



# Últimos avances en la estimación de la peligrosidad y riesgo por inundaciones del IIAMA

Carles Beneyto, Luisa F. Ruiz y Félix Francés

*Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA)  
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA)  
Universitat Politècnica de València*



## 1. Estimación de la peligrosidad

Metodología para la estimación de avenidas extremas ante escenarios de cambio climático

## 2. Estimación del riesgo

Metodología de calculo de riesgo aplicado a arrastre de vehículos y fallo de puentes

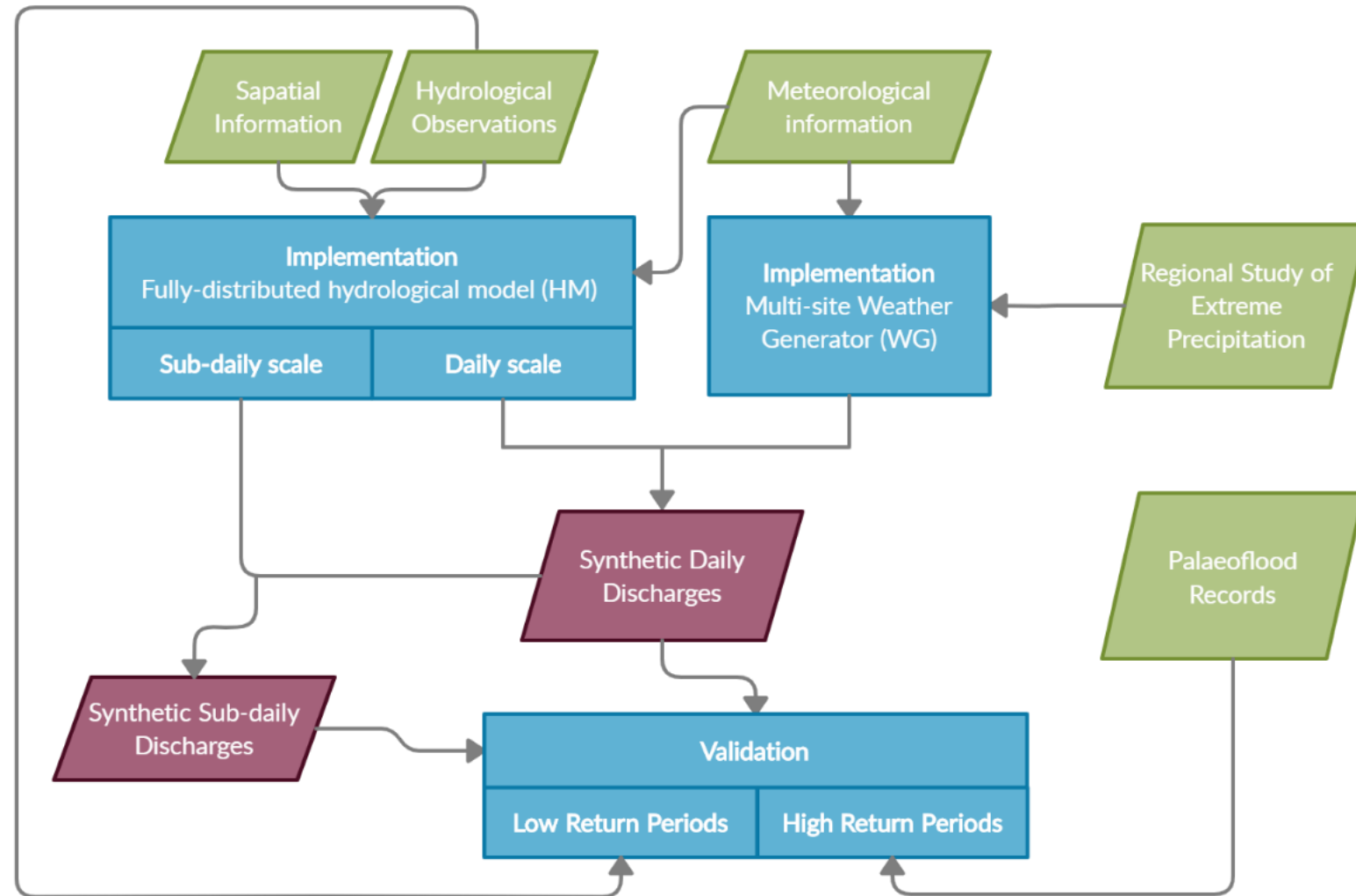
Metodología de calculo de riesgo aplicado a edificaciones

- ❑ **Simulación Continua Sintética**
- Simulación Estocástica + Modelo Hidrológico
  - ✓ Escasa longitud de las observaciones
  - ✓ Distribución espacio-temporal de la tormenta
  - ✓ Estado inicial de la cuenca
- ❑ Sin embargo:
  - Los generadores meteorológicos estocásticos necesitan ser alimentados con series de partida robustas para funcionar correctamente o;
  - Información adicional debe ser integrada

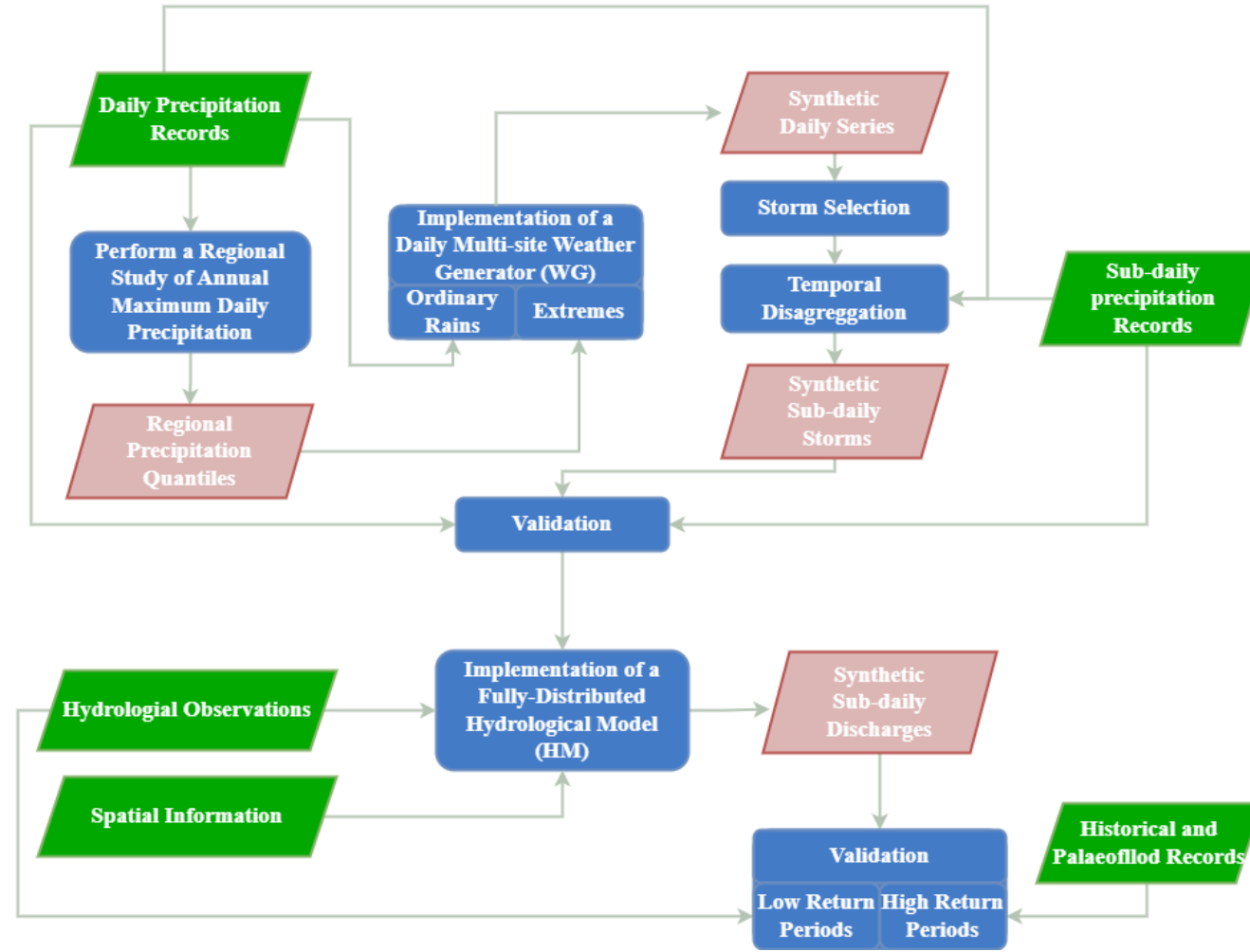
**Metodología basada en Generadores Meteorológicos Estocásticos para estimación de avenidas extremas en escenarios de cambio climático**  
**(Generador Meteorológico+ Modelo Hidrológico Distribuido + Integración de Información)**

- ✓ Clima actual (diario)
- ✓ Clima actual (subdiario)
- ✗ Cambio climático (?)

## Clima Actual Escala diaria



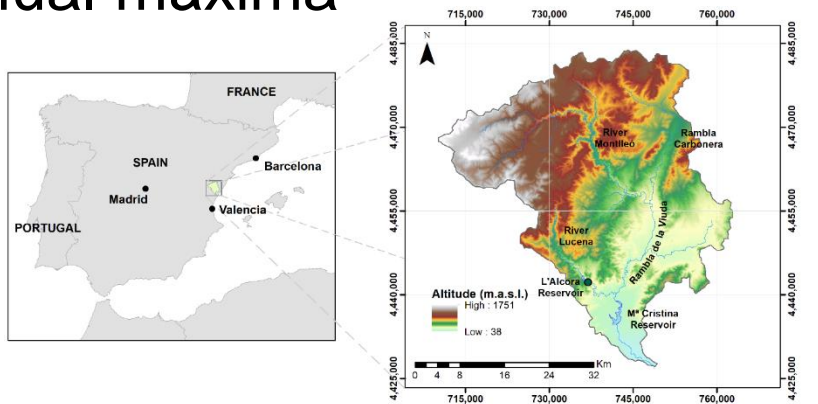
## Clima Actual Escala Subdiaria





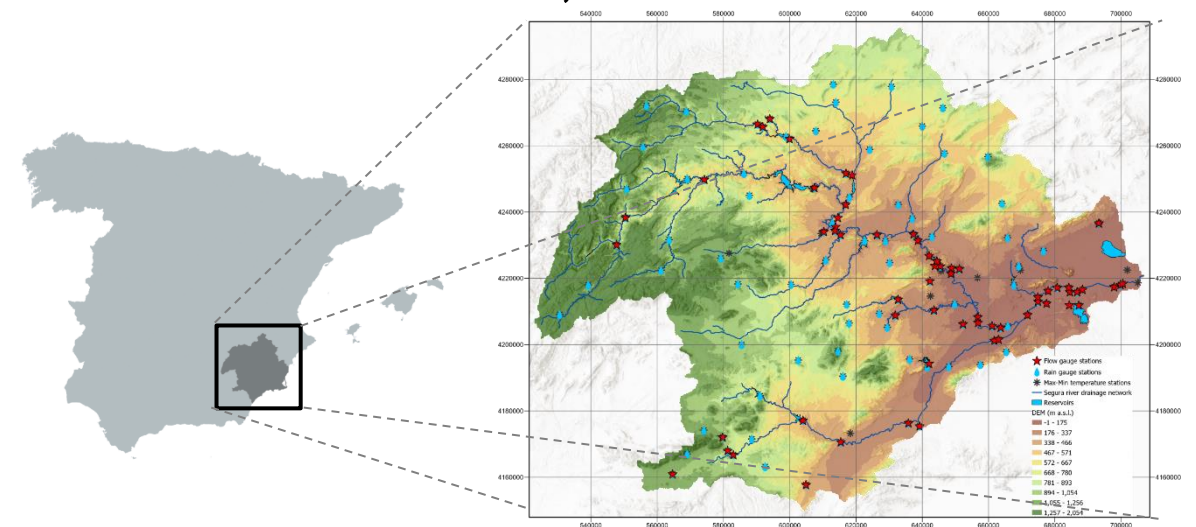
## Clima actual y clima futuro (diario)

- ❑ **Rambla de la Viuda:** río efímero
- ❑ Approx. área: 1,500 km<sup>2</sup>
- ❑ Clima semiárido mediterráneo
- ❑ Prec. Anual media: 550 mm
- ❑ Gran variabilidad de la precipitación anual máxima



## Clima actual (subdiario)

- ❑ **Cuenca del río Segura**
- ❑ Approx. área: 15,000 km<sup>2</sup>
- ❑ Clima semiárido / Continental
- ❑ 16 embalses, 56 trasvases





## Generador Meteorológico GWEX

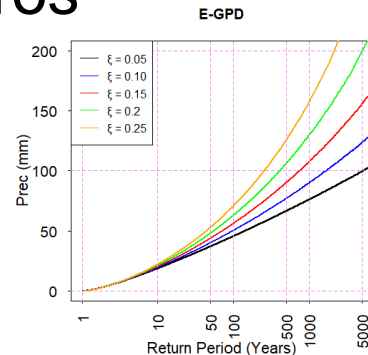
- ❑ Extended Generalized Pareto Distribution (E-GPD) -> cola pesada

$$F(x; \lambda) = \left[ 1 - \left( 1 + \frac{\xi(x)}{\sigma} \right)_+^{-1/\xi} \right]^k, x > 0$$

- ❑ Estimación de parámetros

$\sigma,$   
 $k,$  } De observaciones  
 $\xi,$  De estudios mas robustos

- ❑ Agregación 3-dias

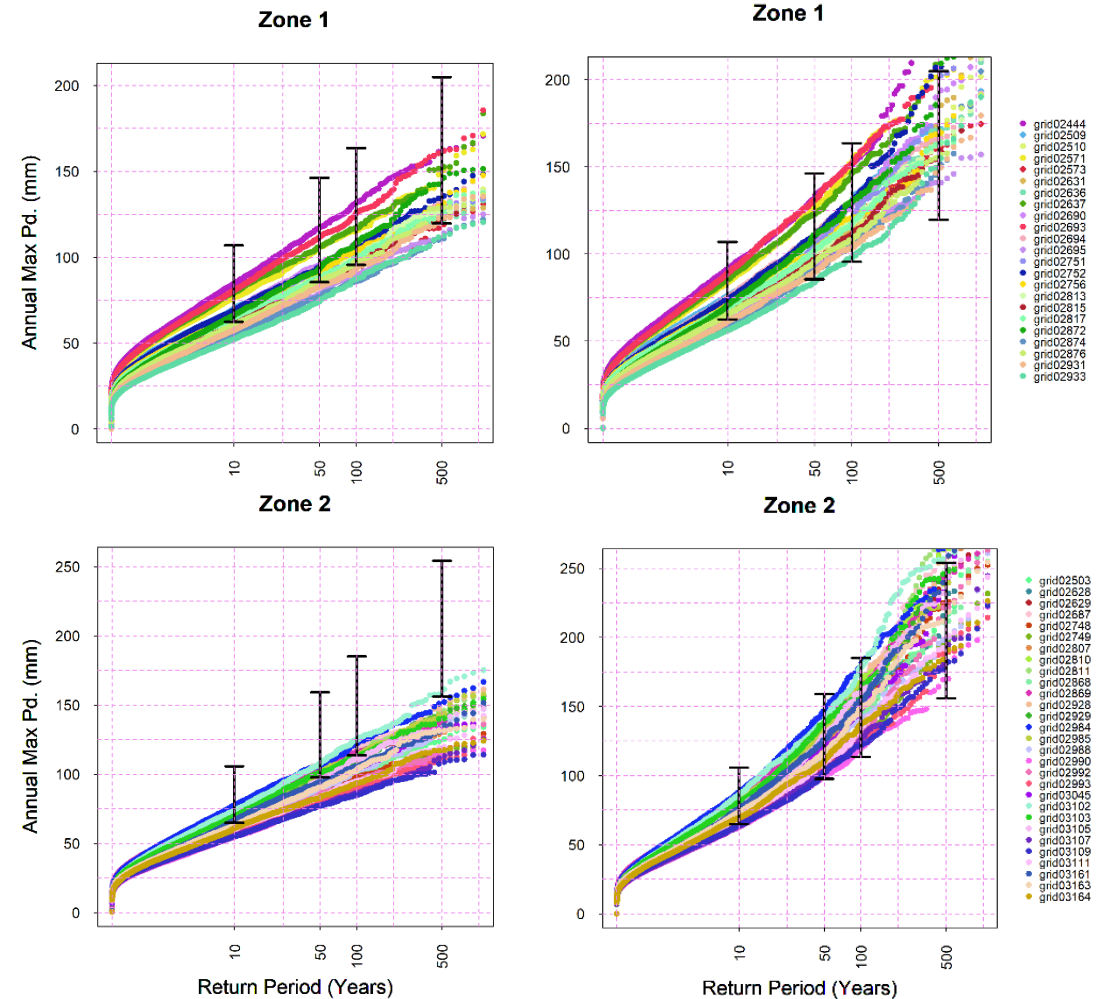
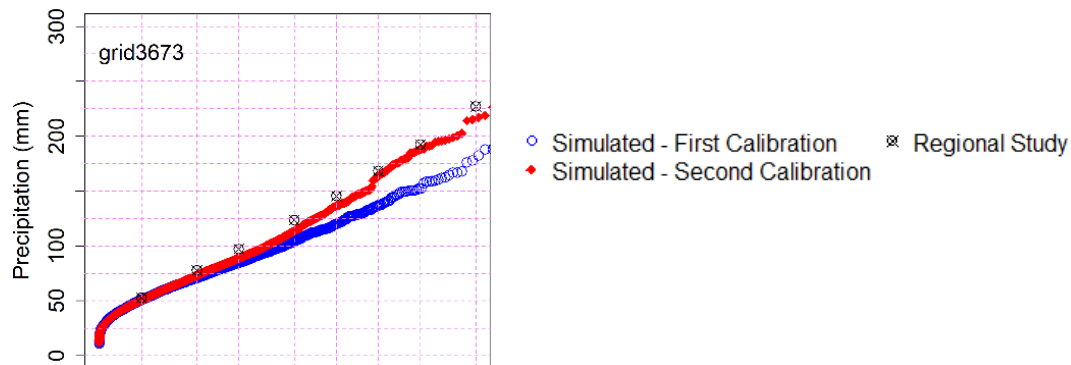


## Modelo eco-hidrológico TETIS

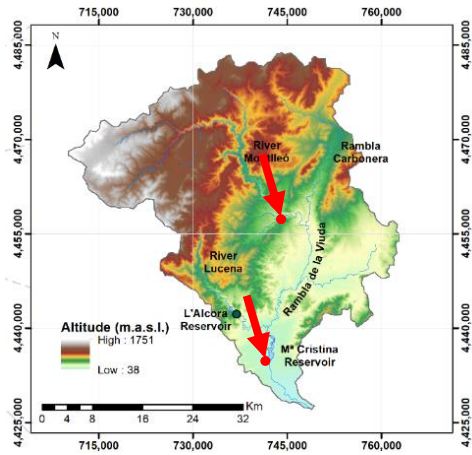
- ❑ Desarrollado por nuestro grupo desde 1994
- ❑ **Modelo conceptual** (estructura de tanques) con únicamente 9 parámetros físicamente basados para el submodelo hidrológico
- ❑ **Distribuido** en el espacio
- ❑ Incorpora una **estructura efectiva de parámetros**



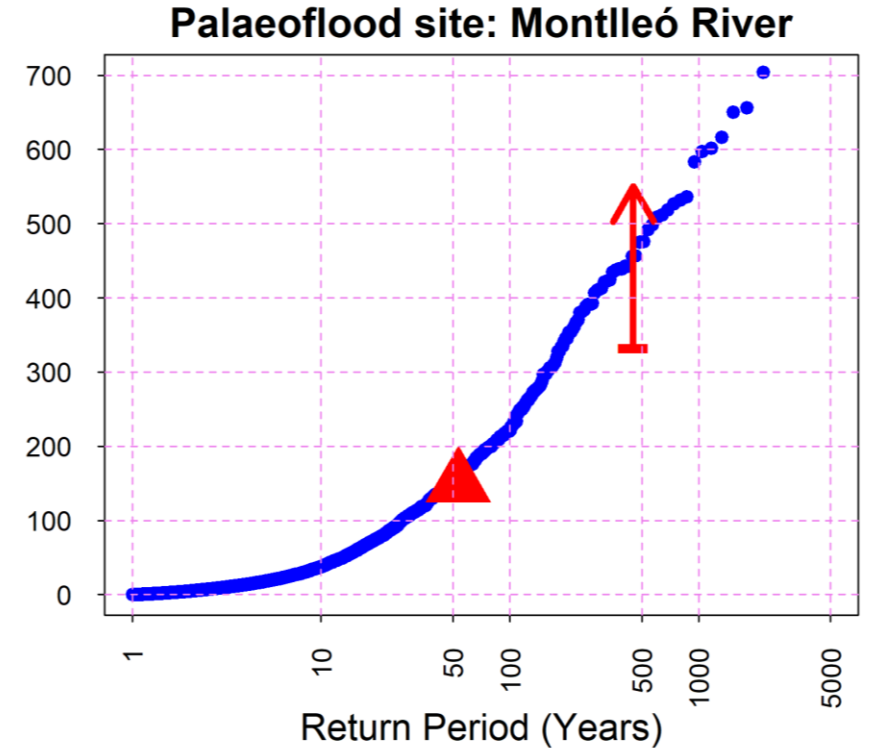
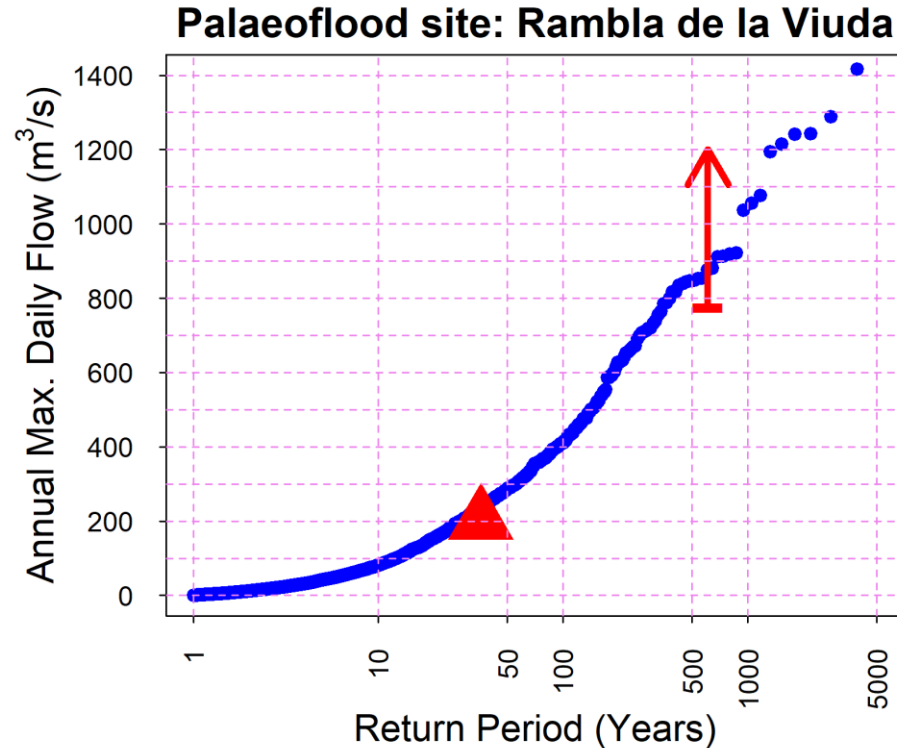
- 1ª Calibración => Observaciones
  - Validación con estudio regional
  
- 2ª Calibración => Parámetro de forma  $\xi$ :
  - Varias poblaciones:
    - JFMAM – JJA - SOND => Calibrar (minimizando RRMSE)



## Validación de caudales



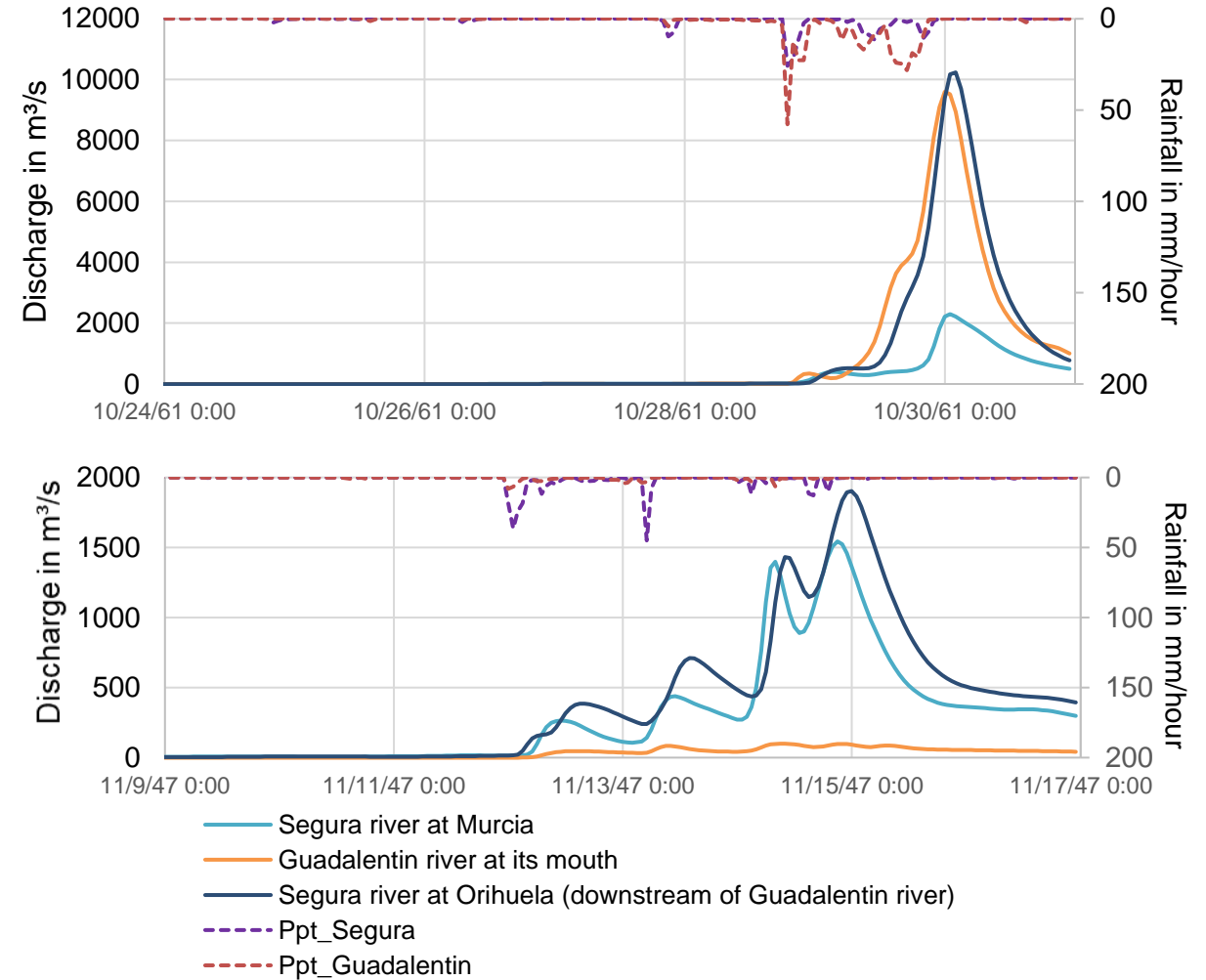
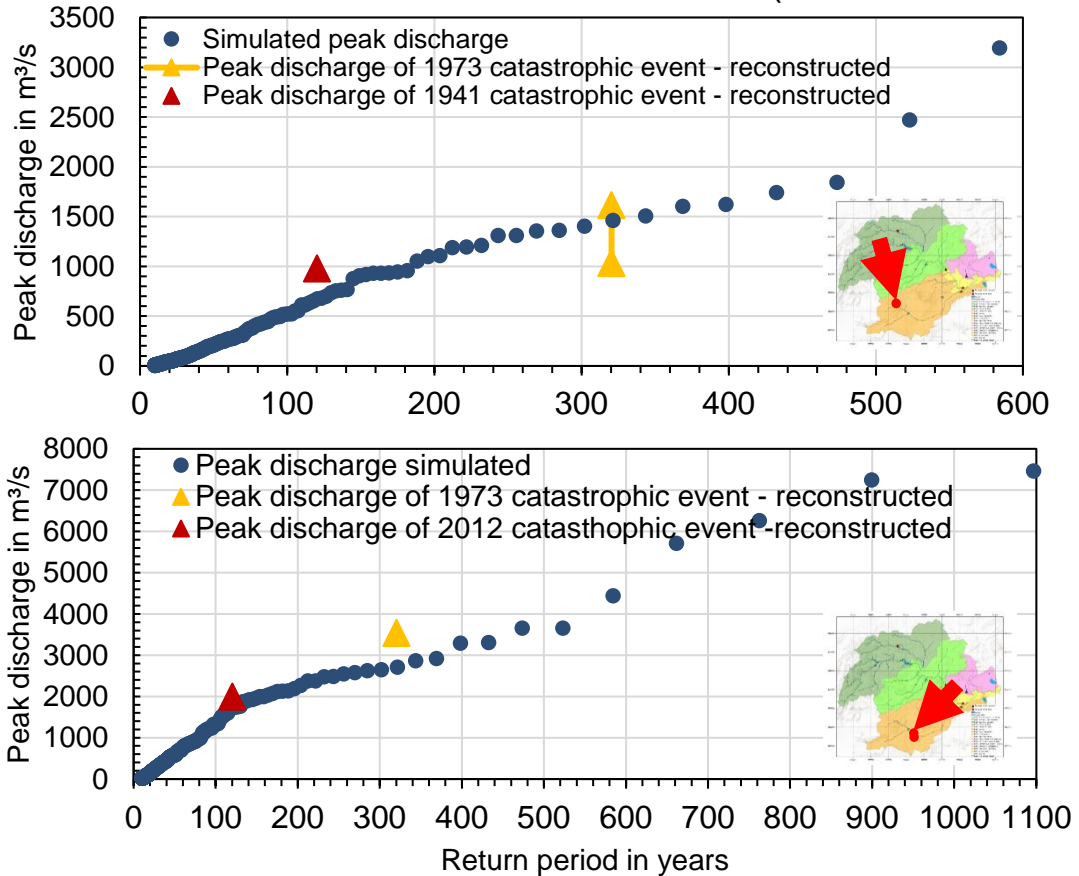
● Simulated (Continuous Simulation + Regional Study)  
▲ Palaeoflood



Plotting positions de los caudales simulados con la precipitación generada con GWEX en los puntos con información histórica y de paleocrecidas

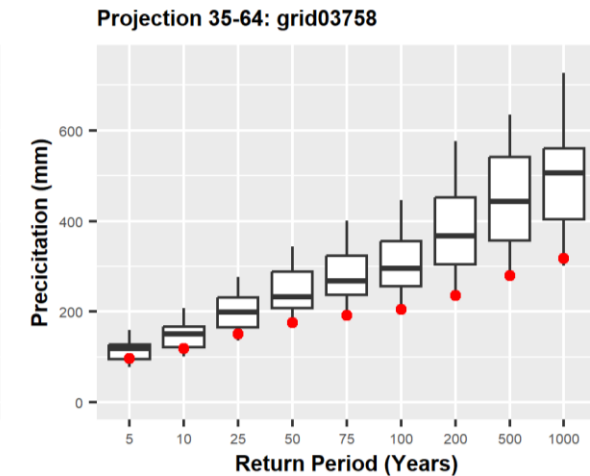
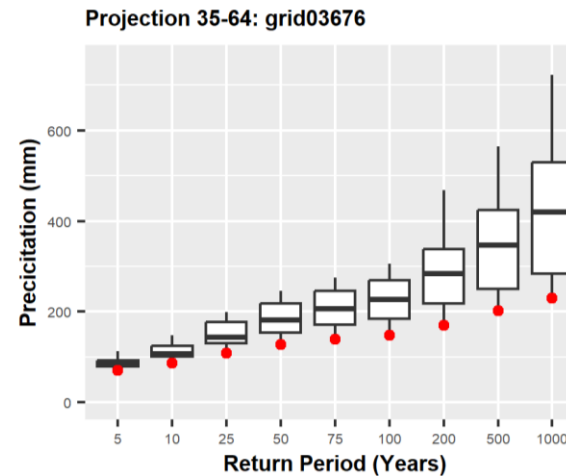
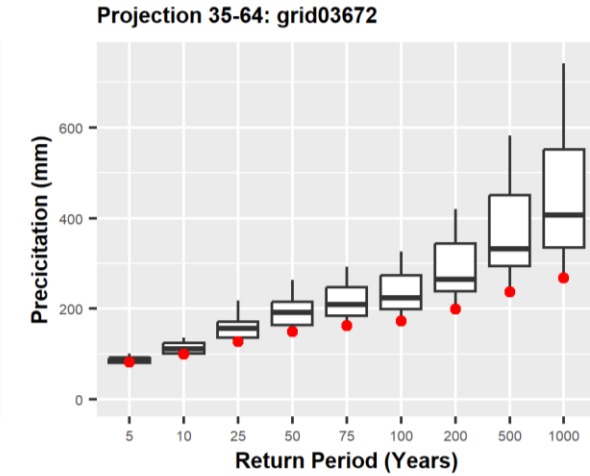
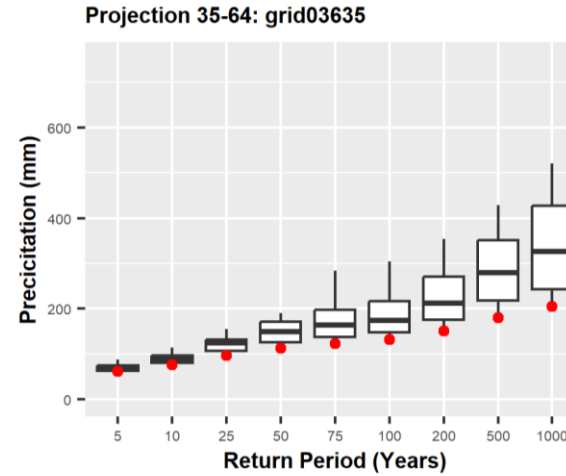
## Validación de caudales

697 tormentas desag.  
500 Eventos  
(Máximos anuales)



## Precipitaciones

- \_01\_MPI-M-MPI-ESM-LR\_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_02\_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_GERICS-REMO2015\_RCP\_85(40-70).txt
- \_03\_IPSL-IPSL-CM5A-MR\_GERICS-REMO2015\_RCP\_85(40-70).txt
- \_04\_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_CLMcom-CCLM4-8-17\_RCP\_85(40-70).txt
- \_05\_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_06\_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_KNMI-RACMO22E\_v2\_RCP\_85(40-70).txt
- \_07\_ICHEC-EC-EARTH\_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_08\_ICHEC-EC-EARTH\_KNMI-RACMO22E\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_09\_IPSL-IPSL-CM5A-MR\_KNMI-RACMO22E\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_10\_MOHC-HadGEM2-ES\_CLMcom-CCLM4-8-17\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_11\_MOHC-HadGEM2-ES\_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_12\_MOHC-HadGEM2-ES\_KNMI-RACMO22E\_v2\_RCP\_85(40-70).txt
- \_13\_MPI-M-MPI-ESM-LR\_CLMcom-CCLM4-8-17\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_14\_MPI-M-MPI-ESM-LR\_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_15\_MPI-M-MPI-ESM-LR\_KNMI-RACMO22E\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_16\_MPI-M-MPI-ESM-LR\_MPI-CSC-REMO2009\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_17\_NCC-NorESM1-M\_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1\_v1\_RCP\_85(40-70).txt
- \_18\_NCC-NorESM1-M\_GERICS-REMO2015\_v1\_RCP\_85(40-70).txt



## 2. Estimación del riesgo

Metodología de cálculo de riesgo aplicado a arrastre de vehículos y fallo de puentes



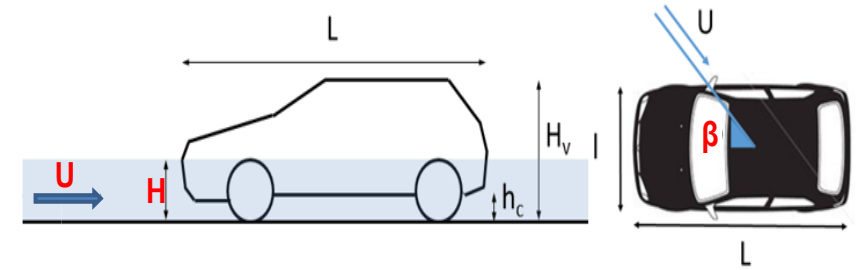
## Objetivo general

Desarrollar una metodología **lo más rigurosa posible** para establecer el riesgo de desestabilización de vehículos (zona de inundación y cruce de badenes) y de fallo de puentes debido a inundaciones y crecidas fluviales



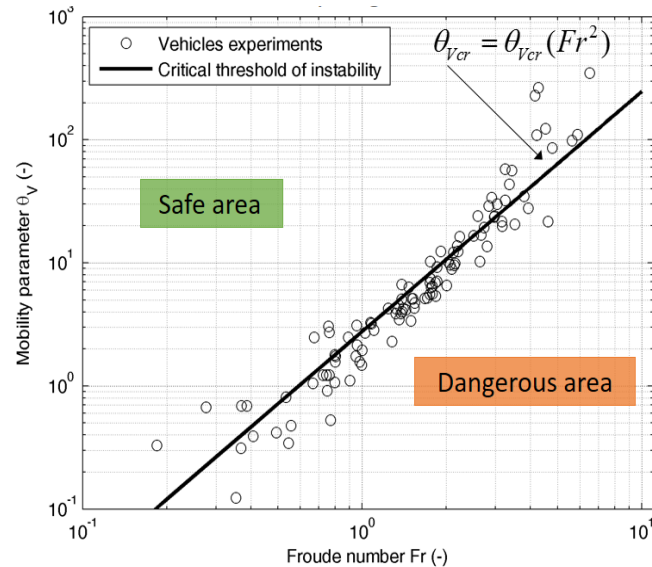
## Parámetro de Movilidad $\theta_V$

$$\theta_V = \frac{2L}{(H_v - h_c)} * \frac{l}{l * \cos\beta + L * \sin\beta} * \left( \frac{\rho_c * (H_v - h_c)}{\rho * (H - h_c)} - 1 \right)$$



## Umbral crítico $\theta_{Vcr}$ (H, U)

$$\theta_{Vcr} = 8.2 * Fr^2 - 14.1 * Fr + 5.4$$

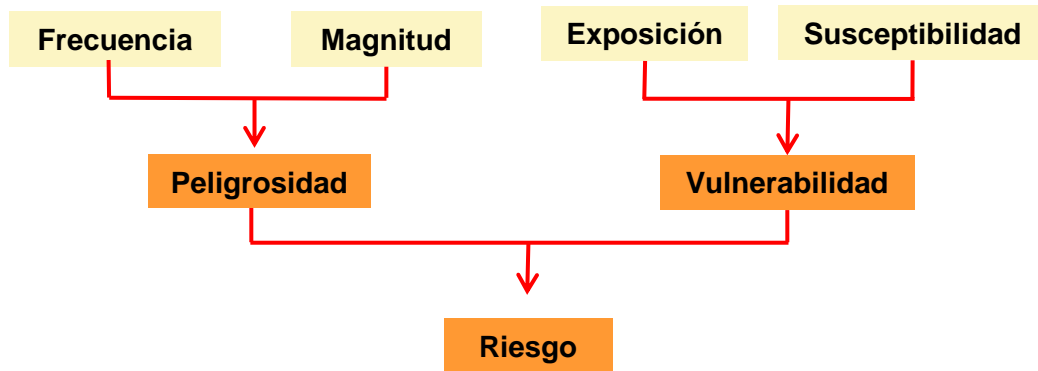


## Índice de estabilidad del vehículo:

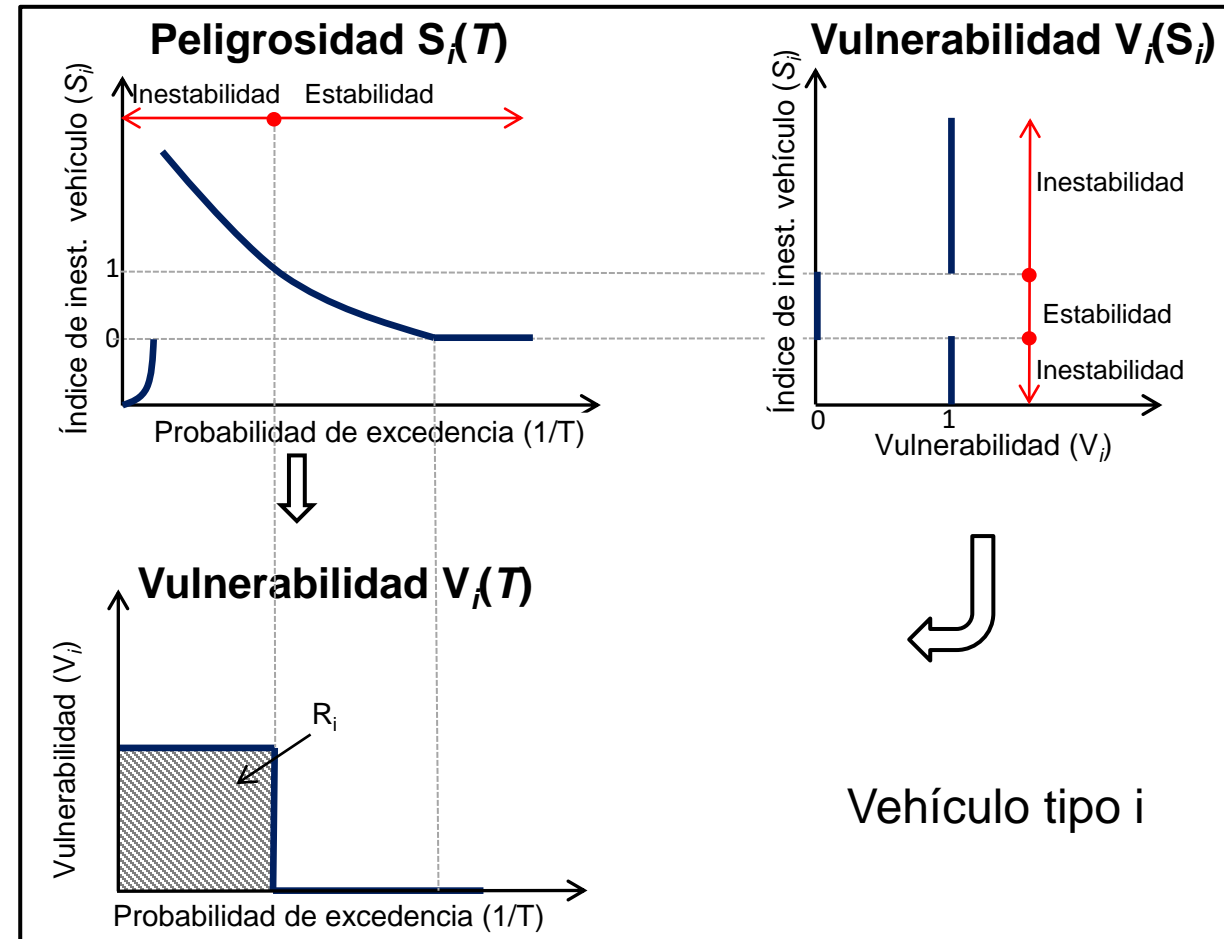
$S_i = \frac{\theta_{Vcr}}{\theta_V} =$	$\geq 1$	Movimiento por deslizamiento
	$\in [0, 1[$	<b>Estabilidad</b>
	$< 0$	Movimiento por flotación



Número medio anual de vehículos que perdería su estabilidad en la ZI por unidad de área



$$R = \sum_{i=1}^K d g_i \sum_{j=Tmin}^N D(s_i) \left( \frac{1}{T_{j-1}} - \frac{1}{T_j} \right)$$



UTILITARIO



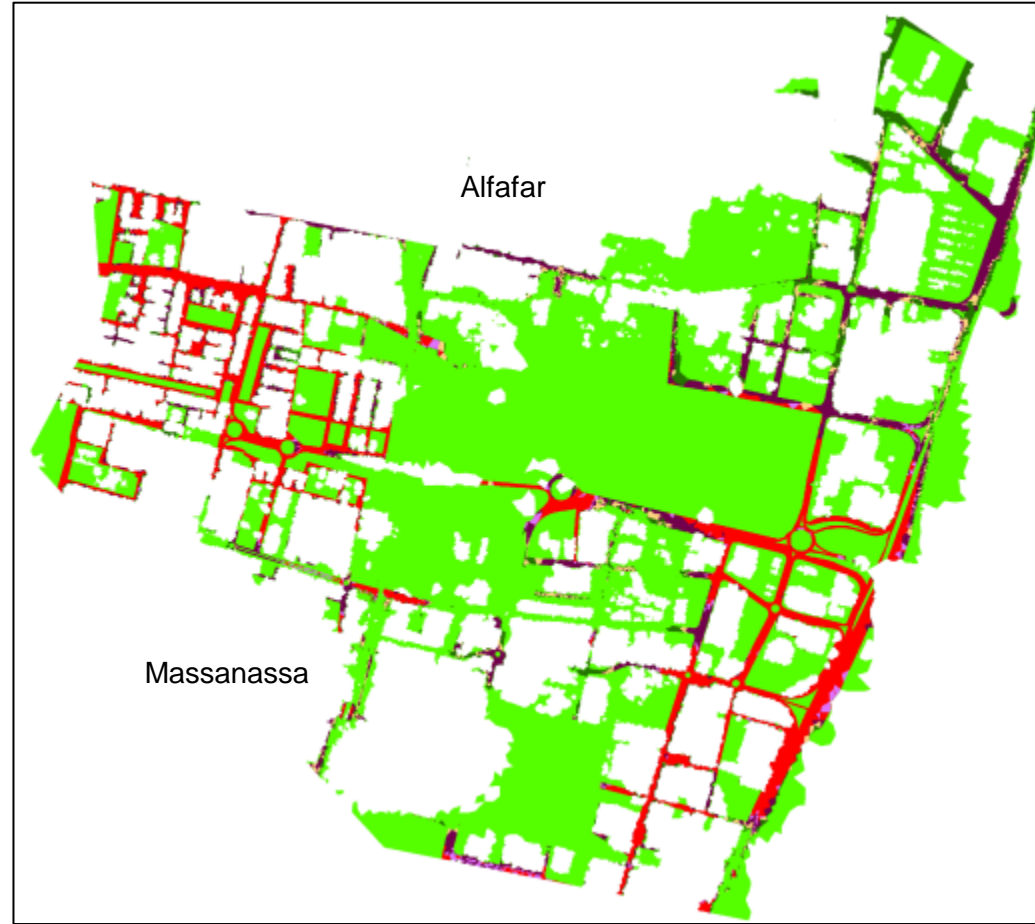
COMPACTO









SUV PEQUEÑO

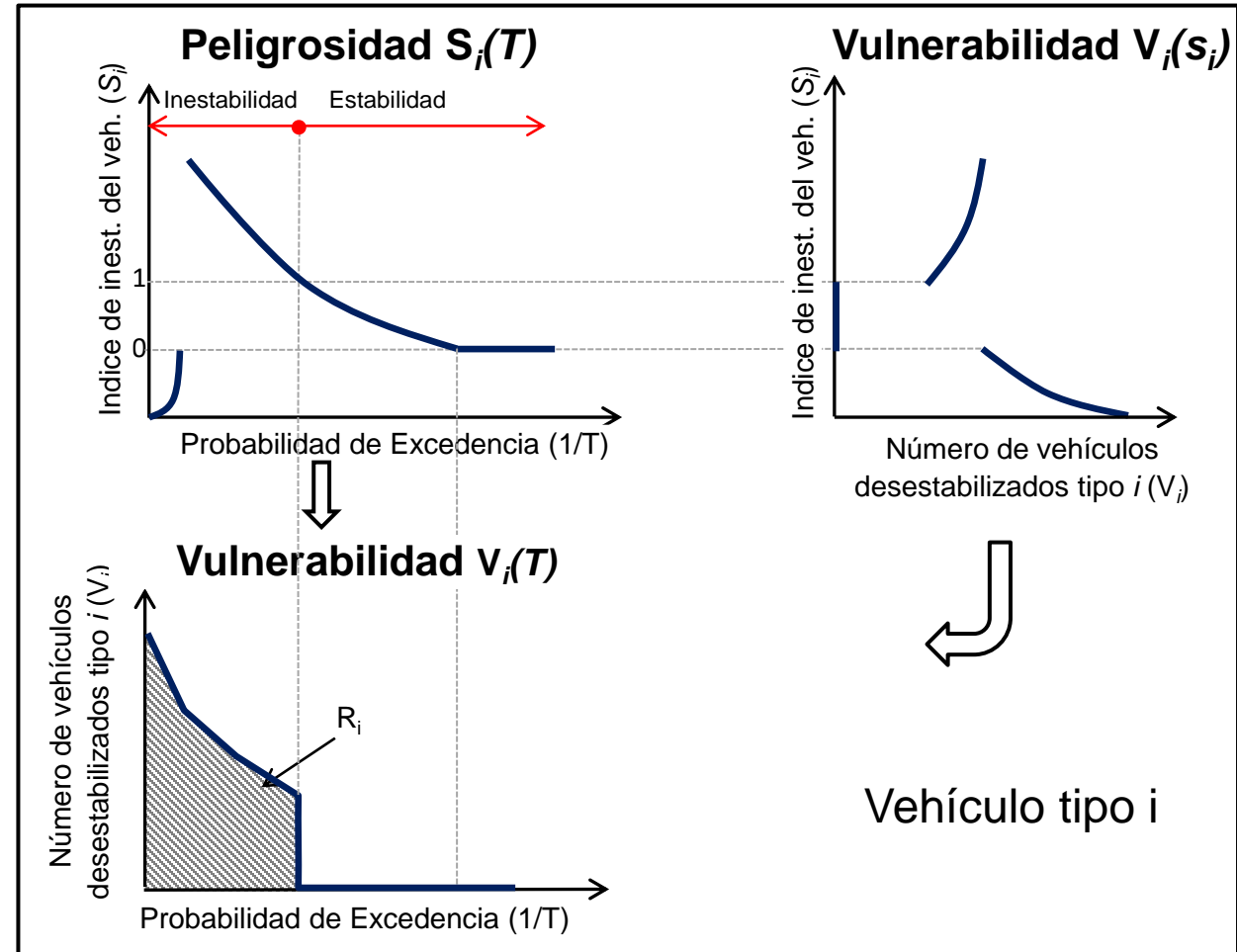
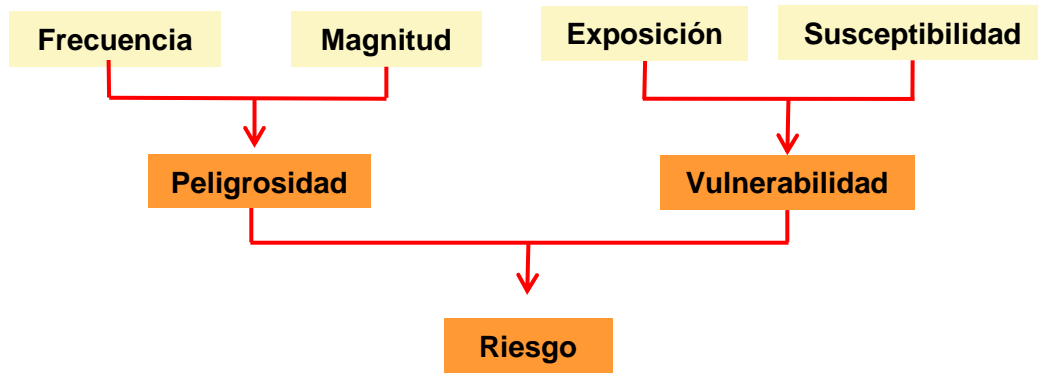


SUV MEDIANO

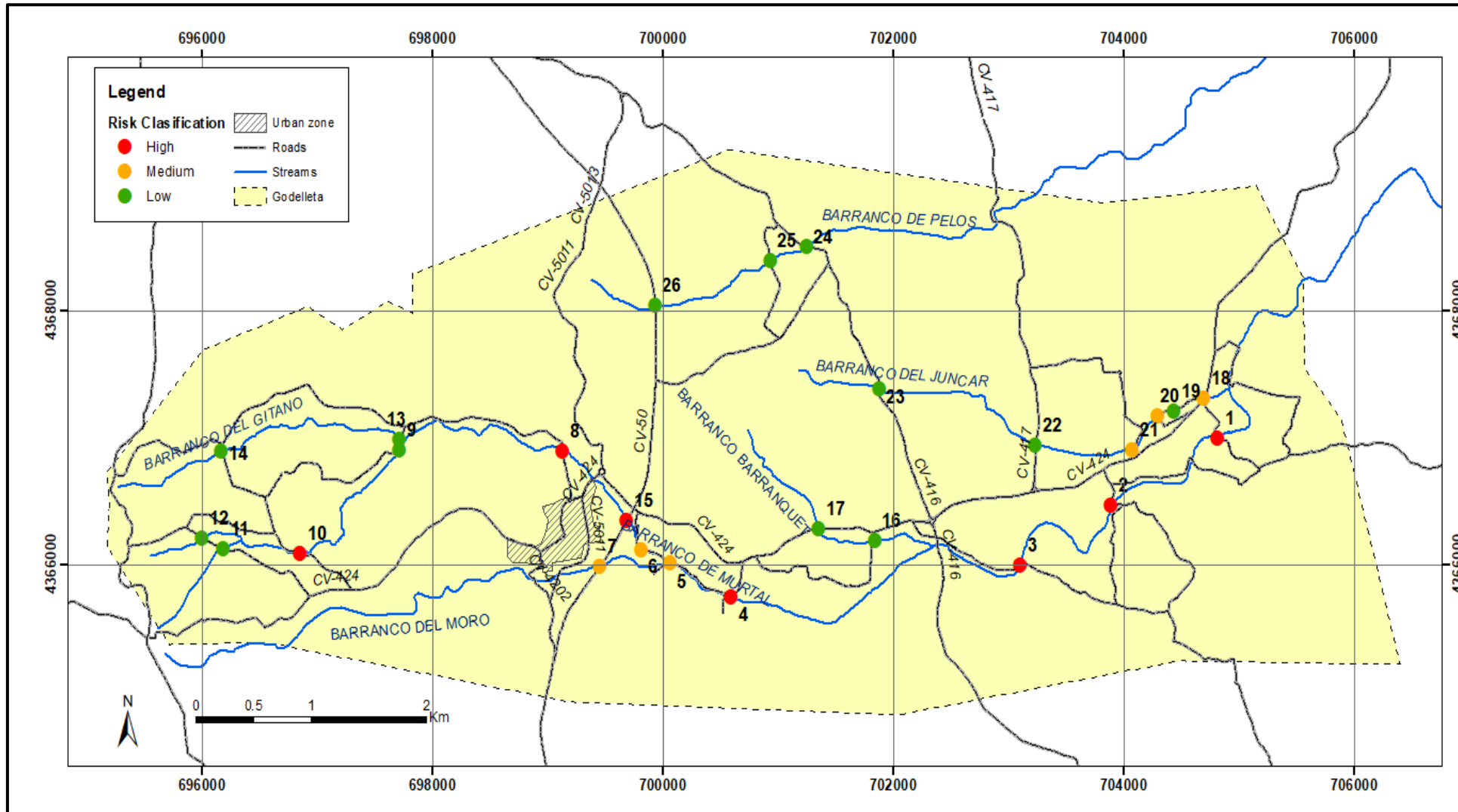


Riesgo Coche/Ha/año	
	0.0 – 1.4
	1.4 – 2.8
	2.8 – 4.2
	4.2 - 5.6
	5.6 – 7.0
	7.0 – 8.4

Número medio anual de vehículos que perdería su estabilidad en cada intersección entre ríos y vías

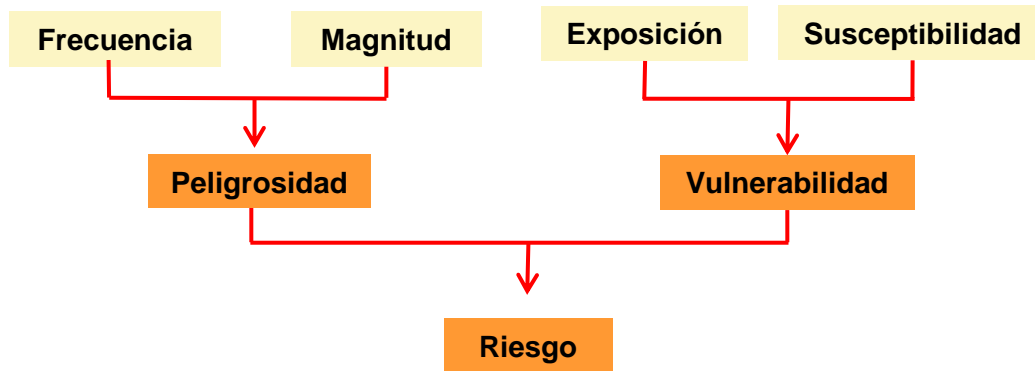


$$R = \sum_{i=1}^K \left\{ \left[ \sum_{j=0}^{M-1} \frac{V_i(s_{i,j}) + V_i(s_{i,j+1})}{2} \left( \frac{1}{T_j} - \frac{1}{T_{j+1}} \right) \right] + V_i(s_{i,T_M}) \left( \frac{1}{T_M} \right) \right\}$$

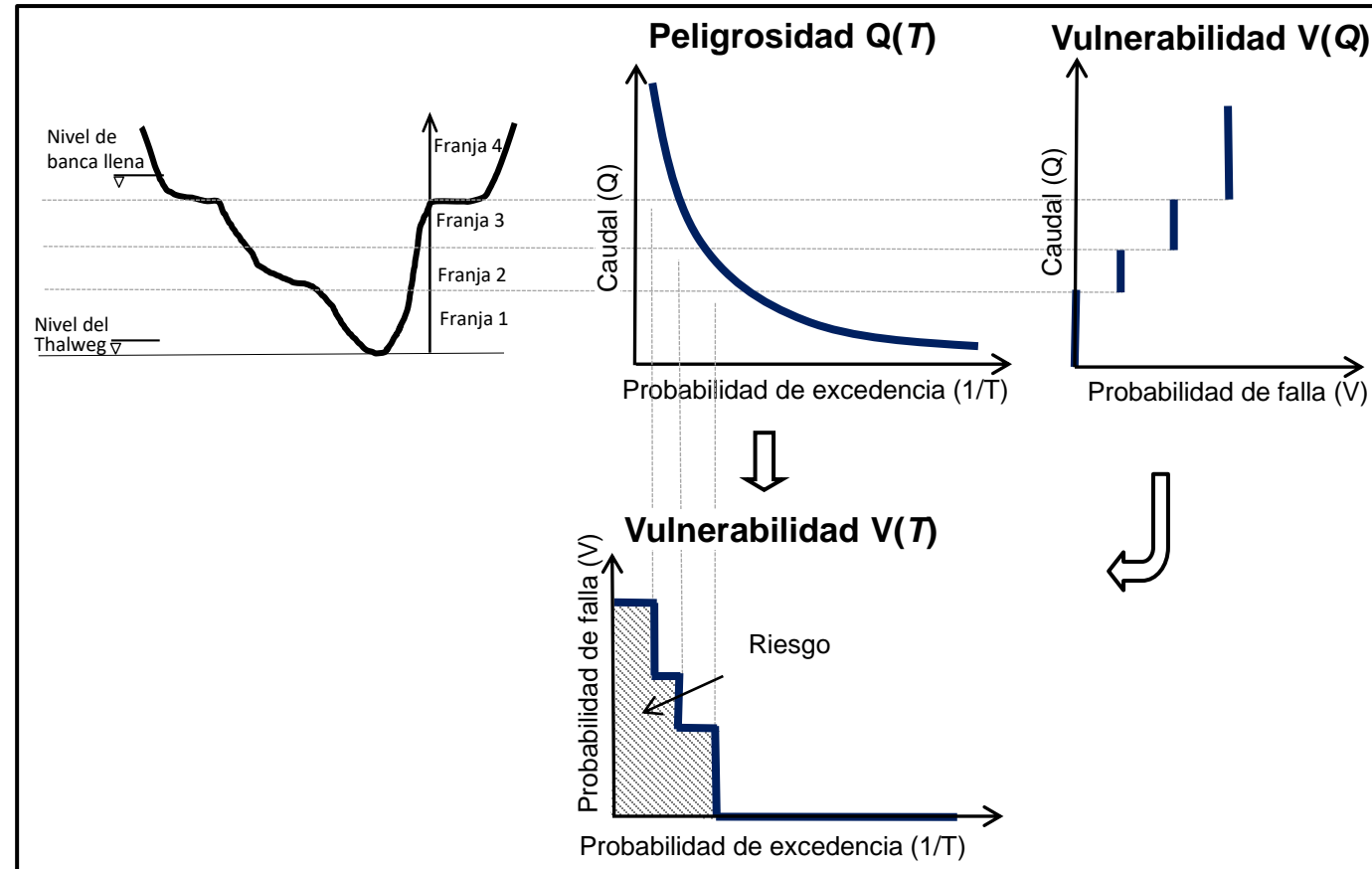


Puntos de intersección	Riesgo de inestabilidad de vehículos (Coches/año)	
	Real estimado	Potencial
1	0.35	4.67
2	0.21	1.85
3	0.22	3.80
4	1.12	2.37
5	0.11	2.99
6	0.11	0.46
7	0.16	2.21
8	0.65	2.13
9	0.08	1.56
10	0.39	0.48
11	0.01	0.02
12	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>
13	0.02	0.29
14	0.00	0.01
15	0.20	1.15
16	2*10 <sup>-4</sup>	0.004
17	5*10 <sup>-4</sup>	0.001
18	0.18	3.71
19	0.04	0.25
20	0.18	0.52
21	0.12	0.42
22	0.02	0.20
23	3*10 <sup>-4</sup>	3*10 <sup>-4</sup>
24	0.04	0.33
25	0.003	0.04
26	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>

Probabilidad cada año de fallo de la estructura



$$R = \sum_{i=2}^4 V_{Bb_i} F_s F_d F_t \Delta P_i + V_{Bs} F_d F_t P_s$$



Estado del puente	No.	Río	Caudal Banca Llena (m³/s)	Vulnerabilidad base de la estructura $V_B$ / Probabilidad de ocurrencia de caudales P				Factores multiplicadores			Riesgo	
				Parámetro	$V_{Bb}$			$V_{Bs}$	$F_s$	$F_d$		$F_t$
					Franjas Sec. Transv.							
				2	3	4						
En Funcionamiento	1	Ambroz	383	$V_B$	0.04	0.10	0.15	0.10	1.1	1.3	1.3	0.01
				P	0.24	0.01	0.00	0.00				
	2	Ebro	8798	$V_B$	0.15	0.40	0.60	0.50	1.1	1.0	1.1	0.04
				P	0.21	0.03	0.01	0.01				
	3	Eresma	2724	$V_B$	0.05	0.15	0.20	0.20	1.0	1.0	1.1	0.01
				P	0.25	0.00	0.00	0.00				
	4	Frío	39	$V_B$	0.30	0.60	0.70	0.70	1.1	1.3	1.3	0.09
				P	0.25	0.00	0.00	0.00				
	5	Genil	1522	$V_B$	0.15	0.40	0.60	0.50	1.1	1.1	1.1	0.09
				P	0.13	0.07	0.05	0.05				
6	Pisuerga	1207	$V_B$	0.15	0.40	0.60	0.50	1.0	1.0	1.3	0.03	
			P	0.25	0.00	0.00	0.00					
7	Pisuerga	648	$V_B$	0.15	0.40	0.60	0.50	1.1	1.0	1.1	0.03	
			P	0.23	0.02	0.00	0.00					
8	Segre	323	$V_B$	0.30	0.60	0.70	0.70	1.1	1.1	1.1	0.10	
			P	0.17	0.05	0.03	0.03					
9	Ucieza	94	$V_B$	0.15	0.40	0.60	0.50	1.1	1.1	1.1	0.06	
			P	0.16	0.07	0.02	0.02					
10	Ucieza	710	$V_B$	0.15	0.40	0.60	0.50	1.0	1.1	1.1	0.08	
			P	0.11	0.11	0.03	0.03					
Colapsado	11	Cervera	300	$V_B$	0.30	0.60	0.70	0.70	1.3	1.1	1.3	0.11
				P	0.19	0.02	0.03	0.03				
12	Girona	147	$V_B$	0.30	0.60	0.70	0.70	1.3	1.1	1.3	0.14	
			P	0.12	0.05	0.08	0.08					

La franja 1 está localizada por debajo de  $T_{min}$ .

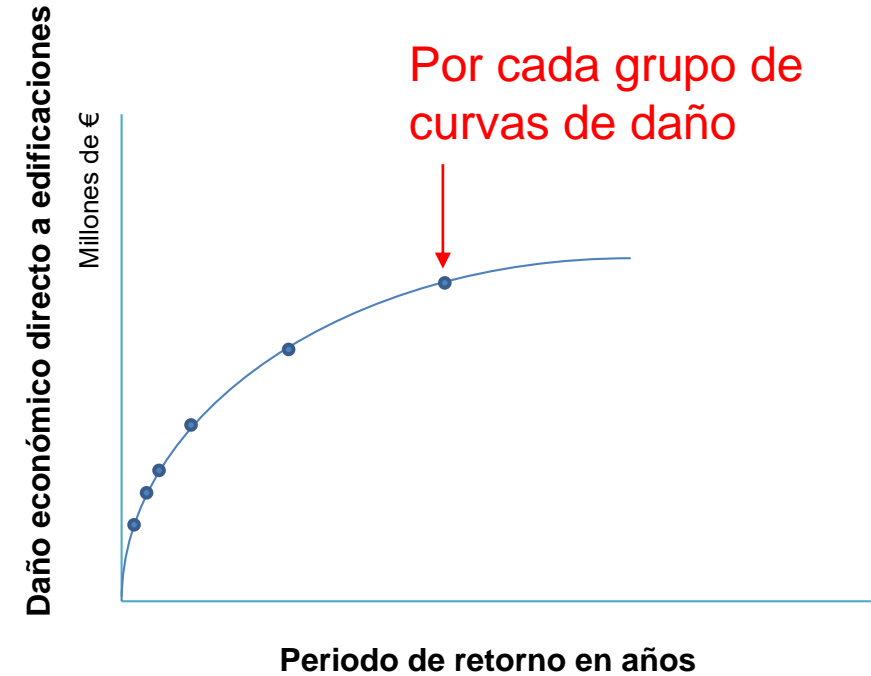
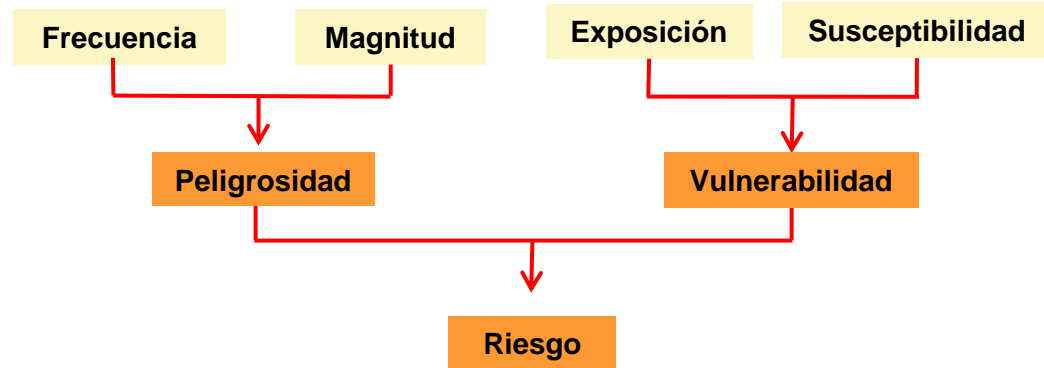
$T_{min}$  = 7 años, el cual, de acuerdo con Martín Vide (2003), es el límite superior del rango de los  $T_r$  en el que podrían fluctuar los caudales dominantes de los ríos españoles



## 2. Estimación del riesgo

Metodología de cálculo de riesgo aplicado a edificaciones





*Densidad de riesgo*

$$R(\text{€}/\text{año}/\text{m}^2) = \int_{F=0}^{F=1} V(h) dF_H = \int_{h=0}^{h=\infty} V(h) f_H(h) dh$$

*Aproximación*

$$R \approx V(h_{10}) \left[ \frac{1}{T_{min}} - \frac{1}{10} \right] + V(h_{25}) \left[ \frac{1}{10} - \frac{1}{25} \right] + V(h_{100}) \left[ \frac{1}{25} - \frac{1}{100} \right] + V(h_{300}) \left[ \frac{1}{100} - \frac{1}{300} \right] + V(h_{500}) \left[ \frac{1}{300} - \frac{1}{500} \right]$$

Modelo hidrodinámico  
1D/2D

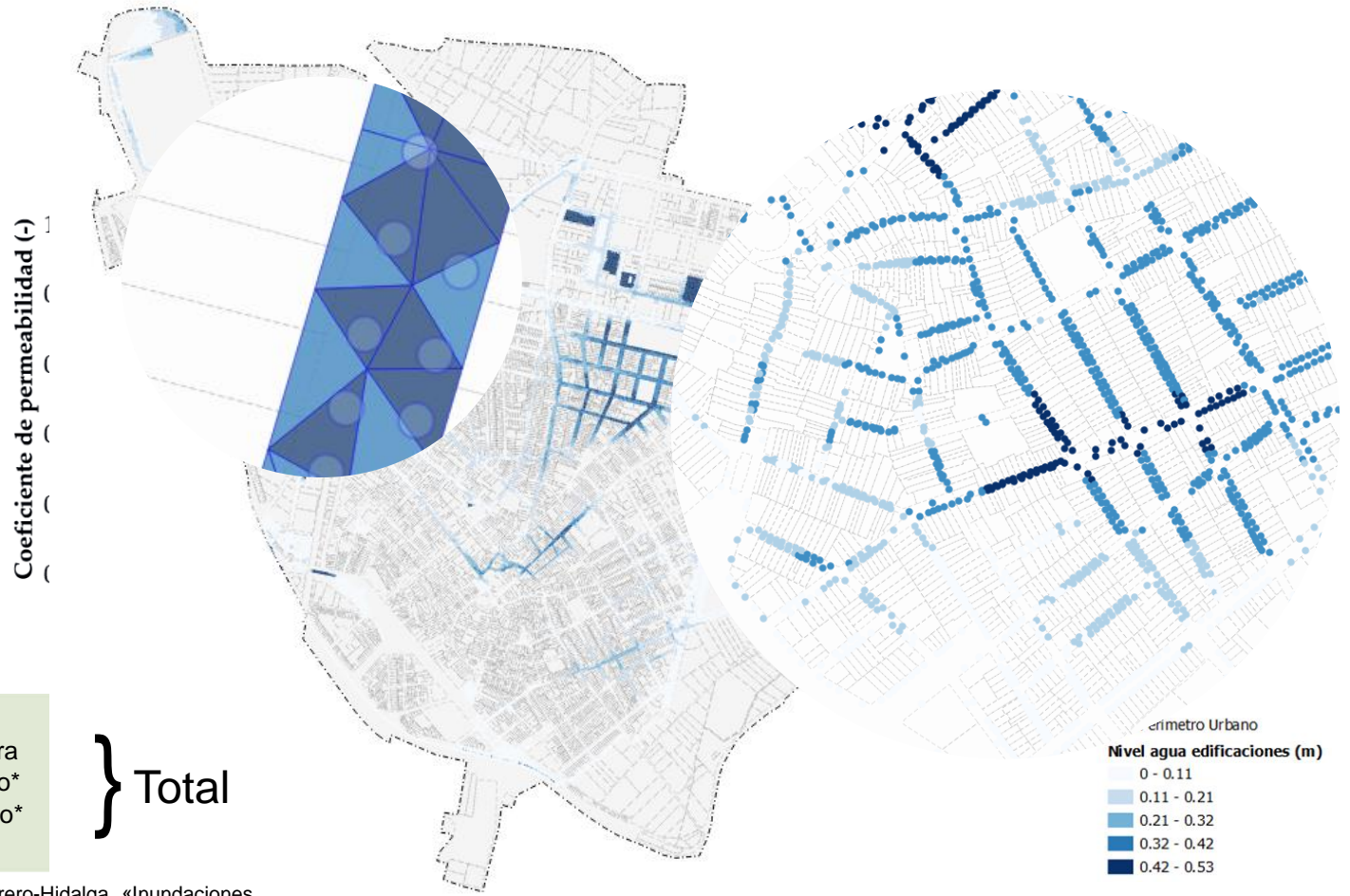
Coefficiente de sellado

Profundidad entrada

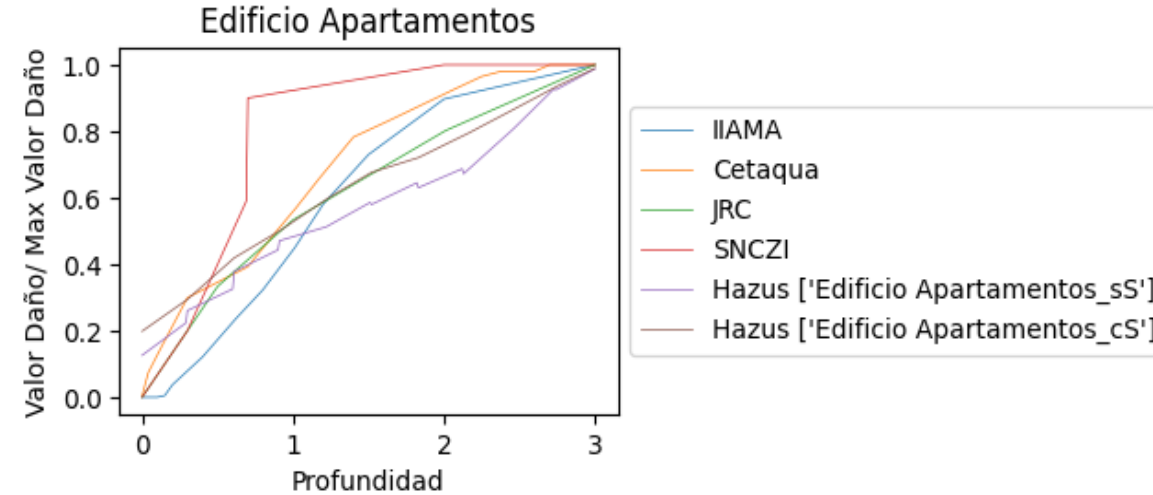
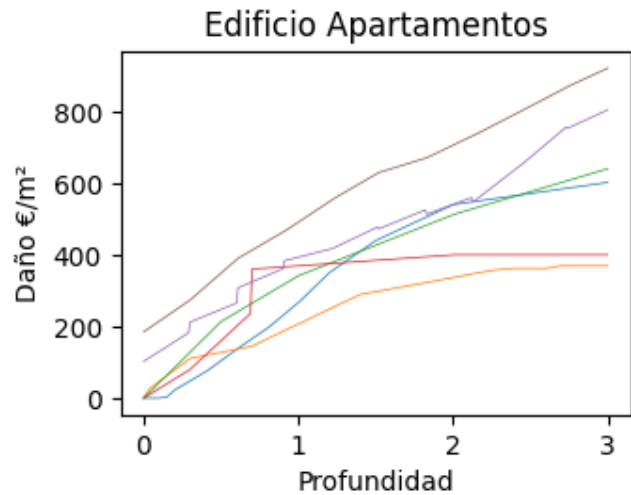
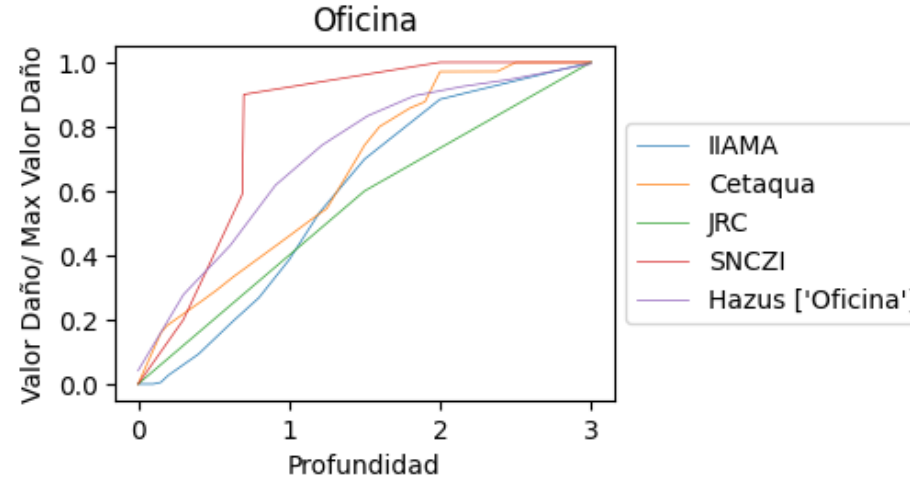
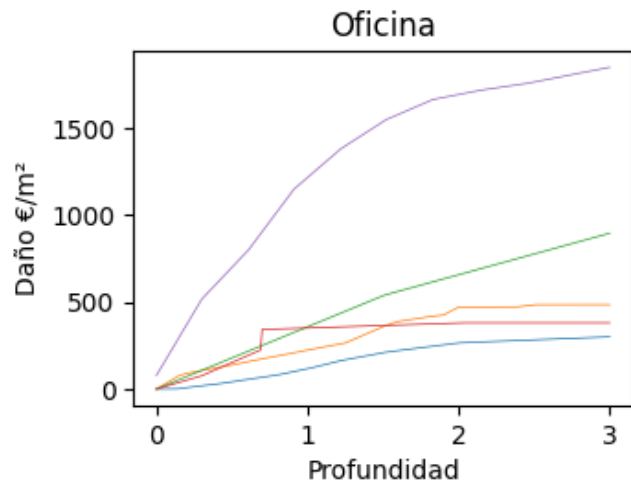
Daño coste directo total  
para cada PR y cada tipo  
de uso de la edificación

- Se c...
- Se a...
- punt...

- Estructura
- Mobiliario\*
- Inventario\*



Martínez-Gomariz y Guerrero-Hidalga, «Inundaciones pluviales en zonas urbanas españolas: un modelo de estimación de daños basado en la experiencia pericial».







# Gracias por su atención!

Grupo de investigación de modelación hidrológica y ambiental

[lluvia.dihma.upv.es](mailto:lluvia.dihma.upv.es)

Instituto de ingeniería del agua y medio ambiente

Universitat Politècnica de València

Este trabajo ha estado financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España a través del proyecto de investigación TETISCHANGE (RTI2018-093717-B-100), y por el proyecto EPHIMED (CGL2017-86839-C3-1-R) (cofinanciado con fondos Europeos FEDER).

