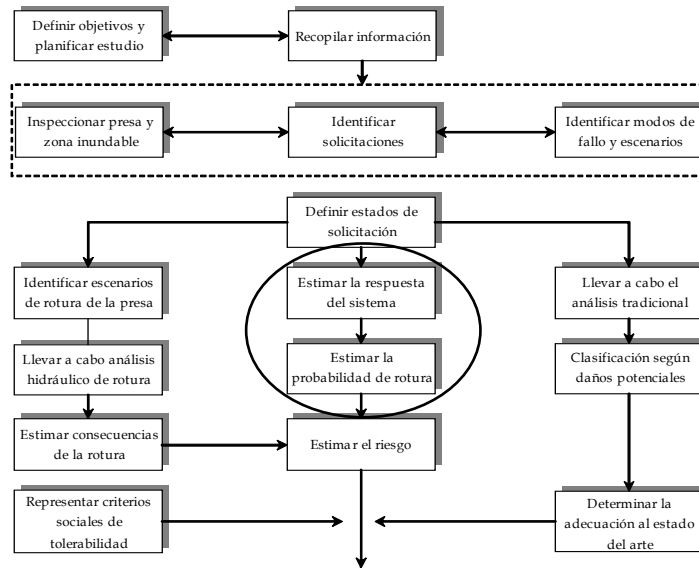




- La auscultación resulta clave en la observación y diagnóstico del comportamiento de las presas
- La auscultación puede ayudar en el establecimiento de un conjunto de “niveles de alerta y alarma” para los diferentes controles durante la construcción y explotación de las presas
- De esta forma, la auscultación constituye una herramienta importante para avanzar en el conocimiento de diversos modos de fallo en presas, así como en su detección preventiva



### 3. Justificación de la metodología ➤ Análisis de Riesgo <sup>25</sup>



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Respuesta del sistema <sup>26</sup>

- Desarrollo de un modelo adecuado y determinación de la información necesaria
- Uso del modelo para los diversos escenarios
- Descomposición al máximo del mecanismo de rotura

- MÉTODO TRADICIONAL EMPÍRICO
- JUICIO INGENIERIL
- MÉTODOS HISTÓRICOS
- JUICIO DE EXPERTO
- ANÁLISIS DE FIABILIDAD



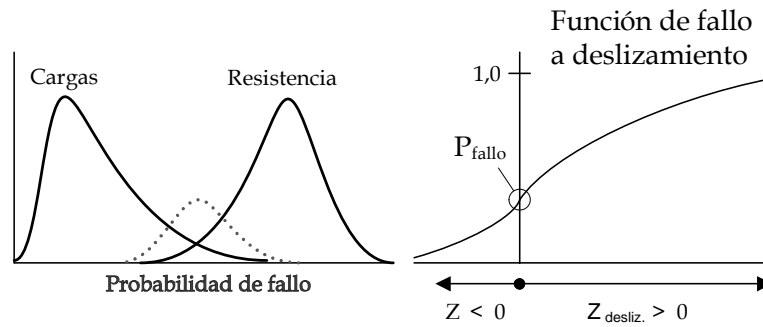
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Respuesta del sistema <sup>27</sup>

Ejemplo básico de la caracterización matemática de un modo de fallo que representa la respuesta de un sistema.



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Respuesta del sistema <sup>28</sup>

□ A su vez, el **Análisis de Fiabilidad** para cuantificar la respuesta de componentes o subsistemas del sistema presa-embalse puede utilizar como marco formal:

- **Diagramas de influencia.**  
("Influence diagrams" según la acepción anglosajona)
- **Árboles de eventos.**  
("Event trees" según la acepción anglosajona)
- **Árboles de fallo.**  
("Fault trees" según la acepción anglosajona)

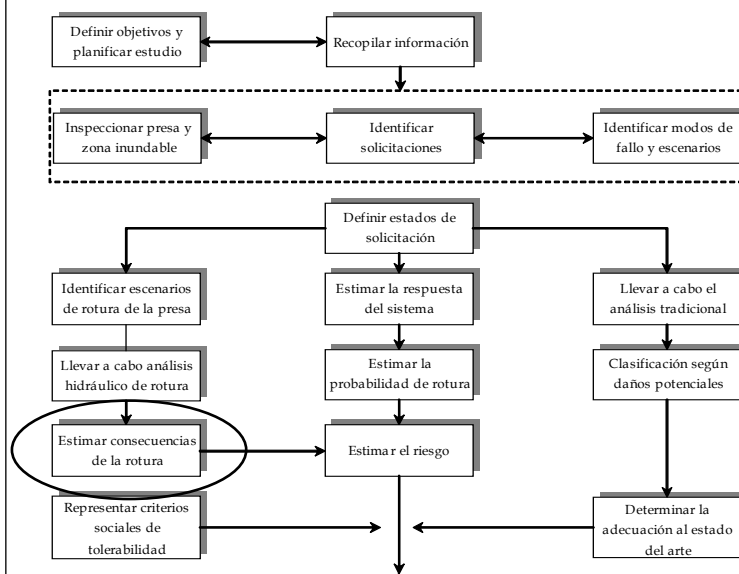


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Análisis de Riesgo <sup>29</sup>



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Estimación de consecuencias <sup>30</sup>

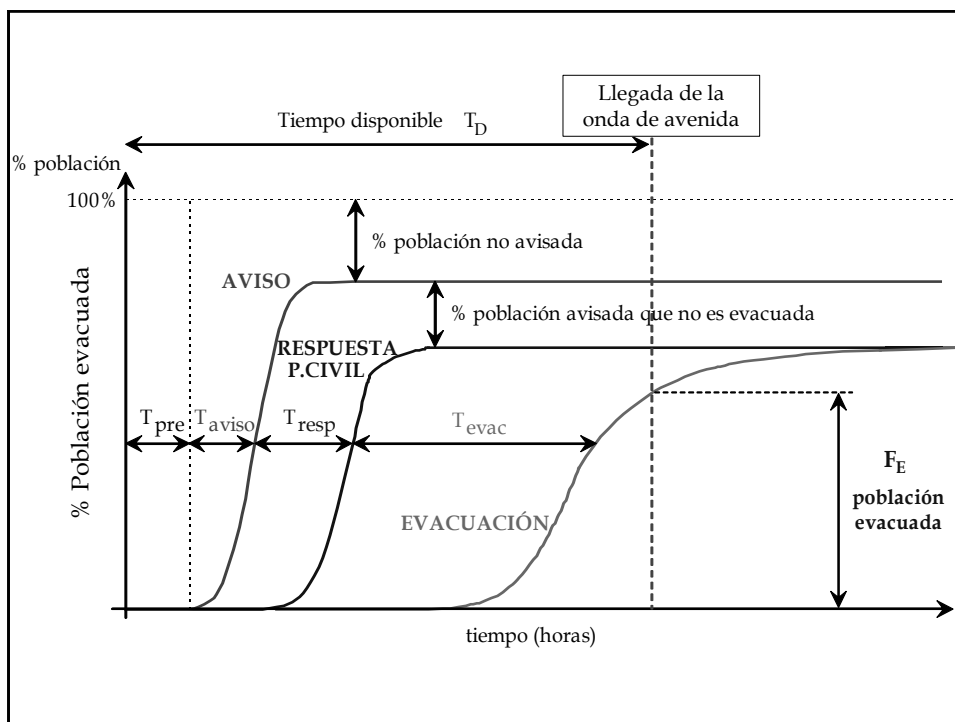
- El análisis de las consecuencias provocadas por la rotura de una presa implica la estimación de pérdidas directas e indirectas
- Se trata de identificar las pérdidas potenciales y estimar su magnitud mediante una descripción probabilística, si es posible, y teniendo en cuenta la evolución temporal en las características del área potencialmente inundable



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño





### 3. Justificación de la metodología

Estimación de consecuencias <sup>32</sup>

Consecuencias sobre la vida humana

The methodology flowchart shows the following steps:
 

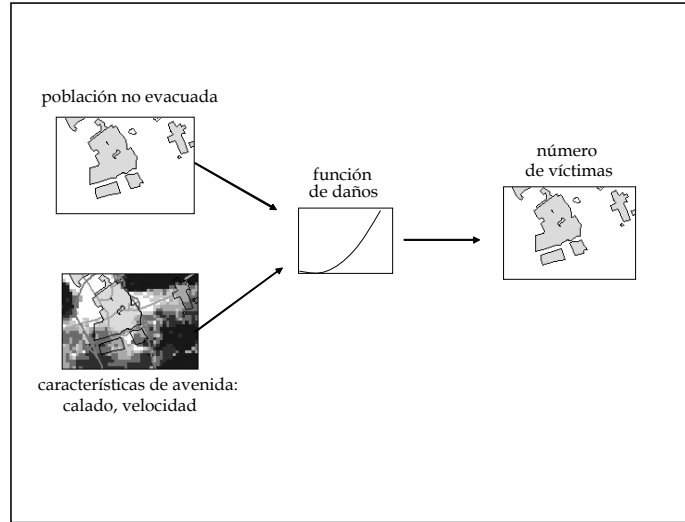
- Inputs: 'población total' (total population), 'infraestructura' (infrastructure), and 'caracts. avenida: (t, y, v)' (flood characteristics).
- Process: 'modelo de evacuación' (evacuation model).
- Output: 'población incapaz de escapar' (population unable to escape).

CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



Consecuencias sobre la vida humana



Consecuencias sobre la vida humana

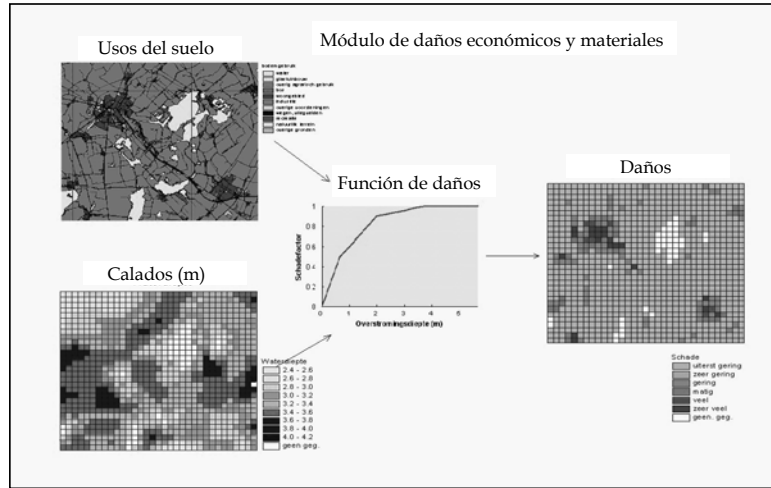
$$E(N) = \int_0^{\infty} f_S(x) F_M(x) (1 - F_E(x)) N_{PAR}(x) dx$$

donde:

- $f_S$ : función de densidad para la ocurrencia de los efectos físicos  $x$ ,
- $F_M$ : función de daños (mortalidad),
- $F_E$ : función de evacuación,
- $N_{PAR}$ : población en riesgo.



Consecuencias económicas



Fuente: van Gelder et al, 2003

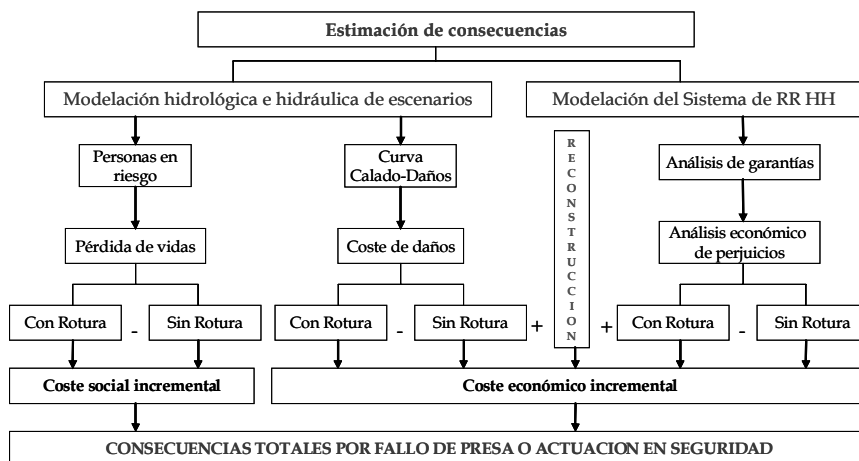


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



Modelo general de consecuencias DIHMA (Triana, 2007)

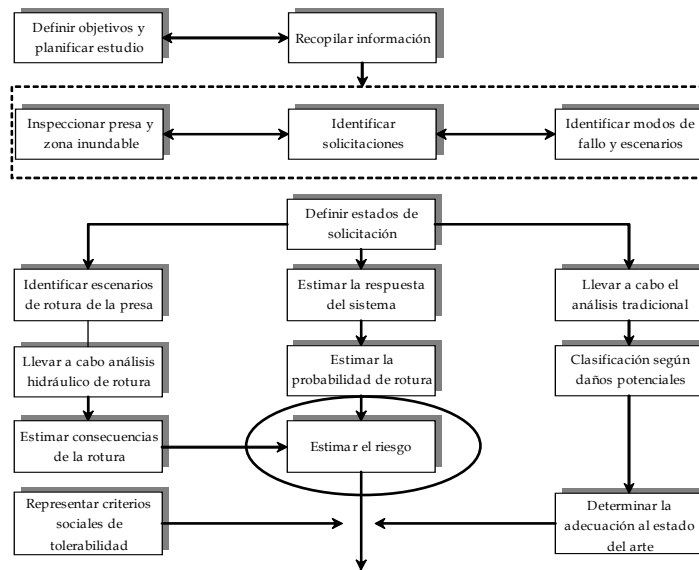


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Análisis de Riesgo <sup>37</sup>



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Análisis de Riesgo <sup>38</sup>

#### Estimación del riesgo

El riesgo se estima combinando las probabilidades de ocurrencia de los escenarios de sollicitación, las probabilidades condicionales de rotura, y la magnitud de las consecuencias y sus distribuciones de probabilidad correspondientes.

#### Valor esperado

$$\mathcal{R} \approx \sum [P(\text{eventos de carga}) \cdot P(\text{rotura}|\text{eventos}) \cdot P(\text{consecuencias}|\text{eventos})]$$

#### Estimación rigurosa

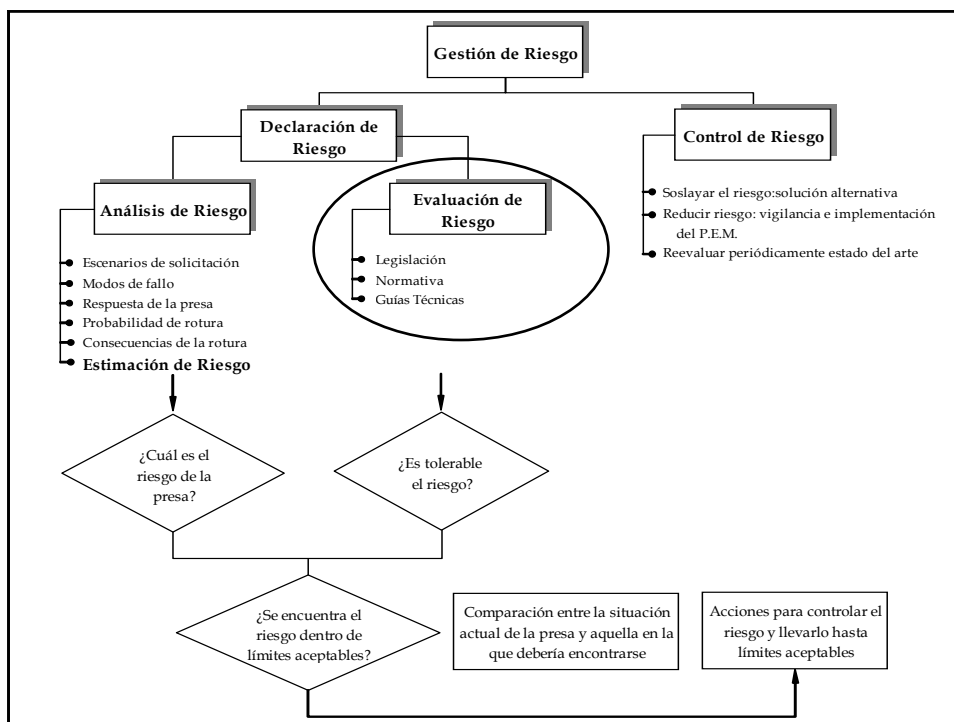
$$\mathcal{R} = \int_{g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0} f_{X_1, X_2, \dots, X_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n.$$



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño





### 3. Justificación de la metodología ➤ Evaluación de Riesgo <sup>40</sup>

Criterios generales de tolerabilidad:  
Health and Safety Executive, 2001

Nivel de Riesgo	Descripción
Riesgo Inaceptable	Riesgo injustificable salvo en circunstancias extraordinarias. Debe introducirse medidas de control del riesgo aquí para conducir el riesgo residual hacia la zona donde es ampliamente aceptable.
Riesgo Tolerable	Si el riesgo residual permanece aquí y la sociedad quiere beneficiarse de la actividad que lo genera, el riesgo residual sólo es tolerable si las medidas de reducción son impracticables o requieren una inversión en tiempo, capital y esfuerzo desproporcionada para el beneficio.
Riesgo ampliamente Aceptable	El riesgo residual se considera insignificante y cualquier medida de reducción resulta altamente desproporcionada para el beneficio final obtenido con ella.
Riesgos despreciables	

CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño

### 3. Justificación de la metodología > Evaluación de Riesgo <sup>41</sup>

Criterios con rango legal: el caso de Holanda

La norma para una actividad ( $i$ ) con ( $x$ ) participantes, escogiendo un valor ( $\alpha=2$ ), expresable en curva F-N:

$$1 - F_N(x) < \frac{C}{x^2}$$

Holanda determina un umbral máximo de 100 víctimas, y establece que  $RT < \beta \cdot 100$ . Asumiendo que  $E(N)$  resultará mucho menor que  $\sigma(N)$ , por considerarse riesgos del tipo ( $0 \cdot \infty$ ), y adoptando una distribución de Bernouilli, expresa la inutilidad económica  $C$  en función del nº de infraestructuras a nivel nacional  $N_A$ , el factor de aversión  $k$  y el factor de voluntariedad  $\beta$ :

$$C = \left[ \frac{\beta \cdot 100}{k \sqrt{N_A}} \right]^2$$



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

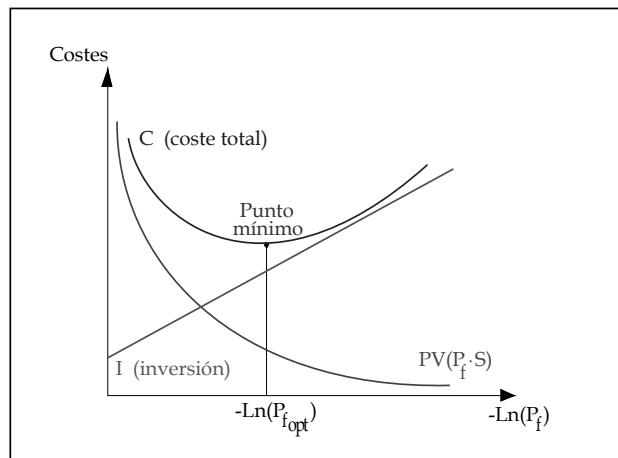
Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología > Evaluación de Riesgo <sup>42</sup>

Criterios con rango legal: el caso de Holanda

El riesgo tolerable también puede considerarse desde el punto de vista económico.



Fuente: Voortman, 2003



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

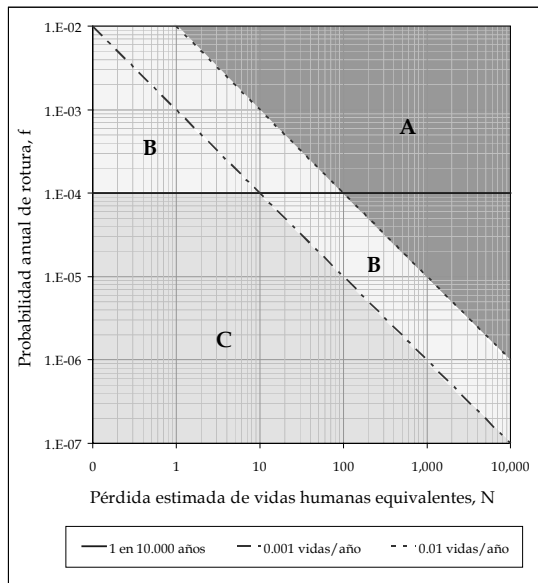
Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Evaluación de Riesgo <sup>43</sup>

#### Recomendaciones de titulares de presas:

**U.S. Bureau of Reclamation**



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

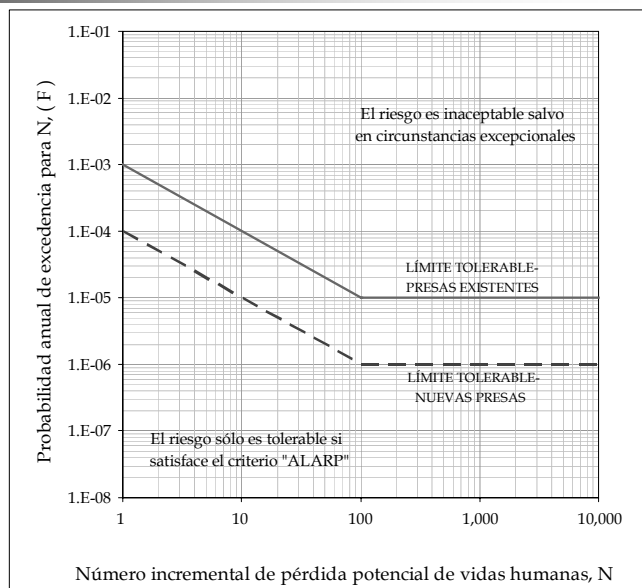
Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Evaluación de Riesgo <sup>44</sup>

#### Recomendaciones de cuerpos profesionales:

**Australian Committee on Large Dams (ANCOLD)**



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Evaluación de Riesgo <sup>45</sup>

#### Criterio ALARP:

¿ Cómo de seguro es lo suficientemente seguro ?

$$ACSL S = \frac{C_A - (E[R_e] - E[R_r]) - (O[R_e] - O[R_r])}{E[N_e] - E[N_r]}$$



donde:

- $C_A$ : coste anualizado de la medida de reducción (euros/año),
- $E[R_e]$ : valor esperado para el coste del riesgo existente (euros/año),
- $E[R_r]$ : valor esperado para el coste del riesgo tras implantar medida (euros/año),
- $O[R_e]$ : valor esperado para el coste de explotación existente (euros/año),
- $O[R_r]$ : valor esperado para el coste de explotación tras medida (euros/año),
- $E[N_e]$ : pérdida potencial de vidas humanas en el caso existente (vidas/año),
- $E[N_r]$ : pérdida de vidas humanas tras implantar medida (vidas/año).

Fuente: D.S.Bowles, 2003



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología ➤ Evaluación de Riesgo <sup>46</sup>

#### Criterio ALARP:

¿ Cómo de seguro es lo suficientemente seguro ?

$$R = \frac{ACSL S}{VF}$$



donde:

- $ACSL S$ : coste ajustado por vida estadística salvada,
- $VF$ : valor esperado por prevenir un fallecimiento causado por la rotura de presa.

Fuente: D.S.Bowles (2003) adaptado del HSE

- Cuanto menores son  $ACSL S$  y  $R$ , más justificada resulta la inversión en una medida de reducción del riesgo
- $VF$  no implica cuantificar el coste de una vida humana, dado que tiene en cuenta la inversión global en seguridad y el número de muertes que se producen en una determinada industria o sector



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología

47

- Necesidad de llevar a cabo un análisis de sensibilidad
- Necesidad de llevar a cabo un análisis de incertidumbre

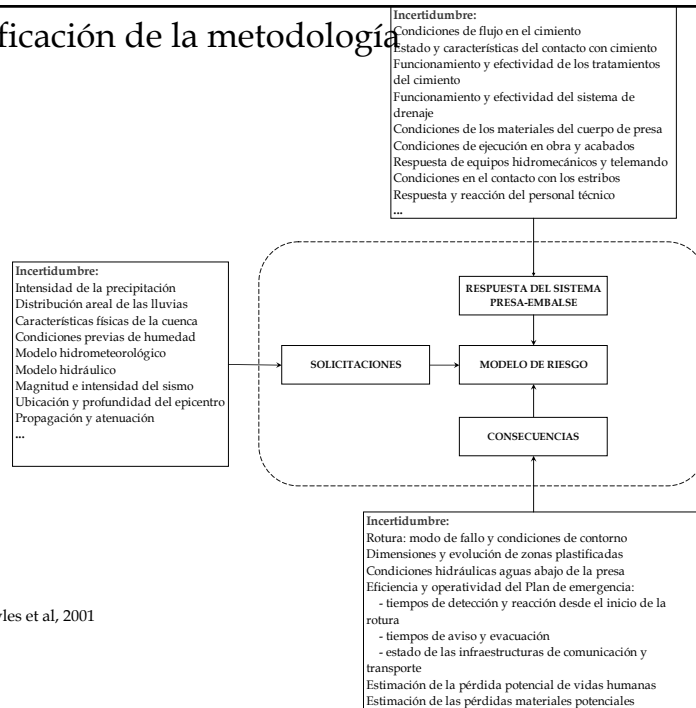


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



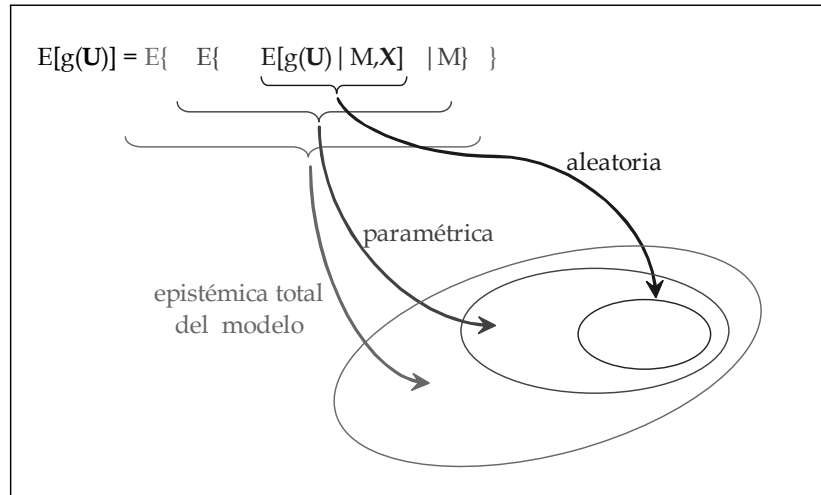
### 3. Justificación de la metodología



Fuente: D.S.Bowles et al, 2001



### 3. Justificación de la metodología Análisis de incertidumbre <sup>49</sup>

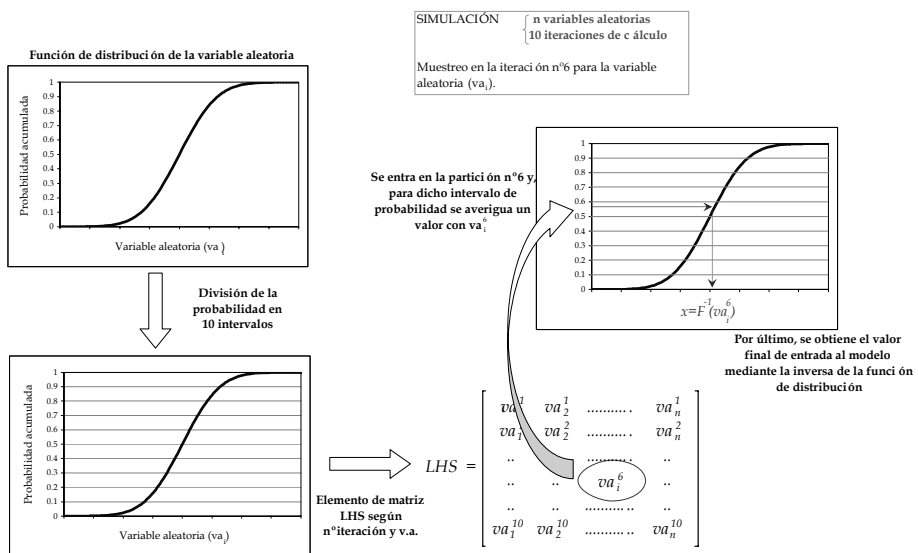


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología Análisis de incertidumbre <sup>50</sup>

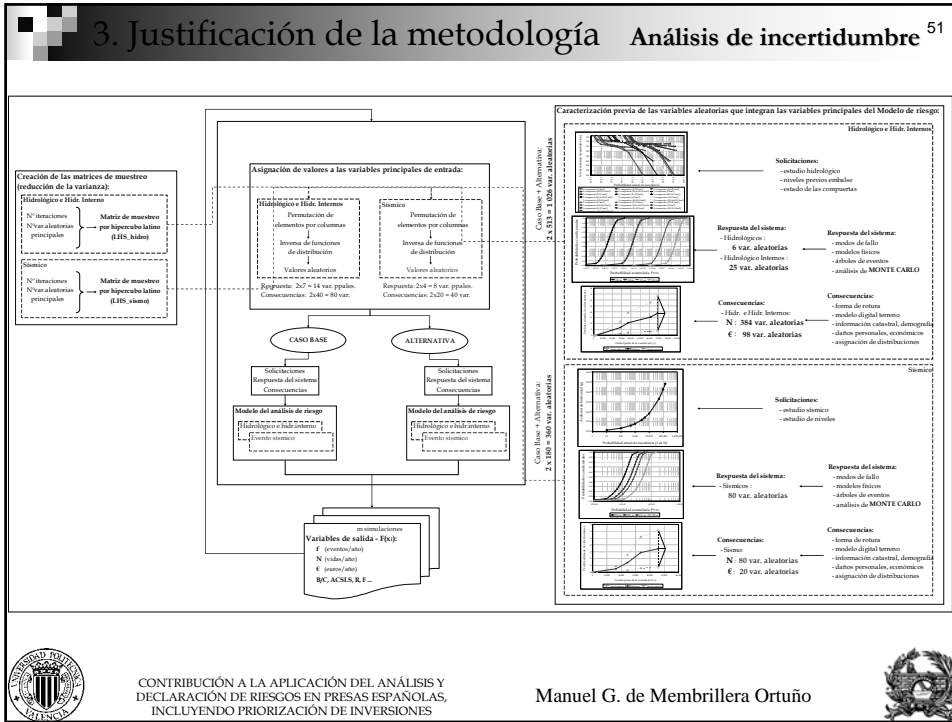


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

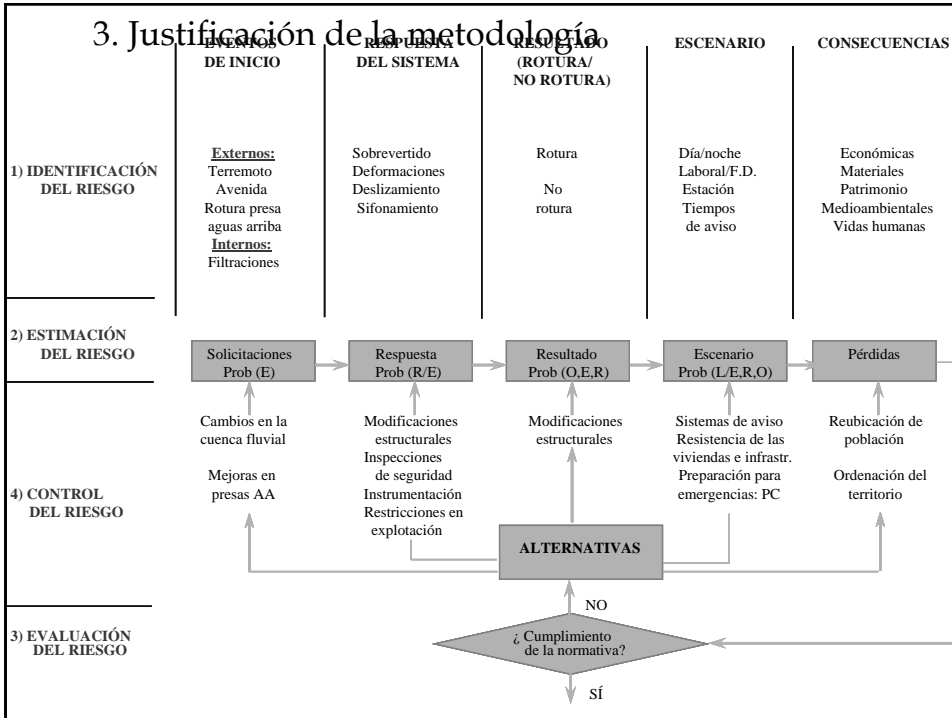
Manuel G. de Membrillera Ortuño



### 3. Justificación de la metodología Análisis de incertidumbre <sup>51</sup>



### 3. Justificación de la metodología



I. Estado del conocimiento

1.- Introducción

2.- Marco de referencia

II. Propuesta y aplicación de la Declaración de Riesgo

3.- Justificación de la metodología

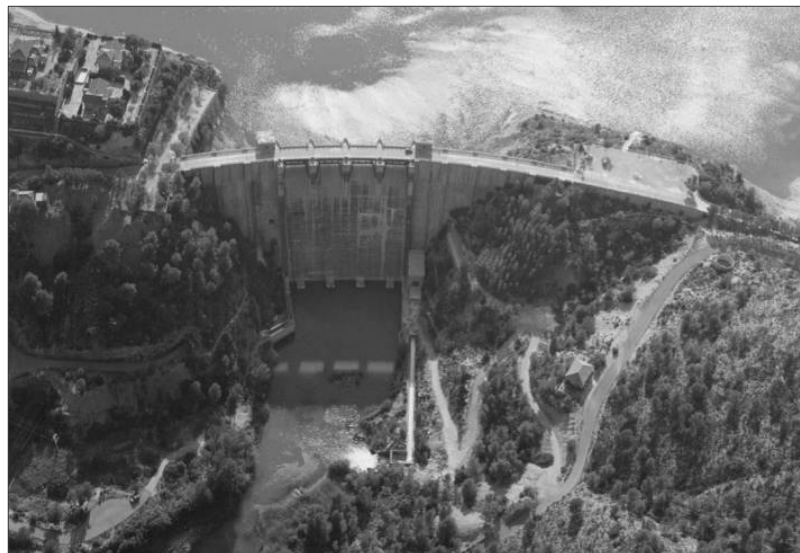
**4.- Caso práctico de estudio**

III. Propuesta para el desarrollo de un análisis de riesgos cualitativo en el contexto español

5.- Propuesta en el contexto español

IV. Conclusión

6.- Conclusiones y futuras líneas de investigación



- ❑ Materiales concordantes, de abajo a arriba, buzan hacia aguas abajo 35° ENE:
  - **Calizas arenáceo-margasas** del Jurásico (Oxfordiense); sólidas e impermeables
  - **Calizas muy margosas con intercalaciones de margas**; en estribos
  - **Calizas** en capas de medio a un metro de espesor y que, en su zona superior, pasan a bancos muy potentes de calizas marmóreas (fuera de la acción de las aguas)
  - Macizo rocoso de **clase III**, media.

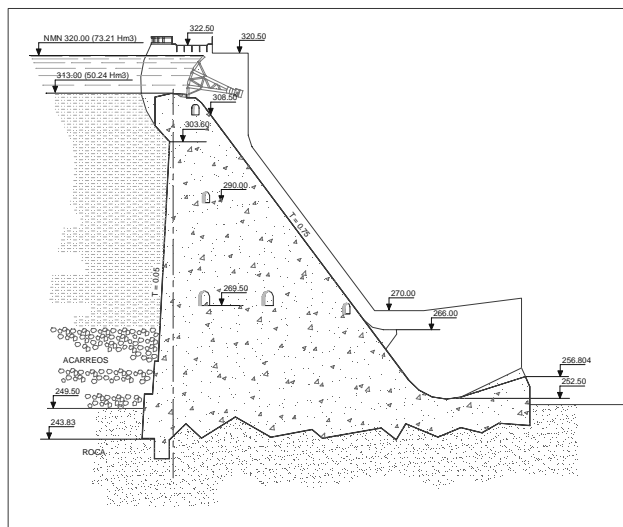


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



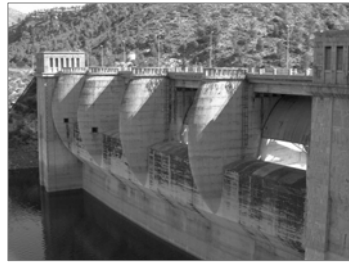
➤ Características de la presa



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



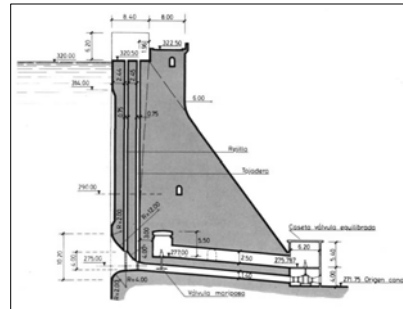
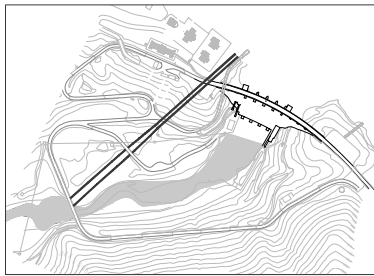


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



➤ Otros elementos



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

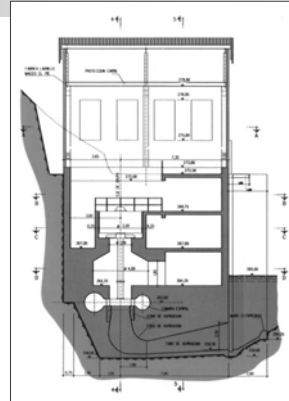
Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

59

##### ➤ Otros elementos



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

60

##### ➤ Elementos de auscultación



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



## 4. Caso práctico de estudio

61

### ➤ Elementos de auscultación



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



## 4. Caso práctico de estudio

Defecto / Observación	Tipo	Afecta a	Actuación propuesta / medida correctora	Prioridad	Presupuesto estimado (€)
Informe de la 1ª Revisión	Observación	ARCHIVO TÉCNICO	Incorporación del informe al Archivo Técnico	3	0,00
Ausencia de Plan de Emergencia	Defecto	ARCHIVO TÉCNICO	Incorporación del Plan de Emergencia al Archivo Técnico	1	0,00
Nueva documentación generada durante la explotación	Observación	ARCHIVO TÉCNICO	Incorporación al Archivo Técnico	3	0,00
Sistema de auscultación mejorable	Observación	INSPECCIONES Y SEGURIDAD ESTRUCTURAL	Implantación y seguimiento	3	80.000,00
Desagüe de fondo por cuerpo de presa	Defecto	ÓRGANOS DE DESAGÜE	Reparar	1	630.000,00
Desagüe por el Túnel de desvío no operativo	Defecto	ÓRGANOS DE DESAGÜE	Reparar	1	1.000.000,00
Válvula mariposa de la toma de riego deficiente	Defecto	ÓRGANOS DE DESAGÜE	Eliminar o reparar	2	400.000,00
Sellos en compuertas de aliviadero.	Defecto	ÓRGANOS DE DESAGÜE	Reparar	2	50.000,00
Pequeños deslizamientos en laderas del vaso	Defecto	GEOLOGÍA, GEOTECNICA Y SISMICIDAD	Vigilar	2	no valorado (*)
Filtración de margen derecha	Defecto	GEOLOGÍA, GEOTECNICA Y SISMICIDAD	Corregir mediante inyecciones	2	80.000,00
Pantalla de drenaje de cimiento	Defecto	SEGURIDAD ESTRUCTURAL	Perforar nuevas pantallas	2	80.000,00
Pantalla de drenaje de cuerpo de presa	Defecto	SEGURIDAD ESTRUCTURAL	Perforar nueva pantalla	2	80.000,00
Permeabilidad de la zona central del cuerpo de presa	Defecto	SEGURIDAD ESTRUCTURAL	Inyecciones de impermeabilización	2	60.000,00
Montacargas de acceso	Defecto	INSTALACIONES, ACCESOS Y OTROS	Reparar	2	150.000,00
Grupo electrógeno, cuadro de B.T. y líneas eléctricas entrecruzados	Observación	INSTALACIONES, ACCESOS Y OTROS	Reparar	3	200.000,00
Desprendimientos en camino margen derecha	Observación	INSTALACIONES, ACCESOS Y OTROS	Reparar	3	450.000,00
Defectos en edificaciones (casa de administración)	Observación	INSTALACIONES, ACCESOS Y OTROS	Reparar	3	120.000,00
General	Observación	GENERAL	Implantación de equipo de mantenimiento preventivo y correctivo	3	250.000,00 €/año
Limitación de cota de embalse	Defecto	SEGURIDAD ESTRUCTURAL, GEOLOGÍA y GEOTECNIA	Elaboración de un Plan de Puesta en Carga y seguimiento	1	10.000,00

#### NOTAS.-

A) Se distingue entre tipos:

**Defecto:** supone un incumplimiento de la normativa o falta grave.

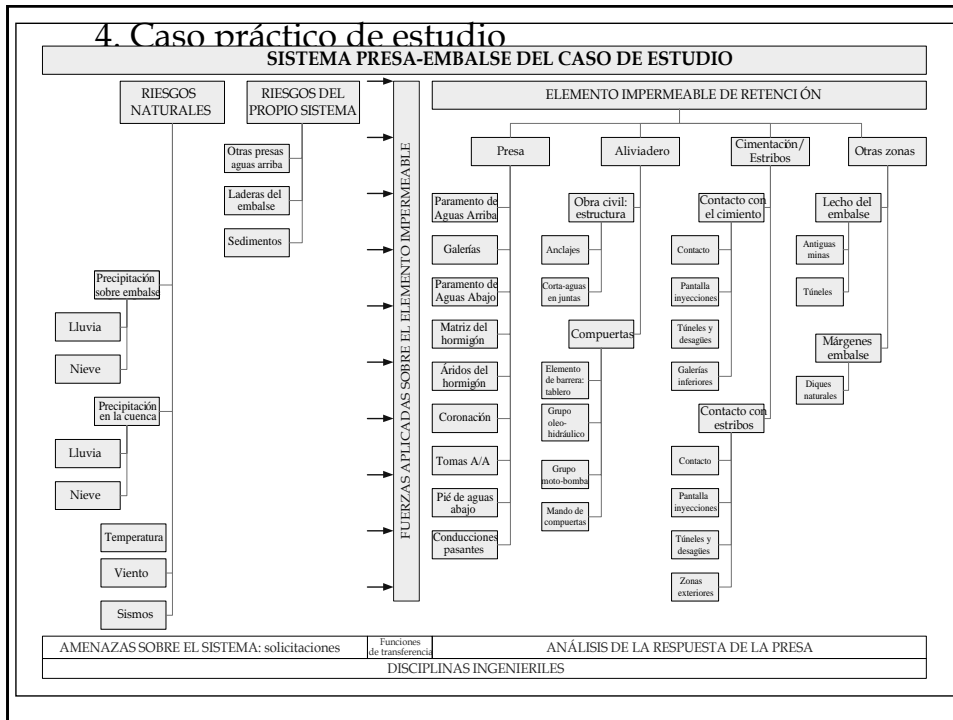
**Observación:** sin ser fallos graves, se proponen como posibles mejoras a la seguridad o funcionalidad de la presa.

B) Se establece tres niveles de prioridad desde 1 a 3, considerándose de la mayor prioridad el 1 y la menor el 3.

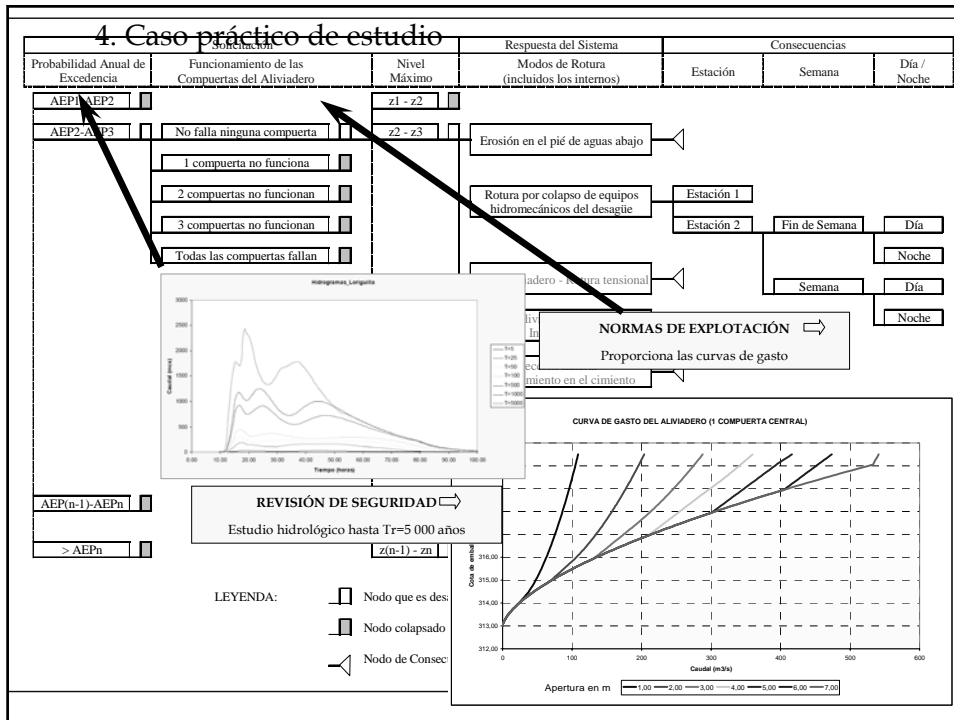
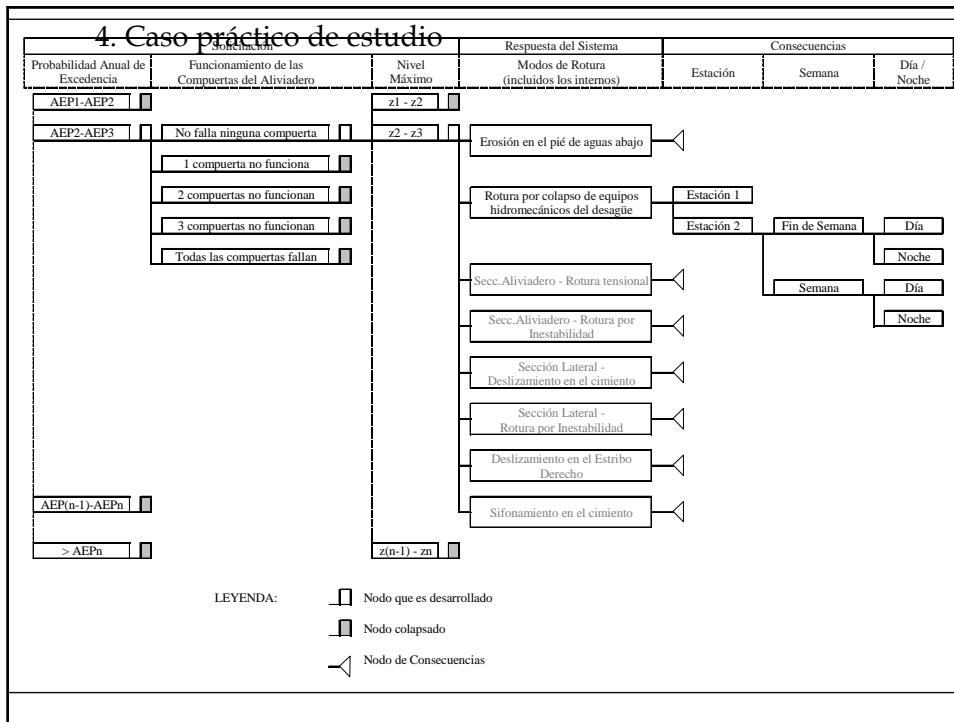
C) Se han estimado unos presupuestos, pero dada la complejidad de algunas de las actuaciones propuestas, éstos pueden variar sustancialmente una vez estudiadas en detalle las actuaciones y elaborados los correspondientes proyectos.

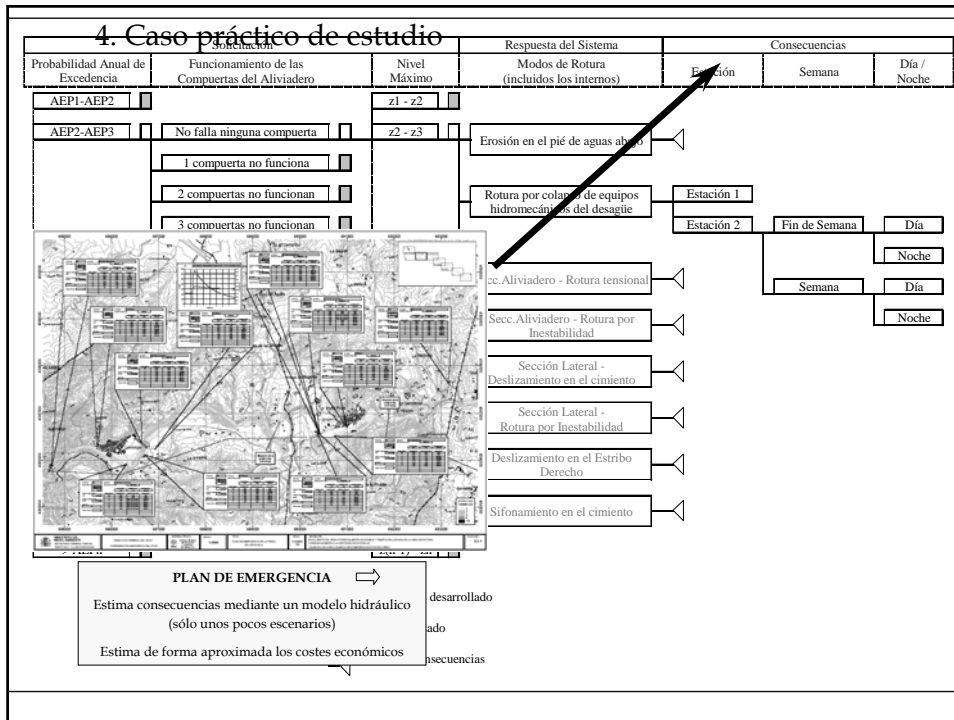
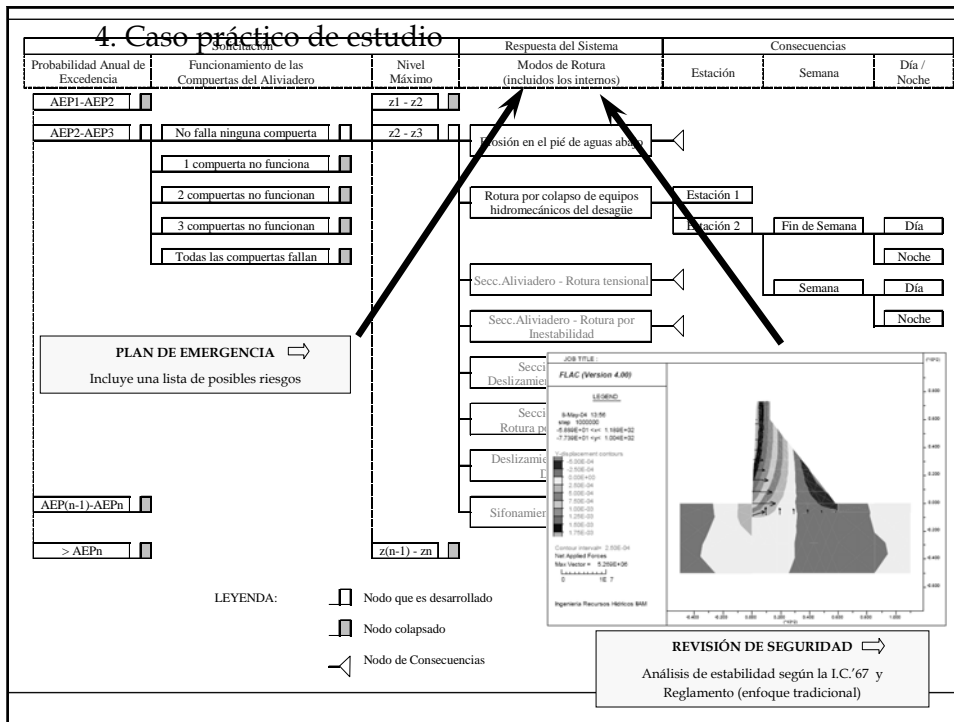
(\*) No se ha valorado, puesto que depende en gran medida de la solución adoptada. Podría ser incluido en el presupuesto de implantación de equipo de mantenimiento preventivo.

Evento Hidrológico	Valoración	Evento Sísmico	Valoración	Explotación Normal del Embalse	Valoración
<b>Caso práctico de estudio</b>					
<b>Presa de Gravedad</b>		<b>Presa de Gravedad</b>		<b>Presa de Gravedad</b>	
Estabilidad global	AT	Estabilidad global	AT	Deslizamiento profundo en cimiento	T
Estabilidad interna	AT	Estabilidad interna	AT	Sifonamiento en cimiento	T
Sifonamiento en el cimiento	T	Estribos	ANT	Sobretensiones en cuerpo de presa	T
Estribos	ANT			Estabilidad global	T
<b>Capacidad Global de Laminación</b>				Estribos	ANT
Avenida Extrema (5.000 años)	T				
PMF	N/D				
Sobrevertido	T				
<b>Aliviadero y Cuenco de Amortiguación</b>		<b>Aliviadero y Cuenco de Amortiguación</b>		<b>Instalaciones y equipamientos</b>	
Estabilidad estructural	AT	Estabilidad estructural	AT	Instalaciones eléctricas (líneas, grupo, etc.)	AT
Capacidad hidráulica	AT	Compuertas - capacidad estructural	AT	Defectos en edificaciones	AT
Sobrevertido en los muros cajero	AT	Pilas - capacidad estructural	AT	Montacargas de acceso	NT
Compuertas - capacidad estructural	AT			Desprendimientos en caminos de acceso	ANT
Pilas - capacidad estructural	T				
Erosionabilidad	AT			<b>General</b>	
Sistemas mecánicos	AT			Estado del Archivo de Presa	T
Sistemas eléctricos	T			XYZT actualizado	T
Obstrucciones				Normas de Explotación actualizadas	T
Flotantes arrastrados por el agua	AT			Plan de Emergencia actualizado	T
Inestabilidad de taludes próximos	AT			Plan de Emergencia implementado	NT
Umbral del aliviadero	T			Equipo de mantenimiento	ANT
<b>Organos de desagüe</b>		<b>Organos de desagüe</b>		<b>Organos de desagüe</b>	
Sifonamiento	N/D	Estabilidad		Sifonamiento	N/A
Sistemas eléctricos	AT	Obras de toma	AT	Sistemas mecánicos	ANT
Sistemas mecánicos	NT	Conductos	AT		
Estabilidad					
Obras de toma	AT				
Conductos	AT				
Obstrucciones	AT				
<b>Presa de Materiales Suetos</b>		<b>Presa de Materiales Suetos</b>		<b>Presa de Materiales Suetos</b>	
Aspectos geotécnicos		Licuefacción	N/D	Licuefacción	N/D
Sifonamiento	N/D	Estabilidad global	N/D	Estabilidad global	N/D
Estabilidad	N/D				
Erosión en el pie de aguas abajo	N/D	<b>Cimiento</b>		<b>Cimiento</b>	
Efectos del oleaje	N/D	Licuefacción	N/D	Sifonamiento	N/D
Estribos	N/D	Estabilidad	N/D	Estabilidad	N/D
Sifonamiento en el cimiento	N/D	Movimiento de fallas	N/D		
<b>Vaso del embalse</b>		<b>Vaso del embalse</b>		<b>Vaso del embalse</b>	
Estabilidad de taludes	AT	Estabilidad de taludes	AT	Estabilidad de taludes	AT
Pérdida de capacidad por aterramiento	T	Pérdida de capacidad por aterramiento	T		
Erosionabilidad	T	Explotaciones mineras	N/D		
Explotaciones mineras	N/D				
<b>Auscultación</b>	AT	<b>Auscultación</b>	AT	<b>Auscultación</b>	AT

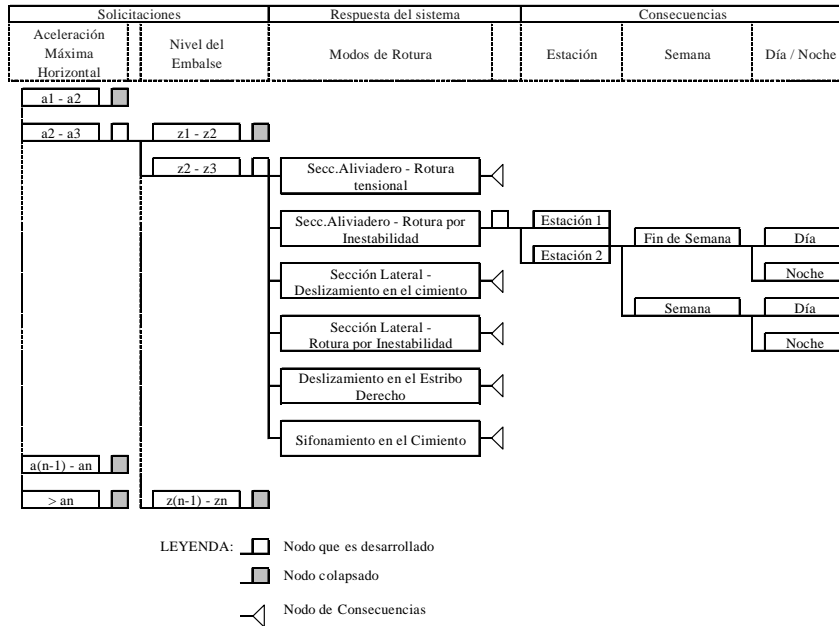




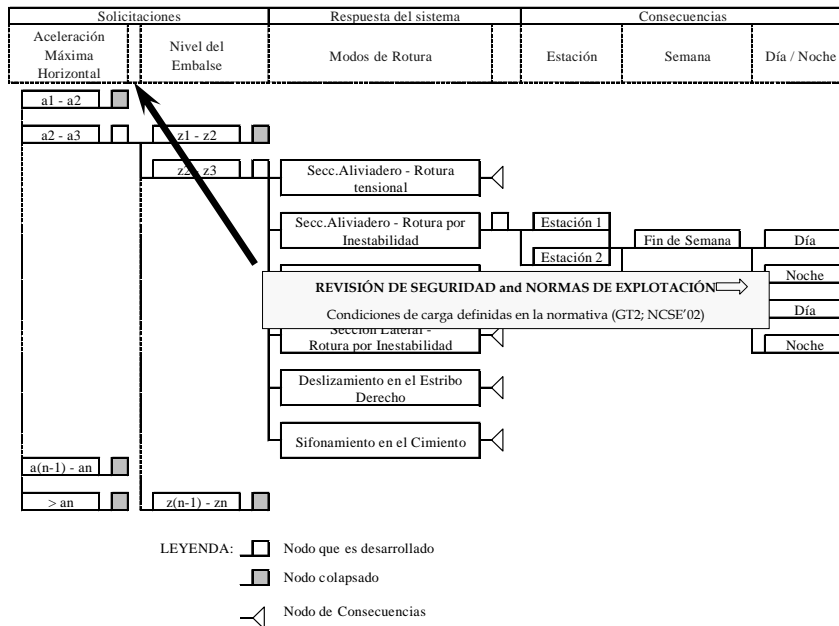




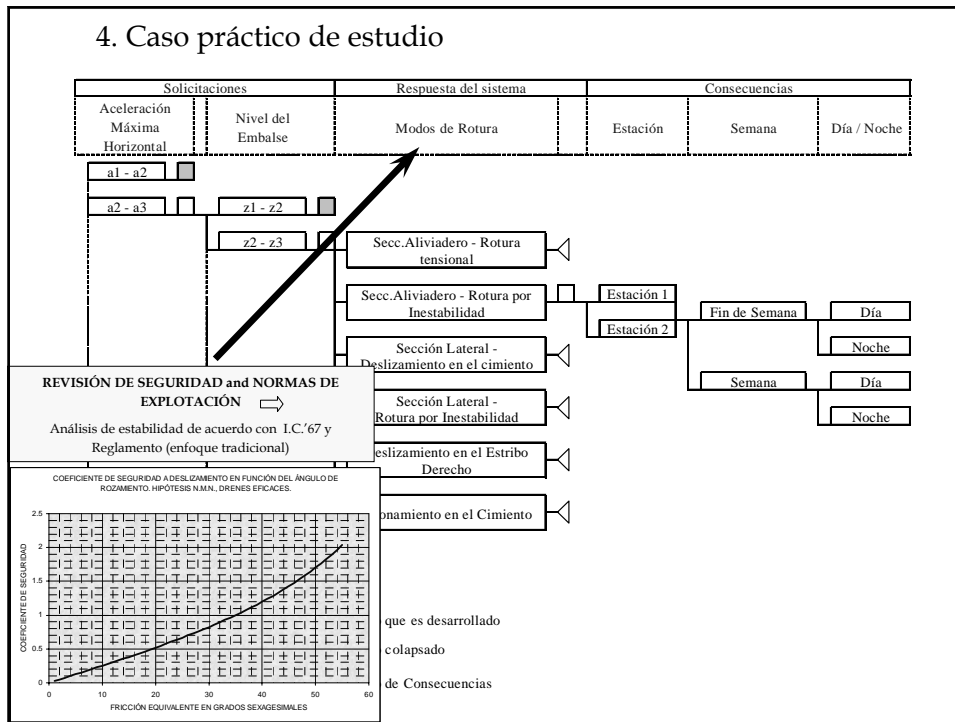
#### 4. Caso práctico de estudio



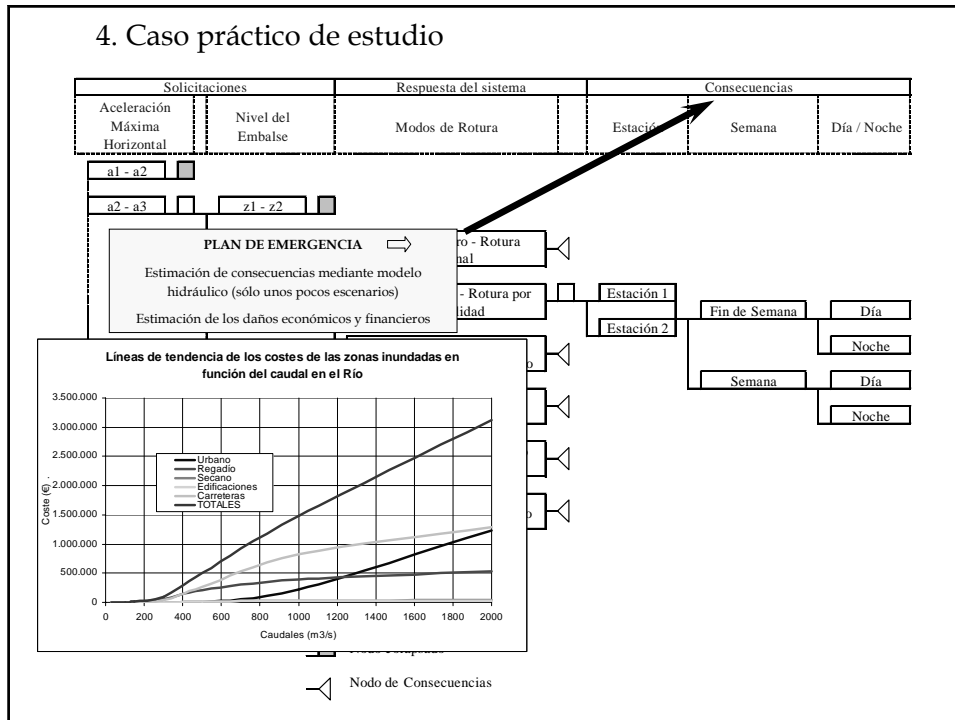
#### 4. Caso práctico de estudio



#### 4. Caso práctico de estudio



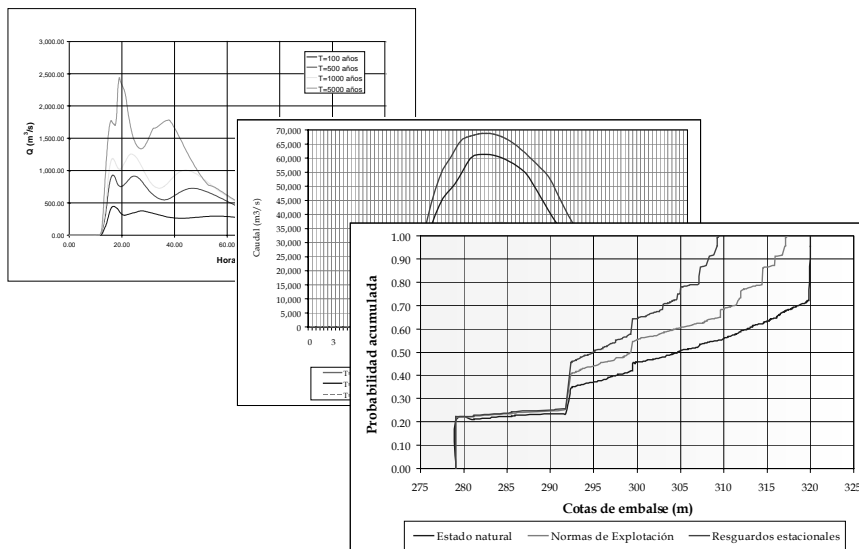
#### 4. Caso práctico de estudio



➤ Alternativas de reducción de riesgo analizadas

Caso Base: estado natural sin intervención alguna

1. Restricción absoluta del nivel de explotación
2. Ejecución de una pantalla de inyecciones y drenaje
3. Aplicación del Plan de Emergencia con los medios disponibles antes de su implantación
4. Aplicación conjunta de las Alternativas 2 y 3
5. Implantación total del Plan de Emergencia
6. Aplicación conjunta de las Alternativas 2 y 5
7. Restricciones estacionales de nivel según las vigentes Normas de Explotación



## 4. Caso práctico de estudio

75

(Ang and Tang, 1975 pág.107)

Distribución Binomial para estimar la probabilidad de "x" compuertas operables:

$n = 4$  (número total de compuertas)  
 $p = 1.50E-01$  (probabilidad estimada individual de una compuerta inoperable)  
 $x =$  número de compuertas fuera de servicio  
 $y =$  número de compuertas operativas

x	p(x)	F(y)	
0	5.220E-01	<b>0.52200625</b>	prob. de tener las 4 compuertas funcionando
1	3.685E-01	<b>0.89048125</b>	prob. de tener 3 o más compuertas funcionando
2	9.754E-02	<b>0.98801875</b>	prob. de tener 2 o más compuertas funcionando
3	1.148E-02	<b>0.99949375</b>	prob. de tener 1 o más compuertas funcionando
4	<u>5.063E-04</u>	<b>1.00000000</b>	prob. de tener 0 o más compuertas funcionando
	1.000E+00		

y	p(y)	
0	5.063E-04	prob. de tener 0 compuertas funcionando
1	1.148E-02	prob. de tener 1 compuerta funcionando
2	9.754E-02	prob. de tener 2 compuertas funcionando
3	3.685E-01	prob. de tener 3 compuertas funcionando
4	<u>5.220E-01</u>	prob. de tener 4 compuertas funcionando
	1.000E+00	



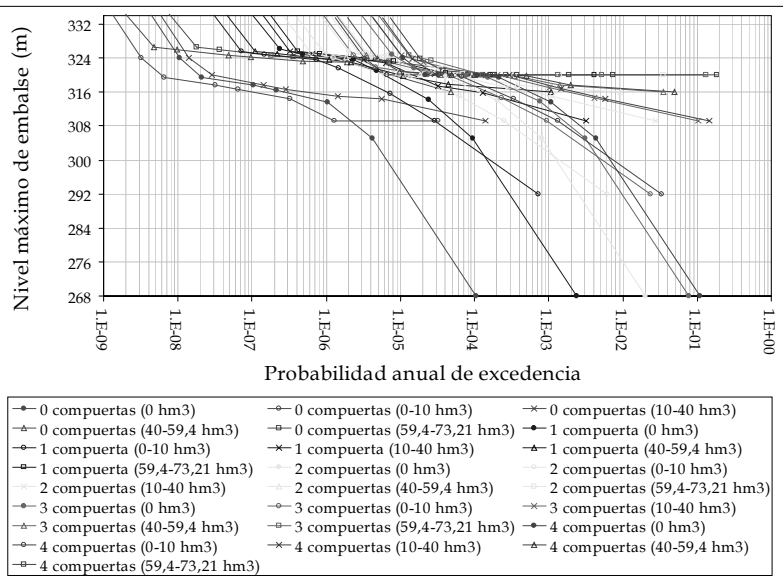
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
 DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
 INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



## 4. Caso práctico de estudio

76



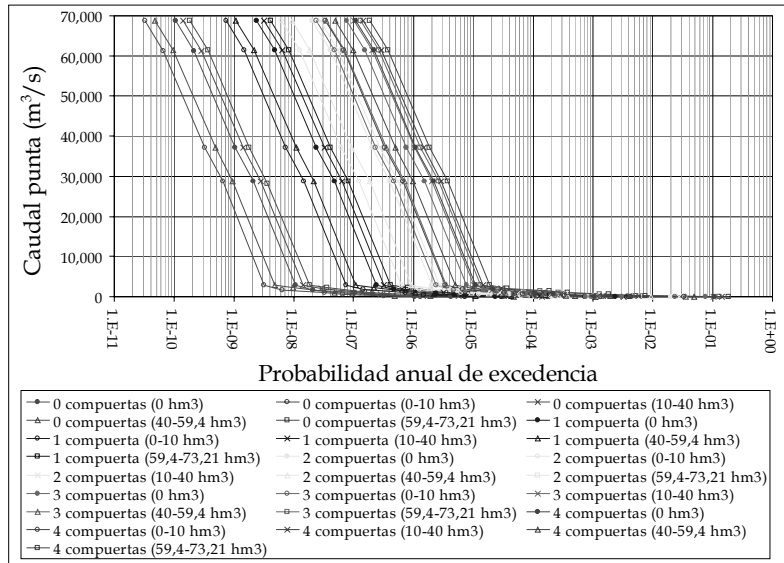
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
 DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
 INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

77



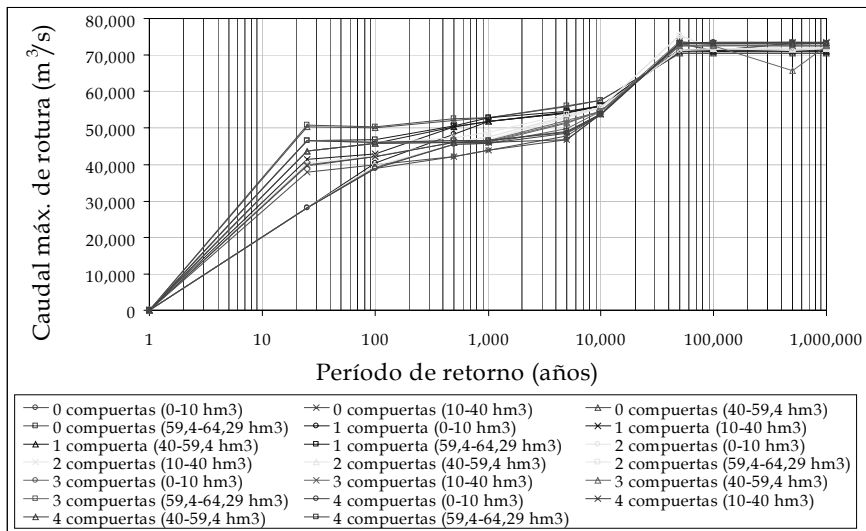
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

78



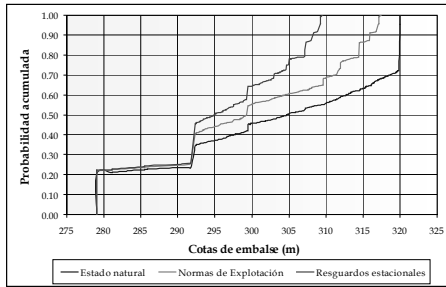
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño

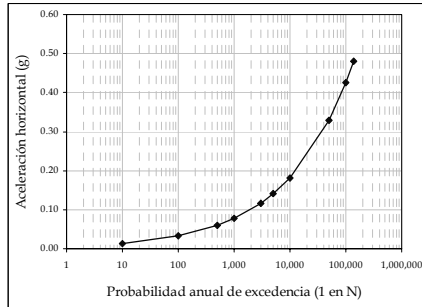


## 4. Caso práctico de estudio

79



$$a(T) = a_s \left( \frac{T}{500} \right)^{0.37}$$



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

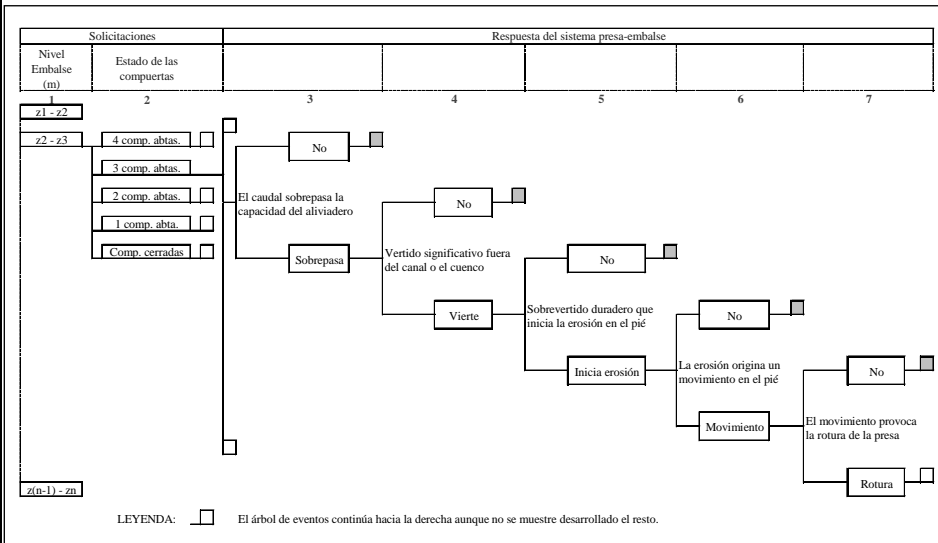
Manuel G. de Membrillera Ortuño



## 4. Caso práctico de estudio

80

### Rotura por erosión en el pie de presa



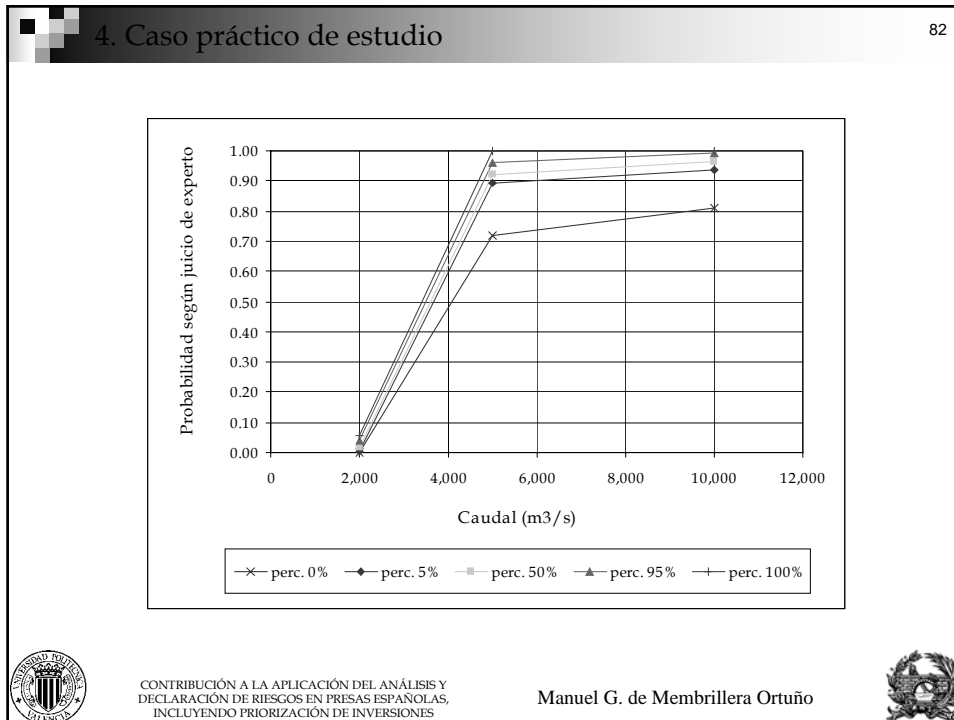
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño





4. Ca	Asignación final de probabilidades	ESCENARIO: Evento hidrológico			
	PRESA: XXX				
	EVENTO: 1- El caudal sobrepasa la capacidad del aliviadero o su cuenco.				
	MODO: Rotura por erosión en el pié de aguas abajo.				
DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD ASIGNADAS					
Q (m <sup>3</sup> /s)	perc. 0%	perc. 5%	perc. 50%	perc. 95%	perc. 100%
2,000	9.00E-07	5.25E-03	1.75E-02	4.00E-02	5.50E-02
5,000	7.20E-01	8.93E-01	9.23E-01	9.62E-01	1.00E+00
10,000	8.10E-01	9.35E-01	9.63E-01	9.94E-01	1.00E+00
Experto	Factor	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	percentil 5%	percentil 50%	percentil 95%
1	0.25	2,000	1.00E-06	2.00E-02	5.00E-02
2	0.25	2,000	1.00E-02	2.00E-02	3.00E-02
3	0.25	2,000	1.00E-02	2.00E-02	5.00E-02
4	0.25	2,000	1.00E-03	1.00E-02	3.00E-02
1	0.25	5,000	8.00E-01	8.00E-01	9.20E-01
2	0.25	5,000	9.00E-01	9.20E-01	9.40E-01
3	0.25	5,000	9.70E-01	9.80E-01	9.90E-01
4	0.25	5,000	9.00E-01	9.90E-01	9.99E-01
1	0.25	10,000	9.00E-01	9.00E-01	9.95E-01
2	0.25	10,000	9.70E-01	9.80E-01	9.90E-01
3	0.25	10,000	9.70E-01	9.80E-01	9.90E-01
4	0.25	10,000	9.00E-01	9.90E-01	9.99E-01
Los límites de la distribución ponderada de probabilidades se obtienen aumentando o disminuyendo un 10% los valores máximo y mínimo, respectivamente, de todas las estimaciones individuales.					
PRINCIPALES ARGUMENTOS EXPUESTOS EN LA SESIÓN.-					
La capacidad máxima del aliviadero cuando fue diseñado con la ayuda de un modelo reducido fue de 2.000 m <sup>3</sup> /s. Por esta razón las probabilidades asignadas son nulas por debajo de ese umbral. Se ha llegado a la conclusión de que el cuenco anegado de amortiguación es cualitativamente más seguro y holgado que el aliviadero, en cuanto a funcionalidad se trata. Existe un enorme margen entre el nivel del río y las cotas a las que puede encontrarse el contacto entre presa y estribos, dado en la zona central se cuenta con la protección del cuenco. La presencia de la casa de tomas y el salto hidroeléctrico, por las obras de fábrica que implican, también proporcionan lateralmente una protección adicional a los contactos entre la presa y el terreno. Con 10.000 m <sup>3</sup> /s la presa se anega por aguas abajo y, por tanto, este modo de fallo se anula (se adoptará Pr=0,000)					



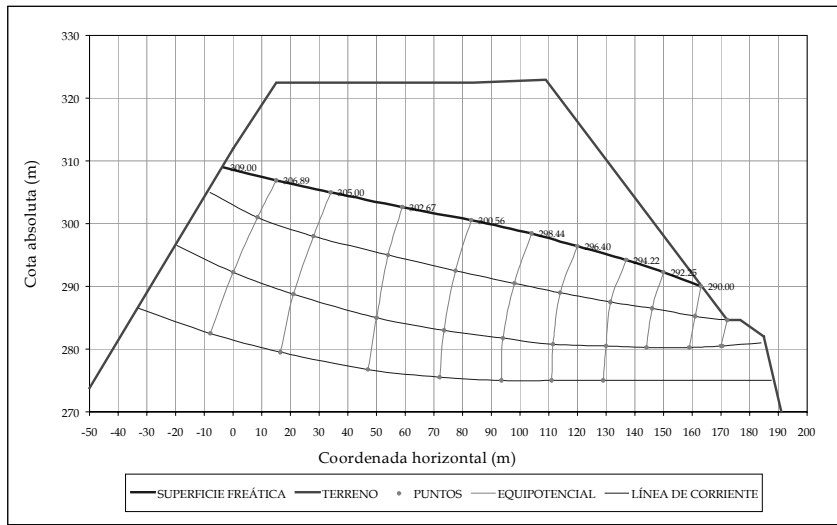
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

83

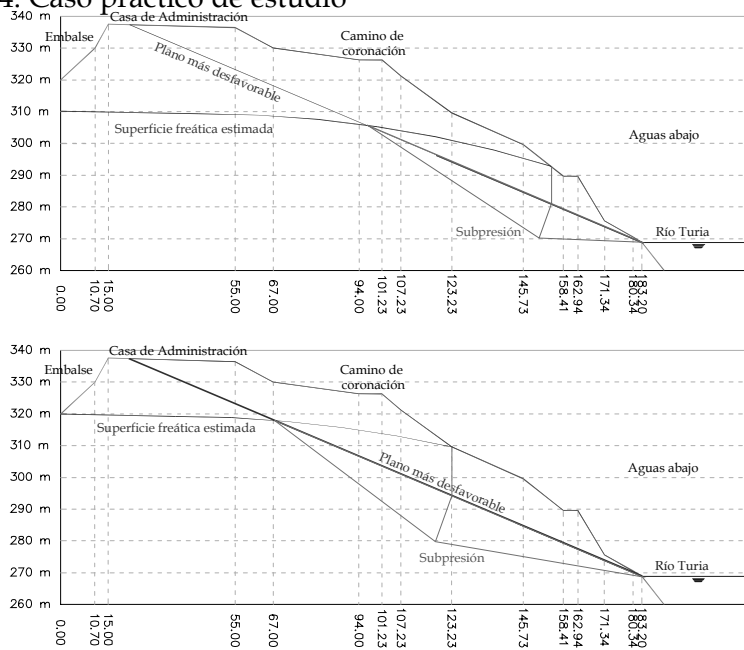


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio



## 4. Caso práctico de estudio

### ESTACIONES GEOMECÁNICAS

E.G.-1 N 10° W 26° E  
 E.G.-2 N 5° W 25° E  
 E.G.-3 N 8° W 26° E  
 E.G.-4 N 10° W 24° E  
 E.G.-5 N 20° W 27° E  
 E.G.-6 N 5° W 20° E  
 E.G.-7 N 5° W 28° E  
 G.S.E.D. N 10° W 18° E  
 G.I.E.D. N 20° W 21° E  
 G.F.E.L. N 15° W 23° E  
 media N 11° W 24° E

Línea de máxima pendiente en el plano del buzamiento:

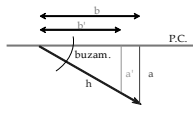
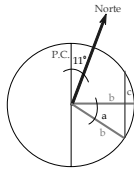
Buzamiento ( $\beta$ ) = 24°  
 tangente = 0.441053

Triángulos rectángulos:

b = 10.00  
 a = 4.41  
 h = 10.93  
 a' = 16°  
 b' = 9.61  
 a'' = 4.24

Buzam. aparente ( $\beta'$ ) = 22.98°

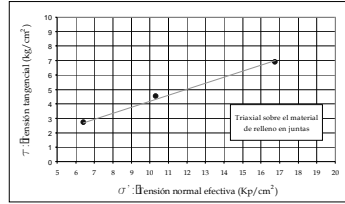
	(a')	(a'')
Galería desvío	33°	20.30°
Plano más desfavorable ED	16°	22.98°



### TRIAxIAL "CU" CON EL RELLENO MARGOSO DEL MACIZO

Tensiones tangenciales máximas (de pico) (kg/cm <sup>2</sup> )	Desplazamiento en rotura (mm)	Tensiones normales efectivas (kg/cm <sup>2</sup> )
2.72	-	6.4
4.51	-	10.3
6.89	-	16.8

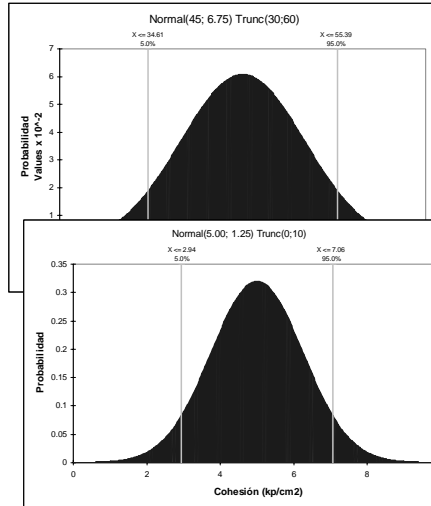
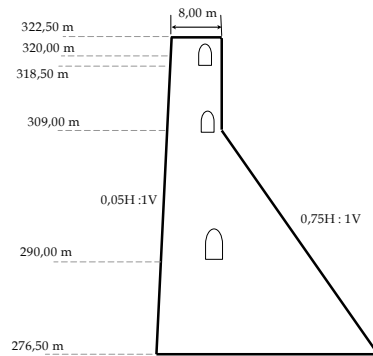
Probeta n°	I	II	III
$\sigma_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	6.50	7.50	9.00
sección, cm <sup>2</sup>	14.25	14.25	14.25
carga, kg	77.65	128.63	196.24
$(\sigma_1 - \sigma_2)$	5.45	9.03	13.77
$\sigma_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	11.95	16.53	22.77
$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	2.72	4.51	6.89
u (kg/cm <sup>2</sup> )	5.54	6.22	6.01
$\sigma_1'$	6.41	10.31	16.76
$\sigma_2'$	0.96	1.28	2.99
$(\sigma_1' - \sigma_2')/2$	3.68	5.79	9.88
$(\sigma_1' + \sigma_2')/2$	2.72	4.51	6.89



$\phi$	c	OPCIÓN DE AJUSTE A LA CURVA N° 1	OPCIÓN DE AJUSTE A LA CURVA N° 2
21.73°	0.26 (kg/cm <sup>2</sup> )		
22.73°	0.00 (kg/cm <sup>2</sup> )		

## 4. Caso práctico de estudio

86



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

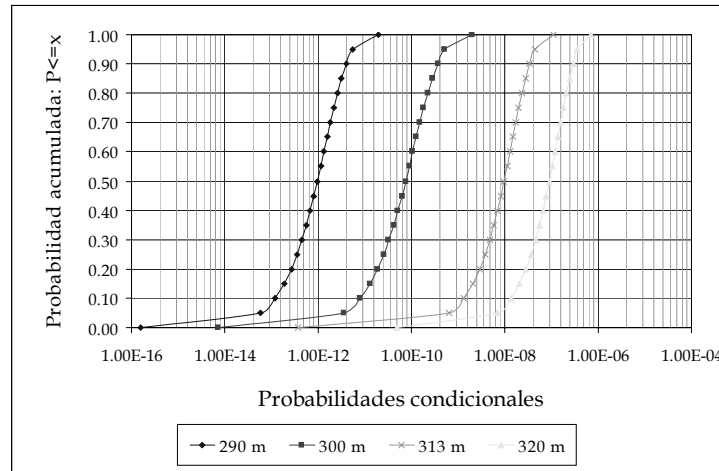
Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

87

Probabilidades condicionales de rotura por deslizamiento:  
(Sección central de la presa: sismo 0,03 g)



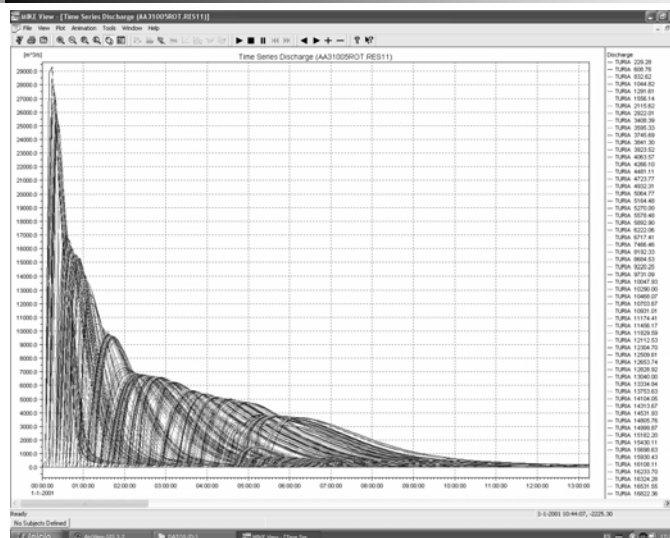
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

88



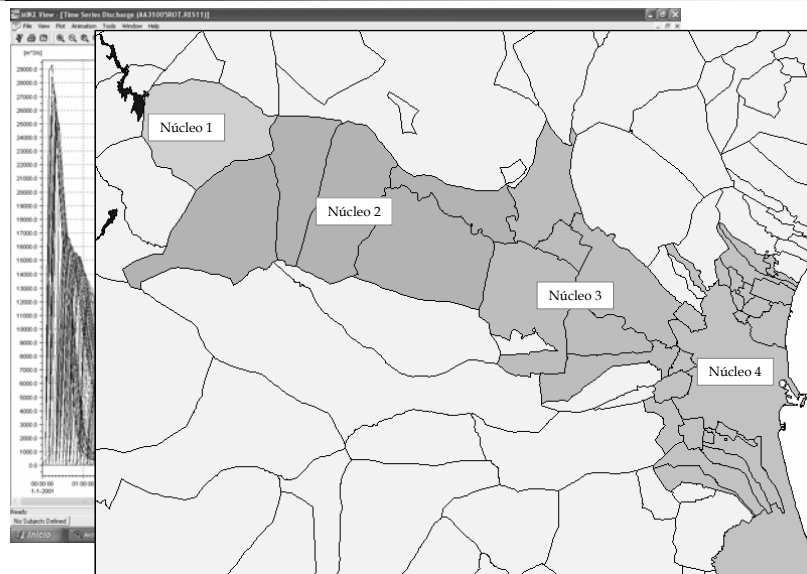
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



## 4. Caso práctico de estudio

89



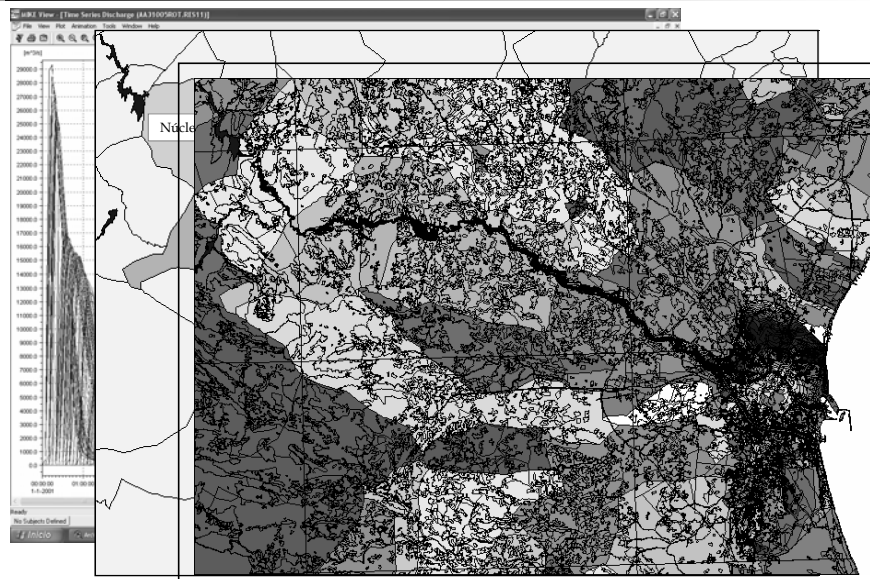
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



## 4. Caso práctico de estudio

90



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



## 4. Caso práctico de estudio

91

SISMO - PÉRDIDAS HUMANAS - INVIERNO DIA

Cota Inicial	NUCLEO 1		NUCLEO 2		NUCLEO 3		NUCLEO 4	
	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
293.72	16,357.12	4.99	16,357.12	0.94	16,357.12	6.17	16,357.12	0
301.92	24,459.00	6.21	24,459.00	2.72	24,459.00	12.86	24,459.00	0
310.05	33,586.01	6.80	33,586.01	5.46	33,586.01	15.53	33,586.01	48.19
314.26	45,838.79	7.17	45,838.79	6.61	45,838.79	16.61	45,838.79	361.46

SISMO - PÉRDIDAS HUMANAS - INVIERNO NOCHE

Cota Inicial	NUCLEO 1		NUCLEO 2		NUCLEO 3		NUCLEO 4	
	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
293.72	16,357.12	0	16,357.12	1.01	16,357.12	3.82	16,357.12	0.00
301.92	24,459.00	0	24,459.00	2.83	24,459.00	7.26	24,459.00	0.00
310.05	33,586.01	0	33,586.01	5.76	33,586.01	11.47	33,586.01	58.47
314.26	45,838.79	0	45,838.79	6.84	45,838.79	12.49	45,838.79	438.54

SISMO - PÉRDIDAS HUMANAS - VERANO DIA

Cota Inicial	NUCLEO 1		NUCLEO 2		NUCLEO 3		NUCLEO 4	
	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
293.72	16,357.12	5.45	180.38	0.94	16,357.12	6.17	16,357.12	0
301.92	24,459.00	6.78	484.29	2.72	24,459.00	12.86	24,459.00	0
310.05	33,586.01	7.43	643.17	5.46	33,586.01	15.53	33,586.01	48.20
314.26	45,838.79	7.84	1,053.07	6.61	45,838.79	16.61	45,838.79	361.53

SISMO - PÉRDIDAS HUMANAS - VERANO NOCHE

Cota Inicial	NUCLEO 1		NUCLEO 2		NUCLEO 3		NUCLEO 4	
	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
293.72	16,357.12	0	16,357.12	1.01	16,357.12	3.82	16,357.12	0
301.92	24,459.00	0	24,459.00	2.83	24,459.00	7.26	24,459.00	0
310.05	33,586.01	0	33,586.01	5.76	33,586.01	11.47	33,586.01	58.48
314.26	45,838.79	0	45,838.79	6.84	45,838.79	12.49	45,838.79	438.59

Consecuencias en vidas humanas para evento sísmico



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño

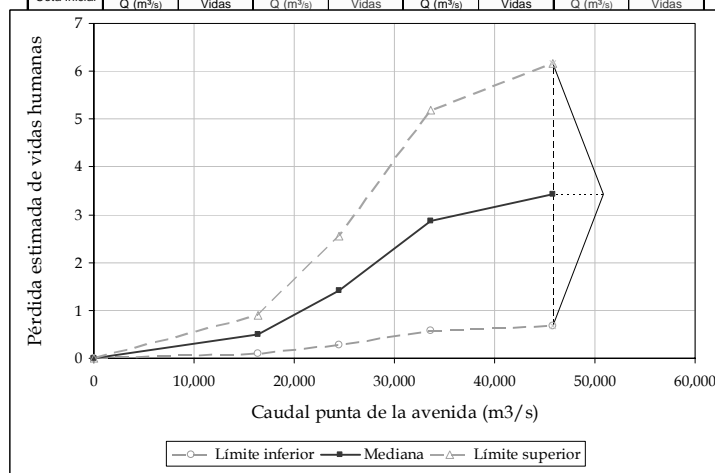


## 4. Caso práctico de estudio

92

SISMO - PÉRDIDAS HUMANAS - INVIERNO DIA

Cota Inicial	NUCLEO 1		NUCLEO 2		NUCLEO 3		NUCLEO 4	
	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas	Q (m³/s)	Vidas
301.92	24,459.00	0	24,459.00	2.83	24,459.00	7.26	24,459.00	0
310.05	33,586.01	0	33,586.01	5.76	33,586.01	11.47	33,586.01	58.48
314.26	45,838.79	0	45,838.79	6.84	45,838.79	12.49	45,838.79	438.59



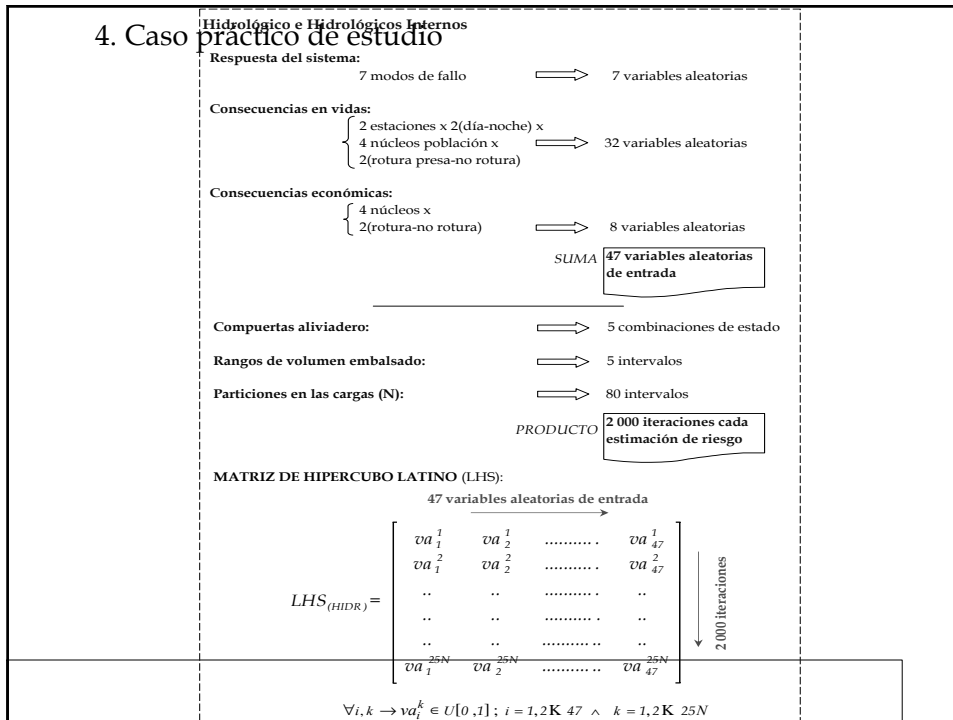
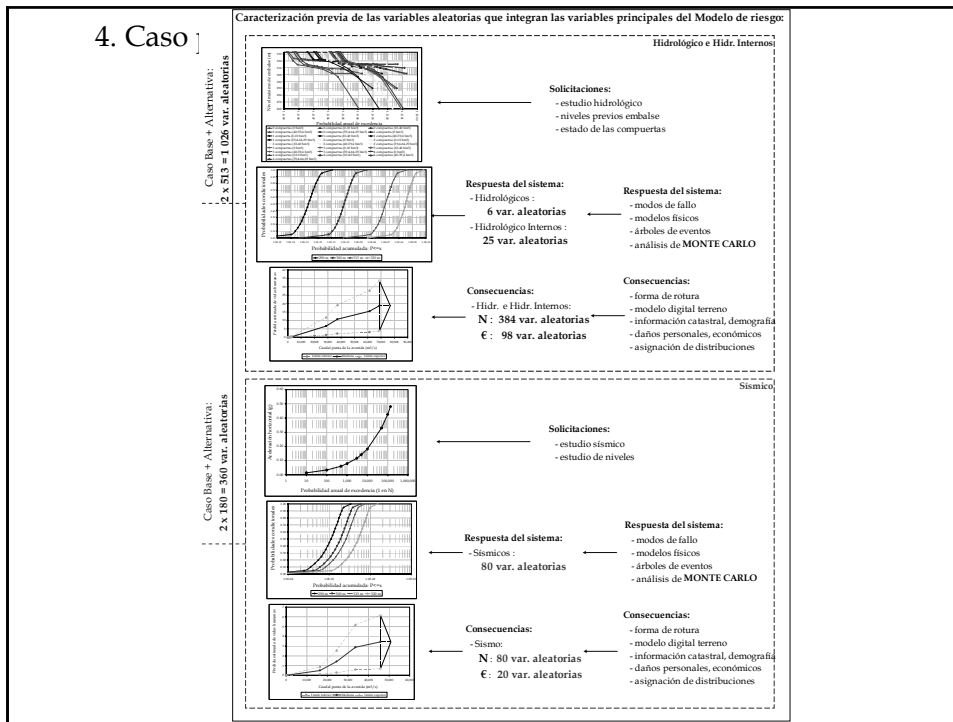
Consecuencias en vidas humanas para evento sísmico



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño





#### 4. Caso práctico de estudio

Sísmico

Respuesta del sistema:

4 modos de fallo  $\Rightarrow$  4 variables aleatorias

Consecuencias en vidas:

$\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ estaciones} \times 2 (\text{día-noche}) \times \\ 4 \text{ núcleos población} \times \\ 1 (\text{rotura presa}) \end{array} \right. \Rightarrow 16 \text{ variables aleatorias}$

Consecuencias económicas:

$\left\{ \begin{array}{l} 4 \text{ núcleos} \times \\ 1 (\text{rotura}) \end{array} \right. \Rightarrow 4 \text{ variables aleatorias}$

SUMA  $\Rightarrow$  24 variables aleatorias de entrada

Rango de aceleración horizontal (N):

$\Rightarrow$  80 intervalos

Frecuencia de niveles de embalse (N):

$\Rightarrow$  80 intervalos

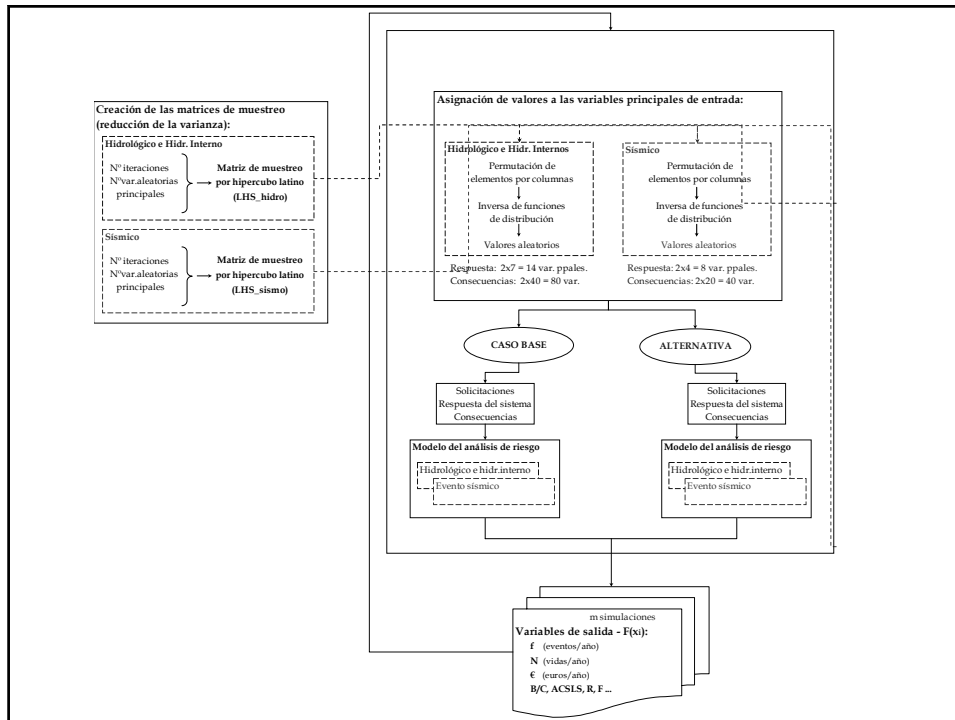
PRODUCTO  $\Rightarrow$  6 400 iteraciones cada estimación de riesgo

MATRIZ DE HIPERCUBO LATINO (LHS):

24 variables aleatorias de entrada  $\rightarrow$

$$LHS_{(SISMO)} = \begin{bmatrix} va_1^1 & va_2^1 & \dots & va_{24}^1 \\ va_1^2 & va_2^2 & \dots & va_{24}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ va_1^{N-N} & va_2^{N-N} & \dots & va_{24}^{N-N} \end{bmatrix} \downarrow 6400 \text{ iteraciones}$$

$\forall i, k \rightarrow va_i^k \in U[0,1]; i = 1, 2, K, 24 \wedge k = 1, 2, K, N^2$





#### 4. Caso práctico de estudio

Desglose según modos de fallo	Probabilidad de Rotura		Coste Incremental del Riesgo		Beneficio por Reducción de Riesgo (€/año)	Coste de Reducción de Riesgo (€/año)	Coste Económico Total (€/año)	Ratio Coste/Beneficio (-)	Pérdida Anual Incremental de Vidas Humanas		Coste por vida salvada (€/vida)	Razón de Desproporcionalidad (-)
	(eventos/año)	%	(€/año)	%					(vidas/año)	%		
Caso Base												
Hidroológico	8.01E-08	0.0%	€ 16	0.0%			€ 16		1.25E-05	0.0%		
Erosión en pie	1.28E-10	0.0%	€ 0	0.0%			€ 0		6.98E-08	0.0%		
Colapso desagües	8.00E-08	0.0%	€ 16	0.0%			€ 16		1.24E-05	0.0%		
<b>Sísmico</b>	<b>1.27E-04</b>	<b>23.7%</b>	<b>€ 63,165</b>	<b>43.2%</b>			<b>€ 63,165</b>		<b>5.62E-02</b>	<b>45.9%</b>		
Sec.central-deslizam.	9.01E-05	16.8%	€ 44,504	30.4%			€ 44,504		3.89E-02	32.3%		
Sec.lateral-desl.prof.	2.58E-10	0.0%	€ 0	0.0%			€ 0		7.07E-08	0.0%		
Sec.lateral-deslizam.	3.71E-05	6.9%	€ 18,659	12.8%			€ 18,659		1.65E-02	13.6%		
Deslizam. en estribo	7.91E-09	0.0%	€ 2	0.0%			€ 2		1.17E-06	0.0%		
<b>Hidrolog. interno</b>	<b>4.10E-04</b>	<b>76.3%</b>	<b>€ 83,007</b>	<b>56.8%</b>			<b>€ 83,007</b>		<b>6.62E-02</b>	<b>54.1%</b>		
Sec.central-deslizam.	1.47E-04	27.3%	€ 29,958	20.5%			€ 29,958		2.88E-02	19.5%		
Sec.lateral-desl.prof.	1.17E-08	0.0%	€ 2	0.0%			€ 2		1.80E-06	0.0%		
Sec.lateral-deslizam.	2.63E-04	49.0%	€ 53,035	36.3%			€ 53,035		4.92E-02	34.6%		
Sifonamiento	4.13E-08	0.0%	€ 8	0.0%			€ 8		6.23E-06	0.0%		
Deslizam. en estribo	2.05E-08	0.0%	€ 4	0.0%			€ 4		3.23E-06	0.0%		
<b>Total</b>	<b>5.38E-04</b>	<b>100%</b>	<b>€ 146,187</b>	<b>100%</b>			<b>€ 146,187</b>		<b>1.22E-01</b>	<b>100%</b>		
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje												
Hidroológico	8.01E-08	0.1%	€ 16	0.1%	€ -		€ 16		1.25E-05	0.1%		
Erosión en pie	1.28E-10	0.0%	€ 0	0.0%	€ -		€ 0		7.00E-08	0.0%		
Colapso desagües	8.00E-08	0.1%	€ 16	0.1%	€ -		€ 16		1.24E-05	0.0%		
<b>Sísmico</b>	<b>4.67E-05</b>	<b>63.1%</b>	<b>€ 22,826</b>	<b>79.6%</b>	<b>€ 40,339</b>		<b>€ 22,826</b>		<b>2.03E-02</b>	<b>81.1%</b>		
Sec.central-deslizam.	3.50E-05	47.2%	€ 16,965	59.2%	€ 27,539		€ 16,965		1.50E-02	60.2%		
Sec.lateral-desl.prof.	9.42E-12	0.0%	€ 0	0.0%	€ 0		€ 0		2.63E-09	0.0%		
Sec.lateral-deslizam.	1.17E-05	15.8%	€ 5,861	20.4%	€ 12,798		€ 5,861		5.92E-03	20.9%		
Deslizam. en estribo	8.93E-14	0.0%	€ 0	0.0%	€ -2		€ 0		1.53E-11	0.0%		
<b>Hidrolog. interno</b>	<b>2.72E-05</b>	<b>36.8%</b>	<b>€ 5,826</b>	<b>20.3%</b>	<b>€ 77,181</b>		<b>€ 5,826</b>		<b>4.70E-03</b>	<b>18.8%</b>		
Sec.central-deslizam.	6.89E-06	9.3%	€ 1,399	4.9%	€ 28,559		€ 1,399		1.11E-03	4.5%		
Sec.lateral-desl.prof.	5.23E-13	0.0%	€ 0	0.0%	€ 2		€ 0		7.61E-11	0.0%		
Sec.lateral-deslizam.	2.04E-05	27.5%	€ 4,427	15.4%	€ 48,608		€ 4,427		3.58E-03	14.3%		
Sifonamiento	7.12E-10	0.0%	€ 0	0.0%	€ 8		€ 0		1.06E-07	0.0%		
Deslizam. en estribo	2.68E-13	0.0%	€ 0	0.0%	€ -4		€ 0		4.21E-11	0.0%		
<b>Total</b>	<b>7.40E-05</b>	<b>100%</b>	<b>€ 28,668</b>	<b>100%</b>	<b>€ 117,520</b>	<b>€ 27,464</b>	<b>€ 28,668</b>	<b>0.234</b>	<b>2.50E-02</b>	<b>100%</b>	<b>C/B es &lt; 1</b>	<b>C/B es &lt; 1</b>

#### 4. Caso práctico de estudio

Desglose según modos de fallo	Probabilidad de Rotura		Coste Incremental del Riesgo	
	(eventos/año)	%	(€/año)	%
Caso Base				
Hidroológico	8.01E-08	0.0%	€ 16	0.0%
Erosión en pie	1.28E-10	0.0%	€ 0	0.0%
Colapso desagües	8.00E-08	0.0%	€ 16	0.0%
<b>Sísmico</b>	<b>1.27E-04</b>	<b>23.7%</b>	<b>€ 63,165</b>	<b>43.2%</b>
Sec.central-deslizam.	9.01E-05	16.8%	€ 44,504	30.4%
Sec.lateral-desl.prof.	2.58E-10	0.0%	€ 0	0.0%
Sec.lateral-deslizam.	3.71E-05	6.9%	€ 18,659	12.8%
Deslizam. en estribo	7.91E-09	0.0%	€ 2	0.0%
<b>Hidrolog. interno</b>	<b>4.10E-04</b>	<b>76.3%</b>	<b>€ 83,007</b>	<b>56.8%</b>
Sec.central-deslizam.	1.47E-04	27.3%	€ 29,958	20.5%
Sec.lateral-desl.prof.	1.17E-08	0.0%	€ 2	0.0%
Sec.lateral-deslizam.	2.63E-04	49.0%	€ 53,035	36.3%
Sifonamiento	4.13E-08	0.0%	€ 8	0.0%
Deslizam. en estribo	2.05E-08	0.0%	€ 4	0.0%
<b>Total</b>	<b>5.38E-04</b>	<b>100%</b>	<b>€ 146,187</b>	<b>100%</b>
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje				
Hidroológico	8.01E-08	0.1%	€ 16	0.1%
Erosión en pie	1.28E-10	0.0%	€ 0	0.0%
Colapso desagües	8.00E-08	0.1%	€ 16	0.1%
<b>Sísmico</b>	<b>4.67E-05</b>	<b>63.1%</b>	<b>€ 22,826</b>	<b>79.6%</b>
Sec.central-deslizam.	3.50E-05	47.2%	€ 16,965	59.2%
Sec.lateral-desl.prof.	9.42E-12	0.0%	€ 0	0.0%
Sec.lateral-deslizam.	1.17E-05	15.8%	€ 5,861	20.4%
Deslizam. en estribo	8.93E-14	0.0%	€ 0	0.0%
<b>Hidrolog. interno</b>	<b>2.72E-05</b>	<b>36.8%</b>	<b>€ 5,826</b>	<b>20.3%</b>
Sec.central-deslizam.	6.89E-06	9.3%	€ 1,399	4.9%
Sec.lateral-desl.prof.	5.23E-13	0.0%	€ 0	0.0%
Sec.lateral-deslizam.	2.04E-05	27.5%	€ 4,427	15.4%
Sifonamiento	7.12E-10	0.0%	€ 0	0.0%
Deslizam. en estribo	2.68E-13	0.0%	€ 0	0.0%
<b>Total</b>	<b>7.40E-05</b>	<b>100%</b>	<b>€ 28,668</b>	<b>100%</b>

Desglose según modos de fallo	Beneficio por Reducción de Riesgo	Coste de Reducción de Riesgo	Coste Económico Total	Ratio Coste/Beneficio
	(€/año)	(€/año)	(€/año)	(-)
c				
<b>Hidrológico</b>			€ 16	
Erosión en pié			€ 0	
Colapso desagües			€ 16	
<b>Sísmico</b>			€ 63,165	
Sec.central-deslizam.			€ 44,504	
Sec.lateral-desl.prof.			€ 0	
Sec.lateral-deslizam.			€ 18,659	
Deslizam. en estribo			€ 2	
<b>Hidrológ. interno</b>			€ 83,007	
Sec.central-deslizam.			€ 29,958	
Sec.lateral-desl.prof.			€ 2	
Sec.lateral-deslizam.			€ 53,035	
Sifonamiento			€ 8	
Deslizam. en estribo			€ 4	
<b>Total</b>			€ 146,187	
j				
<b>Hidrológico</b>	€ -		€ 16	
Erosión en pié	€ -			
Colapso desagües	€ -			
<b>Sísmico</b>	€ 40,339		€ 22,826	
Sec.central-deslizam.	€ 27,539			
Sec.lateral-desl.prof.	€ 0			
Sec.lateral-deslizam.	€ 12,798			
Deslizam. en estribo	€ 2			
<b>Hidrológ. interno</b>	€ 77,181		€ 5,826	
Sec.central-deslizam.	€ 28,559			
Sec.lateral-desl.prof.	€ 2			
Sec.lateral-deslizam.	€ 48,608			
Sifonamiento	€ 8			
Deslizam. en estribo	€ 4			
<b>Total</b>	€ 117,520	€ 27,484	€ 28,668	0.234

Desglose según modos de fallo	Pérdida Anual Incremental de Vidas Humanas		Coste por vida salvada (ACSLs)	Razón de Desproporcionalidad
	(vidas/año)	%	(€/vida)	(-)
c				
<b>Hidrológico</b>	1.25E-05	0.0%		
Erosión en pié	6.98E-08	0.0%		
Colapso desagües	1.24E-05	0.0%		
<b>Sísmico</b>	5.62E-02	45.9%		
Sec.central-deslizam.	3.95E-02	32.3%		
Sec.lateral-desl.prof.	7.07E-08	0.0%		
Sec.lateral-deslizam.	1.66E-02	13.6%		
Deslizam. en estribo	1.17E-06	0.0%		
<b>Hidrológ. interno</b>	6.62E-02	54.1%		
Sec.central-deslizam.	2.38E-02	19.5%		
Sec.lateral-desl.prof.	1.80E-06	0.0%		
Sec.lateral-deslizam.	4.24E-02	34.6%		
Sifonamiento	6.23E-06	0.0%		
Deslizam. en estribo	3.23E-06	0.0%		
<b>Total</b>	1.22E-01	100%		
j				
<b>Hidrológico</b>	1.25E-05	0.1%		
Erosión en pié	7.00E-08	0.0%		
Colapso desagües	1.24E-05	0.0%		
<b>Sísmico</b>	2.03E-02	81.1%		
Sec.central-deslizam.	1.50E-02	60.2%		
Sec.lateral-desl.prof.	2.63E-09	0.0%		
Sec.lateral-deslizam.	5.22E-03	20.9%		
Deslizam. en estribo	1.53E-11	0.0%		
<b>Hidrológ. interno</b>	4.70E-03	18.8%		
Sec.central-deslizam.	1.11E-03	4.5%		
Sec.lateral-desl.prof.	7.61E-11	0.0%		
Sec.lateral-deslizam.	3.58E-03	14.3%		
Sifonamiento	1.06E-07	0.0%		
Deslizam. en estribo	4.21E-11	0.0%		
<b>Total</b>	2.50E-02	100%	C/B es < 1	C/B es < 1

#### 4. Caso práctico de estudio

	Probabilidad de Rotura (eventos/año)				Pérdida incremental anual de vidas humanas (vidas/año)				Coste incremental del riesgo (€/año)			
	Hidroológico	Sísmico	Hidroológico interno	Total	Hidroológico	Sísmico	Hidroológico interno	Total	Hidroológico	Sísmico	Hidroológico interno	Total
	Caso Base	8.01E-08	1.27E-04	4.10E-04	5.38E-04	1.25E-05	5.63E-05	6.05E-05	1.22E-04	€ 16	€ 63,165	€ 83,005
Alt.1 - Resguardo absoluto	2.32E-08	2.06E-06	5.85E-05	6.06E-05	3.67E-06	5.82E-05	1.33E-05	1.32E-02	€ 5	€ 174	€ 15,967	€ 16,146
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	8.01E-08	4.67E-05	2.72E-05	7.40E-05	1.25E-05	2.04E-02	4.70E-05	2.50E-02	€ 16	€ 22,826	€ 5,826	€ 28,668
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	8.01E-08	1.27E-04	4.10E-04	5.38E-04	1.35E-06	2.50E-02	7.32E-05	3.53E-02	€ 16	€ 63,165	€ 83,005	€ 146,186
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	8.01E-08	4.67E-05	2.72E-05	7.40E-05	1.36E-06	1.01E-02	5.70E-04	1.07E-02	€ 16	€ 22,826	€ 5,826	€ 28,668
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	8.01E-08	1.27E-04	4.10E-04	5.38E-04	1.25E-07	6.08E-04	6.85E-04	1.29E-03	€ 16	€ 63,165	€ 83,005	€ 146,186
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	8.01E-08	4.67E-05	2.72E-05	7.40E-05	1.25E-07	2.19E-04	5.61E-05	2.76E-04	€ 16	€ 22,826	€ 5,826	€ 28,668
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	4.01E-08	1.51E-05	2.24E-04	2.39E-04	6.32E-06	4.07E-03	3.83E-02	4.24E-02	€ 8	€ 4,921	€ 48,021	€ 52,950

	Daños incrementales (Mc)				Pérdida incremental de vidas humanas (vidas)							
	Hidroológico		Sísmico		Hidroológico interno		Hidroológico		Sísmico		Hidroológico interno	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Caso Base	37,394,208	1,069,381,332	48,902,872	507,431,885	37,394,208	1,069,381,332	0.00	1119.11	2.29	489.52	0.00	1119.11
Alt.1 - Resguardo absoluto	36,507,526	1,068,494,650	48,016,190	96,705,454	36,507,526	1,068,494,650	0.00	1119.11	2.29	40.28	0.00	1119.11
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	37,394,208	1,069,381,332	48,902,872	507,431,885	37,394,208	1,069,381,332	0.00	1119.11	2.29	489.52	0.00	1119.11
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	37,394,208	1,069,381,332	48,902,872	507,431,885	37,394,208	1,069,381,332	0.00	785.57	1.15	244.76	0.00	785.57
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	37,394,208	1,069,381,332	48,902,872	507,431,885	37,394,208	1,069,381,332	0.00	785.57	1.15	244.76	0.00	785.57
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	37,394,208	1,069,381,332	48,902,872	507,431,885	37,394,208	1,069,381,332	0.00	230.07	0.02	4.92	0.00	230.07
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	37,394,208	1,069,381,332	48,902,872	507,431,885	37,394,208	1,069,381,332	0.00	230.07	0.02	4.92	0.00	230.07
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	36,895,795	1,068,882,919	48,404,459	402,487,185	36,895,795	1,068,882,919	0.00	1119.11	2.29	373.77	0.00	1119.11

	Beneficio por reducción del riesgo (€/año)		Coste de la reducción de riesgo (€/año)		Beneficios por la reducción del riesgo en eventos hidrologicos (vidas/año)		Beneficios por la reducción del riesgo en eventos sísmicos (€/año)		Enfoque ingenieril tradicional en la seguridad de presas y embalses		
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Hidroológico	Sísmico	Hidr interno
	Caso Base	€	130,040	€	-	4.78	14,608,433	P	P	P	P
Alt.1 - Resguardo absoluto	€	117,520	€	27,484	-	-	P	P	P	P	P
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	€	-	€	46,886	0.88	-	P	P	P	P	AP
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	€	117,518	€	72,855	0.87	-	P	P	P	P	P
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	€	-	€	78,584	4.79	-	P	P	P	P	AP
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	€	117,520	€	103,669	4.79	-	P	P	P	P	P
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	€	93,236	€	-	3.56	12,162,152	P	P	P	P	AP

#### 4. Caso práctico de estudio

	Probabilidad de Rotura (eventos/año)			
	Hidroológico	Sísmico	Hidroológico interno	Total
Caso Base	8.01E-08	1.27E-04	4.10E-04	5.38E-04
Alt.1 - Resguardo absoluto	2.32E-08	2.06E-06	5.85E-05	6.06E-05
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	8.01E-08	4.67E-05	2.72E-05	7.40E-05
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	8.01E-08	1.27E-04	4.10E-04	5.38E-04
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	8.01E-08	4.67E-05	2.72E-05	7.40E-05
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	8.01E-08	1.27E-04	4.10E-04	5.38E-04
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	8.01E-08	4.67E-05	2.72E-05	7.40E-05
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	4.01E-08	1.51E-05	2.24E-04	2.39E-04

#### 4. Caso práctico de estudio

	Pérdida incremental anual de vidas humanas (vidas/año)			
	Hidrológico	Sísmico	Hidrológico interno	Total
Caso Base	1.25E-05	5.62E-02	6.62E-02	1.22E-01
Alt.1 - Resguardo absoluto	3.67E-06	5.82E-05	1.32E-02	1.32E-02
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	1.25E-05	2.03E-02	4.70E-03	2.50E-02
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	1.35E-06	2.80E-02	7.32E-03	3.53E-02
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	1.36E-06	1.01E-02	5.70E-04	1.07E-02
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	1.25E-07	6.08E-04	6.85E-04	1.29E-03
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	1.25E-07	2.19E-04	5.61E-05	2.76E-04
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	6.32E-06	4.07E-03	3.83E-02	4.24E-02

#### 4. Caso práctico de estudio

	Coste incremental del riesgo (€/año)			
	Hidrológico	Sísmico	Hidrológico interno	Total
Caso Base	€ 16	€ 63,165	€ 83,005	€ 146,186
Alt.1 - Resguardo absoluto	€ 5	€ 174	€ 15,967	€ 16,146
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	€ 16	€ 22,826	€ 5,826	€ 28,668
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	€ 16	€ 63,165	€ 83,005	€ 146,186
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	€ 16	€ 22,826	€ 5,826	€ 28,668
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	€ 16	€ 63,165	€ 83,005	€ 146,186
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	€ 16	€ 22,826	€ 5,826	€ 28,668
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	€ 8	€ 4,921	€ 48,021	€ 52,950

#### 4. Caso práctico de estudio

	Enfoque ingenieril tradicional en la seguridad de presas y embalses		
	Hidrológico	Sísmico	Hidr.interno
Caso Base	P	P	AP
Alt.1 - Resguardo absoluto	P	P	P
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	P	P	P
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	P	P	AP
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	P	P	P
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	P	P	AP
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	P	P	P
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	P	P	AP

#### 4. Caso práctico de estudio

106

	Beneficio/ Coste (-)	ACSL5 (Bowles) (€/vida)	USBR (2003)				ANCOLD (2003)	UK-HSE, 2001 (adaptado por Dr. Bowles)		
			Total Pf	Hidrológico	Sísmico	Hidr.interno		Total Pf	R	Conclusión
Caso Base	-	-	NO	SI	NO	NO	NO	5.38E-04	-	-
Alt.1 - Resguardo absoluto	-	-	SI	SI	SI	NO	NO <sub>2</sub> ALARP?	6.06E-05	-	Actuación Justificada
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	4.28	B/C es > 1	SI	SI	NO	SI <sub>2</sub> ALARP?	NO	7.40E-05	B/C es > 1	Actuación Justificada
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	-	538,402	NO	SI	SI <sub>2</sub> ALARP?	SI <sub>2</sub> ALARP?	NO	3.38E-04	0.30	Actuación Necesaria
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	1.61	B/C es > 1	SI	SI	SI <sub>2</sub> ALARP?	SI <sub>2</sub> ALARP?	NO <sub>2</sub> ALARP?	7.40E-05	B/C es > 1	Actuación Justificada
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	-	648,980	NO	SI	SI	SI	SI	3.38E-04	0.36	Actuación Necesaria
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	1.13	B/C es > 1	SI	SI	SI	SI	SI	7.40E-05	B/C es > 1	Actuación Justificada
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	-	-	NO	SI	SI <sub>2</sub> ALARP?	NO	NO	2.39E-04	-	Actuación Necesaria

	Rettemér et al. 2001 ALEMANIA	Industrias peligrosas REINO UNIDO - HSE, 1989	Industrias peligrosas DINAMARCA	Holanda VROM, 2004	Comité Técnico Consultor en Diques (T.A.W.) (Holanda, 1985)		
					Riesgo total	Criterio	Conclusión
Caso Base	NO & Plan Emergencia preciso	NO	NO	NO	759 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	RIESGO TOTAL INACEPTABLE
Alt.1 - Resguardo absoluto	NO & Plan Emergencia preciso	SI	NO	NO	412 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	CUMPLE CRITERIOS T.A.W.
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	NO & Plan Emergencia preciso	NO <sub>2</sub> ALARP?	NO	NO	762 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	RIESGO TOTAL INACEPTABLE
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	NO & Plan Emergencia preciso	NO <sub>2</sub> ALARP?	NO	NO	255 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	CUMPLE CRITERIOS T.A.W.
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	NO & Plan Emergencia preciso	SI	NO	NO	254 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	CUMPLE CRITERIOS T.A.W.
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	SI	SI	SI	NO <sub>2</sub> ALARP?	8 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	CUMPLE CRITERIOS T.A.W.
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	SI	SI	SI	SI	8 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	CUMPLE CRITERIOS T.A.W.
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	NO & Plan Emergencia preciso	NO	NO	NO	586 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	RIESGO TOTAL INACEPTABLE



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

107

	Beneficio/ Coste (-)	ACSL5 (Bowles) (€/vida)	USBR (2003)			
			Total Pf	Hidrológico	Sísmico	Hidr.interno
Caso Base			NO	SÍ	NO	NO
Alt.1 - Resguardo absoluto	-	-	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	4.28	B/C es > 1	SÍ	SÍ	NO	SÍ-¿ALARP?
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	-	538,402	NO	SÍ	SÍ-¿ALARP?	SÍ-¿ALARP?
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	1.61	B/C es > 1	SÍ	SÍ	SÍ-¿ALARP?	SÍ-¿ALARP?
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	-	648,980	NO	SÍ	SÍ	SÍ
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	1.13	B/C es > 1	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	-	-	NO	SÍ	SÍ-¿ALARP?	NO



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

108

	ANCOLD (2003)	UK-HSE, 2001 (adaptado por Dr. Bowles)		
		Total Pf	R	Conclusión
Caso Base	NO	5.38E-04		
Alt.1 - Resguardo absoluto	NO-¿ALARP?	6.06E-05	-	Actuación Justificada
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	NO	7.40E-05	B/C es > 1	Actuación Justificada
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	NO	5.38E-04	0.30	Actuación Necesaria
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	NO-¿ALARP?	7.40E-05	B/C es > 1	Actuación Justificada
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	SÍ	5.38E-04	0.36	Actuación Necesaria
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	SÍ	7.40E-05	B/C es > 1	Actuación Justificada
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	NO	2.39E-04	-	Actuación Necesaria



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

109

	Rettemeir et al, 2001 ALEMANIA	Industrias peligrosas REINO UNIDO - HSE, 1989	Industrias peligrosas DINAMARCA
Caso Base	NO & Plan Emergencia preciso	NO	NO
Alt.1 - Resguardo absoluto	NO & Plan Emergencia preciso	SÍ	NO
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	NO & Plan Emergencia preciso	NO-¿ALARP?	NO
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	NO & Plan Emergencia preciso	NO-¿ALARP?	NO
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	NO & Plan Emergencia preciso	SÍ	NO
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	SÍ	SÍ	SÍ
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	SÍ	SÍ	SÍ
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	NO & Plan Emergencia preciso	NO	NO



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

110

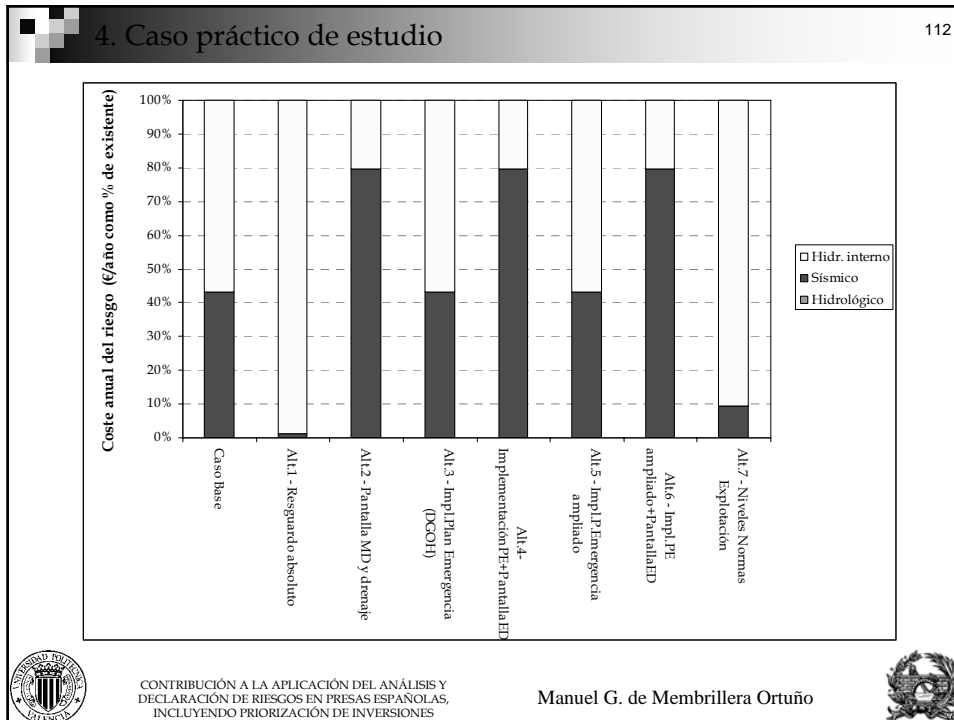
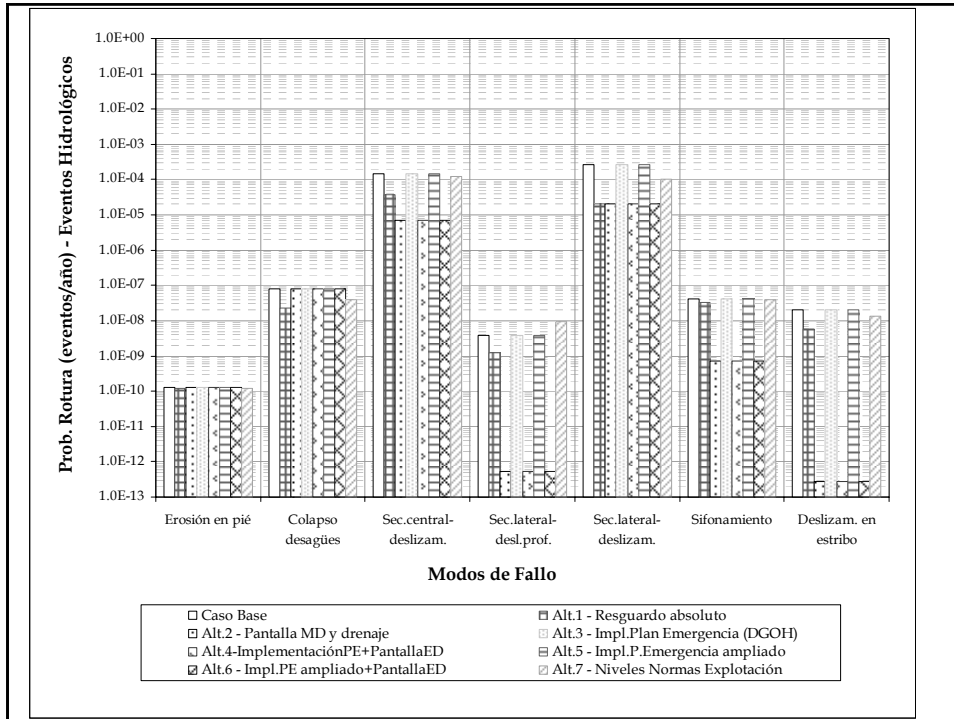
	Holanda VROM, 2004	Comité Técnico Consultor en Diques (T.A.W.) (Holanda, 1985)		
		Riesgo total	Criterio	Conclusión
Caso Base	NO	759 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	RIESGO TOTAL INACEPTABLE
Alt.1 - Resguardo absoluto	NO	412 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	CUMPLE CRITERIOS T.A.W.
Alt.2 - Pantalla MD y drenaje	NO	762 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	RIESGO TOTAL INACEPTABLE
Alt.3 - Impl.Plan Emergencia (DGOH)	NO	255 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	CUMPLE CRITERIOS T.A.W.
Alt.4-ImplementaciónPE+PantallaED	NO	254 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	CUMPLE CRITERIOS T.A.W.
Alt.5 - Impl.P.Emergencia ampliado	NO-¿ALARP?	8 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	CUMPLE CRITERIOS T.A.W.
Alt.6 - Impl.PE ampliado+PantallaED	SÍ	8 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	CUMPLE CRITERIOS T.A.W.
Alt.7 - Niveles Normas Explotación	NO	598 (vidas/año)	<571 (vidas/año)	RIESGO TOTAL INACEPTABLE



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño





CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

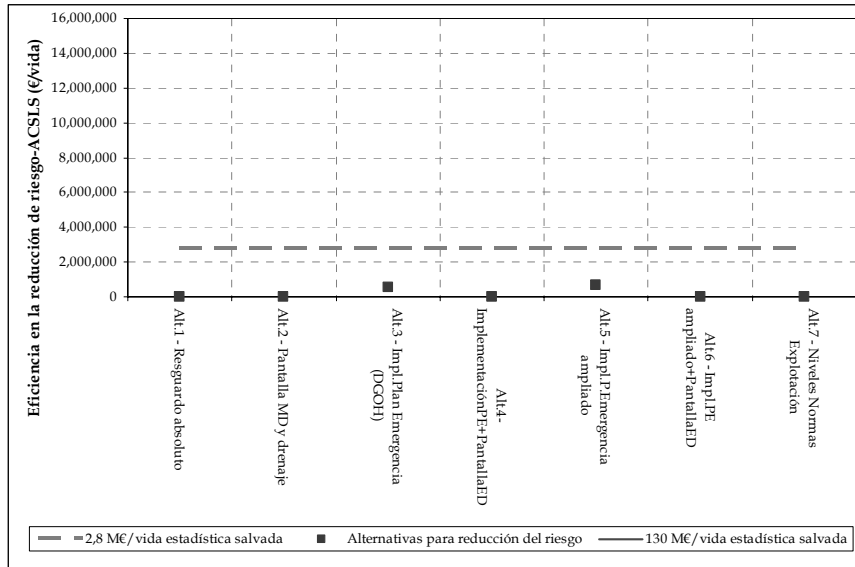
Manuel G. de Membrillera Ortuño





#### 4. Caso práctico de estudio

113



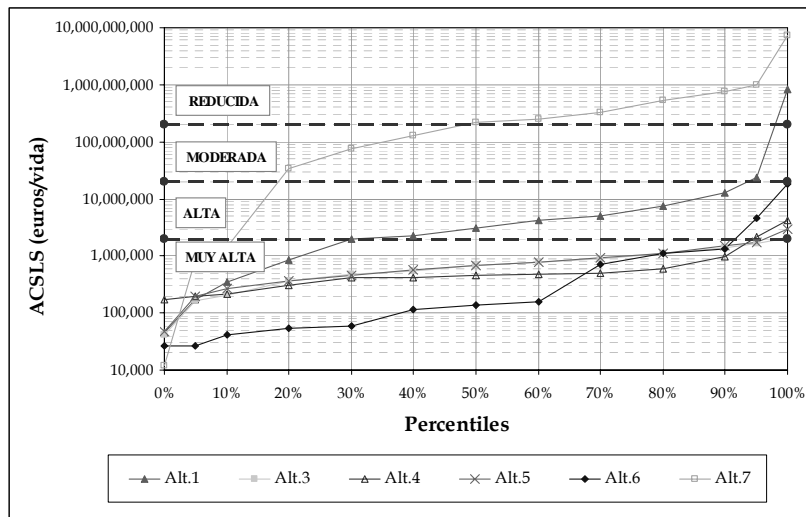
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

114



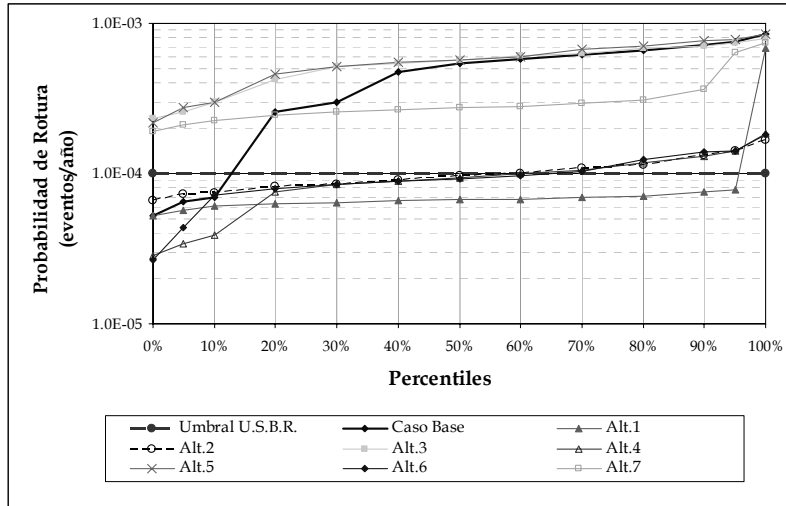
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

115



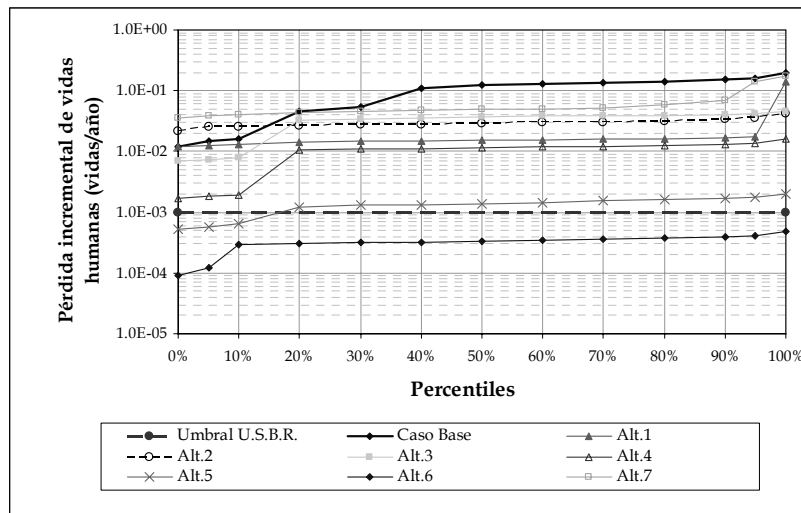
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

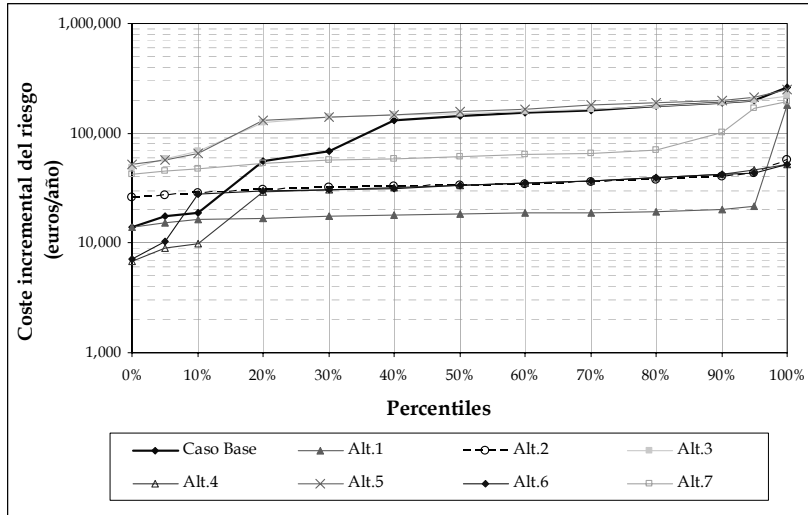
116



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

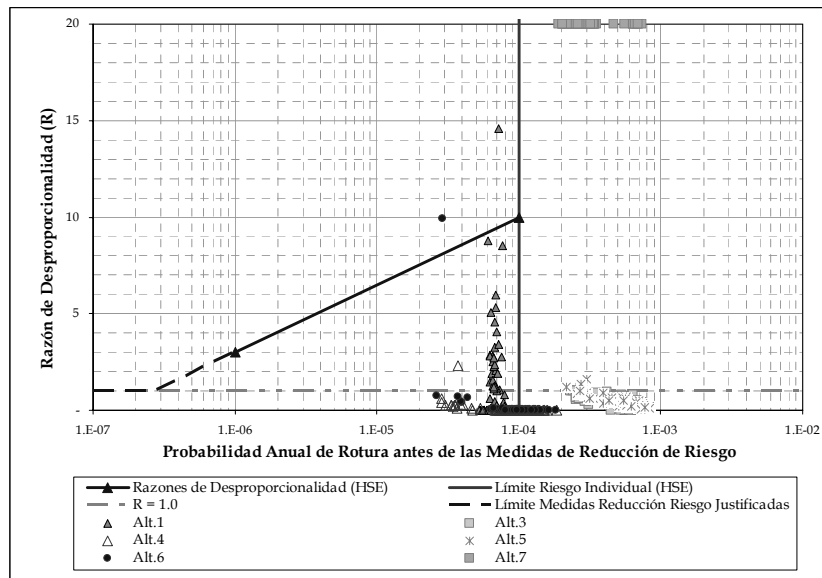
Manuel G. de Membrillera Ortuño





CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño

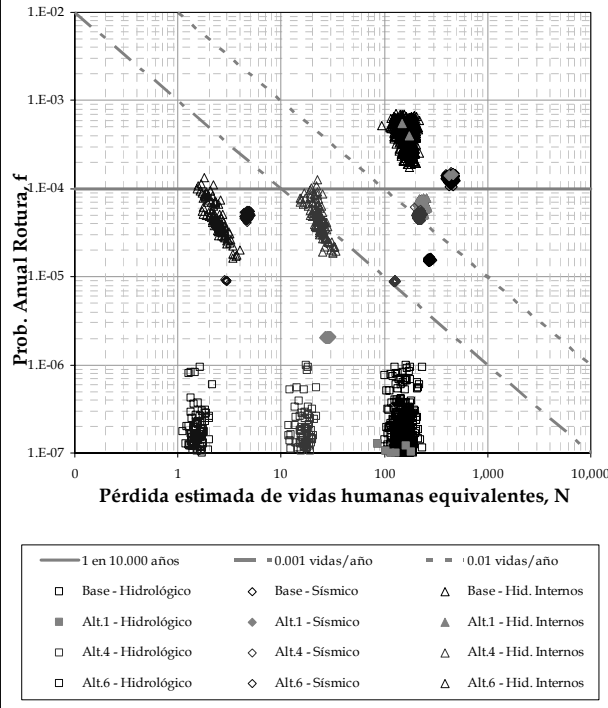


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño

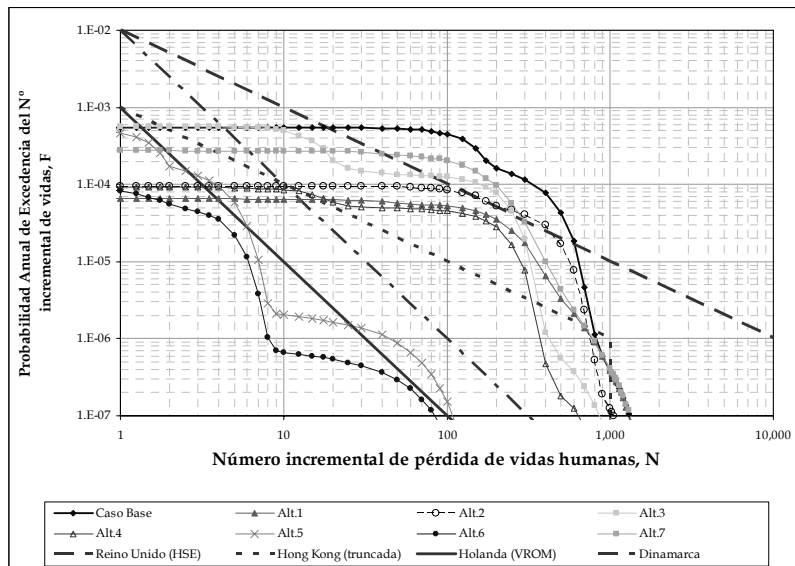


4. Caso



4. Caso práctico de estudio

120



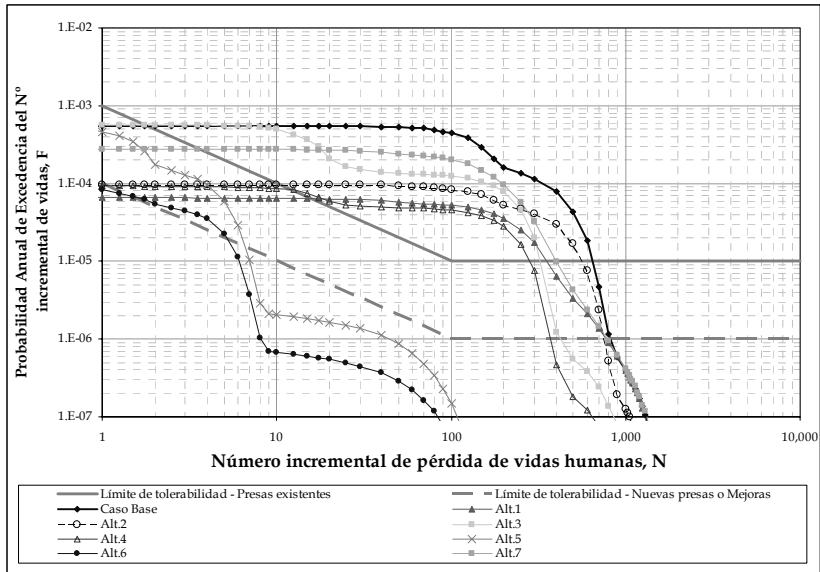
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

121



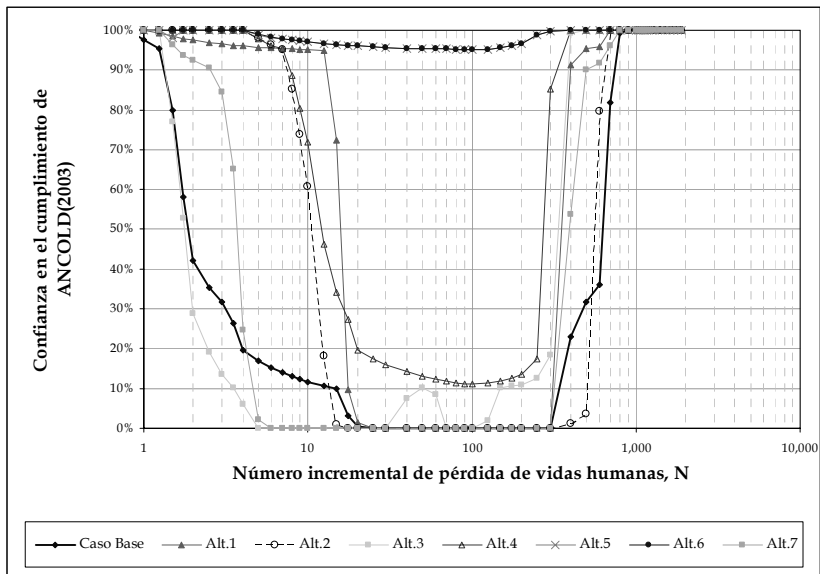
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

122



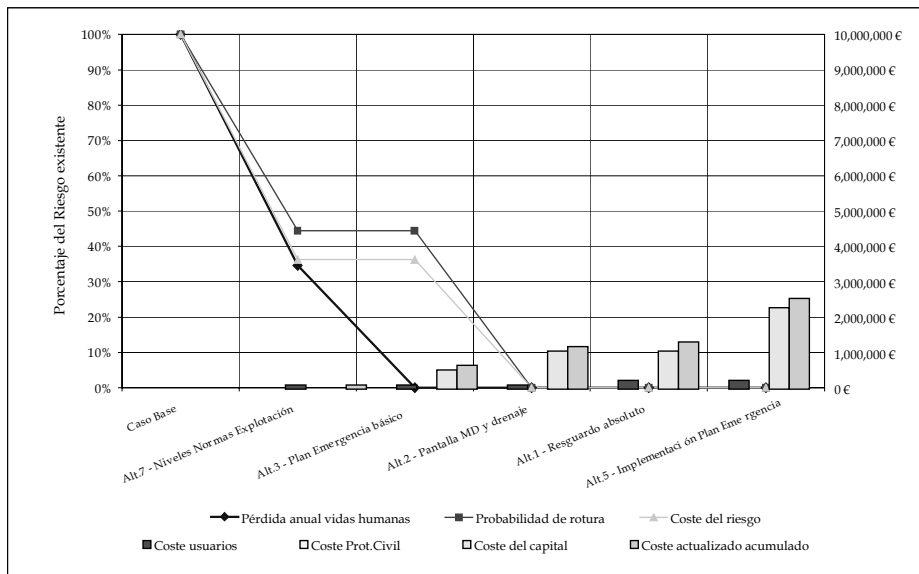
CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio

123

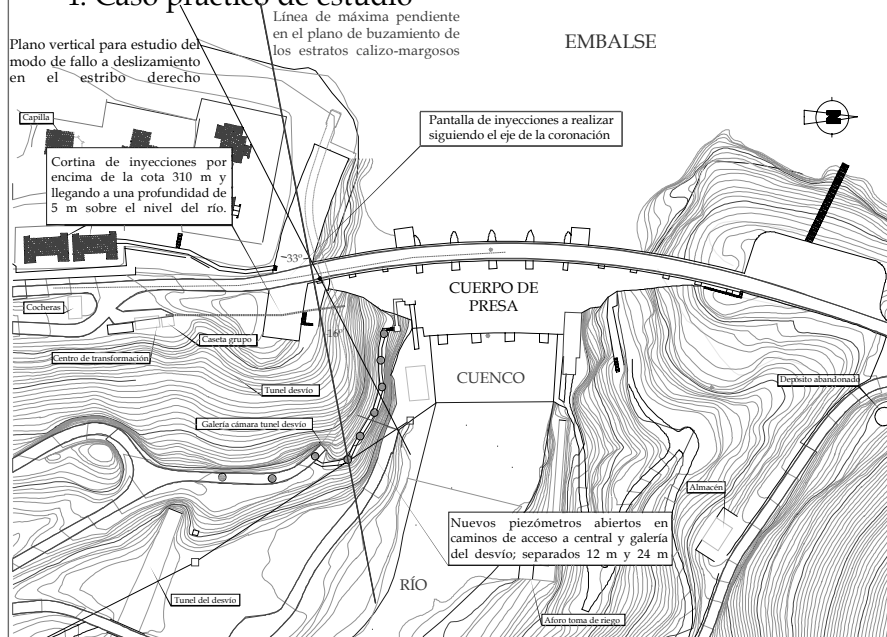


CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS, INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



#### 4. Caso práctico de estudio



Con la aplicación, se combina e incorpora todos los documentos oficiales al proceso de la Declaración de Riesgo. Los valores añadidos son:

- a) De cara a la toma de decisiones en materia de seguridad de presas y embalses, poner a disposición del Titular una información **objetiva, inédita y homogénea** entre las distintas presas
- b) Proporcionar al **PEM** información ampliada y exhaustiva respecto a las consecuencias incrementales aguas abajo, permitiendo definir la implantación de forma más precisa
- c) Aportar a las **Normas de Explotación** una valiosa referencia respecto a las consecuencias potenciales de cualquier regla de operación; sobre la seguridad y la eficiencia de la gestión
- d) Contribuir al **Archivo Técnico** con un material relacionado directamente con la seguridad y explotación de la presa
- e) Proveer al **Documento XYZT** con posibles nuevos datos e información inédita derivada de la aplicación de una metodología basada en el paradigma de los *modos de fallo*



## I. Estado del conocimiento

- 1.- Introducción
- 2.- Marco de referencia

## II. Propuesta y aplicación de la Declaración de Riesgo

- 3.- Justificación de la metodología
- 4.- Caso práctico de estudio

## III. Propuesta para el desarrollo de un análisis de riesgos cualitativo en el contexto español

### **5.- Propuesta en el contexto español**

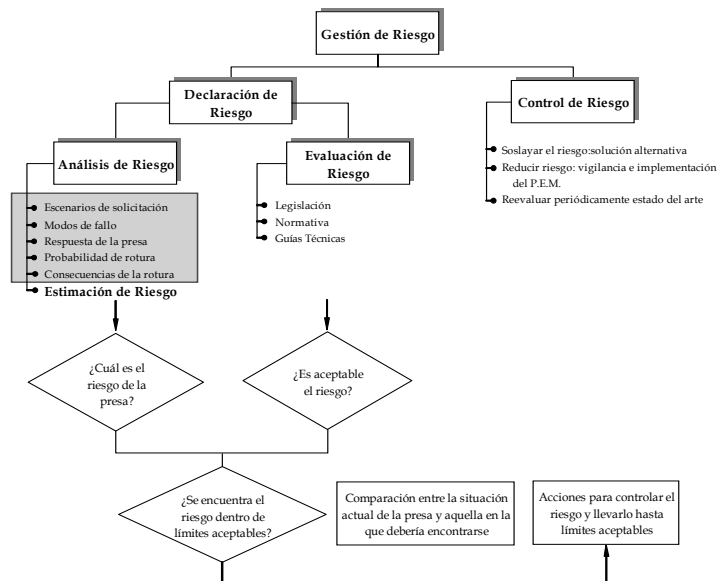
## IV. Conclusión

- 6.- Conclusiones y futuras líneas de investigación



Partiendo de esta aplicación completa y las circunstancias actuales en España, se ha incluido una propuesta de lo que podría constituir una primera fase de aplicación, con carácter cualitativo y enmarcada, exclusivamente, dentro del análisis de riesgos.

Esta técnica se ha denominado ***Programa Complementario basado en Análisis de Riesgos*** y, de forma abreviada, ***PCAR***





1. Designación y cometidos del Grupo de Trabajo
2. Recopilación, organización y entrega de la información
  - i. Identificación de la información disponible
  - ii. Documento resumen de la información para el PCAR
  - iii. Recopilación global de toda la información
  - iv. Entrega de la información al Grupo de Trabajo



3. Análisis de los modos de fallo potenciales (AMFP)
  - i. Inspección de campo por parte del todo el equipo
  - ii. Revisión y análisis de la información recopilada
  - iii. Reunión específica para el desarrollo del AMFP
  - iv. Determinación, para cada modo de rotura, de:
    - i. Necesidades de inspección,
    - ii. Necesidades de vigilancia,
    - iii. Programa específico de auscultación
  - v. Documentación del AMFP



## 5. Propuesta en el contexto español

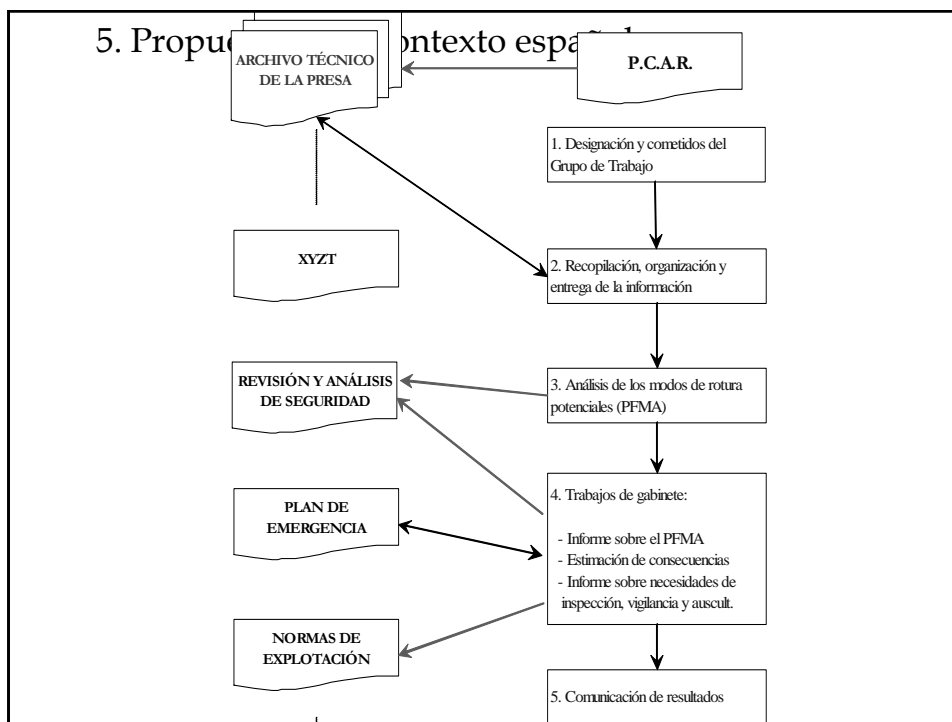
131

4. Trabajos de gabinete a completar en los 90 días siguientes a la Fase 3
  - i. Elaboración del borrador de informe sobre el AMFP
  - ii. Estimación de consecuencias potenciales con base en el PEM
  - iii. Recopilación y registro de toda la información manejada y generada con el PCAR
  - iv. Recogida de comentarios y sugerencias del Grupo de Trabajo respecto al borrador de informe
  - v. Redacción final del Informe sobre el Análisis de los Modos de Fallo
  - vi. Informe sobre las necesidades de inspección, vigilancia y auscultación
5. Comunicación de resultados al Titular
6. Integración de los resultados del PCAR en el programa de seguridad del Titular



CONTRIBUCIÓN A LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS Y  
DECLARACIÓN DE RIESGOS EN PRESAS ESPAÑOLAS,  
INCLUYENDO PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Manuel G. de Membrillera Ortuño



**I. Estado del conocimiento**

- 1.- Introducción
- 2.- Marco de referencia

**II. Propuesta y aplicación de la Declaración de Riesgo**

- 3.- Justificación de la metodología
- 4.- Caso práctico de estudio

**III. Propuesta para el desarrollo de un análisis de riesgos cualitativo en el contexto español**

- 5.- Propuesta en el contexto español

**IV. Conclusión**

**6.- Conclusiones y futuras líneas de investigación**



**6. Conclusiones y líneas de investigación**

Resumen de conclusiones

- En relación con los aspectos generales de la declaración de riesgos y la gestión de seguridad en presas y embalses:
  - Las presas constituyen un riesgo impuesto aguas abajo; el problema básico consiste en decidir cuál es el riesgo tolerable
  - El enfoque tradicional no permite priorizar actuaciones de seguridad de forma objetiva y homogénea
  - Los métodos basados en DR pueden complementar el enfoque clásico y proporcionarle valor añadido
  - Las inspecciones, auscultación, revisiones, mantenimiento, normas de explotación sancionadas por la práctica, así como la implementación de PE constituyen la base ineludible de una buena gestión de la seguridad



### Resumen de conclusiones

- En relación con la metodología que se ha propuesto para llevar a cabo la declaración de riesgos en sistemas presa-embalse:
  - Se parte del estudio de los modos de rotura
  - Los registros de auscultación y su análisis posterior constituyen una herramienta básica para caracterizar los modos de fallo
  - Las probabilidades de rotura no deben interpretarse como eventos de rotura por unidad de tiempo, sino como una medida del grado de confianza que se tiene en la presentación de un evento concreto
  - Los métodos de cribado no son una herramienta que permita comparar homogéneamente el riesgo entre distintas presas
  - Importante papel de los árboles de eventos



### Resumen de conclusiones

- En relación con el caso de estudio:
  - Proporciona al Titular de la presa una información objetiva e inédita de cara a la toma de decisiones en materia de gestión de seguridad
  - Expone de forma explícita las incertidumbres presentes y resalta la contribución de cada uno de los modos de fallo
  - Como beneficios directos puede ayudar a especificar:
    - las necesidades de investigación,
    - la organización de los trabajos de inspección visual,
    - la toma de registros y análisis posterior de la auscultación,
    - la determinación de alternativas de reducción de riesgo, tanto estructurales como no estructurales
  - Complementa al enfoque tradicional y sus documentos asociados



### Necesidades de investigación

1. Para establecer una base adecuada en España, sería pertinente acometer una investigación que permitiera procesar estadísticamente las variables asociadas a roturas e incidentes acaecidos en el pasado



### Necesidades de investigación

2. El análisis de aspectos incluidos en la metodología aplicada supone otro campo con necesidades de estudio:
  - a) Caracterización de los escenarios de carga o sollicitación
  - b) Estimación de las probabilidades condicionales de fallo
  - c) Estimación de las consecuencias asociadas a la rotura
  - d) Definición del marco general del modelo de riesgo



### Necesidades de investigación

3. Además de las investigaciones genéricas mencionadas en relación con el Análisis de Riesgo, es necesario dar pasos en el establecimiento de criterios para la Evaluación de Riesgo en España. Asumiendo que esta cuestión exige trasladarse desde el campo técnico, de naturaleza más objetiva, a la esfera de los valores sociales, eminentemente subjetiva

