

SEMINARIO 6. Corrosión de armaduras: Modelado y vida útil  
Madrid. 25-04-2013

## JUGANDO CON FUEGO. DECISIONES RELATIVAS A LA FIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

Peter Tanner. Ramon Hingorani. Carlos Lara



**Cursos Avanzados**  
Eduardo Torroja  
Evaluación, Intervención y Mantenimiento de Edificios y Estructuras  
del 6 de abril al 11 de junio



Contexto

## VULNERABILIDAD HUMANA EN ENTORNO NATURAL Y TECNOLÓGICO



## CONSECUENCIAS ADVERSAS DE DESASTRES Y ACCIDENTES

- Daños personales
- Daños medioambientales
- Pérdidas económicas
  - Directas: reconstrucción; productividad
  - Indirectas: demora usuarios; impacto sobre crecimiento económico; desempleo



## DEMANDA SOCIAL PARA CONTRARRESTAR AMENAZAS

- Proyecto, ejecución y explotación de sistemas técnicos requieren consideración de
  - Seguridad
  - Aspectos medioambientales
  - Aspectos económicos
- **Objetivo: alcance de un nivel de riesgo aceptable**



## GESTIÓN DE RIESGOS

- Riesgos naturales y tecnológicos se deben reducir a través de medidas adecuadas
- Cualquier medida tiene un coste
- Recursos están limitados
- **Objetivos**
  - Minimización de riesgos
  - Asignación óptima de los recursos naturales y financieros



## SEGURIDAD ESTRUCTURAL

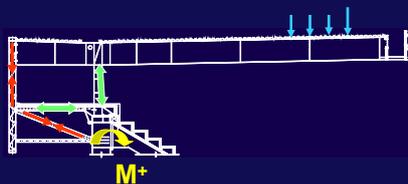
- Ingeniería estructural implica la consideración de aspectos de seguridad



- ¿Qué es suficientemente seguro?
- ¿Qué precio estamos dispuestos a pagar para reducir los niveles de riesgo?

## ESTRUCTURAS EXISTENTES

- Necesidad de evaluar una estructura existente puede surgir por diferentes motivos
- Todos relacionados con dudas sobre seguridad estructural



→ ¿Fiabilidad adecuada para uso futuro?

## ESTRUCTURAS EXISTENTES

- Problema fundamental consiste en contestar a la pregunta: **¿tiene la estructura una fiabilidad adecuada?**
- Sólo dos posibles respuestas: **si** o **no**
- Consecuencias importantes en caso de decisión equivocada

**No hacer nada**



**Sobreactuación**



## JUGANDO CON FUEGO. DECISIONES RELATIVAS A LA FIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

- Contexto
- Seguridad y fiabilidad en ingeniería estructural
- Procedimiento de análisis de riesgos
- Enfoque
- Nivel aceptable de los riesgos nominales
- Interpretación
- Conclusiones



**Cursos Avanzados**  
Eduardo Torroja  
Evaluación, Intervención y Mantenimiento de Edificios y Estructuras  
del 6 de abril al 11 de junio



## Seguridad y fiabilidad en ingeniería estructural

### SITUACIÓN ACTUAL

- Tradicionalmente, ingeniería estructural siempre ha sido una disciplina **autorregulada**
- Autorregulación se materializa en **normas**
- Por definición, la **correcta aplicación** de las normas produce estructuras acordes con los objetivos



## VALORACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

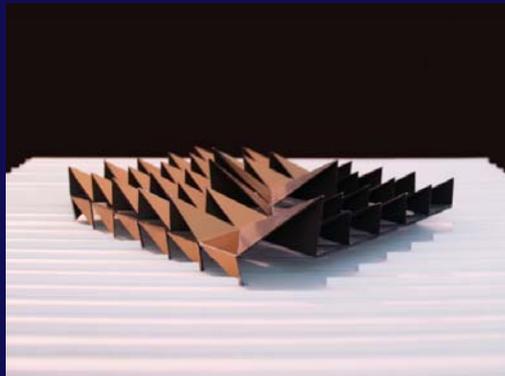
- Normas actuales abordan la seguridad de manera implícita
- Criterios de aceptación de riesgos son fruto de autorregulación y se basan en experiencia del pasado
- Reglas normalizadas no se basan en un enfoque racional
- Posibles sobreactuaciones



- **Despilfarro** de recursos disponibles para reducir riesgos

## VALORACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

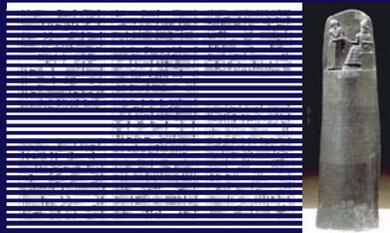
- Reglas implícitas actuales para el tratamiento de la seguridad estructural son **inhibidores**



- Enfoque basado en **prestaciones** se presenta como salvación

## ENFOQUE BASADO EN PRESTACIONES

- Idea no es nueva: código *Hammurabi* (6º rey de Babilonia, 1792–50 a.c.) es muy prestacional



229: En caso de que un constructor construye una casa para alguien y no la construye debidamente, de modo que colapsa y mata al propietario, entonces el constructor será castigado con la pena capital.

- Puesta en práctica de un enfoque prestacional resulta difícil

## OBJETIVOS

- Establecimiento de una **base racional** para la adopción de decisiones sobre la seguridad estructural
- Desarrollo de herramientas prácticas que faciliten **evaluación / dimensionado** de estructuras (de edificación) basado en **prestaciones**

Grado de “prescriptividad”	Reglas	Normas
Totalmente prestacional	<b>Requisitos</b>	Hammurabi
Totalmente prescriptivo	“Recetas de cocina”	EN, CTE, otras



## JUGANDO CON FUEGO. DECISIONES RELATIVAS A LA FIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

- Contexto
- Seguridad y fiabilidad en ingeniería estructural
- **Procedimiento de análisis de riesgos**
- Enfoque
- Nivel aceptable de los riesgos nominales
- Interpretación
- Conclusiones



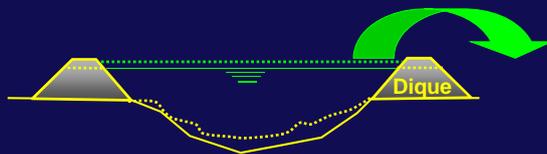
**Cursos Avanzados**  
Eduardo Torroja  
Evaluación, Intervención y Mantenimiento de Edificios y Estructuras  
del 6 de abril al 11 de junio



### Generalidades

## RIESGO EN UN CONTEXTO TÉCNICO

- Función de la **frecuencia** de un evento no deseado y de sus **consecuencias**



### Inundación de

- Campo improductivo
- Cultivos
- Zonas pobladas
- Ciudades
- Parte de un país



## RIESGO EN UN CONTEXTO TÉCNICO

- Función de la **frecuencia** de un evento no deseado y de sus **consecuencias**



- Frecuencia, consecuencias: variables aleatorias
- **Riesgo:** variable aleatoria
- Problema: base estadística insuficiente para eventos poco frecuentes, por ejemplo colapsos de estructuras
- A tener en cuenta en la adopción de decisiones

## PROCEDIMIENTO Y DESARROLLOS REQUERIDOS



## Consecuencias

### SIMPLIFICACIÓN

- Posibles consecuencias incluyen
  - Víctimas mortales; heridos
  - Daños medioambientales
  - Daños económicos
- ¿Comparación de pérdidas directas, indirectas, no monetarias?
  - Enfoques con indicadores sociales, por ejemplo *LQI*
- Riesgos para personas son dominantes en ingeniería civil
  - Aspectos legales
  - Motivos éticos
- Enfoque simplificado
  - Sólo se considera **pérdida de vidas humanas**



Cuantitat.	Qualitativo	Alcance	
		Riesgos	
		Escenario	
	N	P <sub>i</sub>	Evaluac.
			Tratam.

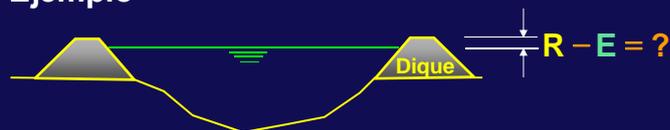
## Estimación de probabilidades

### EL PROBLEMA R – E

- Muchos problemas de ingeniería se dejan describir comparando dos cantidades
  - E** Intensidad de una acción sobre un sistema (caudal)
  - R** Capacidad del sistema (capacidad del río / canal)



### Ejemplo



Se espera que, por lo menos,  $R = E$



- Seguridad está relacionada con  $R - E = ?$

EL PROBLEMA R – E

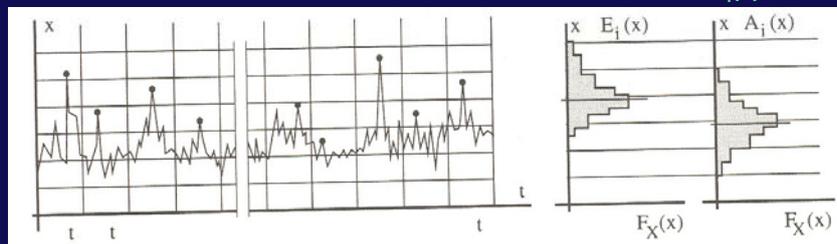
- Incertidumbres asociadas con las cantidades  
 $E = ?$



- Registro del caudal  $E$   
Proceso estocástico

Histograma de los valores extremos  $E_i(x)$  en los intervalos  $\Delta t$

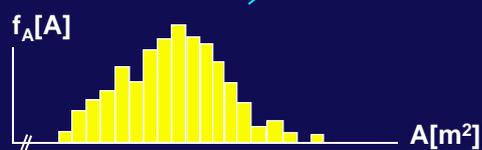
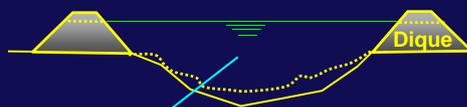
Histograma de los valores instantáneos  $A_i(x)$



EL PROBLEMA R – E

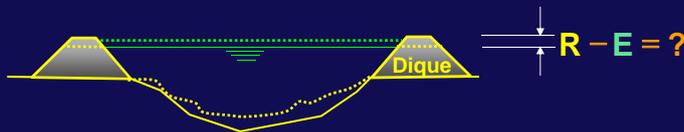
- Incertidumbres asociadas con las cantidades  
 $R = ?$

- Área de la sección varía a lo largo del canal y del tiempo



## CONSECUENCIAS DE LAS INCERTIDUMBRES

- Parámetros que intervienen en un análisis estructural son **variables** en el espacio y el tiempo
- Seguridad estructural **no es determinista**
- Seguridad estructural se mide en términos de **fiabilidad**
- Fiabilidad se determina mediante **métodos probabilistas** teniendo en cuenta **incertidumbres**



Cuantitat.	Cualitativo	
	Alcance	
	Riesgos	
	Escenario	
	N	P <sub>i</sub>
	Evaluac.	
Tratam.		

## ANÁLISIS PROBABILISTA EXPLÍCITO

- Seguridad estructural expresada en términos de variables básicas a través de la **Función de Estado Límite**
- Seguridad se define mediante el requisito

$$G = R - E \geq 0$$

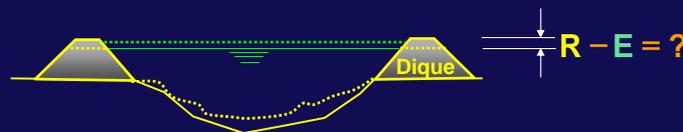
- Probabilidad de fallo

$$P_f = P[E > R] = \sum P[E = x] \cdot P[R < x]$$

Probabilidad de que

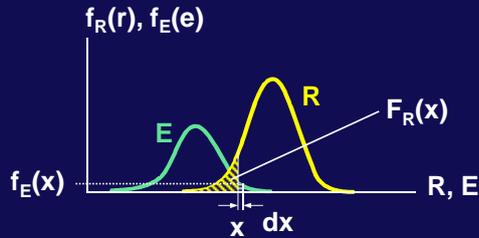
$$E = x \text{ y } R < x$$

para todos los posibles  $E(x \in E)$



### ANÁLISIS PROBABILISTA EXPLÍCITO

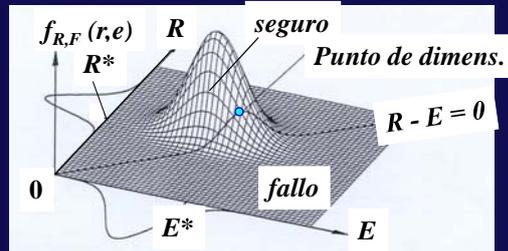
Para distribuciones de probabilidad continuas de **R** y **E**:



$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} f_E(x) \cdot F_R(x) dx$$

Objetivo: calcular volumen de la zona de fallo con respecto a la densidad de probabilidad de  $G = R - E$

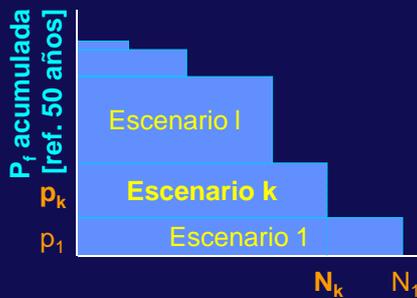
→ Valor nominal



### PERFIL DE RIESGOS

Riesgo colectivo para las personas asociado a una estructura es la suma de los riesgos para todos los escenarios relevantes, **j**

$$R = \sum_{j=1}^n R_j \approx \sum_{j=1}^n p_j \cdot N_j$$



Nº esperado de víctimas

Cuantitat.	Cualitativo	
	Alcance	Riesgos
	Escenario	
	N	P <sub>i</sub>
	Evaluac.	
	Tratam.	

## JUGANDO CON FUEGO. DECISIONES RELATIVAS A LA FIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

- Contexto
- Seguridad y fiabilidad en ingeniería estructural
- Procedimiento de análisis de riesgos
- **Enfoque**
- Nivel aceptable de los riesgos nominales
- Interpretación
- Conclusiones



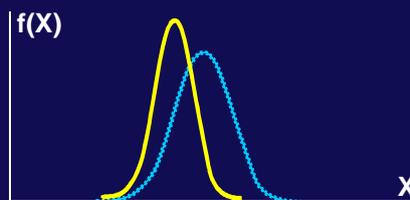
**Cursos Avanzados**  
Eduardo Torroja  
Evaluación, Intervención y Mantenimiento de Edificios y Estructuras  
del 6 de abril al 11 de junio



### Enfoque

#### IDEAS BÁSICAS PARA EL DESARROLLO DE HERRAMIENTAS

- Enfoque más lógico: fijar los **riesgos aceptables** en los niveles aceptados según **práctica habitual**
- Práctica habitual queda reflejada en la **normativa en vigor**
- Riesgos aceptables están asociados con el **nivel de fiabilidad requerido** implícitamente por estas normas
- Nivel de fiabilidad depende del **estado de incertidumbre** asociado a las reglas normalizadas



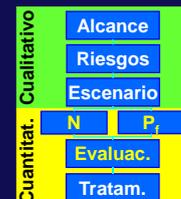
## DIFICULTADES

- Los **modelos probabilistas** de las variables que están detrás de las reglas normalizadas **no se han establecido explícitamente**
- Estado de incertidumbre asociado a las reglas de las normas es desconocido
- Normas actuales **no están totalmente calibradas**
- Se desconoce el nivel de fiabilidad requerido



## DESARROLLOS REQUERIDOS

- Desarrollo de **modelos de consecuencias**
- Determinación del **estado de incertidumbre** asociado a las reglas de las normas en vigor
- Deducción del **nivel de fiabilidad requerido implícitamente** por las normas
- Determinación del **nivel aceptable de riesgos** asociados con las estructuras



## JUGANDO CON FUEGO. DECISIONES RELATIVAS A LA FIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

- Contexto
- Seguridad y fiabilidad en ingeniería estructural
- Procedimiento de análisis de riesgos
- Enfoque
- **Nivel aceptable de los riesgos nominales**
- Interpretación
- Conclusiones



**Cursos Avanzados**  
Eduardo Torroja  
Evaluación, Intervención y Mantenimiento de Edificios y Estructuras  
del 6 de abril al 11 de junio

 Lifelong Learning Programme

 CSIC

 INSTITUTO EDUARDO TORROJA

### Modelos de consecuencias

#### TRABAJO REALIZADO

- Recopilación de datos sobre colapsos de edificios
- Información requerida para cada caso

##### Edificio

- Ubicación
- Categoría de uso
- Año de la construcción
- Dimensiones: longitud; anchura; altura; superficie total
- Nº de plantas / apartamentos
- Sistema estructural y materiales constitutivos



##### Incidente

- Año del colapso
- Descripción / motivo del colapso
- Superficie afectada por el colapso
- Nº de personas presentes en el momento del colapso



Modelos de consecuencias

TRABAJO REALIZADO

- Información requerida para cada caso

Consecuencias

- Nº de víctimas mortales
- Nº de heridos
- Nº de desaparecidos
- Daños económicos
- Daños medioambientales

Información adicional

- Referencias
- Observaciones
- Utilidad

- 301 casos de España y otros países occidentales con métodos constructivos asimilables
- Establecimiento de una base de datos

The form is divided into several sections:
 

- Datos relativos al edificio:** Includes fields for 'Caso', 'Categoría de uso', 'Dirección', 'Código', 'País', 'Año de construcción', 'Tipo de estructura', and 'Localización detallada de la zona afectada en la foto'.
- Datos relativos al incidente:** Includes 'Fecha del incidente', 'Tipo de accidente', 'Causa del incidente', 'Categoría de la causa', 'Descripción del incidente y causas del fallo', 'Categoría de gravedad', 'Superficie afectada (m2)', 'Personas afectadas', 'Intensidad de daños', and 'Ocupación del edificio'.
- Datos relativos a las consecuencias:** Includes 'Nº de víctimas mortales', 'Nº de heridos graves', 'Nº de heridos leves', 'Nº de heridos heridos', 'Nº de desaparecidos', 'Comunicación de prensa', 'Comunicación de radio', 'Referencias', 'Información adicional', 'Fuente de la información', and 'Otros datos'.

Modelos de consecuencias

TRABAJO REALIZADO

- Para la mayoría de los casos, la información se ha extraído de periódicos y/o internet



- Falta de datos

## TRABAJO REALIZADO

- Se completa la base de datos mediante información deducida de las estadísticas del INE
- Por ejemplo, estimación de
  - Nº de personas presentes en el momento del colapso

Tabla 5: Media estimada de la ocupación / vivienda en función de la superficie a de la misma

a [m <sup>2</sup> ] / Viv	a ≤ 30	31 ≤ a ≤ 45	46 ≤ a ≤ 60	61 ≤ a ≤ 75	76 ≤ a ≤ 90	91 ≤ a ≤ 105	106 ≤ a ≤ 120	121 ≤ a ≤ 150	151 ≤ a ≤ 180	a > 180	Tot.
Ocu / Viv	1,9	2,1	2,4	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	2,9

- Superficie total
- Superficie afectada por el colapso
- etcétera

## TRABAJO REALIZADO

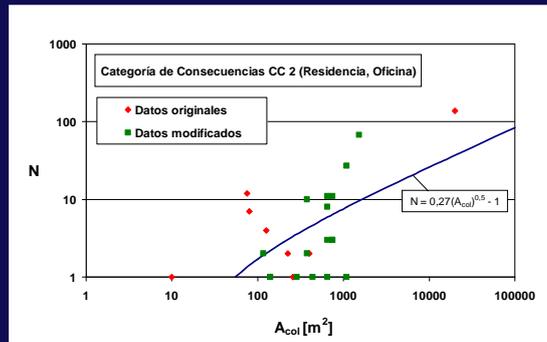
- 109 casos útiles pertenecientes a las categorías de consecuencias CC2 (residencia; oficina) y CC3 (concentración de personas)



- Análisis estadísticos de regresión
- Modelo más adecuado:  $N(A_{col})$
- Dispersión importante
- Resultados se emplean a efectos comparativos
- No se requiere una gran precisión

## NÚMERO DE VÍCTIMAS EN FUNCIÓN DEL ÁREA DE COLAPSO

- Categoría de consecuencias CC2 (residencia, oficina)
  - Situaciones persistentes  $N = 0,27 \cdot A_{col}^{0,5} - 1 \geq 0$



- Categoría de consecuencias CC3 (concentración personas)
  - Situaciones persistentes  $N = 0,59 \cdot A_{col}^{0,56} - 1 \geq 0$

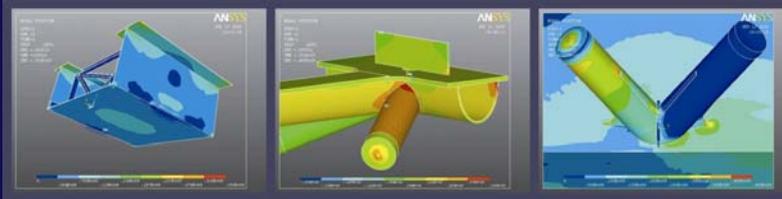
## ALEATORIEDAD DE VARIABLES BÁSICAS

- Variables que intervienen en un análisis son **aleatorias**
  - no se pueden fijar de manera determinista
- Ejemplo: variabilidad del límite elástico del acero estructural
  - Muestra de  $n$  resultados experimentales → estadística
  - Probabilidad de que variable  $X$  sea inferior o igual a un determinado valor,  $x$  → **Función de Distribución:  $F_X(x)$**
  - Intensidad de probabilidad correspondiente a valor  $x$  → **FDP:  $f_X(x)$**



### FUENTES DE INCERTIDUMBRE RELEVANTES

- Variabilidad natural (por ejemplo: límite elástico del acero)
- Errores de estimación debidos a datos estadísticos incompletos
- Imperfecciones de los modelos
  - Falta de conocimiento de ciertos fenómenos
  - Modelos simplificados

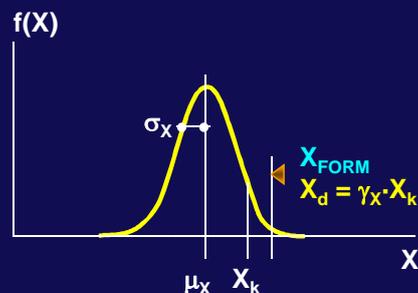
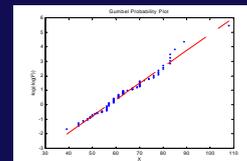


- Errores humanos

### REQUISITOS PARA LOS MODELOS PROBABILISTAS A DESARROLLAR

- Representación de una realidad física
- Consistencia con *JCSS Model Code*
- Representación del estado de incertidumbre asociado a las reglas de las normas
- Representación de las incertidumbres en términos de variables aleatorias, aptas para aplicaciones prácticas:

$$X_i = \text{Tipo}(\mu_{X_i}; \sigma_{X_i})$$



EJEMPLO

– Resistencia a flexión de vigas de acero estructural

$$M_R = \xi_{R,M} \cdot f_y \cdot W$$



- Resistencia del material (datos deducidos de la literatura; parámetros compatibles con JCSS)

$$f_y = LN(1,14;0,06)$$

- Geometría (para procesos modernos de fabricación con tolerancias pequeñas)

$$W = N(1,02;0,02)$$

- Incertidumbres del modelo (buena aproximación a la realidad)

$$\xi_{R,M} = LN(1,0;0,02)$$

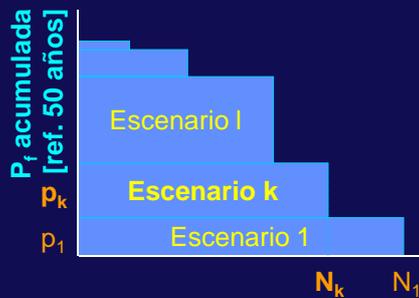
RECORDATORIO

- Riesgo colectivo para las personas asociado a una estructura es la suma de los riesgos para todos los escenarios relevantes,  $j$

$$R = \sum_{j=1}^n R_j \approx \sum_{j=1}^n p_j \cdot N_j$$



$$p_k = P_{f,M,fl ed}$$



Nº esperado de víctimas

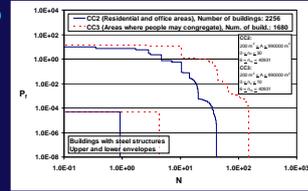
Cuantitat.	Cualitativo	
	Alcance	
	Riesgos	
	Escenario	
	N	P <sub>i</sub>
	Evaluac.	
Tratam.		

Deducción de criterios de aceptación

PROCEDIMIENTO

- Selección de un conjunto representativo de estructuras
  - Ejemplo: edificios con elementos de **acero**
  - Variación de parámetros relevantes
  - Estructuras de edificación analizadas:
 

CC2 (residencia; oficina)	2256
CC3 (concentración)	1680
- Dimensionado estricto de todos los elementos de acuerdo con un conjunto consistente de normas:  $E_d = R_d$
- Probabilidad de fallo asociada a cada escenario:  $p_j \rightarrow P_{f,adm}$
- Número esperado de víctimas para cada escenario:  $N_j$
- Perfil de riesgo para cada estructura → integración:  $R$
- Análisis e interpretación de los resultados



Deducción de criterios de aceptación

NIVEL DE FIABILIDAD REQUERIDO SEGÚN NORMAS APLICADAS

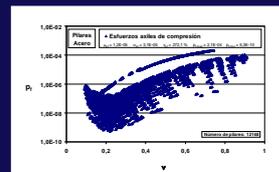
- Probabilidad de fallo admisible afectada por gran dispersión

$\frac{\mu_{P_{f,steel}}}{\mu_{P_{f,composite}}}$  → Vigas cubierta 8,5  
 Vigas planta 4,7  
 Pilares 38,7



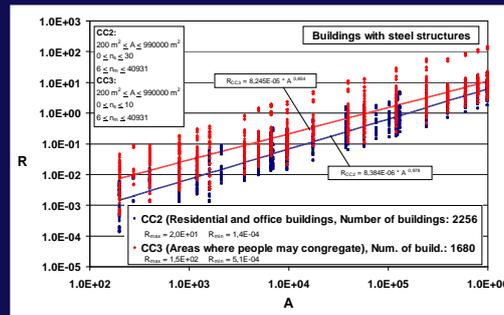
- En general  $P_{f,adm,beams} > P_{f,adm,columns}$
- Vigas  $P_{f,adm,steel} > P_{f,adm,RC} > P_{f,adm,composite} > P_{f,adm,timber}$
- Pilares  $P_{f,adm,steel} > P_{f,adm,timber} > P_{f,adm,composite} > P_{f,adm,RC}$

- Es posible deducir un nivel de fiabilidad requerido
- Necesidad de calibración de reglas actuales



## NIVEL DE RIESGO IMPLÍCITO SEGÚN NORMAS APLICADAS

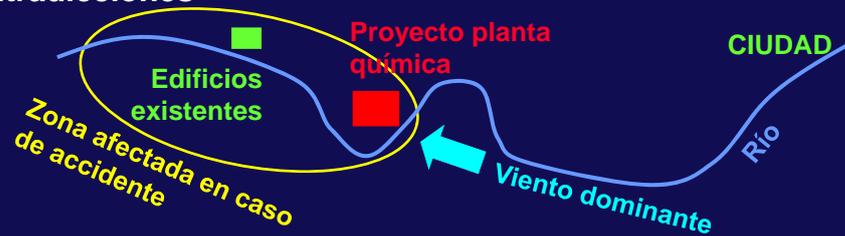
- Riesgo colectivo para las personas,  $R$ , en función de la superficie total,  $A$ , para todos los edificios con estructuras de **acero** analizados (50 años; situaciones persistentes)



- Dispersión por falta de criterios consistentes en normas
- Efecto escala: riesgo aceptable no es un valor absoluto

## RIESGO INDIVIDUAL Y RIESGO COLECTIVO PARA PERSONAS

- Preferencias de individuos y sociedad → posibles contradicciones



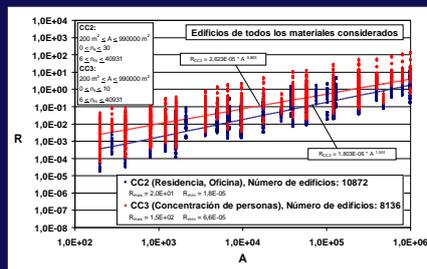
- Riesgo colectivo es de mayor importancia para explotador de sistemas técnicos (planta química, etc.) y sociedad
- Preservación de derechos humanos individuales  
 DUDH, artículo 3: "Everyone has the right to life, liberty and security of person."
- Se deben considerar riesgos **colectivos** e **individuales**

Deducción de criterios de aceptación

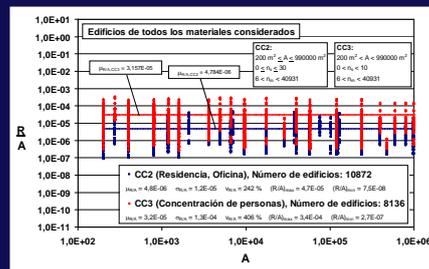
PROPUESTA

- Criterios de aceptación necesarios para riesgo colectivo y riesgo individual, respectivamente (DUDH, artículo 3)
- Nº de personas por unidad de superficie depende del uso
- Unidad de superficie vincula riesgos colectivo e individual
- Nivel de riesgo aceptable para las personas (50 años):

Riesgo colectivo



Riesgo individual

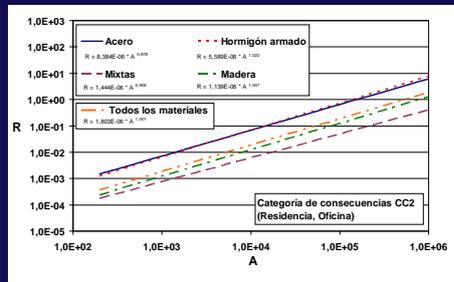


Deducción de criterios de aceptación

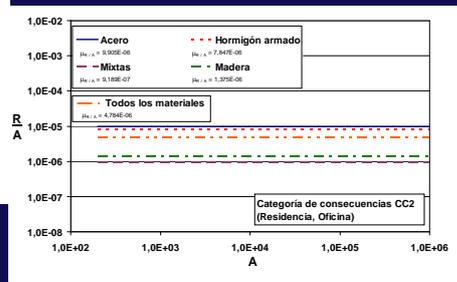
NIVEL DE RIESGO IMPLÍCITO PARA DIFERENTES MATERIALES

- Edificios de la categoría de consecuencias CC2 con estructuras de diferentes materiales constitutivos (50 años; situaciones persistentes)

Riesgo colectivo



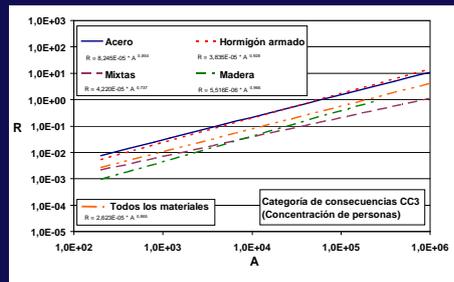
Riesgo individual



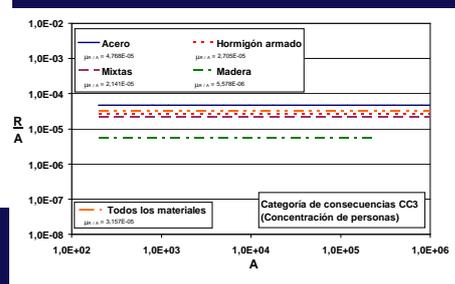
## NIVEL DE RIESGO IMPLÍCITO PARA DIFERENTES MATERIALES

- Edificios de la categoría de consecuencias **CC3** con estructuras de diferentes materiales constitutivos (50 años; situaciones persistentes)

### Riesgo colectivo

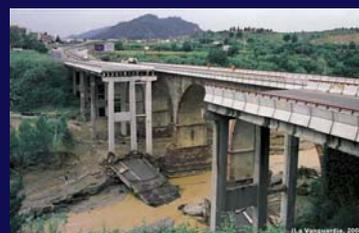


### Riesgo individual



## JUGANDO CON FUEGO. DECISIONES RELATIVAS A LA FIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

- Contexto
- Seguridad y fiabilidad en ingeniería estructural
- Procedimiento de análisis de riesgos
- Enfoque
- Nivel aceptable de los riesgos nominales
- Interpretación
- Conclusiones



## EDIFICIOS RESIDENCIALES Y DE OFICINA

- Valor medio del riesgo individual para las personas, asociado a las estructuras de **acero**

$$\mu_{R/A,CC2} = 9,9 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{d}{m^2 \cdot 50y} \right] \cong \frac{1}{5'047'955} \left[ \frac{d}{m^2 \cdot y} \right]$$

- Valor medio estimado de la superficie, **A**, por persona, **i** (deducido de datos del INE)

$$\mu_{A/i,est} = 30 \left[ \frac{m^2}{person} \right]$$



- Riesgo individual medio (estructuras de acero; CC2; situación persistente dominante para cada elemento)

$$\mu_{r,CC2} \cong \mu_{R/A,CC2} \cdot \mu_{A/i,est} = \frac{1}{168'265} [y^{-1}] = 5,9 \cdot 10^{-6} [y^{-1}]$$

## COMPARACIÓN

- Riesgo mortal global por accidente (riesgo individual medio)

$$\approx 10^{-4} [y^{-1}]$$



- Requisito para la seguridad de las personas según ISO 2394 *General principles on reliability for structures*

$$r_{i,adm,ISO} = 10^{-6} [y^{-1}] \quad (\text{valor medio})$$



## COMPARACIÓN

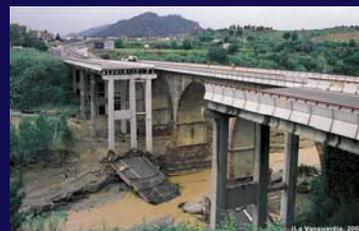
- Resultados para estructuras de edificación con diferentes materiales constitutivos (CC2; situación persistente dominante para cada elemento)

Material constitutivo	Riesgo individual medio $\mu_{r_i,CC2} [10^{-6} \cdot y^{-1}]$	Criterio ISO $r_{i,adm,ISO} [10^{-6} \cdot y^{-1}]$
Acero	5,9	≈1,0
Hormigón armado	4,7	
MLE	0,8	
Mixto	0,6	
Todos	2,9	≈1,0

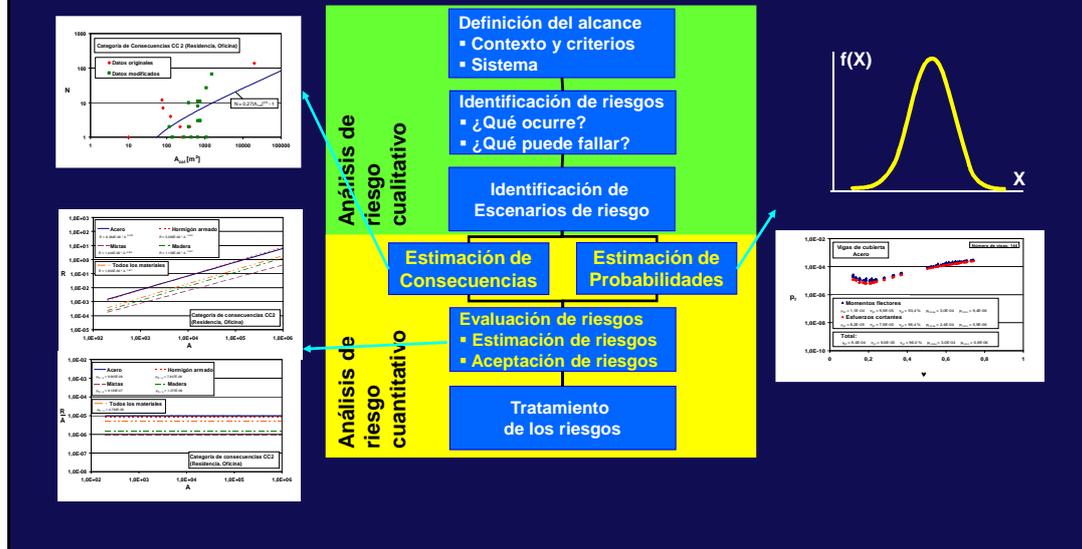
- Resultados son nominales, pero el enfoque es prometedor

## JUGANDO CON FUEGO. DECISIONES RELATIVAS A LA FIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

- Contexto
- Seguridad y fiabilidad en ingeniería estructural
- Procedimiento de análisis de riesgos
- Enfoque
- Nivel aceptable de los riesgos nominales
- Interpretación
- **Conclusiones**



## PROCEDIMIENTO Y MODELOS DESARROLLADOS



## VENTAJAS DE UN ENFOQUE EXPLÍCITO

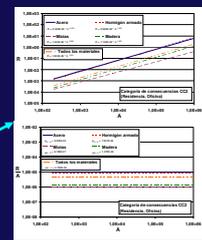
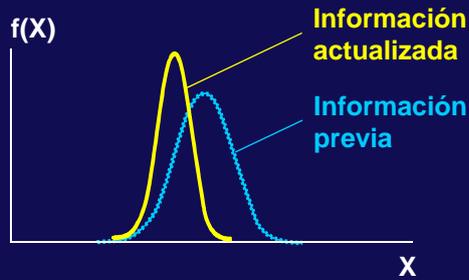
- Reducción de errores humanos a través de análisis cualitativos sistematizados de los riesgos → **reducción de riesgos residuales**
- Base para un **concepto global de seguridad**
- Mayor facilidad de **comunicación de riesgos**
- Base racional para la **adopción de decisiones:**
  - Calibración de modelos para el método de los coeficientes parciales
  - **Fiabilidad de estructuras existentes**
  - Responsabilidades en caso de incidentes
  - Optimización de soluciones
  - **Justificación de soluciones innovadoras**



Jugando con fuego. Decisiones relativas a la fiabilidad de las estructuras existentes

BASE PARA LA EVALUACIÓN DE LA FIABILIDAD DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

- Actualización de la FDP de una variable X

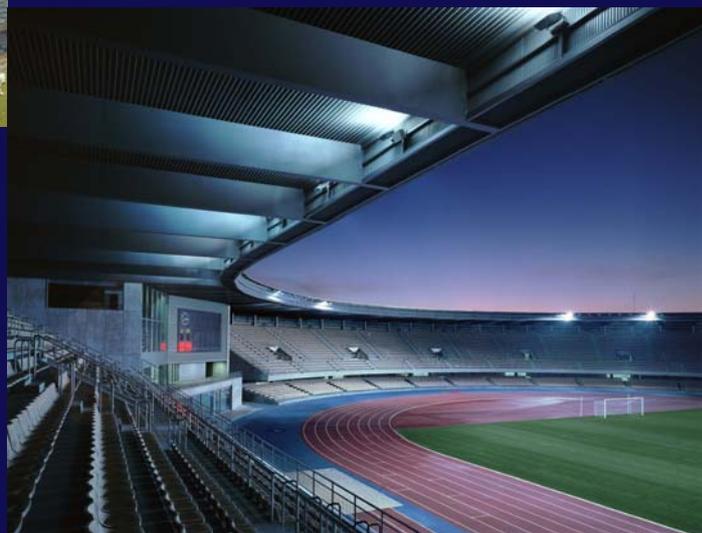


- FDP actualizada se emplea directamente en un análisis de riesgo  $\rightarrow P_{f,act} \cdot N = R_{act}$

- Verificación

$$R_{act} \leq R_{adm}$$

Remodelación del estadio de Chapín



Edificio judicial en El Ejido



Trabajo pendiente

### DECISIONES POCO RACIONALES EN LA PRÁCTICA

- ¿Qué precio estamos dispuestos a pagar para reducir los niveles de riesgo?
- Adopción de una medida determinada indica que sociedad está preparada de pagar  $LSC_M$  para salvar una vida:

$LSC_M \left[ \frac{\text{€}}{\text{vida salv.}} \right]$	Medida
60	Vacuna múltiple (países en desarrollo)
$1,3 \cdot 10^3$	Instalación equipo rayos X (CH)
$33,3 \cdot 10^3$	Helicóptero para emergencias (CH)
$200 \cdot 10^3$	Reordenación cruce carreteras (CH)
$3,3 \cdot 10^6$	Alp Transit (CH)
$13,3 \cdot 10^6$	Medidas de seguridad en minas (USA)
$66 \cdot 10^6$	Regulación rascacielos (GB)