

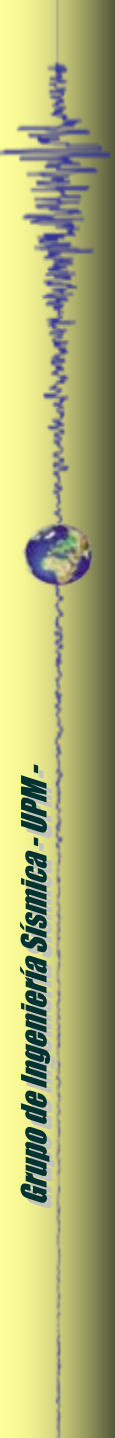
ÚLTIMOS AVANCES EN ESTUDIOS DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA

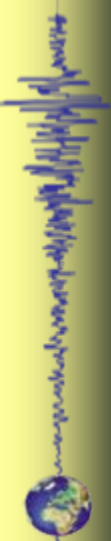
M^a Belén Benito Oteríno
Patrick Murphy
Jorge Gaspar Escribano
Alicia Rivas



Índice

- Definición y conceptos generales
- Directriz Básica de Protección Civil
- Planteamiento de estudios de riesgo a nivel autonómico
- Pautas para estudios de riesgo a nivel municipal
- La situación en España
- Líneas de investigación abiertas
- Recomendaciones y conclusiones hacia la mitigación del riesgo





Conceptos teóricos

Riesgo Sísmico

Peligrosidad * Vulnerabilidad* exposición *coste

Peligrosidad: Movimiento esperado con cierta probabilidad durante tiempo t

Vulnerabilidad: capacidad de daño de la estructura ante cierto movimiento

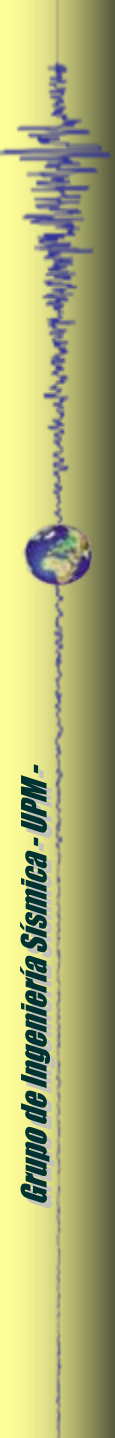
Exposición: densidad de población y/o de edificios en la zona

Coste: Valor económico de la reparación de daños

La vulnerabilidad se puede reducir



El riesgo se puede controlar



El terremoto es un fenómeno natural

El desastre no es natural

Estudios de Riesgo: Visión General

Riesgo = Probabilidad de un evento × Perdidas asociadas al evento

Riesgo sísmico = Probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico × exposición × vulnerabilidad × costes

Escenarios de riesgo
(Daños a los edificios
/infraestructuras;
Pérdidas económicas
Pérdidas humanas)

= Peligrosidad sísmica

× Actividad humana

× Edificios e
Infraestructuras
expuestas

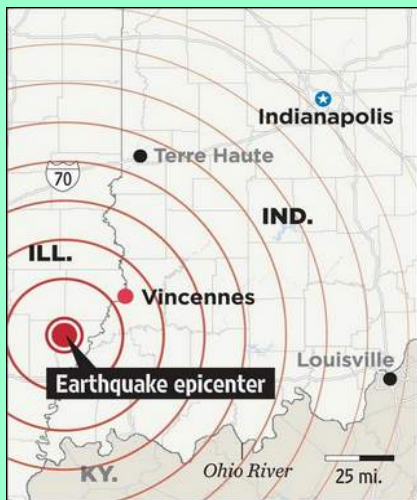
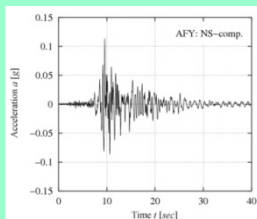
× Costes
de reparar
/ reconstruir

Estudios de Riesgo: Visión General

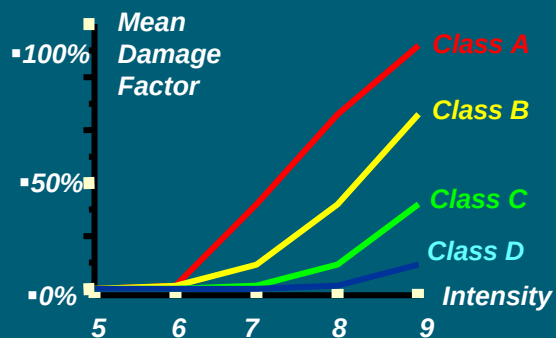
Riesgo Sísmico

Peligrosidad

Amenaza



Vulnerabilidad



Edificios – Población -Economía

Riesgo Daños



+ pérdidas económicas



+ pérdidas humanas



Estudios de Riesgo: Visión General

¿Por qué son necesarios los escenarios de riesgos ?

¿Para qué predecir las pérdidas en el futuro ?

“ Evaluar el riesgo es la única forma de establecer una base que permita la toma de decisiones sobre posibles terremotos “
(McGuire, 2004)

Objetivo Principal: *Reducir las pérdidas en el futuro mediante*

⇒ Mejorar la conciencia social en relación al riesgo

⇒ Mejorar el nivel de construcción

⇒ Mejorar la respuesta a las emergencias (planificación de desastres)

⇒ Mayor acceso a los seguros (GEM, 2008)

El desconocimiento nos hace vulnerables

‘Jamás tendrá esta ciudad murallas que la defiendan de estas y otras mayores invasiones mientras se mantengan en pié las de la casa de comedias’

Tomás, Obispo de Cádiz, 4 noviembre 1755



Estudios de Riesgo: Visión General

¿Cómo se obtiene el daño en los edificios/infraestructuras ?

Métodos Empíricos



Métodos Analíticos

"intensity" approach
(basado en juicio de expertos)

"spectral displacement" approach
(basado en cálculos analíticos)

Principal Diferencia:

Forma de expresar el movimiento del suelo!



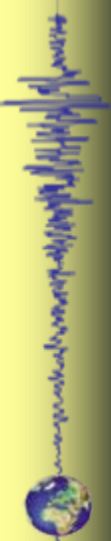
Intensidad I (MSK, EMS, MMI)
o la Aceleración (PGA, SA (T))

e.g., aproximaciones que usan MMI y
matrices de probabilidad de daño
DPM (proyecto RADIUS)



Aceleración espectral PGA, S_a
Desplazamiento espectral S_d

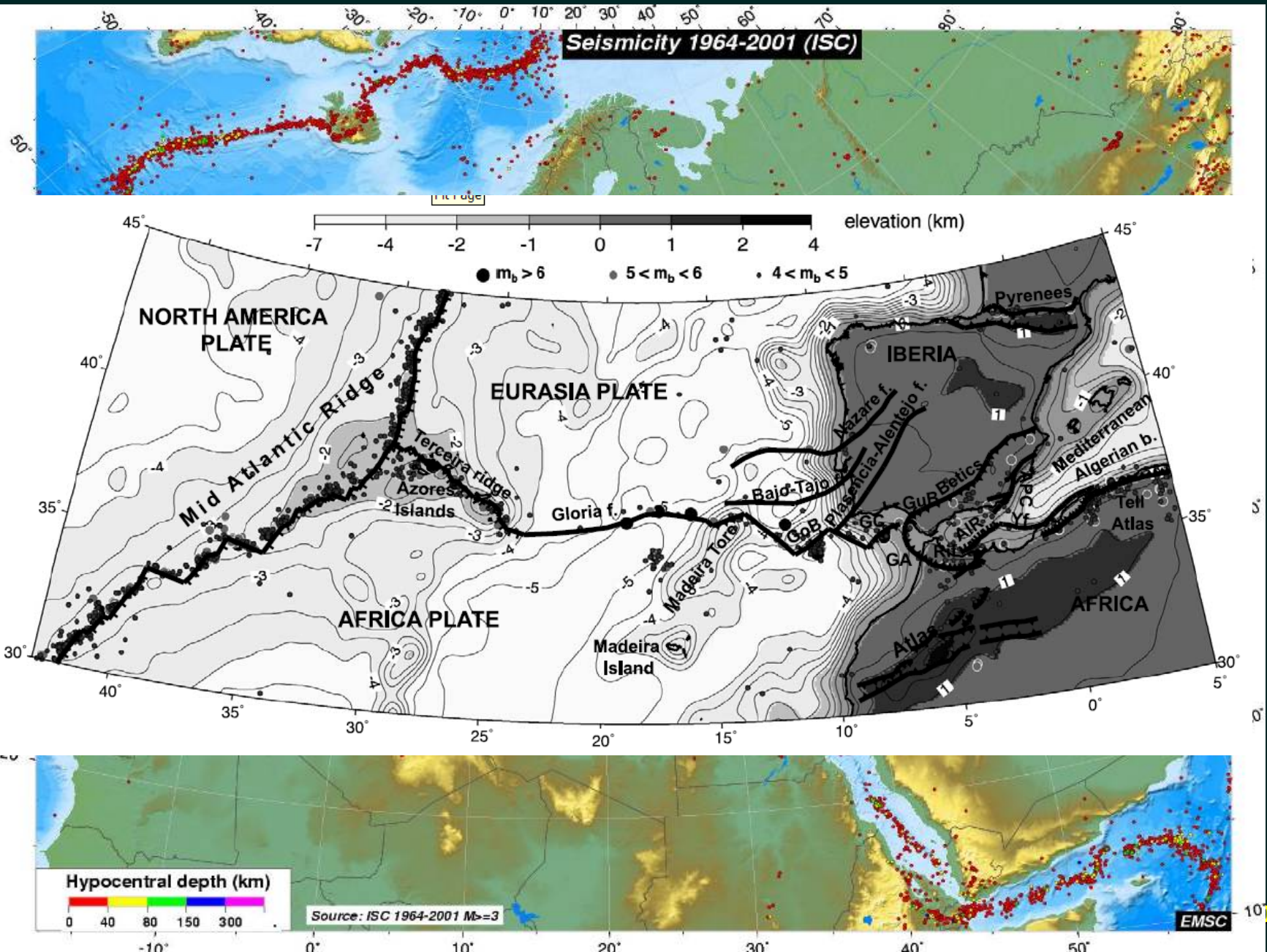
e.g., aproximaciones basadas en
estados de daño debido a
desplazamientos espectrales S_d
(HAZUS-MH; SELINA)

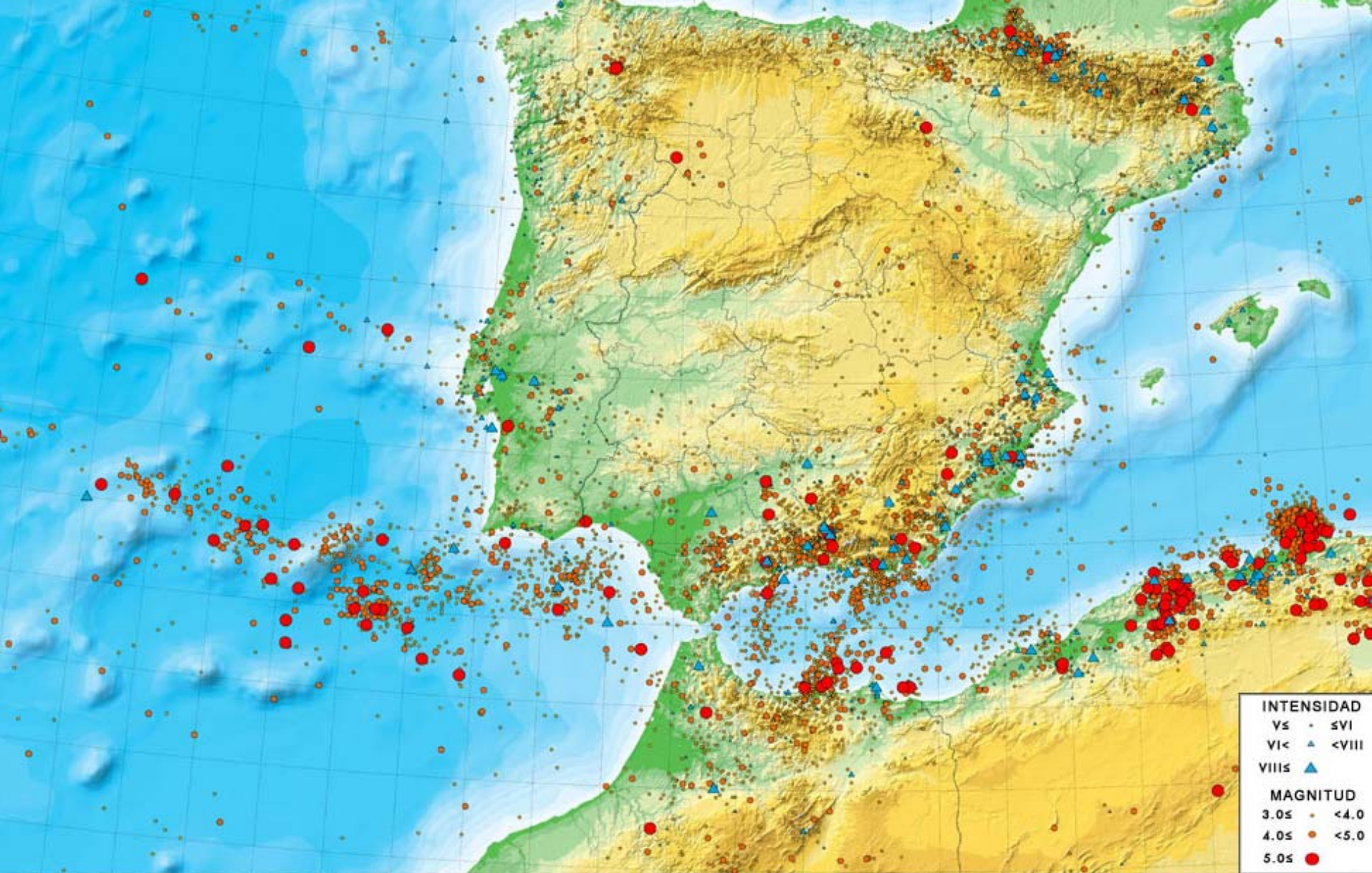


Condicionantes en España

Sismicidad y tectónica

La península en la tectónica regional – sismicidad





TERREMOTOS

DATOS DE INTERÉS

MAPA DE SISMICIDAD 1850-1900

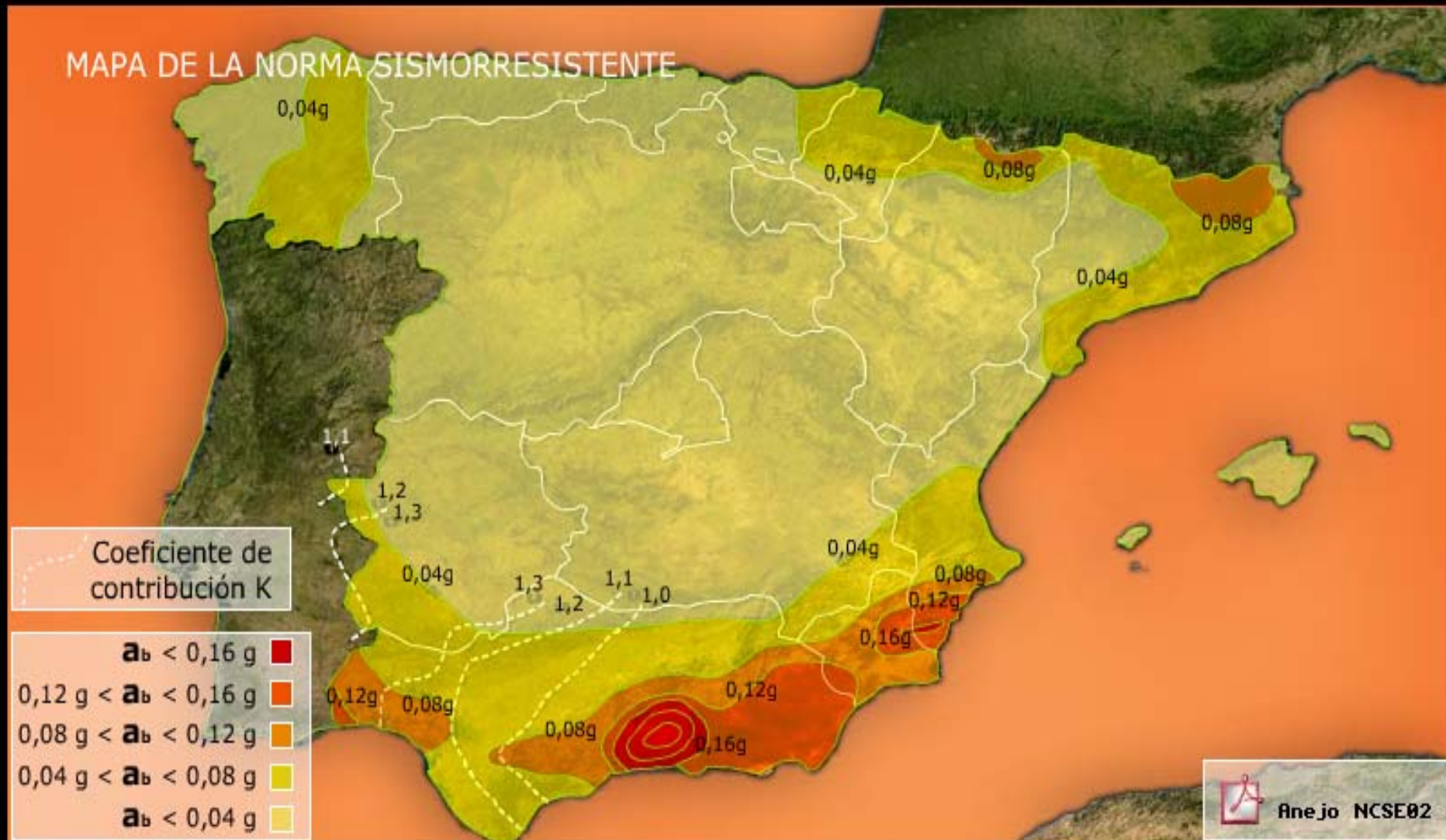
MAPA DE PELIGROSIDAD SISMICA

MAPA DE LAS ISLAS CANARIAS

SISMICIDAD LOCALIZADA ENTRE 1985 Y 2002

MAPA DE LA NORMA SISMORRESISTENTE

MAPA DE LA NORMA SISMORRESISTENTE





Pérdidas estimadas por terremotos (2004 - 2033)

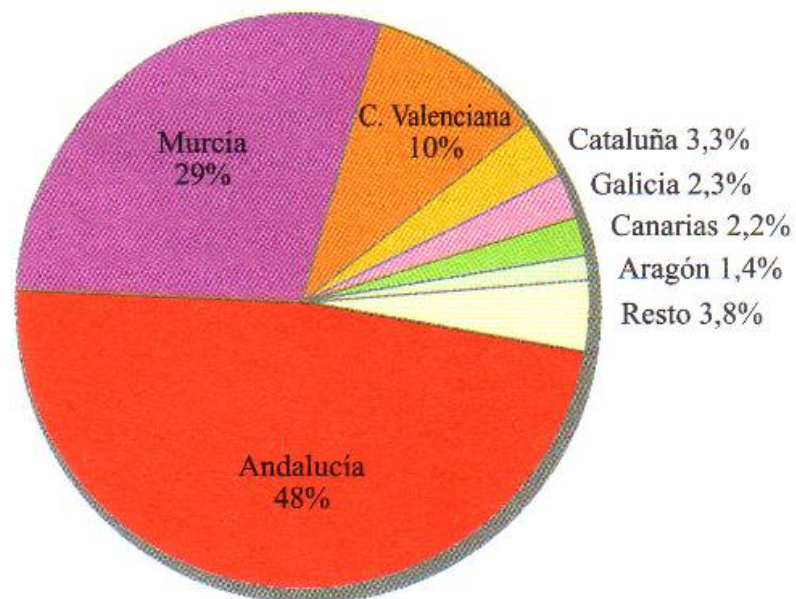


Figura 3.15. Distribución por comunidades autónomas de las pérdidas por terremotos estimadas para el período 2004-2033

Índice

- Definición y conceptos generales
- **Directriz Básica de Protección Civil**
- Planteamiento de estudios de riesgo a nivel autonómico
- Pautas para estudios de riesgo a nivel municipal
- La situación en España
- Líneas de investigación abiertas
- Recomendaciones y conclusiones hacia la mitigación del riesgo

Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo sísmico, 1995, 2004)

3 NIVELES DE ACTUACIÓN:

1. Nacional:

Mapa de intensidades esperadas.

Identifica regiones donde deben desarrollarse planes regionales ($I \geq VI$).

2. Regional:

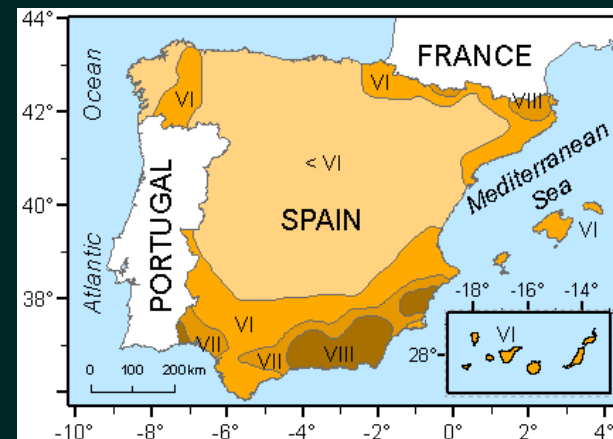
A desarrollar por administraciones **regionales**.

Decisión sobre el plan de emergencia a adoptar.

3. Local (municipal):

A desarrollar por administraciones **locales**.

Obligatorio en municipios con alto riesgo, como resultado del estudio a nivel Regional.



Índice

- Definición y conceptos generales
- Directriz Básica de Protección Civil
- **Planteamiento de estudios de riesgo a nivel autonómico**
- Pautas para estudios de riesgo a nivel municipal
- La situación en España
- Líneas de investigación abiertas
- Recomendaciones y conclusiones hacia la mitigación del riesgo

OBJETIVO GLOBAL

Estimación del Riesgo, como daño esperado ante el movimiento probable con periodo de retorno de 475 años (probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años) como consecuencia de terremotos en la provincia o áreas circundantes.



Identificar áreas con mayor riesgo relativo en la provincia donde deba desarrollarse un nivel local



Definir escenarios específicos de daños y criterios para desarrollo de planes de emergencia

ORGANIGRAMA GENERAL

PELIGROSIDAD SÍSMICA

Mapas de PGA y SA

ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Clasificación de Suelos
Factores amplificación local

VULNERABILIDAD SÍSMICA

Asignación de clases
EMS-98

Mapas

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO

Mapas de PGA y SA
con efecto local

Construcción BD
con información de
edificación para cada
entidad poblacional

Parámetro
movimiento

Nº viviendas
clase A

Nº viviendas
clase B

Nº viviendas
clase C

Nº viviendas
clase D

MPD / Curvas
Fragilidad

Distribución
Daño A

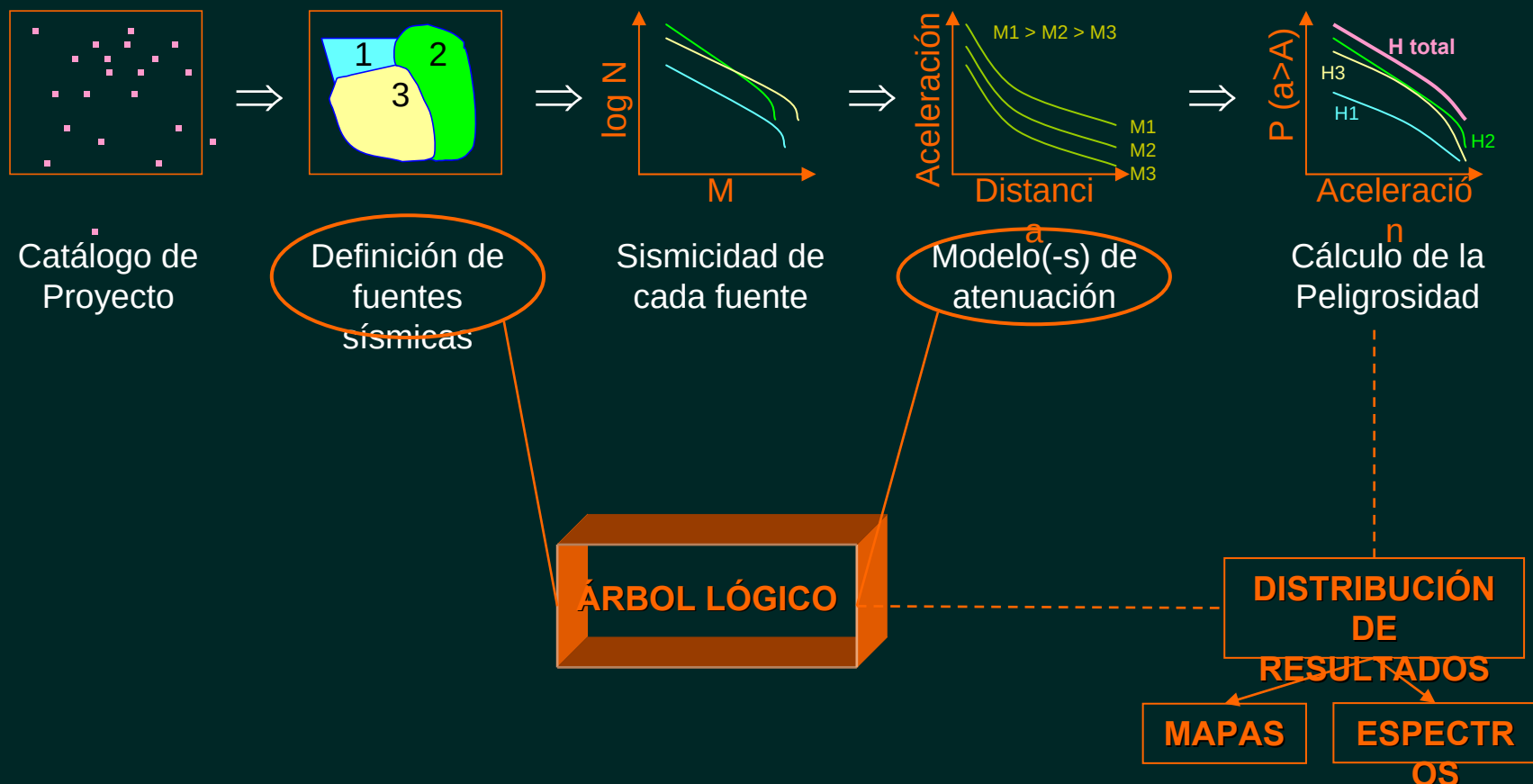
Distribución
Daño B

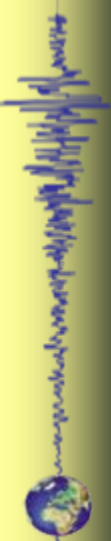
Distribución
Daño C

Distribución
Daño D

Distribución
Daño Total

EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA EN ROCA

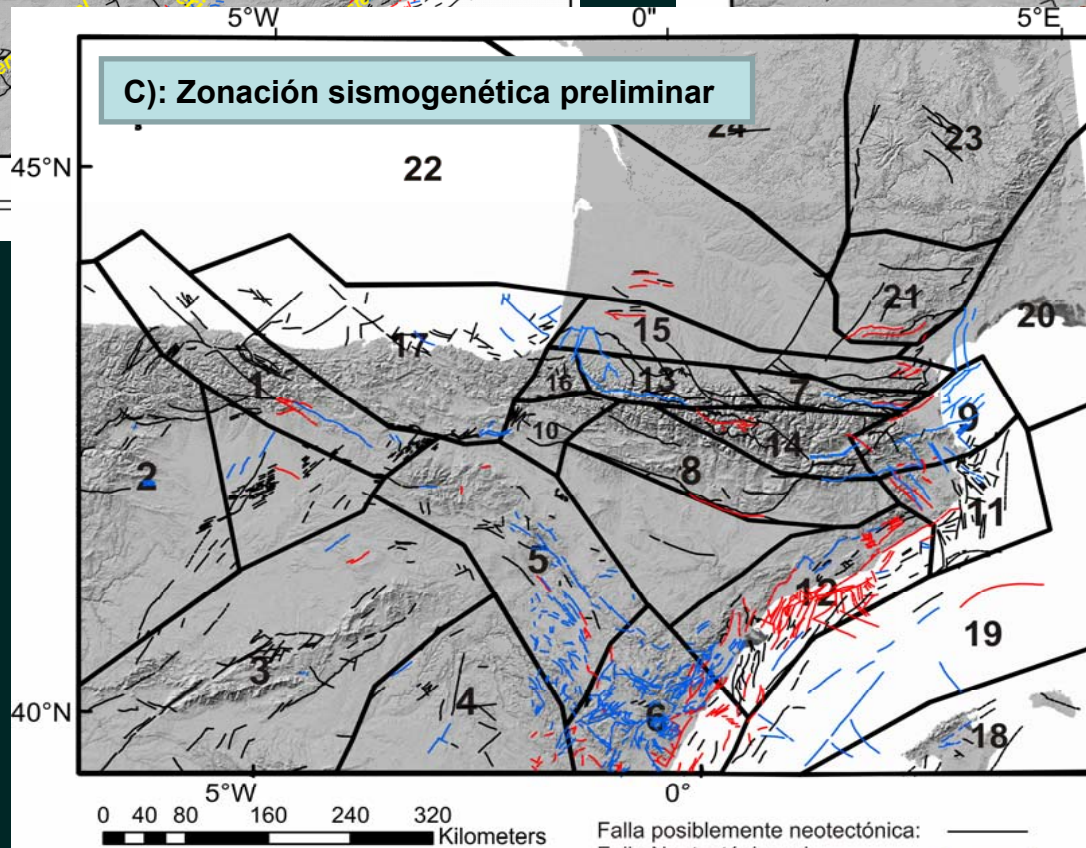
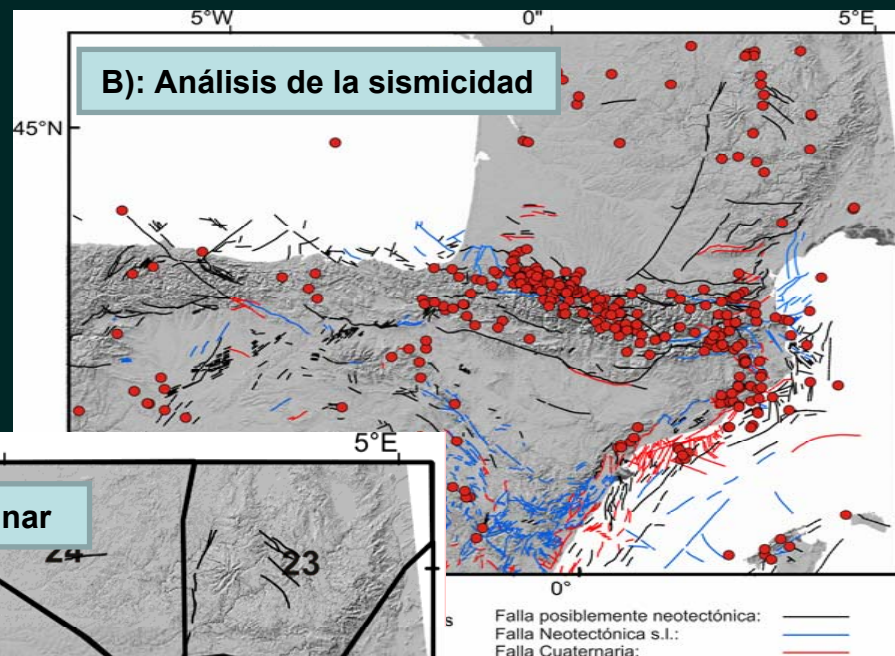
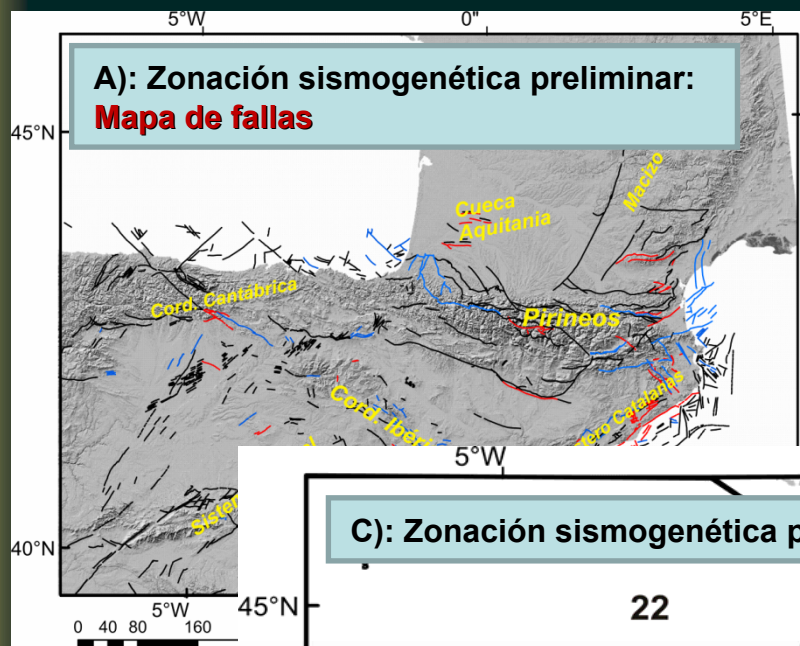




Ejemplo de estudio de riesgo sísmico en Navarra

Identificación de fallas geológicas

Análisis de la sismicidad



**Definición de zonas
sismogenéticas**

RESULTADOS: MAPAS DEL MOVIMIENTO ESPERADO EN ROCA (10 % PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN 50 AÑOS)

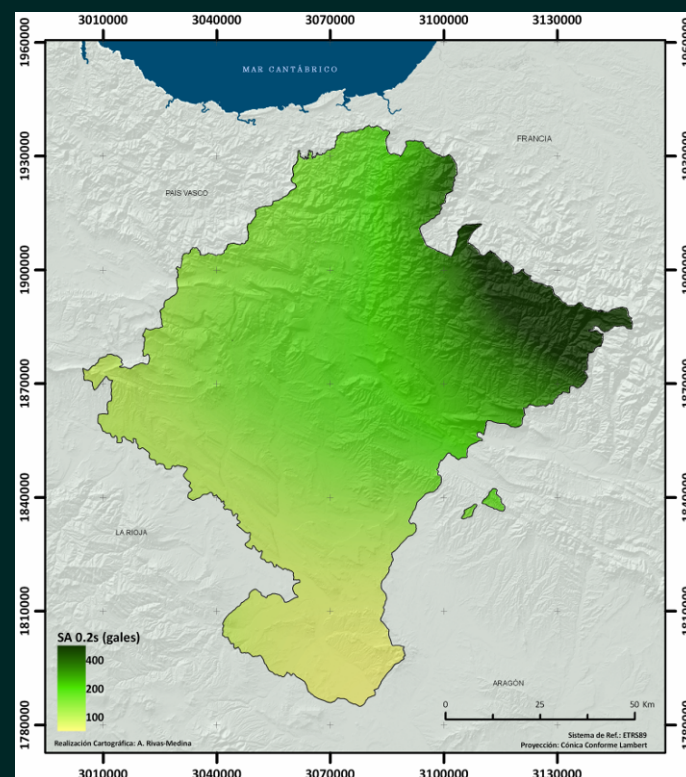
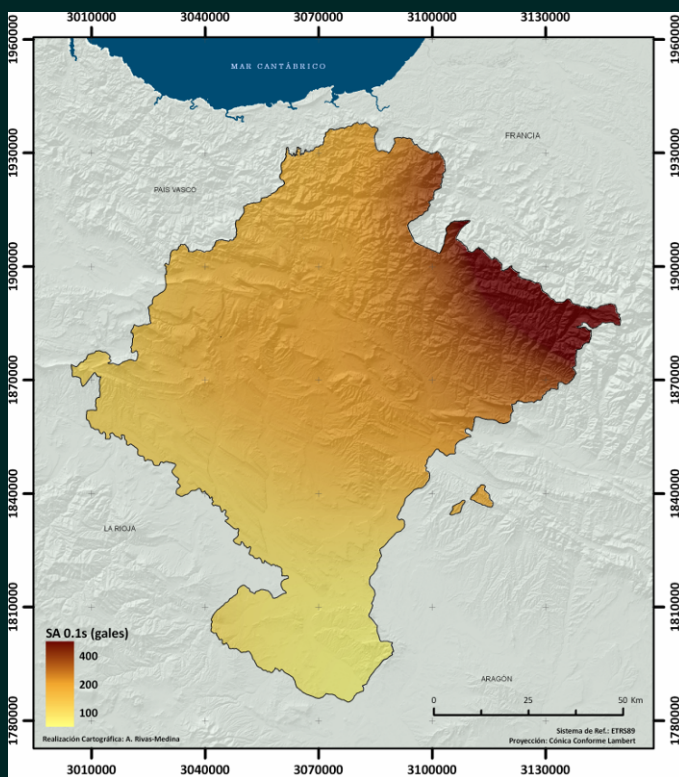
Aceleraciones pico y espectrales

PGA (gal)

Varía entre 75 y 450 gales

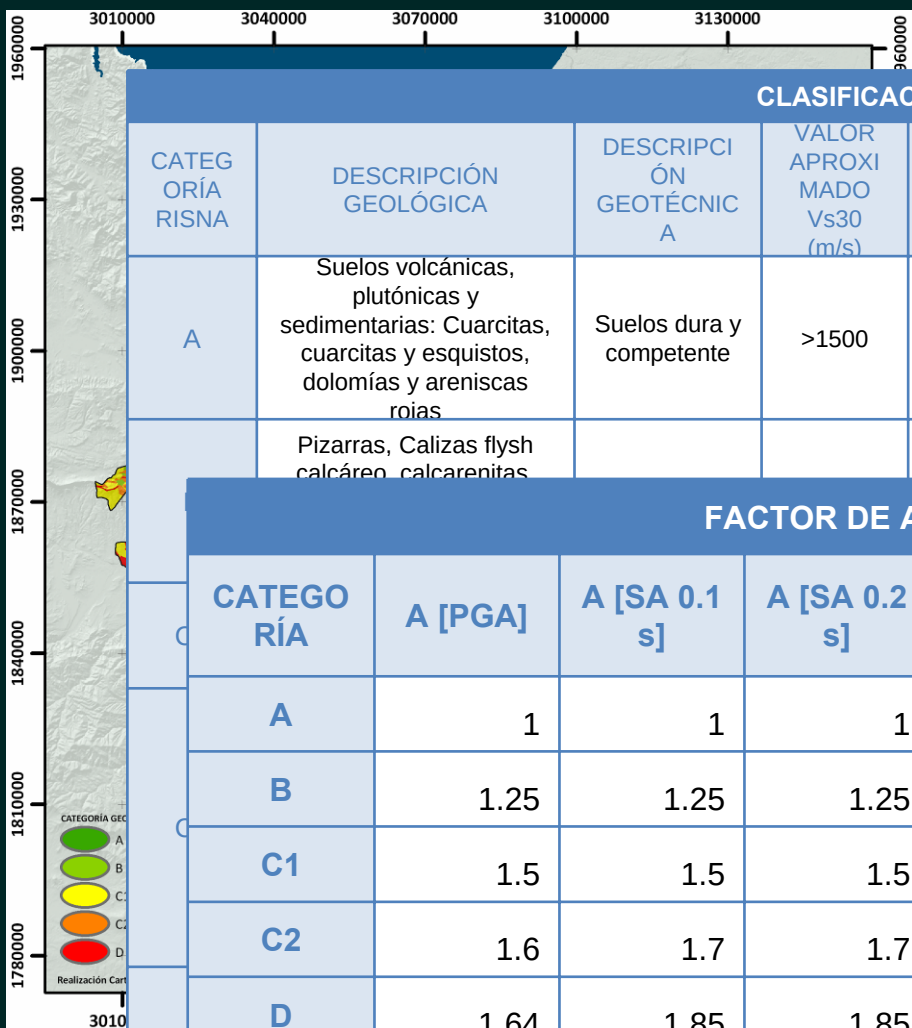
SA(0.2s)

Varía entre 75 y 450 gales



ANÁLISIS GEOTÉCNICO: Cuantificación de la amplificación local

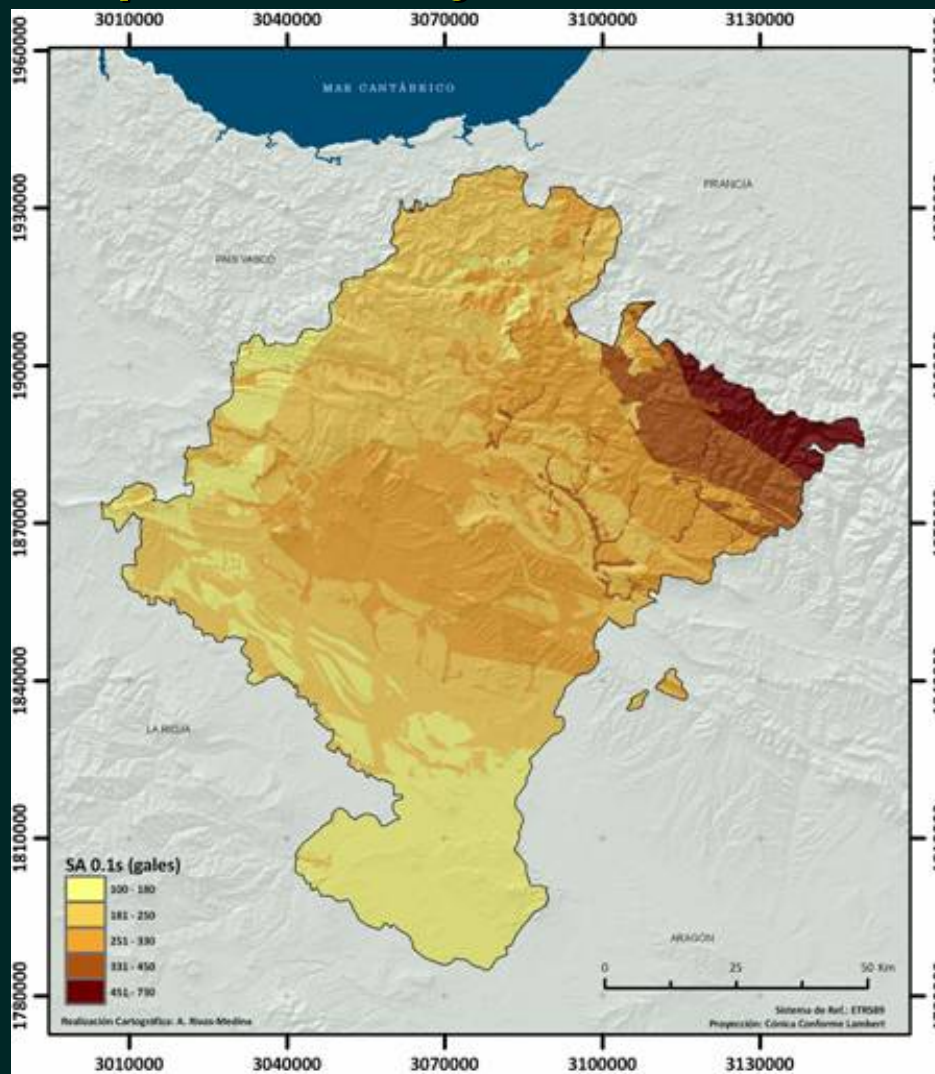
CLASIFICACIÓN RISNA						
CATEGORÍA RISNA	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA	VALOR APROXIMADO V_{s30} (m/s)	AMPLIFICACIÓN RELATIVA	CLASIFICACIÓN FEMA (NEHRP-2003)	CLASIFICACIÓN EUROCODE 8
A	Suelos volcánicos, plutónicos y sedimentarios: Cuarcitas, cuarcitas y esquistos, dolomías y areniscas rojas	Suelos dura y competente	>1500	Nula	A	A



CLASIFICACIÓN RISNA							
CATEGORÍA RISNA	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA	VALOR APROXIMADO V_{s30} (m/s)	AMPLIFICACIÓN RELATIVA	CLASIFICACIÓN FEMA (NEHRP-2003)	CLASIFICACIÓN EUROCODE 8	CLASIFICACIÓN NCSE-02
A	Suelos volcánicos, plutónicos y sedimentarios: Cuarcitas, cuarcitas y esquistos, dolomías y areniscas rojas	Suelos dura y competente	>1500	Nula	A	A	I
	Pizarras, Calizas flysh calcáreo, calcarenitas						
FACTOR DE AMPLIFICACIÓN							
CATEGORÍA	A [PGA]	A [SA 0.1 s]	A [SA 0.2 s]	A [SA 0.3 s]	A [SA 0.5 s]	A [SA 1.0 s]	A [SA 2.0 s]
A	1	1	1	1	1	1	1
B	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
C1	1.5	1.5	1.5	1.58	1.75	2.125	2.125
C2	1.6	1.7	1.7	1.8	2	2.48	2.48
D	1.64	1.85	1.85	1.96	2.19	2.74	2.74
D	terrazas de valle, y canales abandonados, depósitos endorreicos así como las terrazas bajas: Arcillas y limos y arenas sueltas	blandos y suelos granulares sueltos	<180	Alta	E (F)	D	IV

PELIGROSIDAD SÍSMICA EN SUELO

(Movimiento esperado Incluyendo efecto local)



ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

Tipo de estructura		Clase de vulnerabilidad					
		A	B	C	D	E	F
FÁBRICA	piedra suelta o canto rodado	O					
	adobe (ladrillos de tierra)	O — I					
	mampostería	I ····· O					
	sillería		I — O ····· I				
	sin reforzar, de ladrillos o bloques	I ····· O ····· I					
	sin reforzar, con suelos de HA		I — O ····· I				
	reforzada o confinada			I ····· O — I			
HORMIGÓN ARMADO (HA)	estructura sin diseño resistente a terremotos (DRT)	I ····· — O ·····					
	estructura con nivel medio de DRT		I ····· — O — I				
	estructura con alto nivel de DRT			I ····· — O — I			
	muros sin DRT		I ····· O — I				
	muros con nivel medio de DRT			I ····· O — I			
	muros con nivel alto de DRT				I ····· O — I		
ACERO	estructuras de acero			I ····· — O — I			
MADERA	estructuras de madera		I ····· — O — I				

Clases de Vulnerabilidad según escala EMS-98

Factores a considerar:

Edad del edificio
 Número de plantas
 Material constructivo
 Estado de conservación
 Uso del edificio

Asignación de la vulnerabilidad

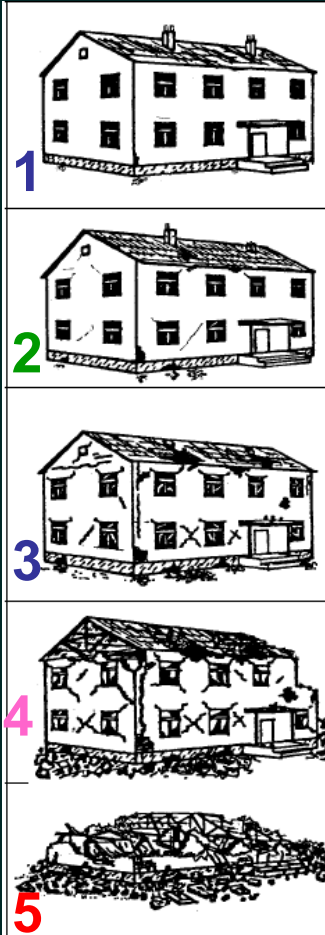
Clasificación de las estructuras en tipo de vulnerabilidad (e.g., EMS-1998; Grünthal, 1998)

Grados de Daño



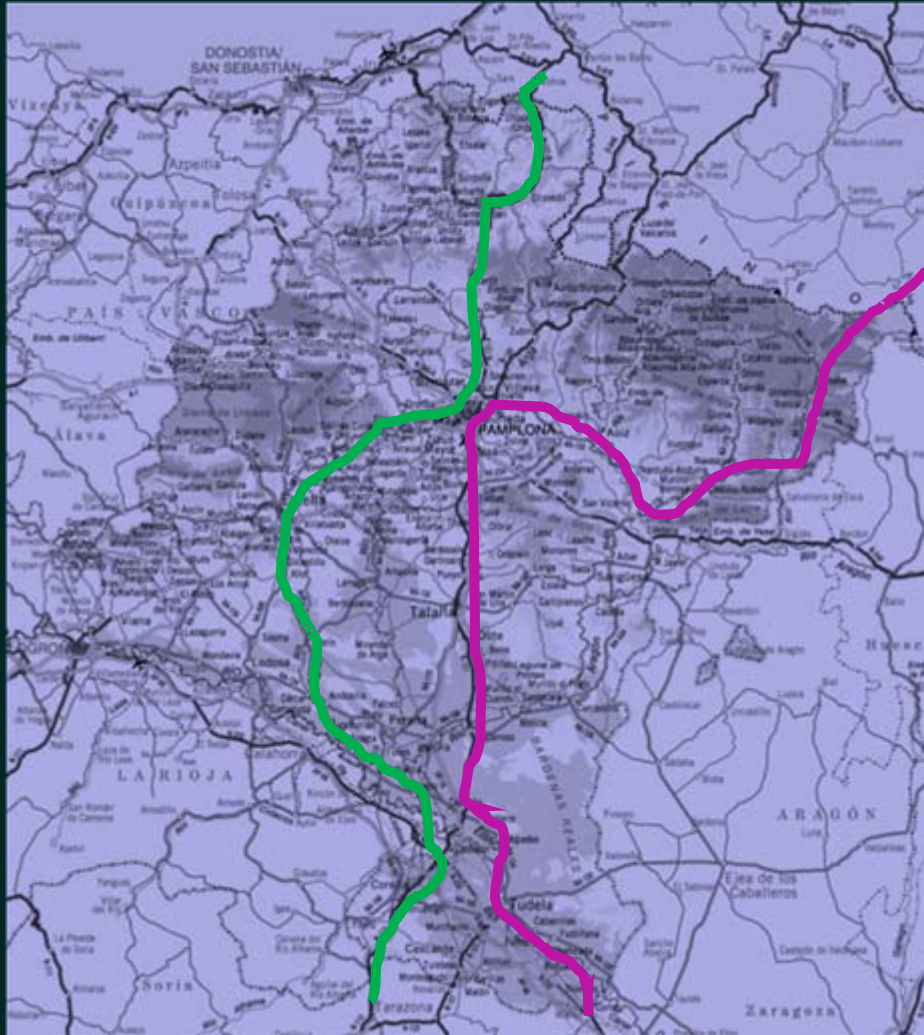
Type of Structure	Vulnerability Class					
	A	B	C	D	E	F
MASONRY	○					
	○—					
	—○					
		—○—				
	—○—					
		—○—				
STEEL REINFORCED CONCRETE (RC)	—○—					
		—○—				
			—○—			
		—○—				
			—○—			
				—○—		
STEEL			—○—			
WOOD			—○—			

○ most likely vulnerability class; — probable range;
 --- range of less probable, exceptional cases



Asignación de la vulnerabilidad

TRABAJO DE CAMPO



VULNERABILIDAD A



MPFM Estructura muraria de piedra con forjados de madera

Descripción Estructura muraria tradicional de mampostería de piedra ordinaria con forjados y tejados de madera de escaso efecto diafragma o rigidizante. Está extendida en la totalidad del territorio, prevaleciendo en zonas rurales.

Geometría Crujías murarias de 2 – 4,5m de luz.

Altura 1 – 3 plantas.

Edad <1920, con mayor prevalencia en zonas rurales

Vulnerabilidad característica

I_v

0,88

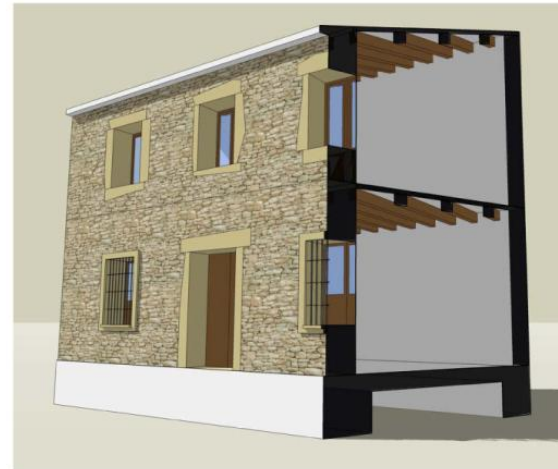
EMS 98

A

FEMA-178

URM

Esquema estructural



VULNERABILIDAD B



MLFH Estructura muraria fábrica ladrillo con forjados de hormigón armado

Descripción Estructura muraria tradicional de fábrica de ladrillo con forjados de hormigón armado, desarrollando efecto diafragma rigidizante. Es característica de la primera mitad del siglo XX, en particular en el periodo 1920-1960, continuado su uso hoy en edificación residencial de baja altura.

Geometría Crujías murarias de 3 – 5m de luz.

Altura 3 – 5 plantas.

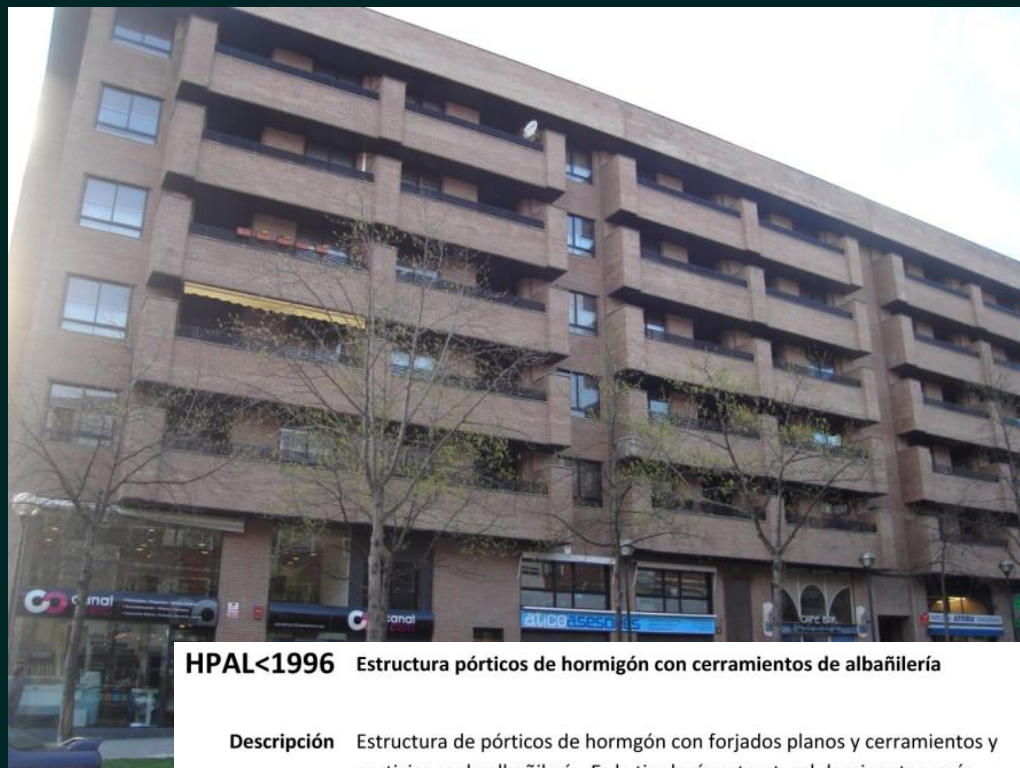
Edad >1920

Vulnerabilidad característica I_v **0,65** EMS 98 **B** FEMA-178 **RM**

Esquema estructural:



VULNERABILIDAD C



HPAL<1996 Estructura pórticos de hormigón con cerramientos de albañilería

Descripción Estructura de pórticos de hormigón con forjados planos y cerramientos y particiones de albañilería. Es la tipología estructural dominante y más extendida en la actualidad. Las prestaciones sismorresistentes de estos tipos vienen determinadas por la edad de construcción y las normas tecnológicas y sismorresistentes de aplicación en ese tiempo.

Geometría Crujías estructurales de 4 – 7m de luz.

Altura 1 – 15 plantas.

Edad >1960

Vulnerabilidad característica

I_v

0,64

EMS 98

C

FEMA-178

C3



VULNERABILIDAD D

HPT Estructura de hormigón armado con pantallas resistentes

Descripción Estructura de pórticos de hormigón con pantallas resistentes. Sus mejoras sísmorresistentes radican en la gran rigidez aportada por las pantallas de hormigón. Es una tipología contemporánea, para uso administrativo, oficinas o industrial.

Geometría Crujías estructurales de 4 – 12m de luz.

Altura 1 – 15 plantas.

Edad >1990

Vulnerabilidad característica I_v **0,38** EMS 98 **D** FEMA-178 **C2**

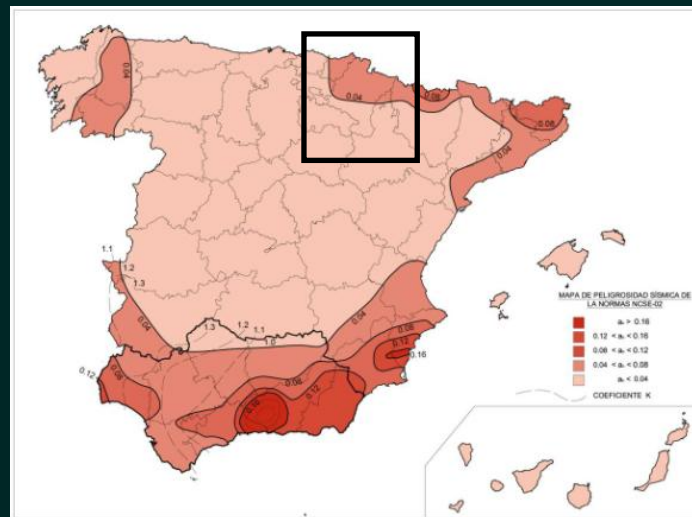
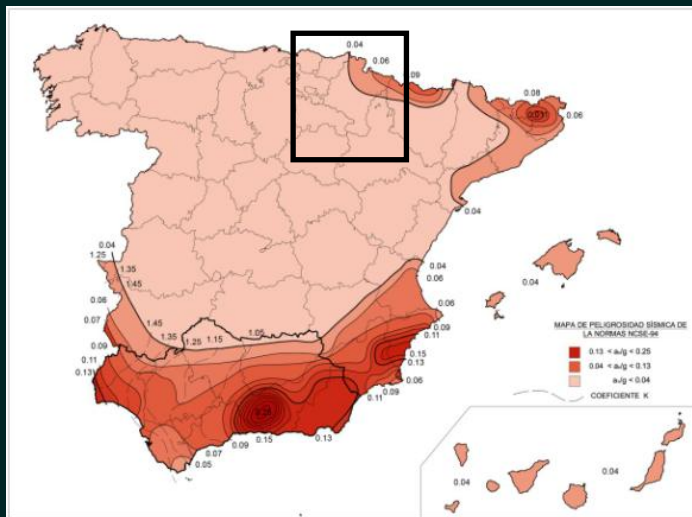
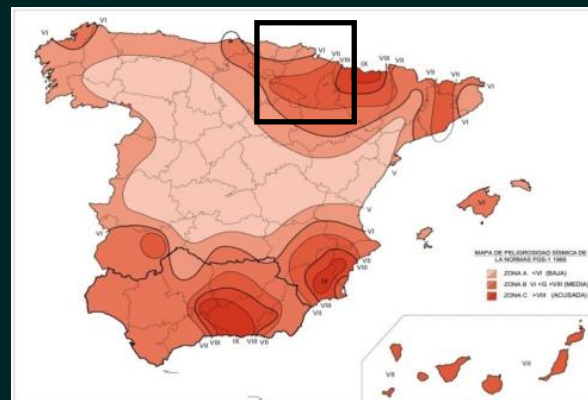
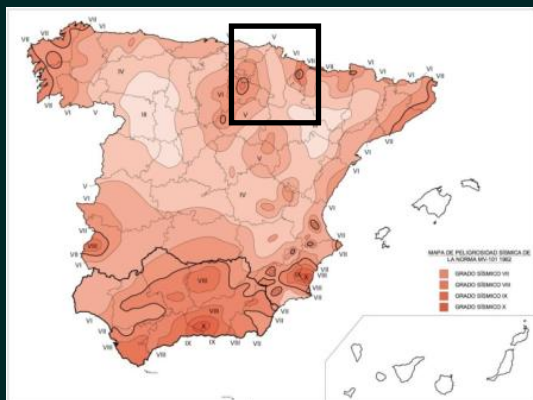
Esquema estructural:



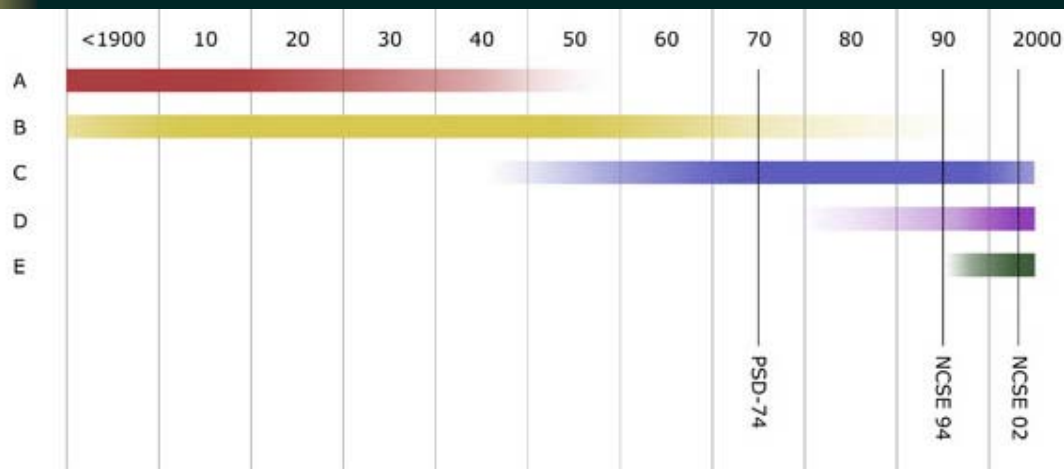
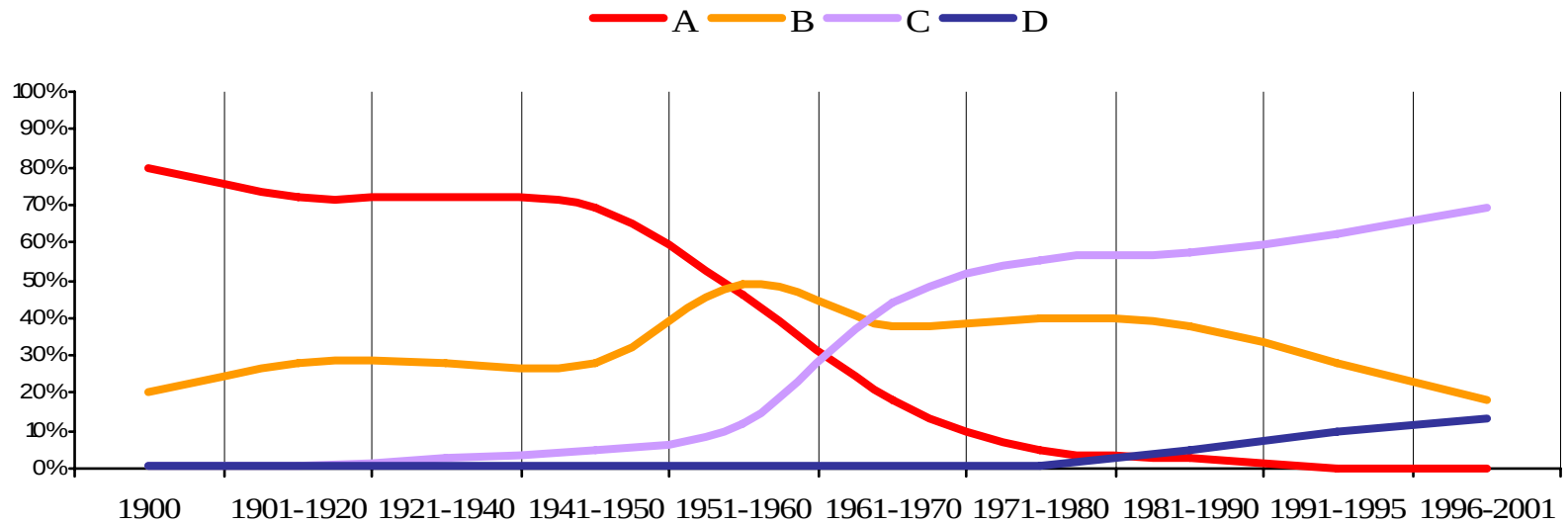
Evolución temporal de las clases de vulnerabilidad

Las normativas marcan la aparición de las clases menos vulnerables

NNSS 1962; 1968; 1974; 1994; 2004



Evolución temporal de las clases de vulnerabilidad



Evolución de tipologías constructivas

Fecha de construcción

Actualización de normativas sismorresistentes

ASIGNACION DE VULNERABILIDAD

MATRICES DE TRANSFERENCIA:

Probabilidad de pertenencia a una clase de vulnerabilidad en función del año de construcción

Matriz de transferencia para tipos 1 - públicos, sanitarios, docentes y especiales

		Edad de construcción																				
		1920			1921 - 1940			1941 - 1964			1965 - 1976			1977 - 1996			1997 - 2004			2005 - 2006		
plantas		FEMA-178	I _v	EMS98	FEMA-178	I _v	EMS98	FEMA-178	I _v	EMS98	FEMA-178	I _v	EMS98	FEMA-178	I _v	EMS98	FEMA-178	I _v	EMS98	FEMA-178	I _v	EMS98
		34-UFMFL	0,74	B	34-UFMFL	0,74	B	29-FM1L	0,63	C	29-FM1L	0,63	C	22-C3L	0,6	C	22-C3L	0,51	C	22-C3L	0,51	C
		35-UFMML	0,78	B	35-UFMML	0,78	B	30-FM2M	0,65	C	30-FM2M	0,65	C	23-C3M	0,64	C	23-C3M	0,55	C	23-C3M	0,55	C
		35-UFMML	0,78	B	35-UFMML	0,78	B	24-C3H	0,72	C	24-C3H	0,72	C	24-C3H	0,72	C	24-C3H	0,63	C	24-C3H	0,63	C

Edad de construcción						
1941 - 1964			1965 - 1976			
EMS98	FEMA-178	I _v	EMS98	FEMA-178	I _v	EMS98
B	29-RM1L	0,63	C	29-RM1L	0,63	C
B	30-RM2M	0,65	C	30-RM2M	0,65	C
B	24-C3H	0,72	C	24-C3H	0,72	C

VULNERABILIDAD

VULNERABILIDAD A

VULNERABILIDAD B

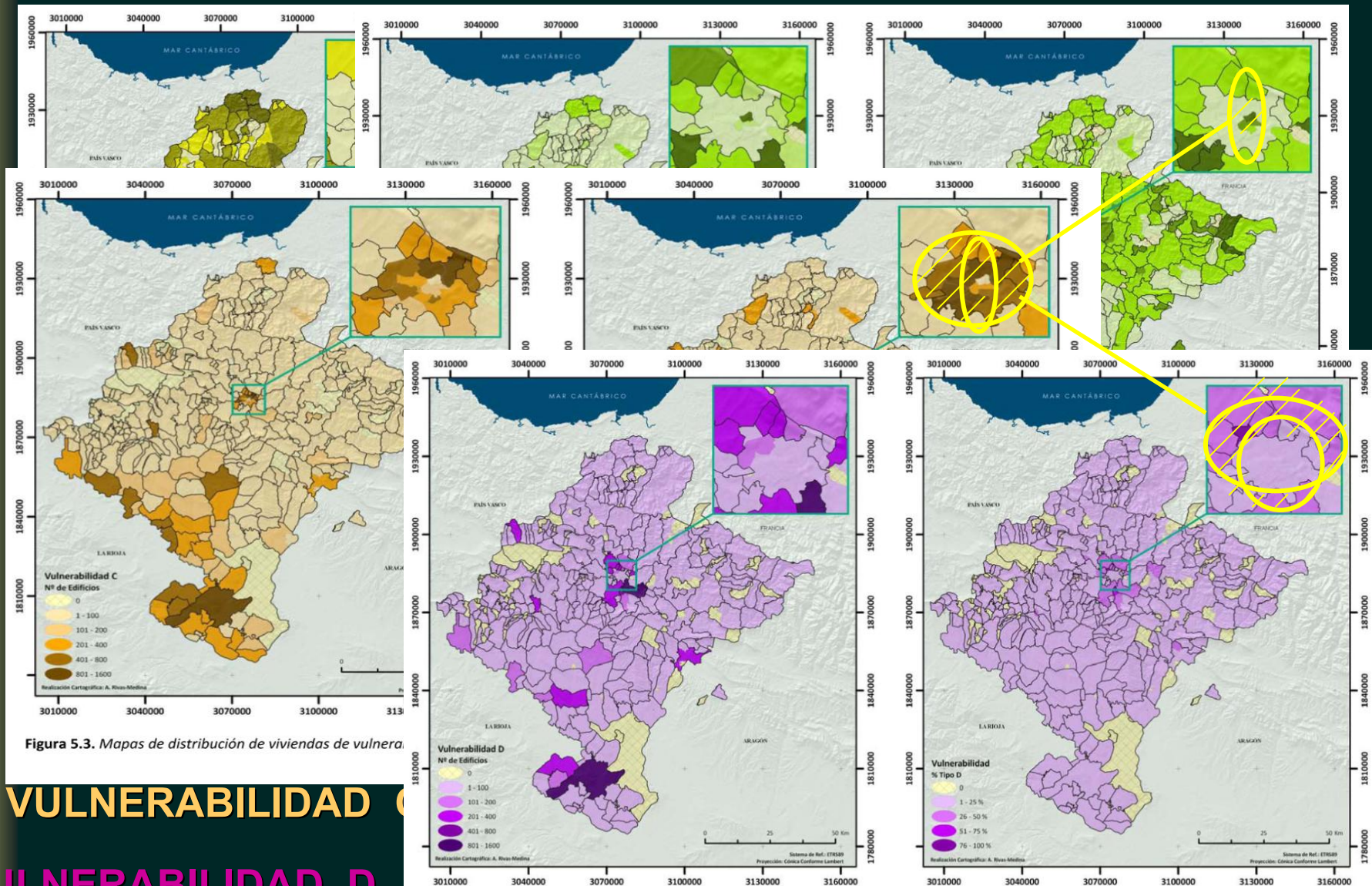


Figura 5.4. Mapas de distribución de viviendas de vulnerabilidad D. Izda: Nº total de viviendas de clase D de cada unidad geográfica mínima de trabajo y Drcha: Porcentaje de clase D frente al total.

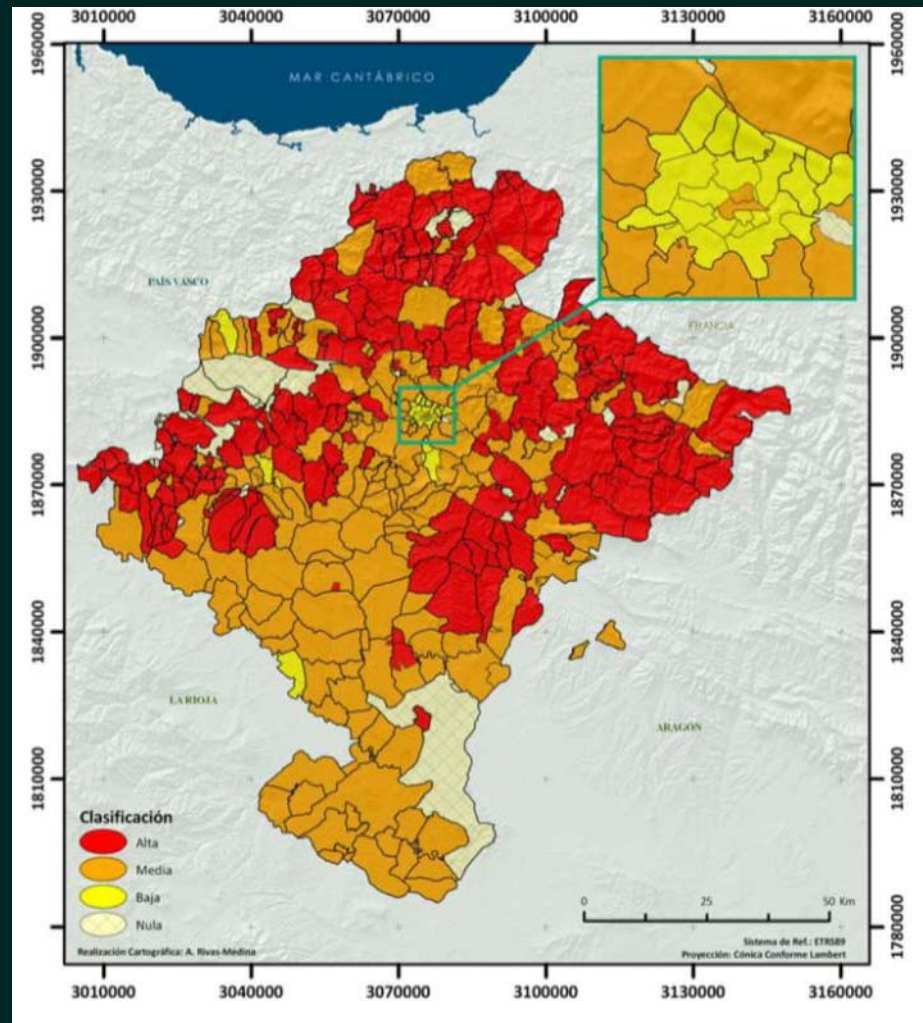
VULNERABILIDAD GLOBAL

CLASIFICACIÓN TERRITORIAL

Alta: Porcentaje de A $\geq$ 45 %

Media: Porcentaje de A+B $\geq$ 45 %

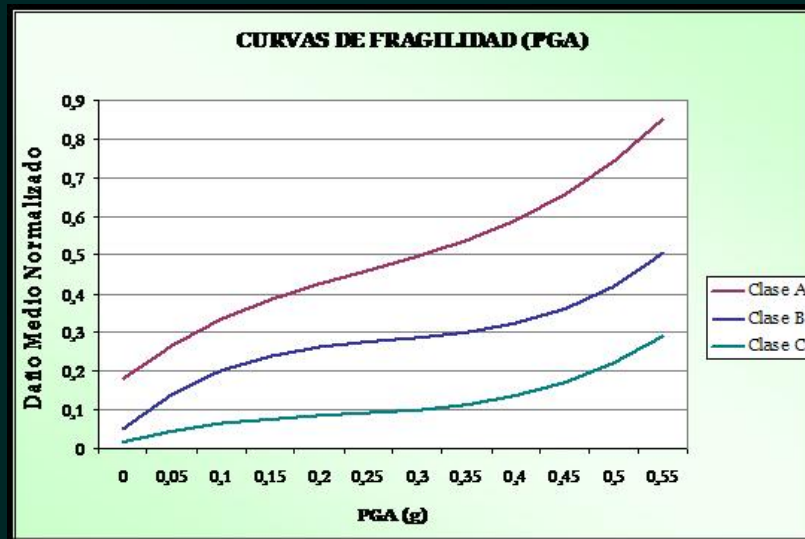
Baja: el resto



EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO : Estimación del daño

Relaciones movimiento – Vulnerabilidad – Grado de daño

Curvas de fragilidad



Matrices de probabilidad de daño

V_i (A, B, C, D)

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
IV		Pij				
VI						

Estimación de daños

Matrices de Probabilidad de daño DPM :

Matrices de Probabilidad de daño DPM (tomada de Prasad, 2008)



Building type/ vulnerability class	MSK/ EMS Intensit y	Damage Probability DP [%]									
		Lower Bound Damage Scenario					Upper Bound Damage Scenario				
		Gr1	Gr2	Gr3	Gr4	Gr5	Gr1	Gr2	Gr3	Gr4	Gr5
Adobe bricks, Rubble stones, Burnt clay bricks	VI	15	10	0	0	0	55	20	0	0	0
	VII	18	17	55	10	0	0	0	80	20	0
	VIII	0	18	17	55	10	0	0	0	80	20
	IX	0	0	43	42	15	0	0	23	22	55
	X	0	0	0	45	55	0	0	0	0	100
	XI	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100
	XII	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100
RC frames/ shear walls with URM infills	VI	10	0	0	0	0	20	0	0	0	0
	VII	52	10	0	0	0	67	20	0	0	0
	VIII	35	55	10	0	0	0	80	20	0	0
	IX	0	75	15	10	0	0	25	55	20	0
	X	0	0	75	15	10	0	0	25	55	20
	XI	0	0	30	55	15	0	0	0	45	55
	XII	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100

Modelización del daño en las principales tipologías



Grado 1



Grado 2



Grado 3



Grado 4



Grado 5

Grados de daño según
escala EMS-98

5 grados de daño
+
daño nulo

Cinco niveles de daño de la escala EMS
98 para una edificación de vulnerabilidad
A o B basada en una tipología Navarra de
vivienda tradicional

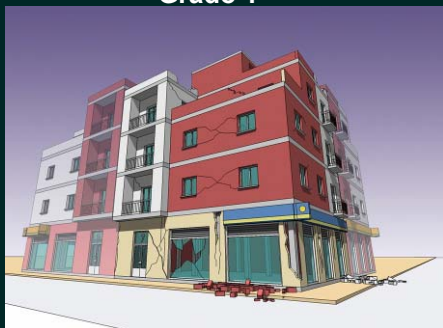
Modelización del daño en las principales tipologías



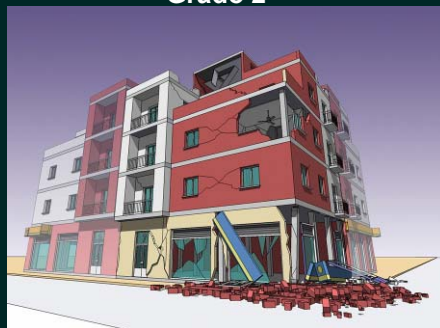
Grado 1



Grado 2



Grado 3



Grado 4

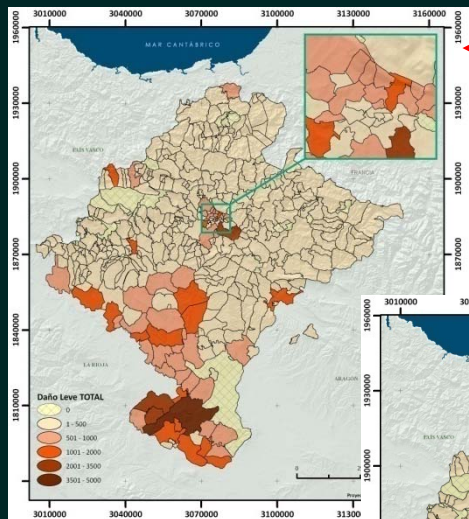


Grado 5

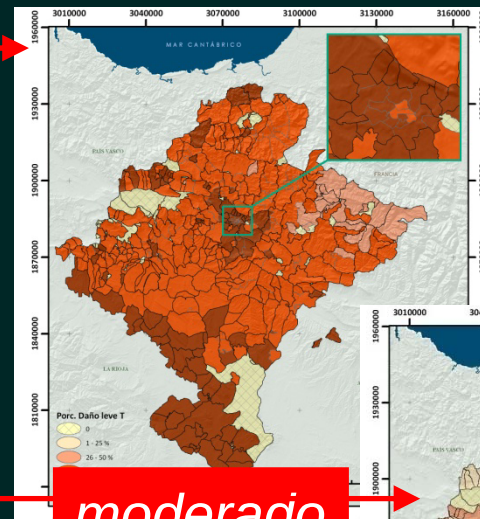
Cinco niveles de daño de la escala EMS-98 para una edificación de vulnerabilidad **C** basado en una tipología Navarra de vivienda colectiva en altura con local comercial en planta baja

RESULTADOS PARCIALES – Mapas de daño total

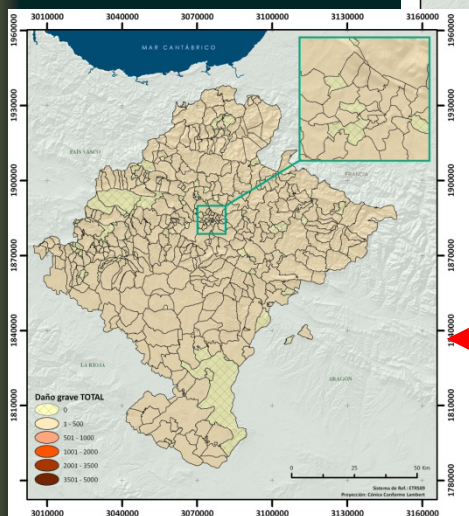
Número de edificios Porcentaje de edificios



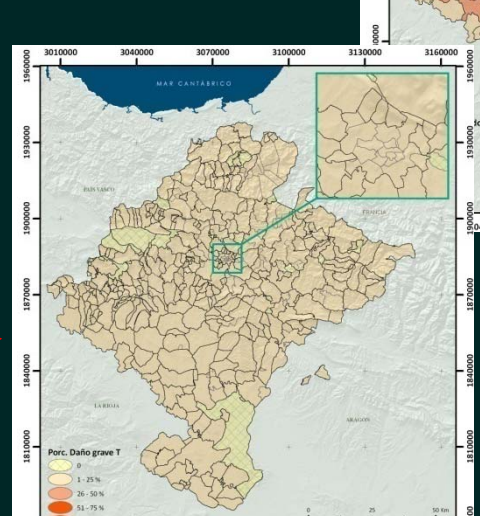
leve



moderado



grave



RESULTADOS PARCIALES – Mapas de daño moderado en tipología A

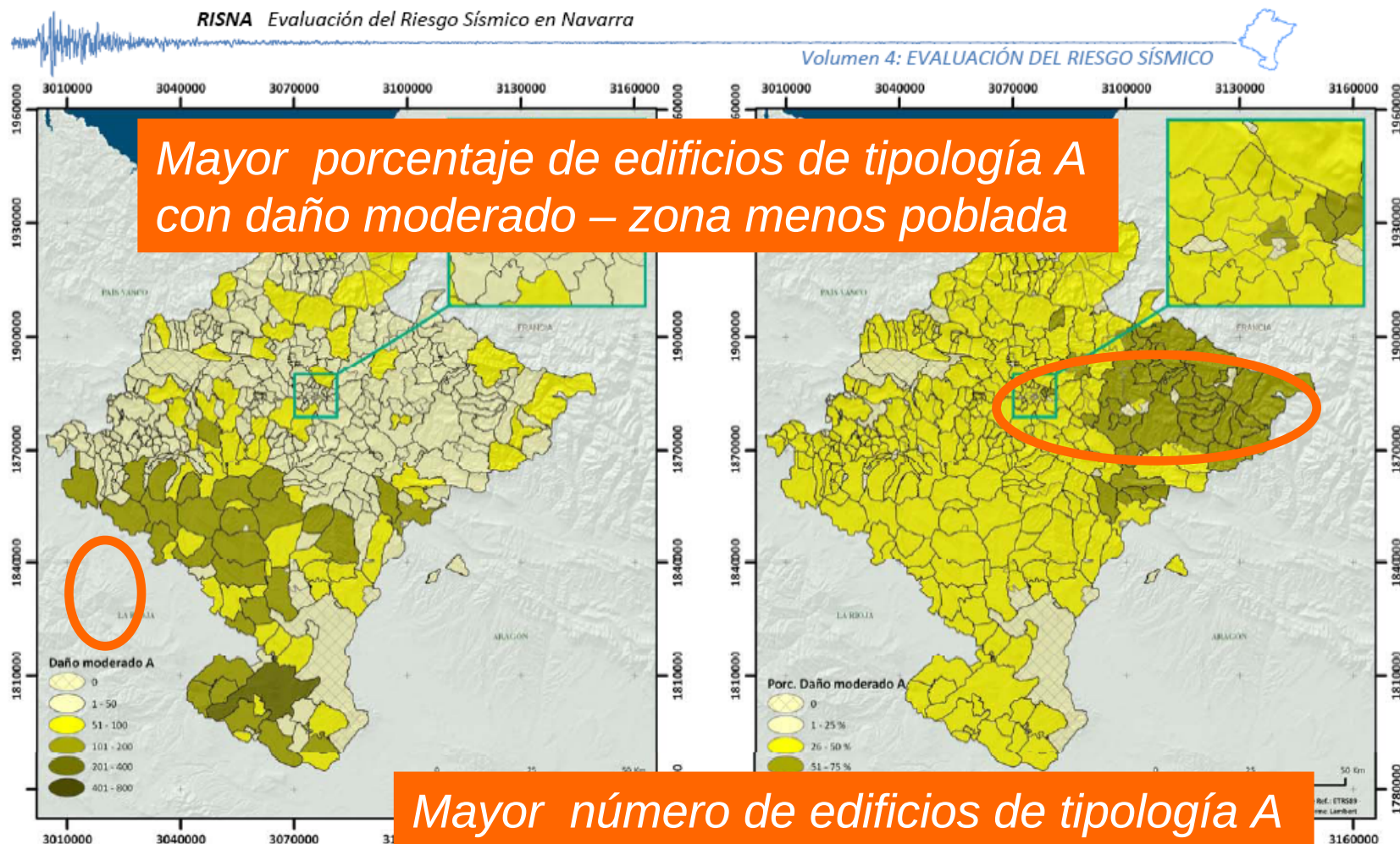


Figura 4.2. Representación del Daño Moderado en las v
Drcha: porcentaje de clase A con daño moderado de cada unidad geográfica mínima de trabajo frente al total

El papel de los sistemas de información geográfica (SIG)

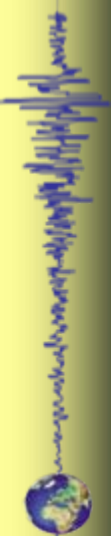
Almacenamiento, análisis y combinación de información georreferenciada

Análisis geoestadísticos

Operaciones de álgebra de capas

Consultas espaciales zonales y locales

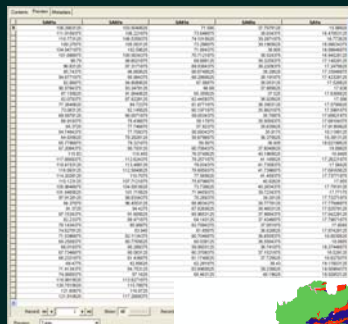
Representación de resultados parciales y finales



Base de datos RISNA. INFORMACIÓN DE PARTIDA

Peligrosidad sísmica:

Tabla de valores

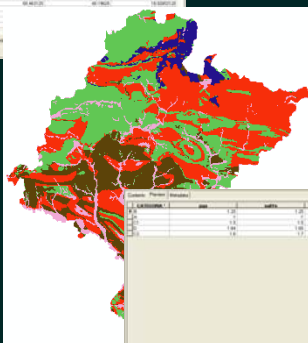


A screenshot of a spreadsheet application displaying a table with multiple columns and rows of numerical data, likely representing seismic hazard values.

Geotécnico:

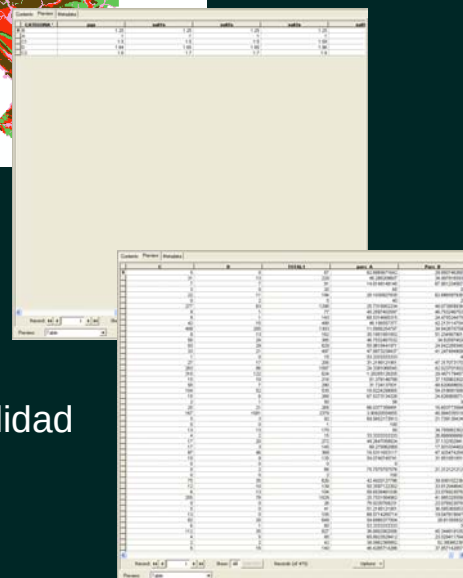
Categoría geotécnica

Factores de amplificación



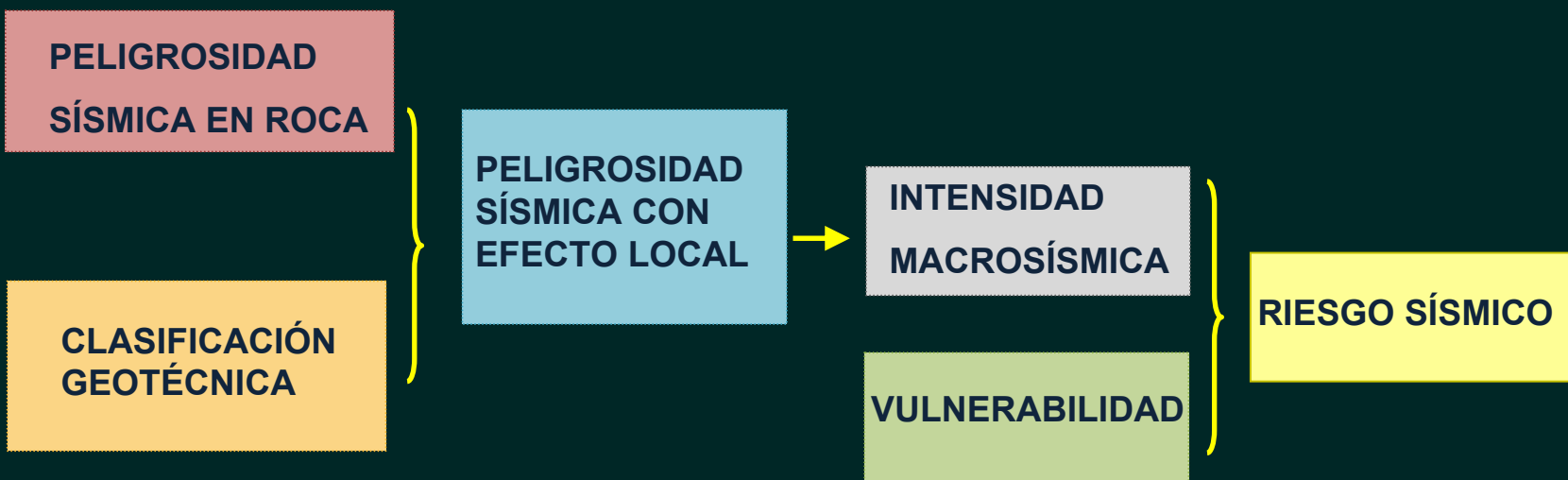
Vulnerabilidad:

Matrices de vulnerabilidad



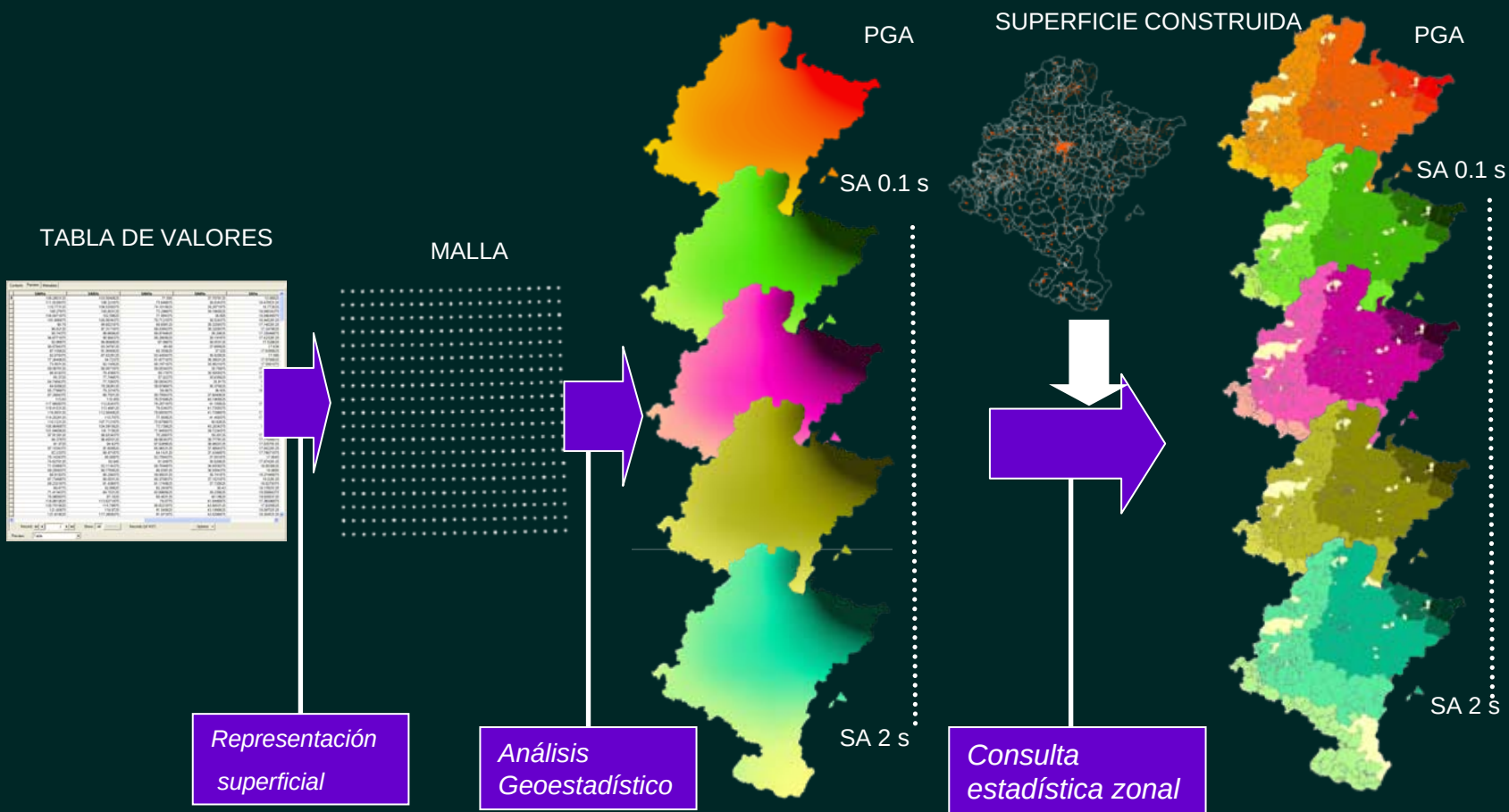
A screenshot of a spreadsheet application displaying a table with multiple columns and rows of numerical data, likely representing vulnerability matrices.

Visualización de resultados de los diferentes módulos



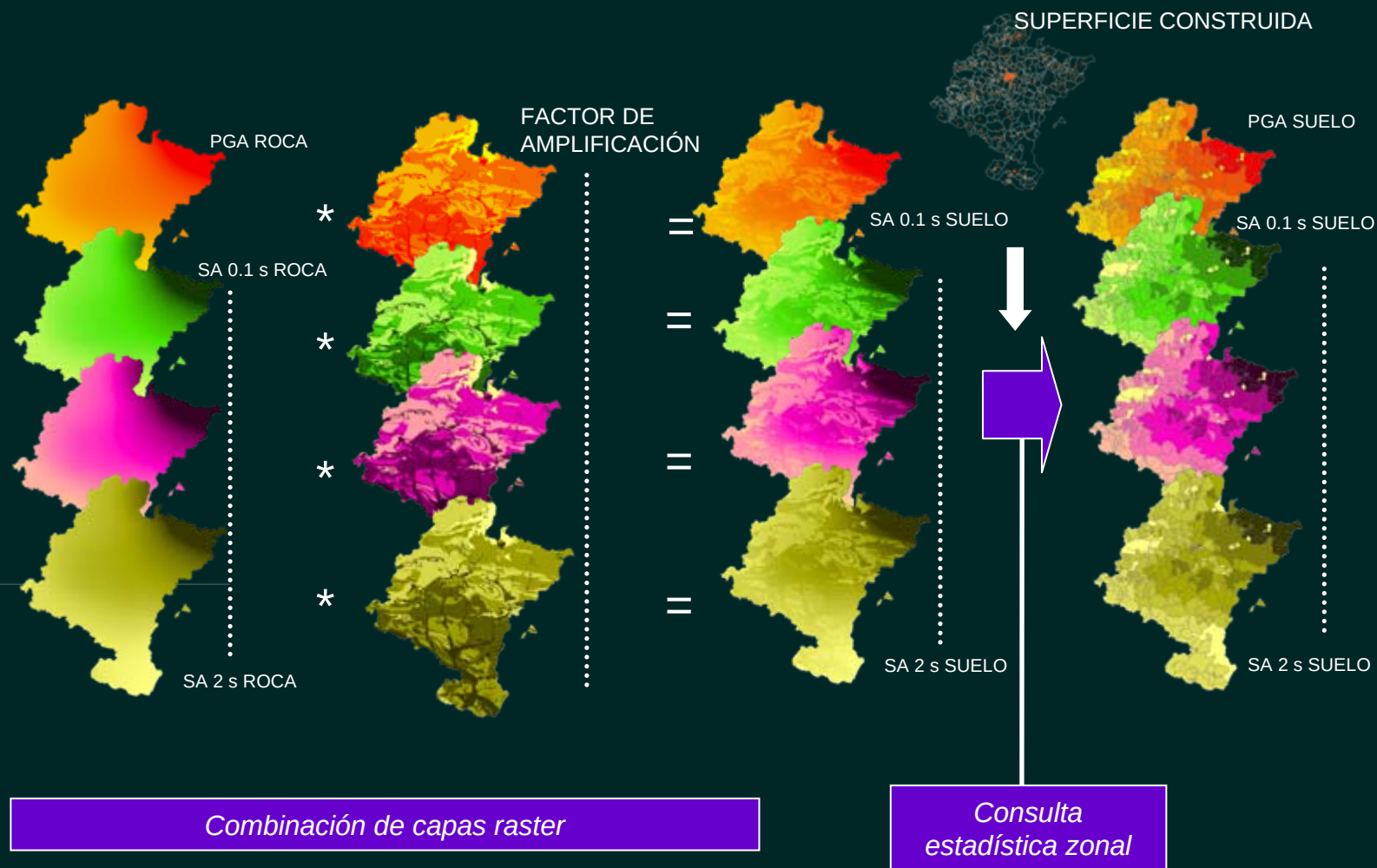
ANÁLISIS Y PROCESOS

MÓDULO DE PELIGROSIDAD SÍSMICA EN ROCA



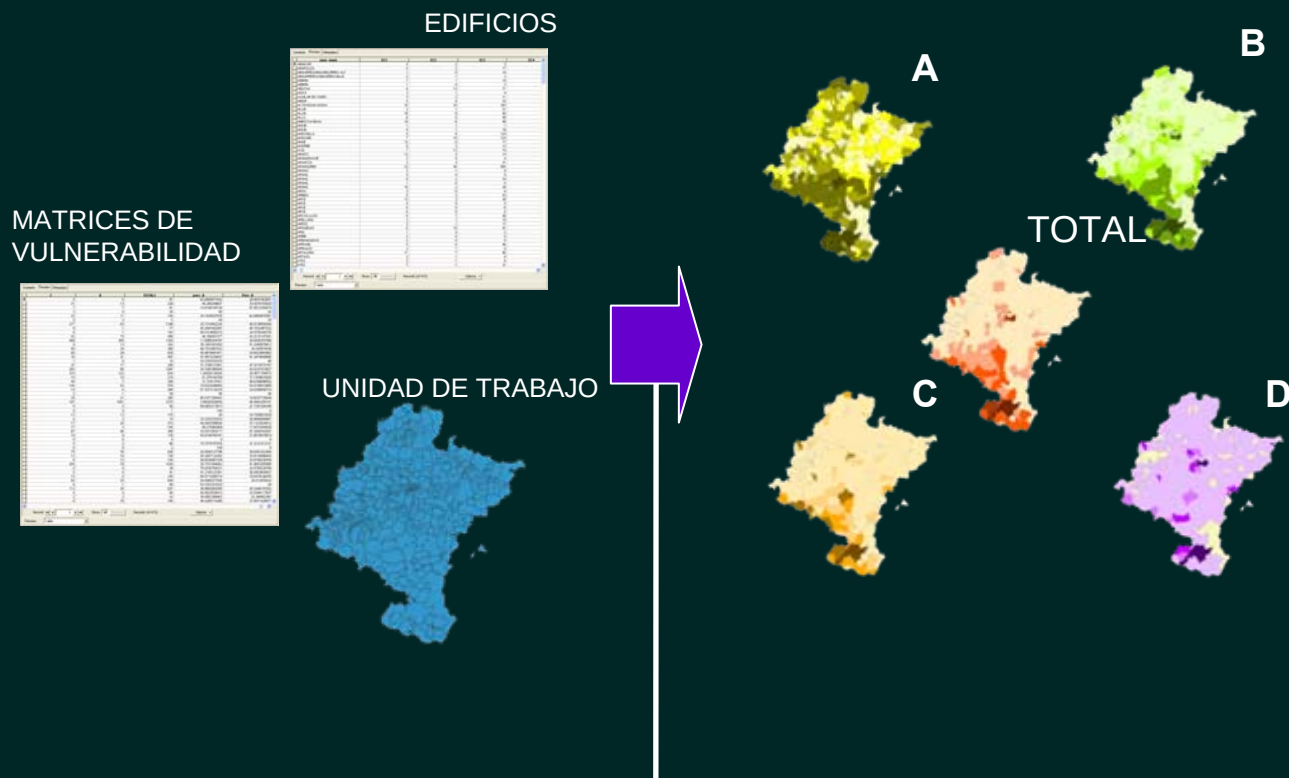
ANÁLISIS Y PROCESOS

MÓDULO DE PELIGROSIDAD SÍSMICA CON EFECTO LOCAL



ANÁLISIS Y PROCESOS

VULNERABILIDAD

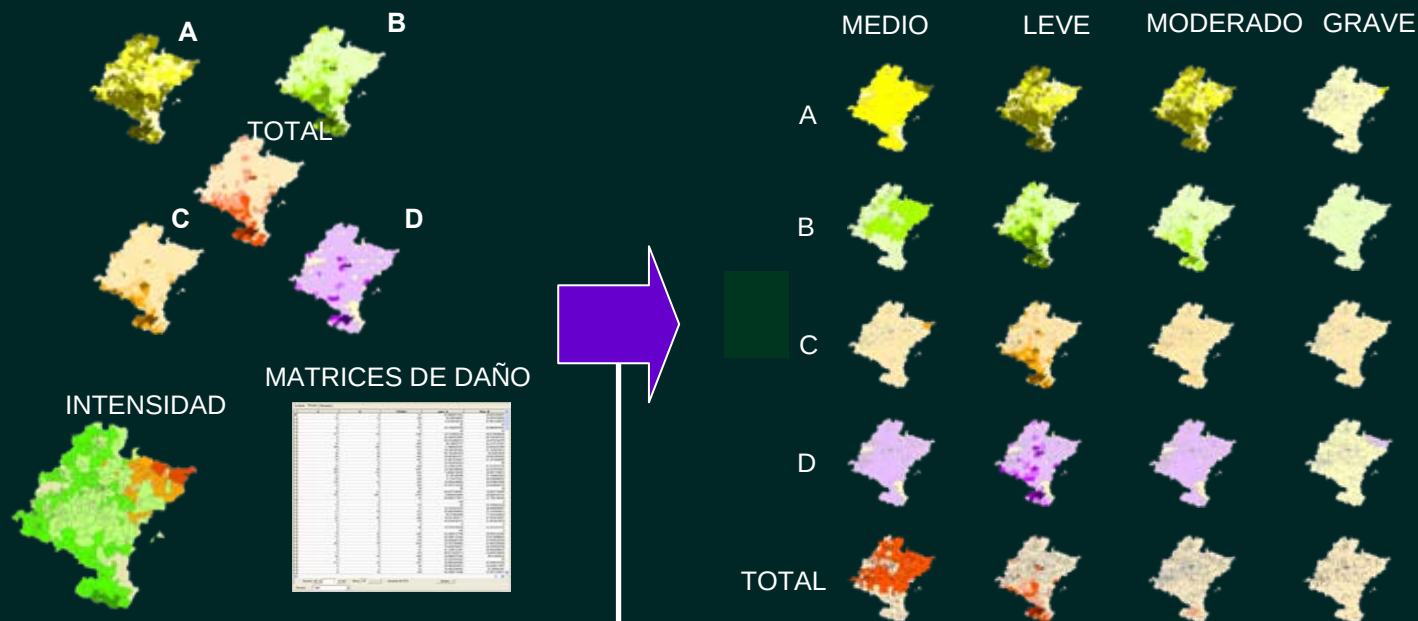


Agrupación de atributos y elementos.

Asignación de vulnerabilidades a las unidades de trabajo (según la matriz de transferencia)

ANÁLISIS Y PROCESOS

RIESGO SÍSMICO

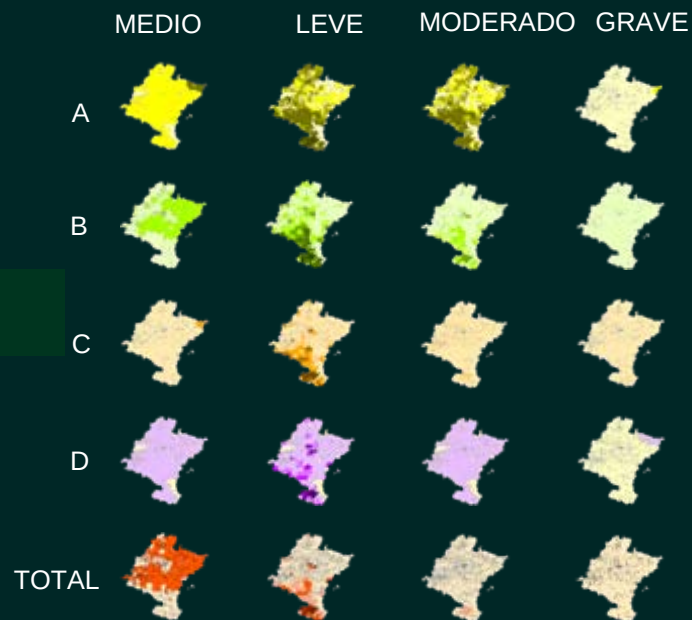


Calculo del daño medio según la formulación correspondiente

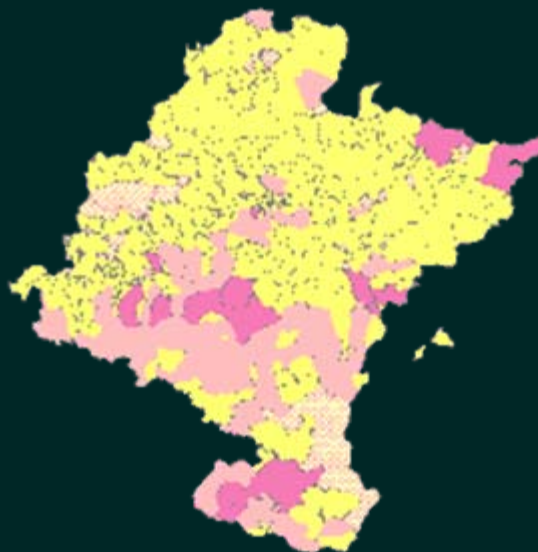
$$P [D_j] = \sum_T P [D_j | I, V] \cdot P [V]$$

ANÁLISIS Y PROCESOS

RIESGO SÍSMICO



Número de edificios INHABITABLES

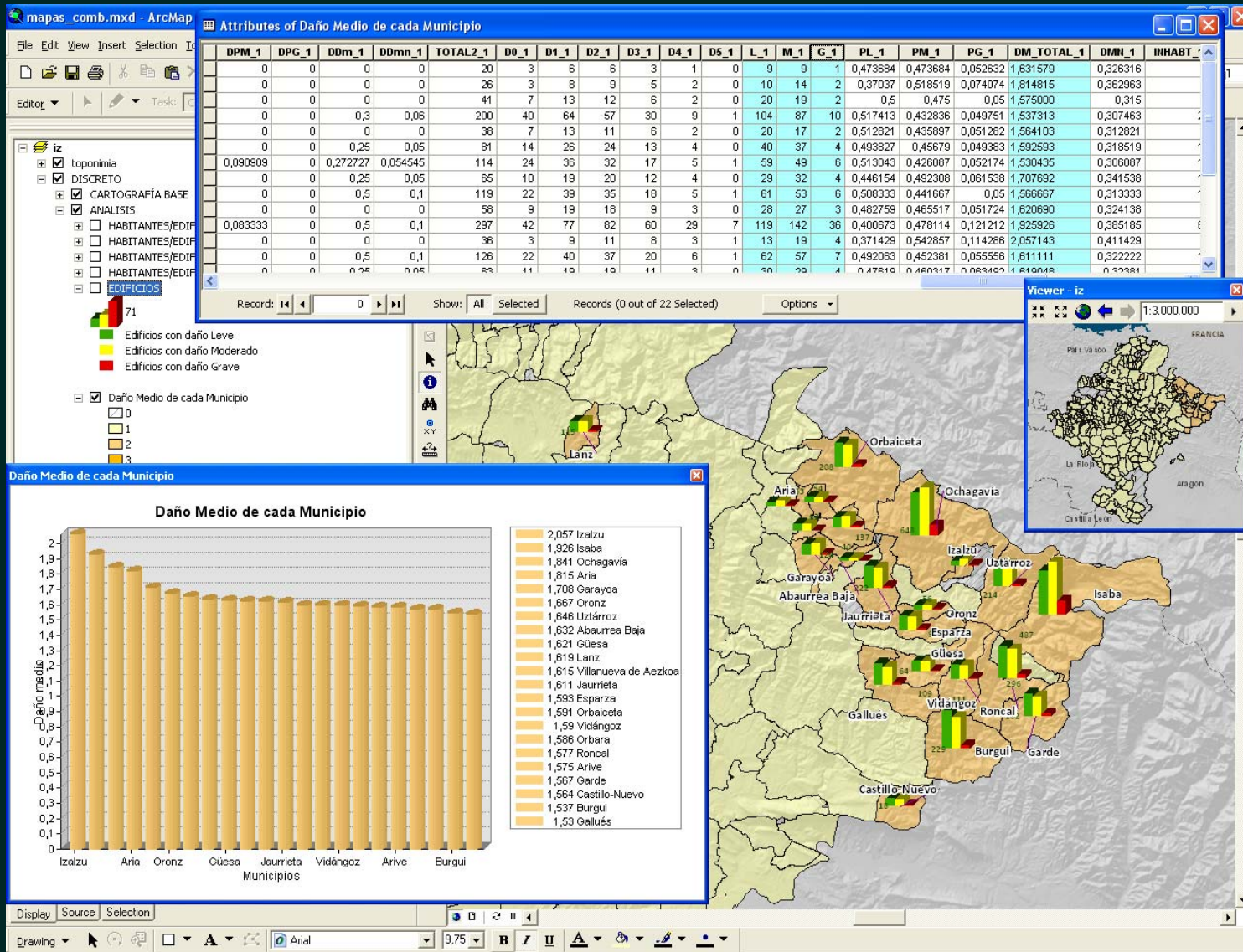


Combinación de capas

100 % * D 5 + 100 % * D 4 + 50 % * D 3

Número de edificios inhabitables de cada municipio

Daño medio esperado para cada municipio



¿Qué hacer con los resultados de un estudio regional ?

Definir niveles de prioridad y secuencias de actuación



Desarrollo de planes municipales

DEFINICIÓN DE PRIORIDADES DE ACTUACIÓN

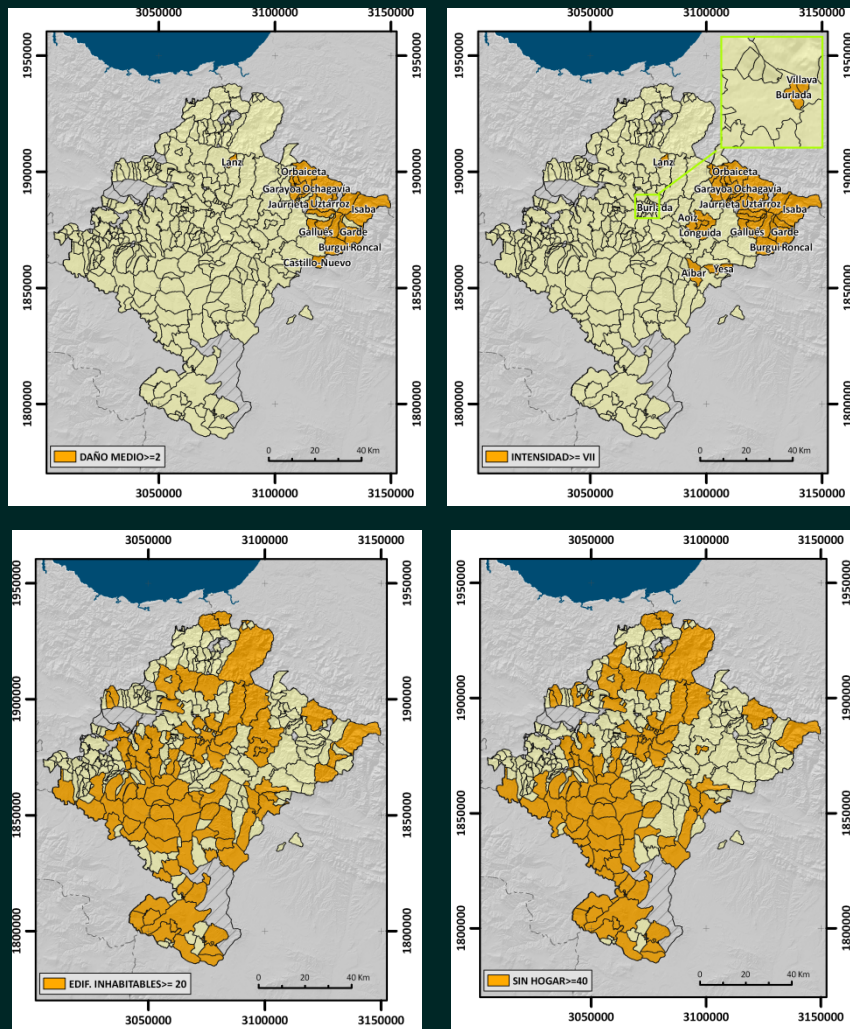
Definición de **categorías Jerarquizadas** de los municipios por su **nivel de riesgo sísmico**, en los que se deberá desarrollar un nivel de emergencia diferente.

Ejemplo de combinación de parámetros:

- **Intensidad macrosísmica esperada.**
- **Daño medio esperado.**
- **Número esperado de edificios inhabitables.**
- **Número esperado de personas que quedarían sin hogar.**
- **Número esperado de edificios con daño grave.**

EJEMPLO DE DEFINICIÓN DE PRIORIDADES DE ACTUACIÓN

NIVEL DE ACTUACIÓN 1



El daño medio del municipio es 2 o más.

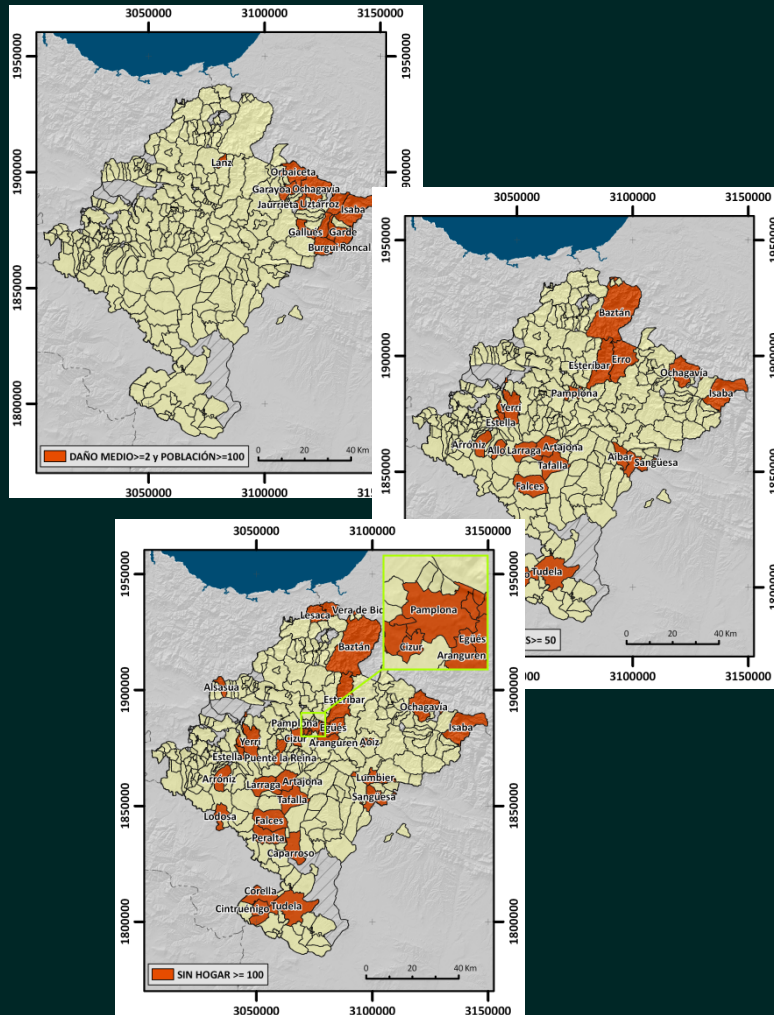
La intensidad esperada (periodo de retorno de 475 años) es superior a VII.

El número esperado de edificios inhabitables es mayor o igual que 20.

El número esperado de personas sin hogar es mayor o igual que 40.

EJEMPLO DE DEFINICIÓN DE PRIORIDADES DE ACTUACIÓN

NIVEL DE ACTUACIÓN 2



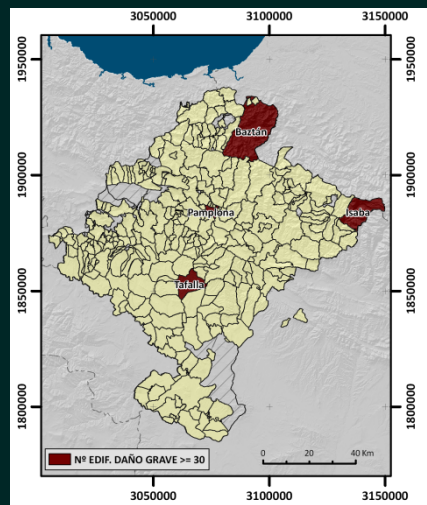
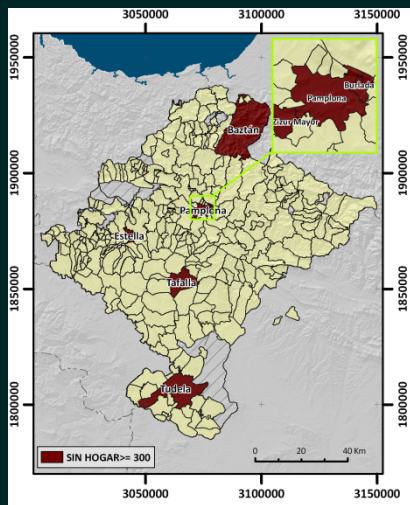
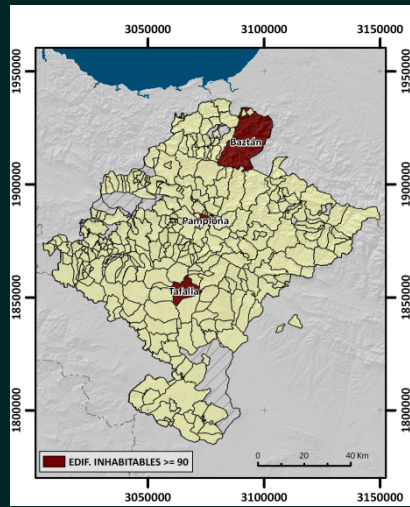
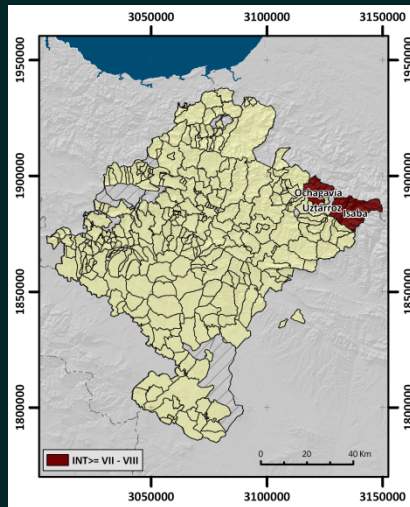
El daño medio debe ser igual o superior a 2 y el número de habitantes es superior a 100.

El número esperado de edificios inhabitables se sitúa entre 50 y 90.

El número esperado de personas sin hogar se sitúa entre 100 y 300.

EJEMPLO DE DEFINICIÓN DE PRIORIDADES DE ACTUACIÓN

NIVEL DE ACTUACIÓN 3



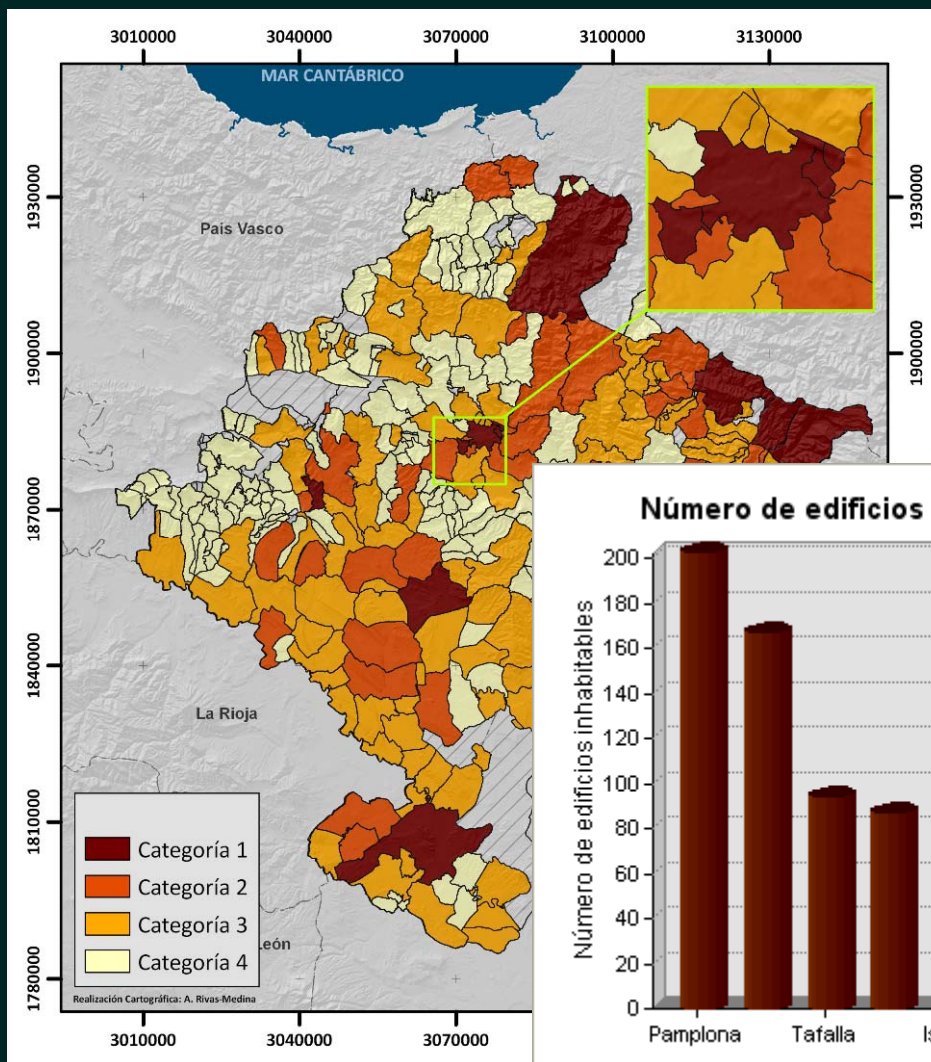
La intensidad macrosísmica esperada (periodo de retorno de 475 años) es VII-VIII.

El número esperado de edificios inhabitables es mayor o igual que 90.

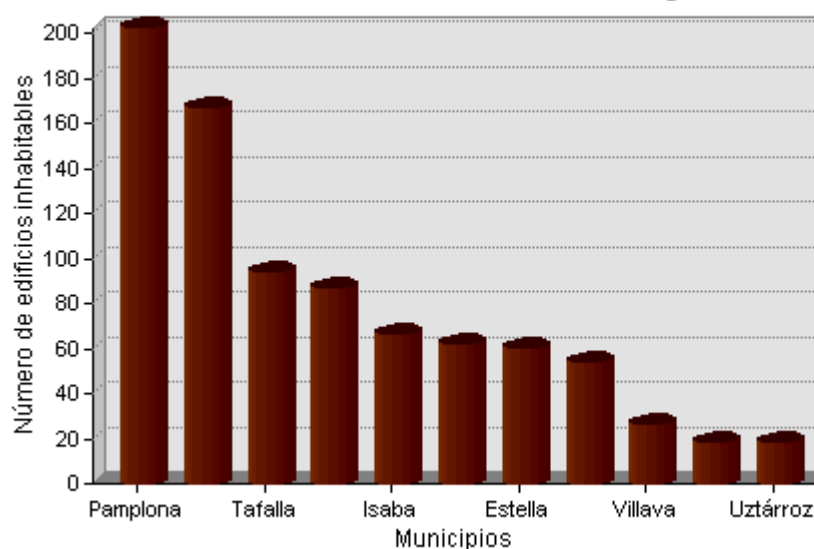
El número esperado de personas sin hogar es mayor o igual que 300.

El número esperado de edificios que sufren daño grave es mayor o igual que 30.

Categorías para establecer secuencias de actuación



Número de edificios inhabitables de Categoría 1



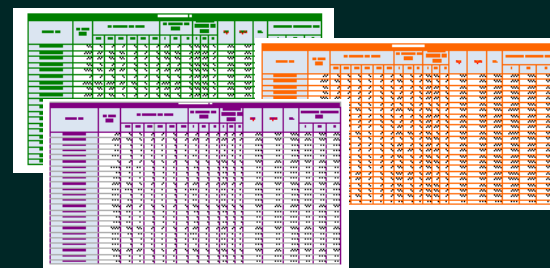
202	Pamplona
166	Baztán
93	Tafalla
86	Tudela
66	Isaba
61	Zizur Mayor
60	Estella
53	Ochagavía
26	Villava
18	Burlada
18	Uztárroz

RESULTADOS FINALES

1. CAPAS DE INFORMACIÓN DEL SIG

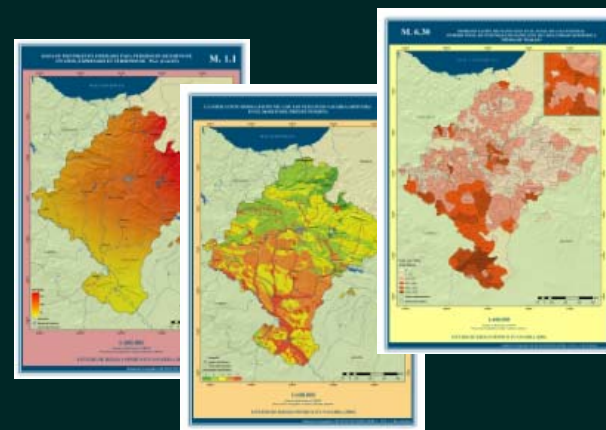


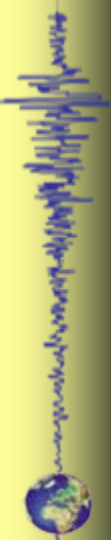
2. TABLAS DE RESULTADOS



DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN	
INDICADOR	VALOR
1.1.1	1.1.1.1
1.1.1	1.1.1.2
1.1.1	1.1.1.3
1.1.1	1.1.1.4
1.1.1	1.1.1.5
1.1.1	1.1.1.6
1.1.1	1.1.1.7
1.1.1	1.1.1.8
1.1.1	1.1.1.9
1.1.1	1.1.1.10
1.1.1	1.1.1.11
1.1.1	1.1.1.12
1.1.1	1.1.1.13
1.1.1	1.1.1.14
1.1.1	1.1.1.15
1.1.1	1.1.1.16
1.1.1	1.1.1.17
1.1.1	1.1.1.18
1.1.1	1.1.1.19
1.1.1	1.1.1.20
1.1.1	1.1.1.21
1.1.1	1.1.1.22
1.1.1	1.1.1.23
1.1.1	1.1.1.24
1.1.1	1.1.1.25
1.1.1	1.1.1.26
1.1.1	1.1.1.27
1.1.1	1.1.1.28
1.1.1	1.1.1.29
1.1.1	1.1.1.30
1.1.1	1.1.1.31
1.1.1	1.1.1.32
1.1.1	1.1.1.33
1.1.1	1.1.1.34
1.1.1	1.1.1.35
1.1.1	1.1.1.36
1.1.1	1.1.1.37
1.1.1	1.1.1.38
1.1.1	1.1.1.39
1.1.1	1.1.1.40
1.1.1	1.1.1.41
1.1.1	1.1.1.42
1.1.1	1.1.1.43
1.1.1	1.1.1.44
1.1.1	1.1.1.45
1.1.1	1.1.1.46
1.1.1	1.1.1.47
1.1.1	1.1.1.48
1.1.1	1.1.1.49
1.1.1	1.1.1.50
1.1.1	1.1.1.51
1.1.1	1.1.1.52
1.1.1	1.1.1.53
1.1.1	1.1.1.54
1.1.1	1.1.1.55
1.1.1	1.1.1.56
1.1.1	1.1.1.57
1.1.1	1.1.1.58
1.1.1	1.1.1.59
1.1.1	1.1.1.60
1.1.1	1.1.1.61
1.1.1	1.1.1.62
1.1.1	1.1.1.63
1.1.1	1.1.1.64
1.1.1	1.1.1.65
1.1.1	1.1.1.66
1.1.1	1.1.1.67
1.1.1	1.1.1.68
1.1.1	1.1.1.69
1.1.1	1.1.1.70
1.1.1	1.1.1.71
1.1.1	1.1.1.72
1.1.1	1.1.1.73
1.1.1	1.1.1.74
1.1.1	1.1.1.75
1.1.1	1.1.1.76
1.1.1	1.1.1.77
1.1.1	1.1.1.78
1.1.1	1.1.1.79
1.1.1	1.1.1.80
1.1.1	1.1.1.81
1.1.1	1.1.1.82
1.1.1	1.1.1.83
1.1.1	1.1.1.84
1.1.1	1.1.1.85
1.1.1	1.1.1.86
1.1.1	1.1.1.87
1.1.1	1.1.1.88
1.1.1	1.1.1.89
1.1.1	1.1.1.90
1.1.1	1.1.1.91
1.1.1	1.1.1.92
1.1.1	1.1.1.93
1.1.1	1.1.1.94
1.1.1	1.1.1.95
1.1.1	1.1.1.96
1.1.1	1.1.1.97
1.1.1	1.1.1.98
1.1.1	1.1.1.99
1.1.1	1.1.1.100

3. COLECCIÓN DE MAPAS

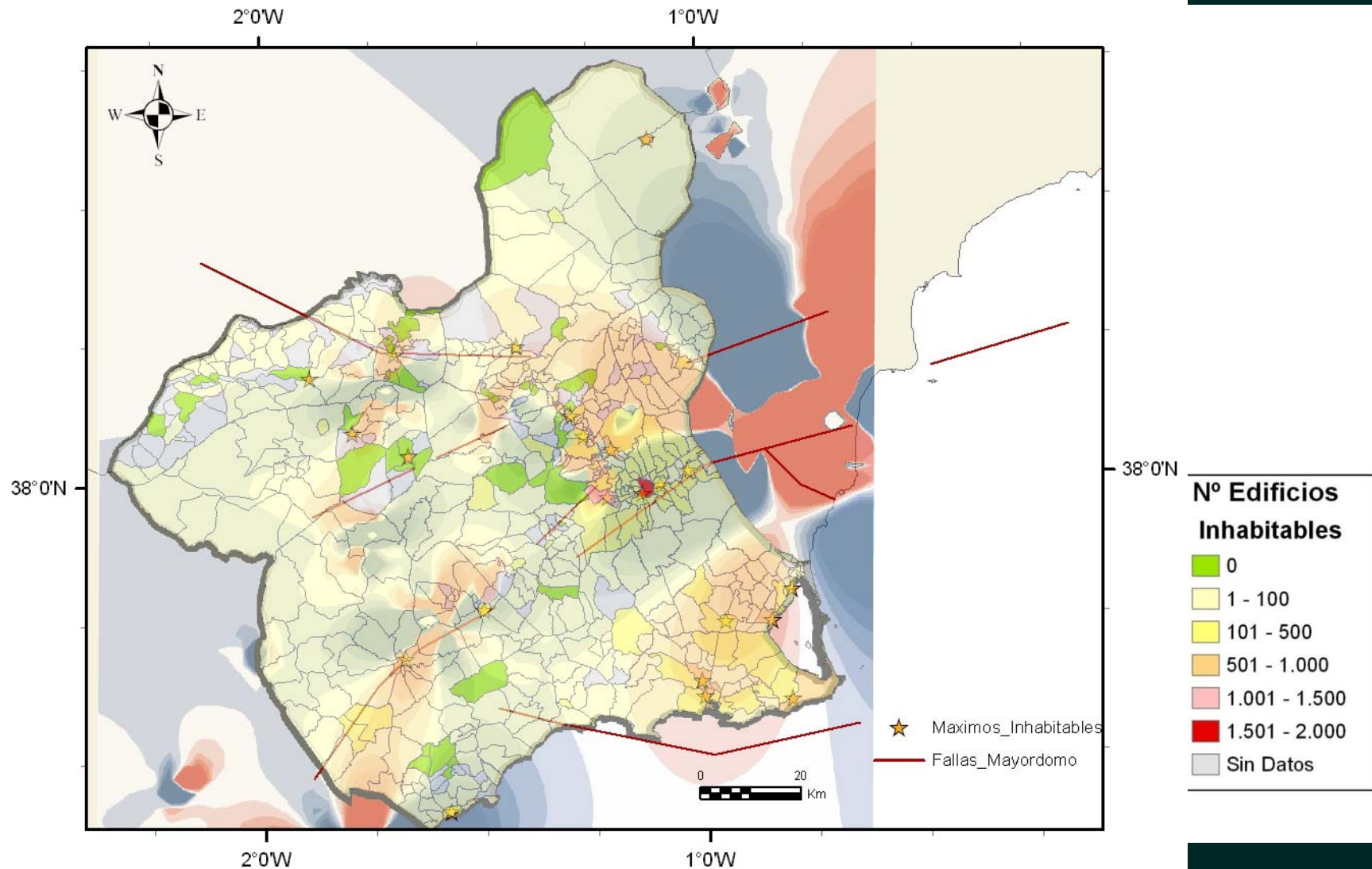




Otros ejemplos

Riesgo sísmico en Murcia. Prioridades de actuación

Criterio combinado:



a):

Situación de poblaciones, relativa a las principales fallas activas y a las zonas con mayor probabilidad de disparo de eventos futuros.

Baremo de prioridad —→ escenarios particulares de peligrosidad y riesgo, :

Poblaciones con mayor daño esperado que se ubiquen en:

■ *Prioridad 1*

Zonas de incremento de esfuerzos y sean próximas a alguna falla principal.

■ *Prioridad 2*

Zonas de incremento de esfuerzos pero no tengan ninguna falla principal cercana.

■ *Prioridad 3*

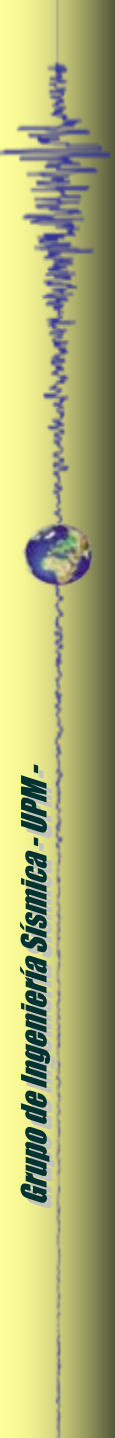
Zonas fuera de incremento de esfuerzos pero que estén próximas a alguna falla principal.

■ *Prioridad 4*

Zonas fuera de incremento de esfuerzos sin proximidad a alguna falla principal.

Índice

- Definición y conceptos generales
- Directriz Básica de Protección Civil
- Planteamiento de estudios de riesgo a nivel autonómico
- **Pautas para estudios de riesgo a nivel municipal**
- La situación en España
- Líneas de investigación abiertas
- Recomendaciones y conclusiones hacia la mitigación del riesgo



HACIA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO A NIVEL MUNICIPAL

Los mapas probabilistas son útiles para establecer prioridades de actuación (*jerarquización de municipios con mayor o menor riesgo*) pero no representan el riesgo para un sismo característico.

En planes municipales deben definirse escenarios particulares de peligrosidad y daño, cambiando de **escala** y de **planteamiento**

	Nivel Regional	Nivel Municipal
Peligrosidad	Estudio probabilista	Escenarios deterministas (M_1, R_1), (M_2, R_2),... (M_N, R_N)
Suelo	Escala 1:200.000	Escala 1:5.000
Vulnerabilidad	Matrices de probabilidad (año de construcción)	Métodos analíticos, Inspecciones “in situ”

Evaluación de daño basada en el **desempeño sísmico**

Estimación **coste/beneficio** de la adopción de medidas preventivas

PELIGROSIDAD

Definición de escenarios sísmicos **probabilistas** (mediante desagregación) y **deterministas** teniendo en cuenta, si es posible:

- El grado de conservadurismo deseado
- Las características de la falla sismogénica

SUELO

Análisis **estructura** (sondeos, perfiles)

Vibración natural: periodos propios (ruido ambiente, microtemores, SPAC)

Análisis **geotécnicos** en laboratorio e in situ

EFFECTOS SOBRE EL TERRENO Y OTROS EFFECTOS INDIRECTOS

Licuefacción

Desprendimientos

Deslizamientos

VULNERABILIDAD

Análisis más detallado, incluso edificio a edificio

- importancia normal y especial
- patrimonio histórico
- infraestructuras y líneas vitales

Uso de métodos empíricos (espectro capacidad)
estudio en base a desempeño

Análisis dinámico de estructuras

INVENTARIO DE
ELEMENTOS
EXPUESTOS A
RIESGO:
ESTRUCTURAS DE
IMPORTANCIA
ESPECIAL

EXPOSICIÓN

Variaciones de población diaria, semanales, estacionales y esporádicas
Estimaciones de heridos y muertos
Capacidad de recuperación, fragilidad socioeconómica

COSTE

Post-evento: reparación, demolición, desescombro, reaseguro,...

Pre-evento: refuerzo, sustitución, planificación respuesta, otras

Estimación del Riesgo Sísmico más completa y a menor escala
(zonación sísmica) $\Rightarrow$ Inclusión de factores como:

DEFORMACIÓN PERMANENTE DEL SUELO



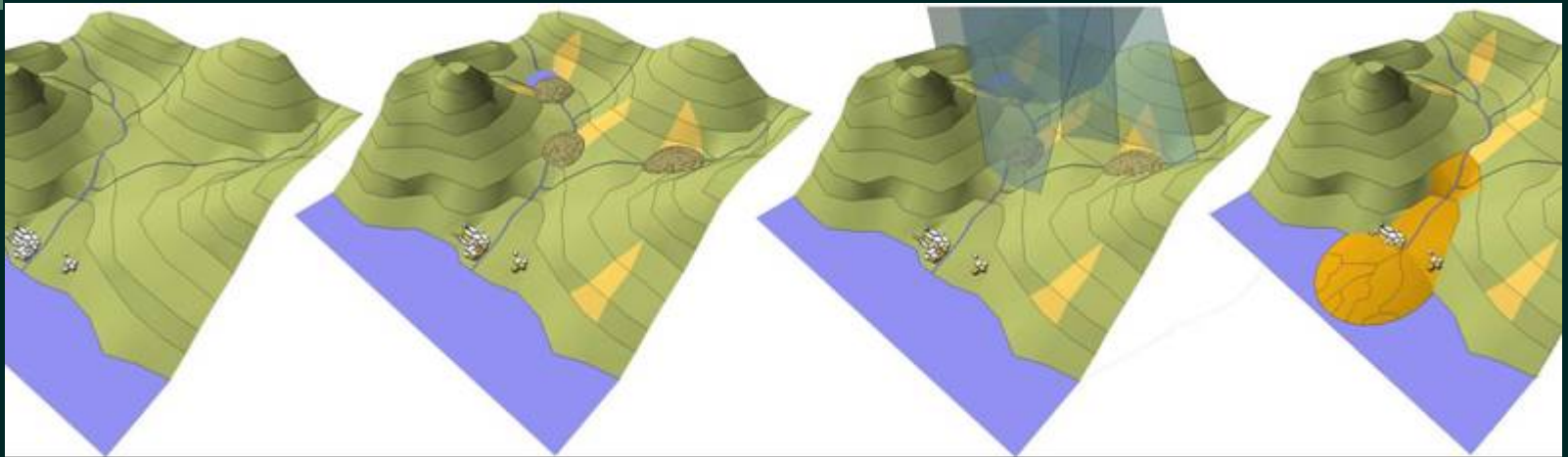
POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN



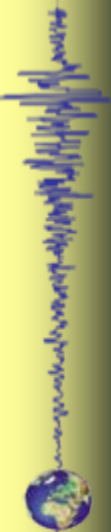
PELIGRO DESLIZAMIENTO DE LADERA



Efectos derivados del sismo : deslizamientos, debris flow y licuefacción



Murphy, P 2009



TSUNAMIS



Antes



Después



INCENDIOS



LÍNEAS VITALES E INFRAESTRUCTURAS DE ESPECIAL IMPORTANCIA



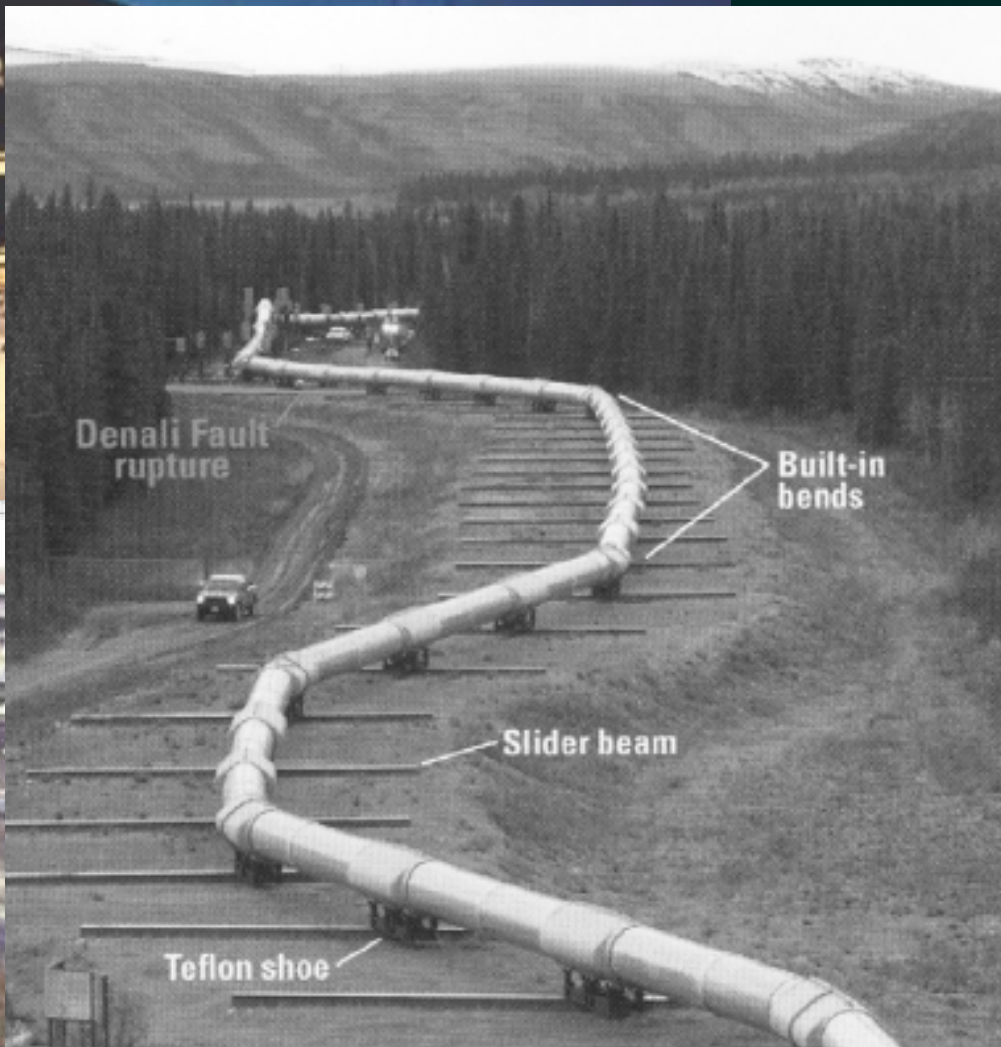
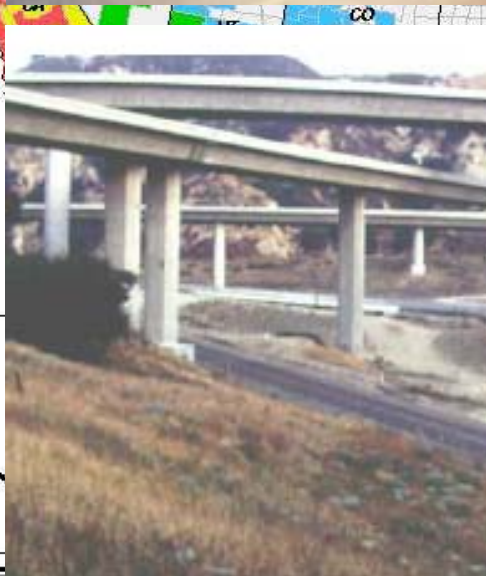
ESPECIAL ATENCIÓN A POSIBLES CORTES DE CARRETERAS EN LA DEFINICIÓN DE PLANES DE EMERGENCIA



■ *Murphy, P 2009*



ESTIMACIÓN DEL **COSTE**: refuerzo vs. reparación



Índice

- Definición y conceptos generales
- Directriz Básica de Protección Civil
- Planteamiento de estudios de riesgo a nivel autonómico
- Pautas para estudios de riesgo a nivel municipal
- **La situación en España**
- Líneas de investigación abiertas
- Recomendaciones y conclusiones hacia la mitigación del riesgo

NIVEL REGIONAL

Planes especiales autonómicos:

- homologados (Cataluña, Baleares, Murcia, País Vasco)
- en revisión (Extremadura, Andalucía)
- en proyecto (Galicia, Navarra)

Otros

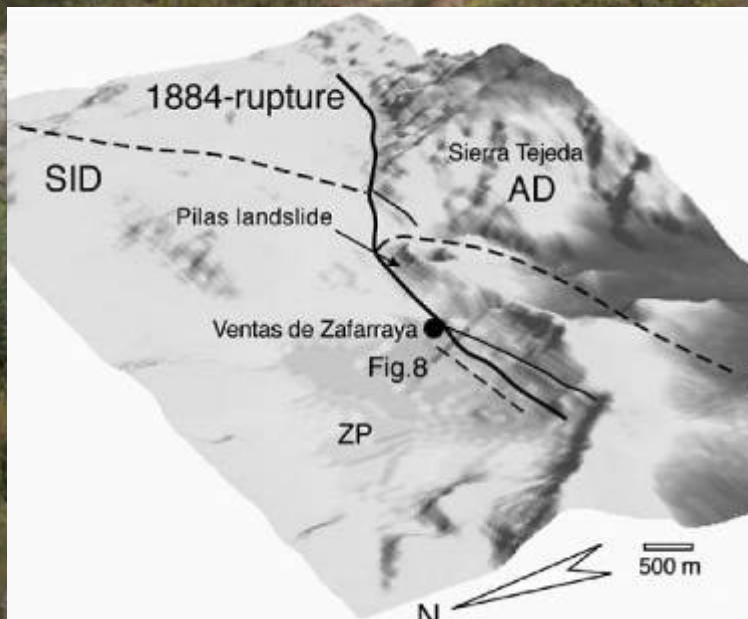
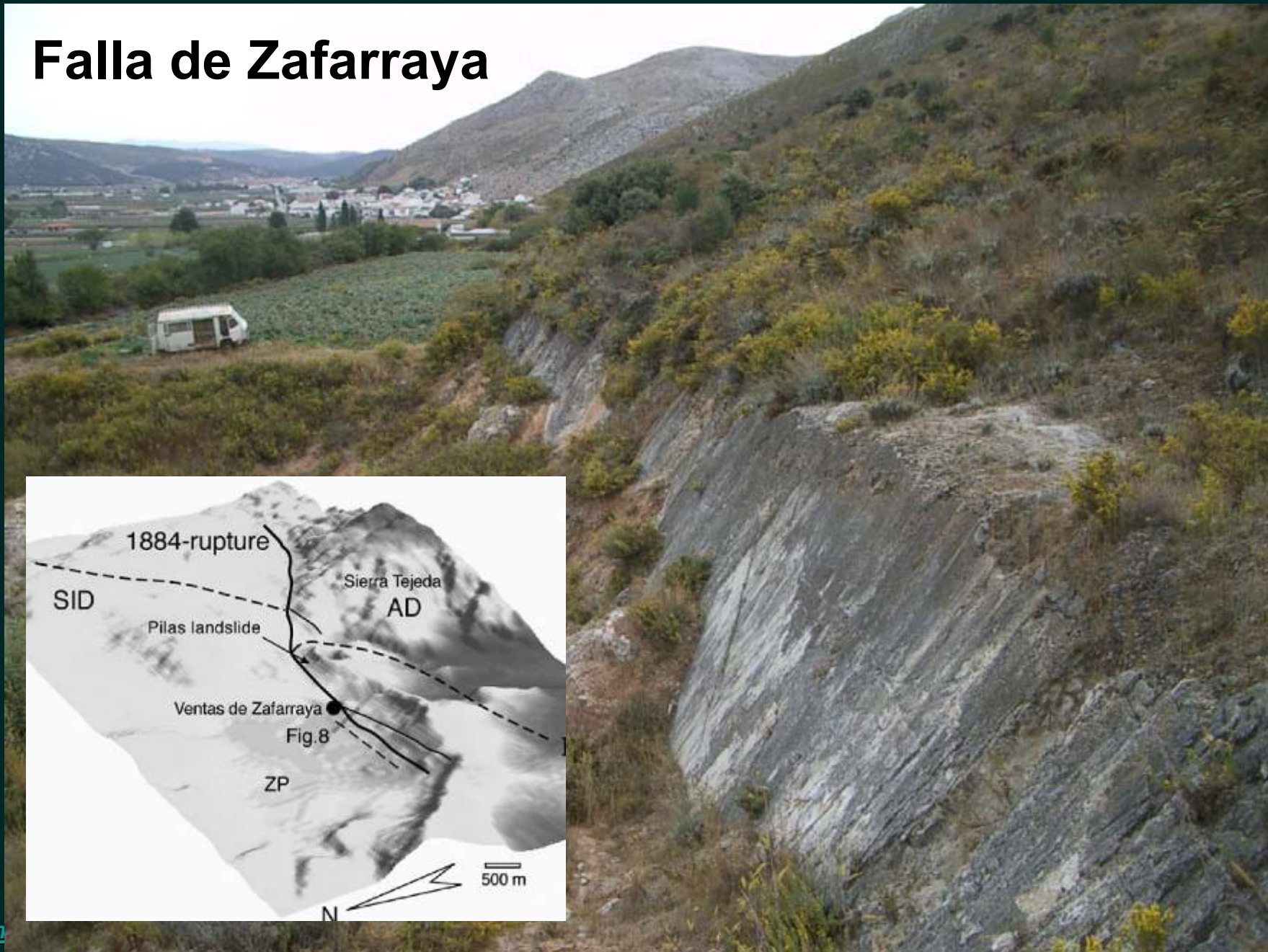
- Badal et al. (2004)
- Ferrer et al. (2004)

NIVEL URBANO

- Ciudades del Sur: Granada, Málaga, Almería, Vélez-Málaga
- Barcelona
- Murcia
- Poblaciones de C. Valenciana (Almoradí, S. Vicente Raspeig)
- Poblaciones de Galicia (Lugo, Orense)

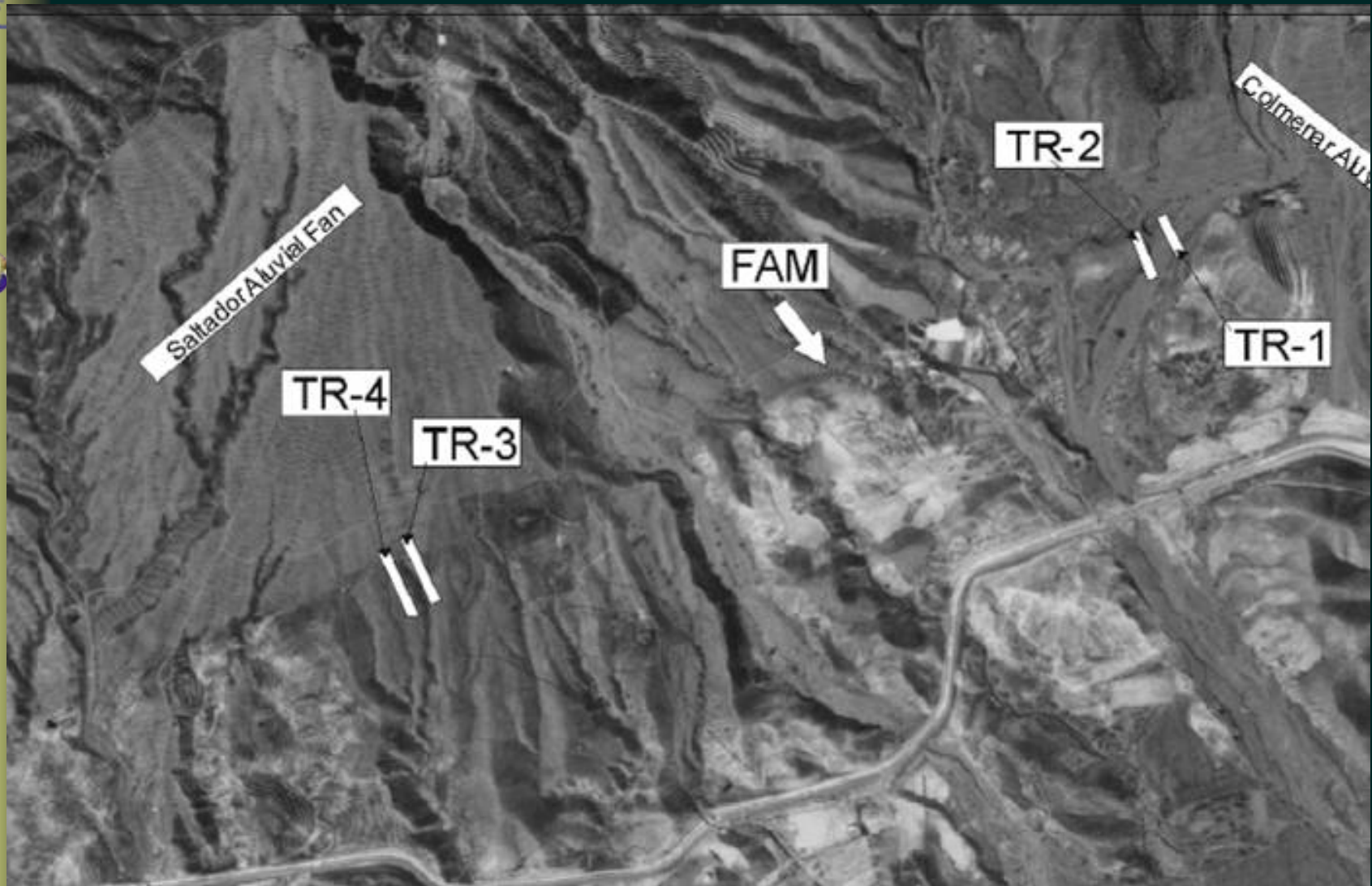
ESTUDIO PARTICULAR DE LA ACTIVIDAD DE FALLAS

Falla de Zafarraya



ESTUDIO PARTICULAR DE LA ACTIVIDAD DE FALLAS

Falla de Alhama de Murcia



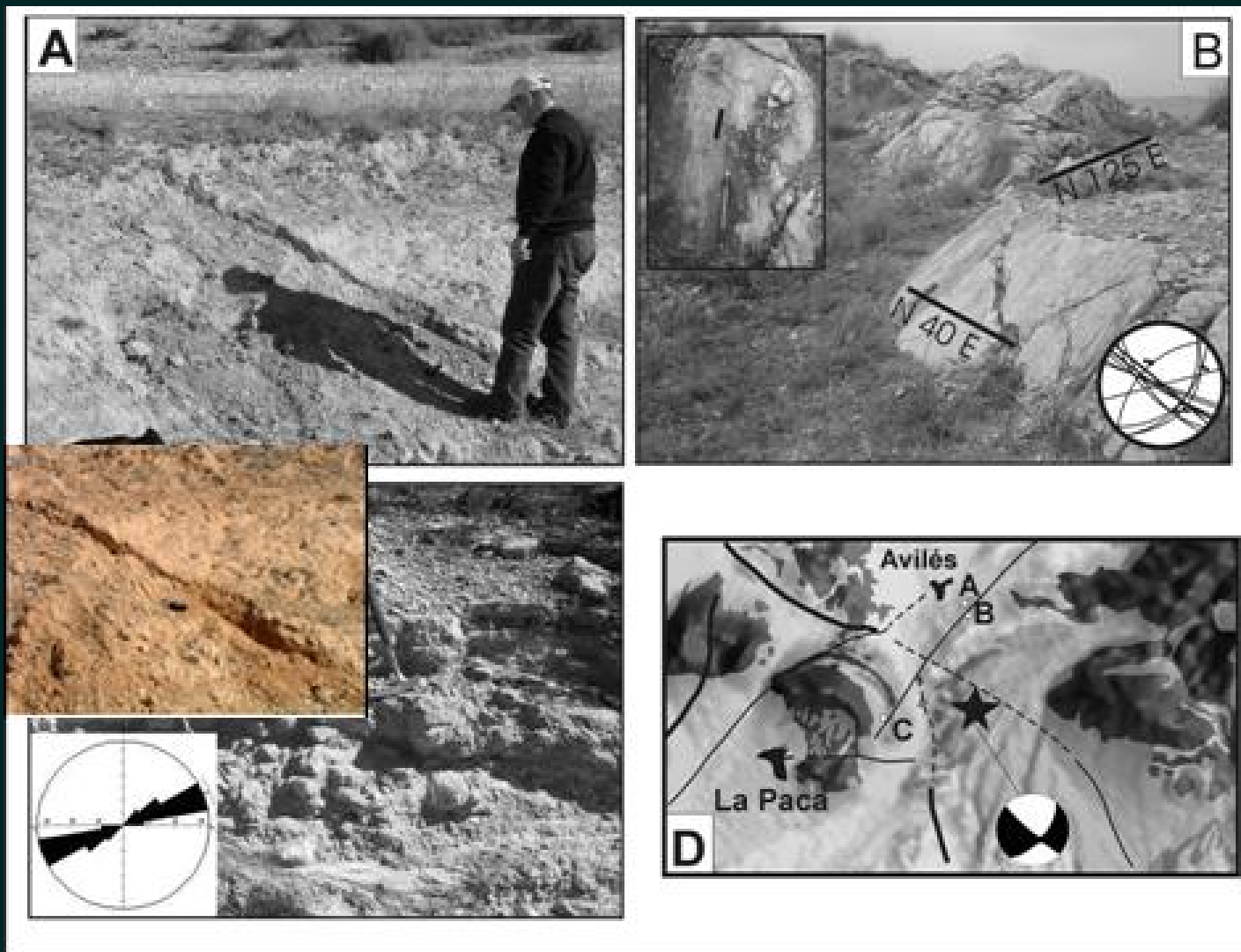
ESTUDIO PARTICULAR DE LA ACTIVIDAD DE FALLAS

Falla de Carboneras



ESTUDIO PARTICULAR DE LA ACTIVIDAD DE FALLAS

Falla de Avilés: Último sismo con daños en España (La Paca, 2005)



A B C. SABADO 1 DE MARZO DE 1969. EDICIÓN DE LA MAÑANA. PAG. 19.

LA PENINSULA IBERICA, SACUDIDA POR UN FUERTE TERREMOTO

El Observatorio Geofísico de Toledo le atribuye una intensidad de 7,5 en la escala de Richter

Su epicentro estuvo, al parecer, en el Atlántico, a unos 350 kilómetros del sudoeste de la Península

TRES PERSONAS MURIERON EN SEVILLA Y UNA EN BADAJOZ A CAUSA DE LA IMPRESION QUE LES PRODUJO EL FENOMENO

LA TIERRA SE MUEVE, LA GENTE SE ASUSTA

A las cuatro de la madrugada de ayer la ciudad contaba, de pronto, con millares de ventanas encendidas y millares de personas asustadas. A las cuatro y media, el Retiro, los contados parques y los escasos bulevares supervivientes, registraban la apresurada y masiva visita de familias enteras, nerviosamente movilizadas. La gente se echó a la calle. El susto de unos se había convertido en pánico en otros. En las casas bailaban lámparas y muebles, con un ritmo más intenso en razón de la altura. Las atentas señoritas de la Telefónica pusieron nerviosa la Gran Vía.

Madrid, ciudad poco sismógena, se había sobresaltado, como con una pesadilla. Los vecinos expertos pronosticaban que los terremotos se repiten. Las gallinas, los perros, los pájaros enjaulados, los caballos y las sensitivas niñas habían mostrado síntomas de desasosiego, de miedo. Las agujas de los sismógrafos saltaron. Faltaban las máquinas que registrarán la premonición de los seres inocentes, que tradujeran a dato científico el olfato animal. Toda la península se movió. En Huelva y Sevilla, más ruidosamente. En Ubeda y Almansa abandonaron la ciudad. En Gijón, la ciudad se echó a la calle. En Badajoz hubo un muerto y en Sevilla tres. Sonaron largo rato, solas, las campanas de Estepona, Puente deume, Puerto de Santa María, Toro. Cayeron chimeneas, antenas de televisión y se agrietaron muchas casas. Había miedo a las cornisas. Se pararon los grandes relojes y se movieron las pequeñas botellas de la cafetería de Barajas. Sólo en Bilbao y Las Palmas de Gran Canaria durmieron tranquilos. En Tánger un turista británico se tiró por la ventana de su hotel.

Ha sido un susto; fue un gran susto. El campo estuvo concurrido. Se cumplían nueve años, casi exactamente, de la catástrofe de Agadir. De haber estado el epicentro en algún lugar de la Península, tendríamos ahora mucho duelo que llorar. Así la madrugada fue sólo de carreras familiares, en ropa de dormir y con

ULTIMOS SEISMOS OCURRIDOS EN ESPAÑA

10 de marzo de 1951. Un temblor de tierra de cierta intensidad siembra el pánico en algunas poblaciones del sur de España. En Córdoba se derrumban varios edificios y se registran seis heridos en Baena. Se señala el epicentro en Alhama de Granada, donde en 1884 un terremoto produjo 2.000 víctimas.

19 de mayo de 1951. Terremoto de cuarto grado en la mitad sur de la Península. Jaén, la provincia más afectada.

20 de abril de 1956. Granada y varios pueblos de su provincia sufren un fuerte temblor de tierra. Siete muertos y 60 heridos. Pérdidas de más de siete millones de pesetas.

4 de junio de 1956. Sacudida sísmica intensa en Huelva, pero de poca duración.

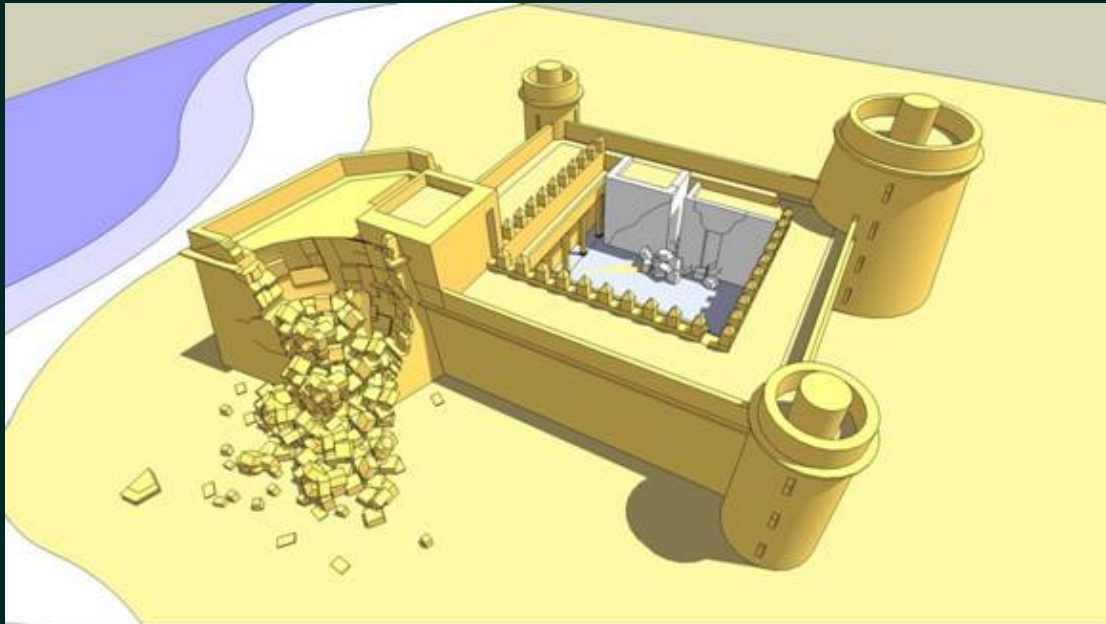
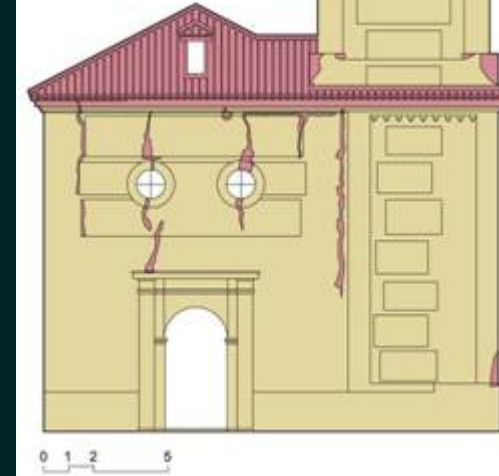
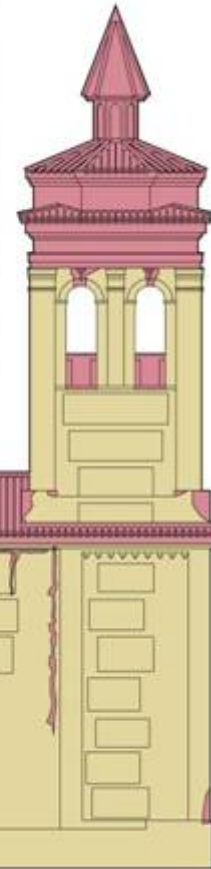
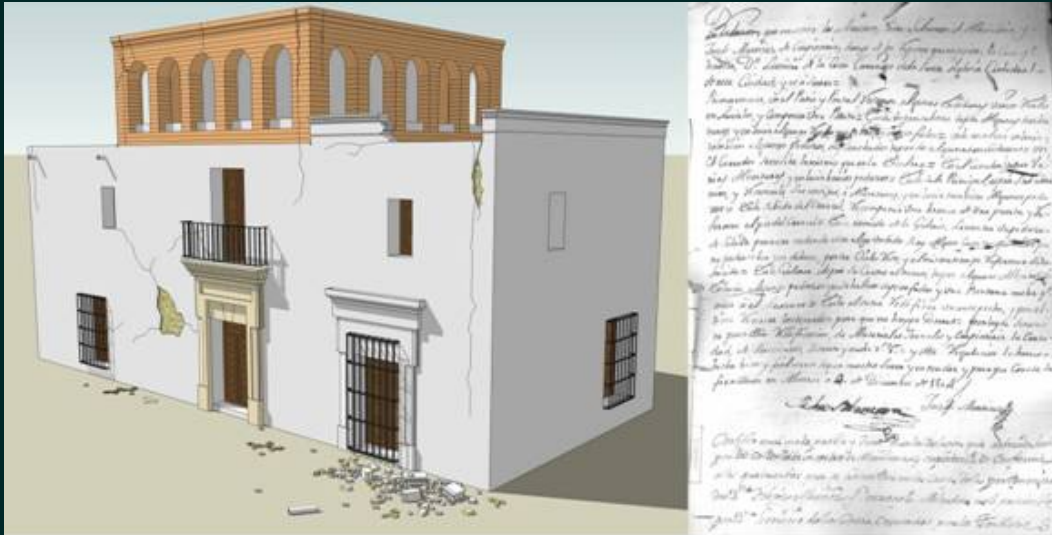
8 de agosto de 1958. Los Observatorios

MODELIZACIÓN DE DAÑOS A PARTIR DE DOCUMENTOS HISTÓRICO



MODELIZACIÓN DE DAÑOS A PARTIR DE DOCUMENTOS HISTÓRICO

Sismicidad histórica



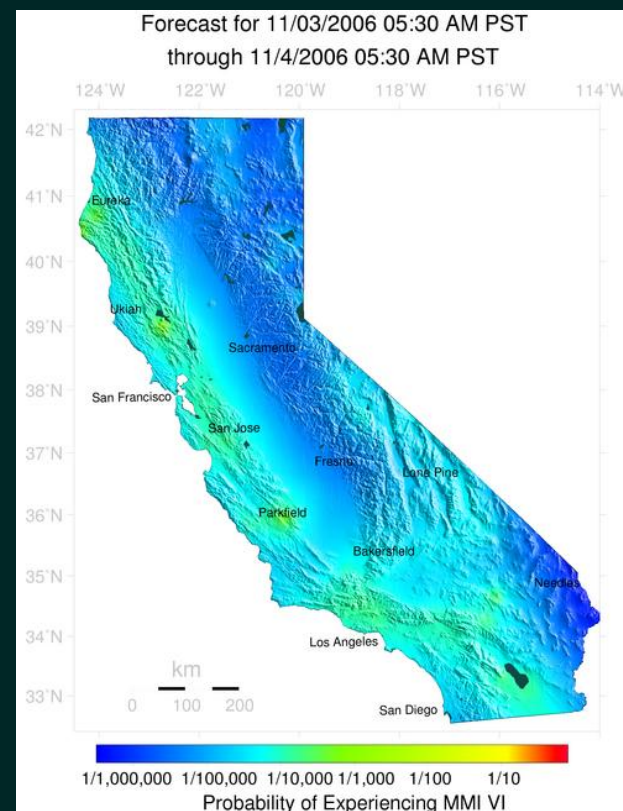
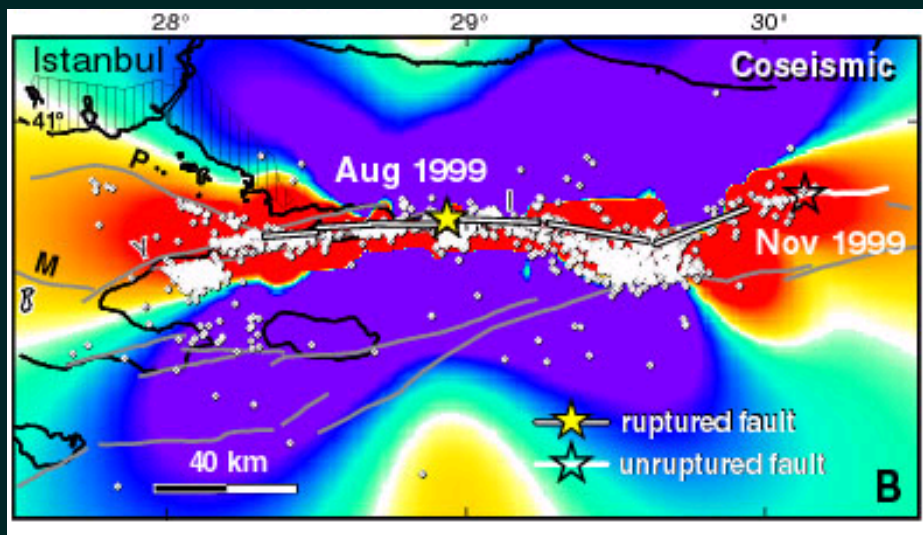
Índice

- Definición y conceptos generales
- Directriz Básica de Protección Civil
- Planteamiento de estudios de riesgo a nivel Autonómico
- Pautas para estudios de riesgo a nivel municipal
- La situación en España
- **Líneas de investigación abiertas**
- Recomendaciones y conclusiones hacia la mitigación del riesgo

TRANSFERENCIA DE ESFUERZOS

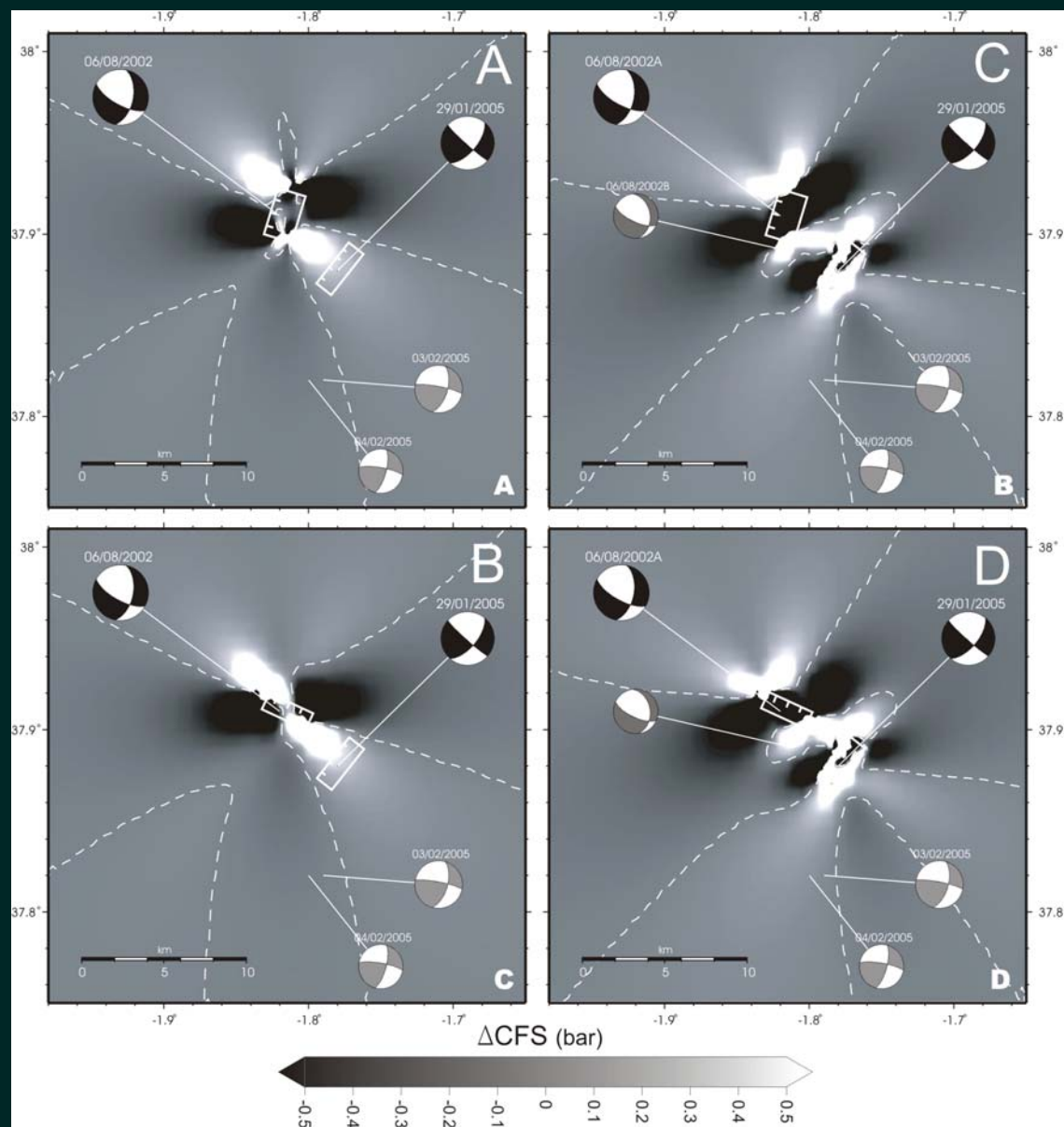
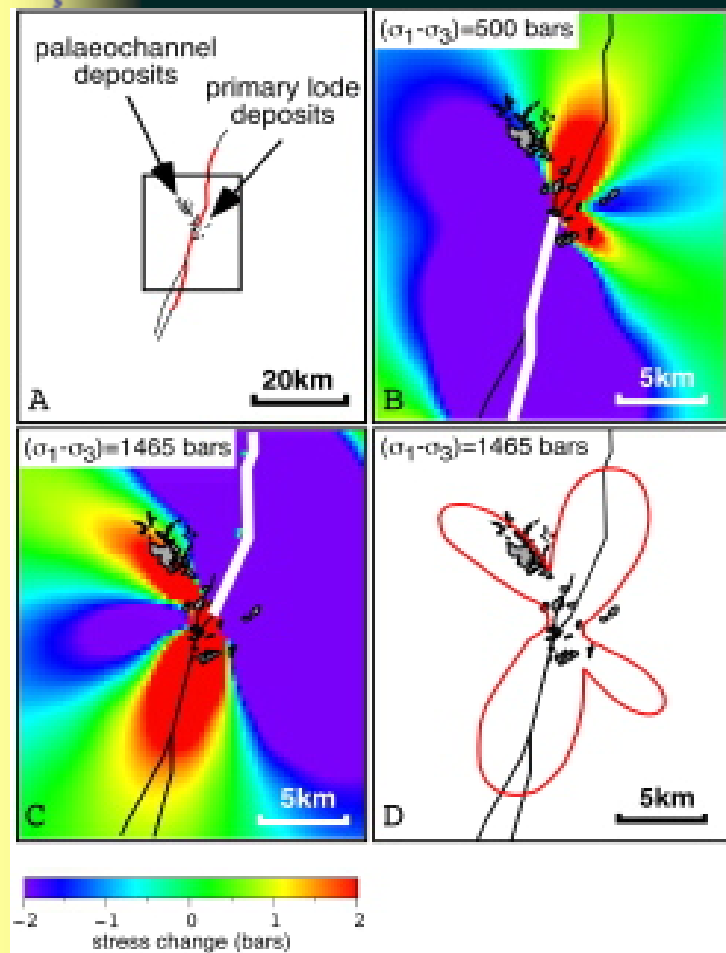
El cambio de la distribución de esfuerzos tras un sismo puede ayudar a situar las zonas donde esperar **réplicas** y tomar medidas: Turquía 1999, El Salvador 2001, Banda-Aceh 2004-2005,...

Mapas de probabilidad de ocurrencia de terremotos en tiempo real: Predicción de réplicas



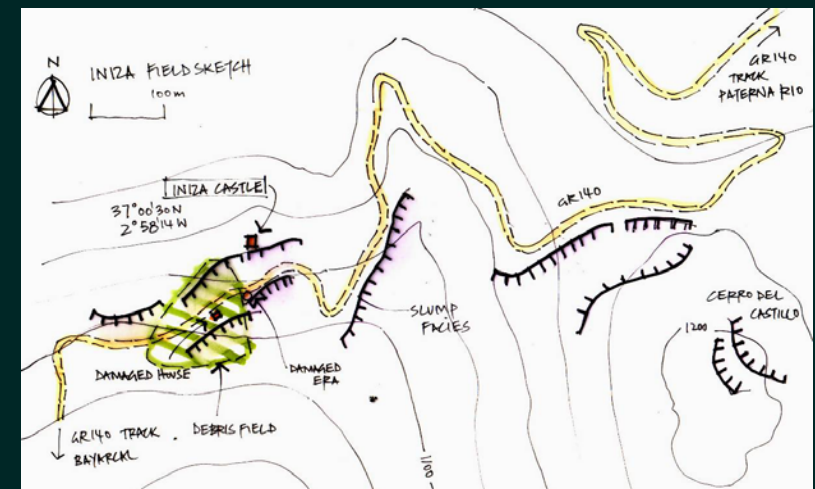
TRANSFERENCIA DE ESFUERZOS

*Posibles efectos
de disparo entre
eventos*



MODELIZACIÓN DE EFECTOS SISMOGEOLÓGICOS: DESLIZAMIENTOS, DEBRIS FLOW Y LICUEFACCIÓN

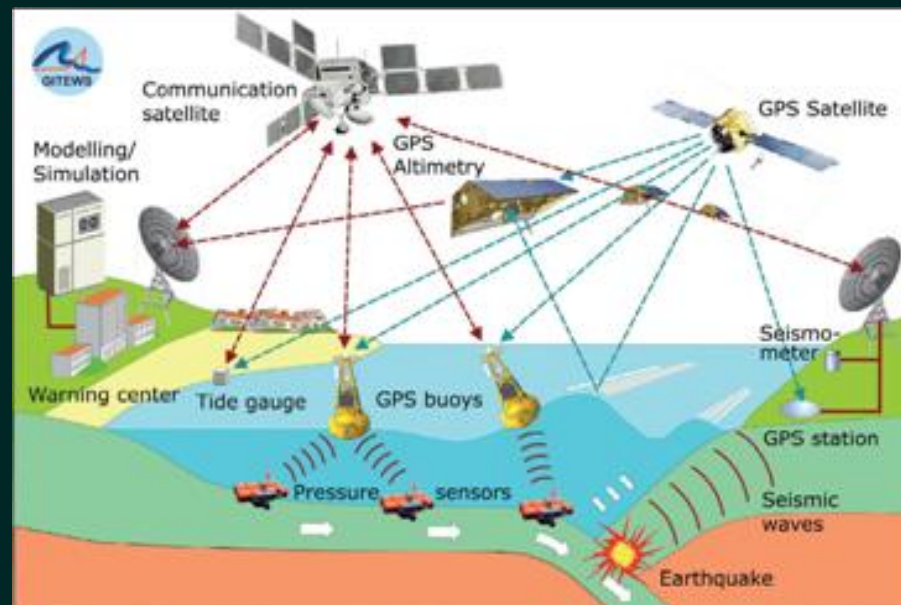
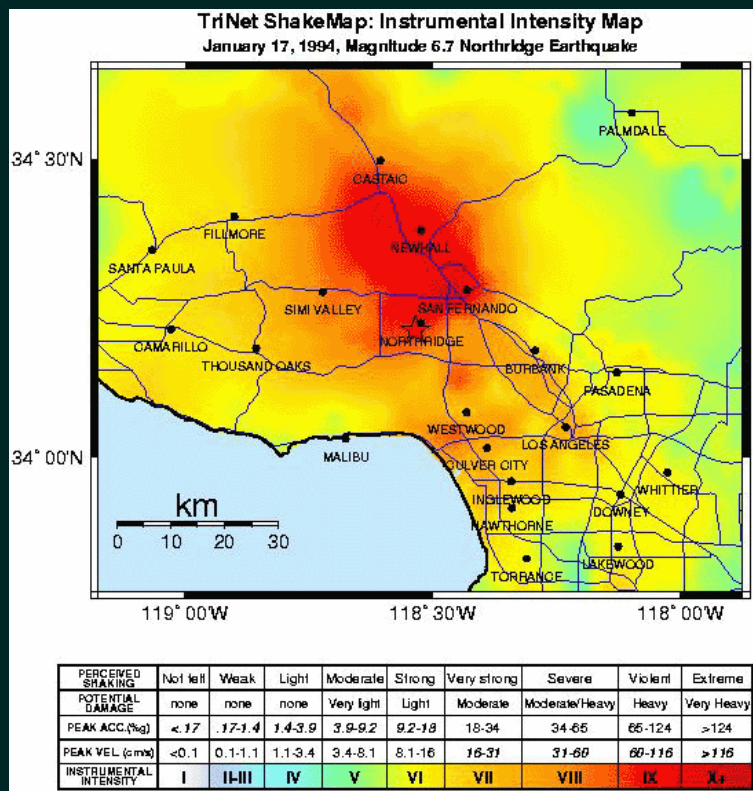
Murphy, P
2009



ARQUEOSISMOLOGÍA



SHAKEMAPS Y SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA



TELEDETECCIÓN

Uso de imágenes de satélite para evaluación de daños tras el sismo

- Análisis de imágenes pre- y post-evento para detectar zonas de daño y seguir los trabajos de rehabilitación
- Especialmente útil en zonas de difícil acceso o con limitada capacidad de respuesta

LANDSAT 7 en SRTM muestra el daño del sismo de Bhuj (India), el 26 de Enero de 2001



TELEDETECCIÓN

Uso de imágenes de satélite para evaluación de daños tras el sismo de Boumerdes (Argelia) el 21 de Mayo de 2003



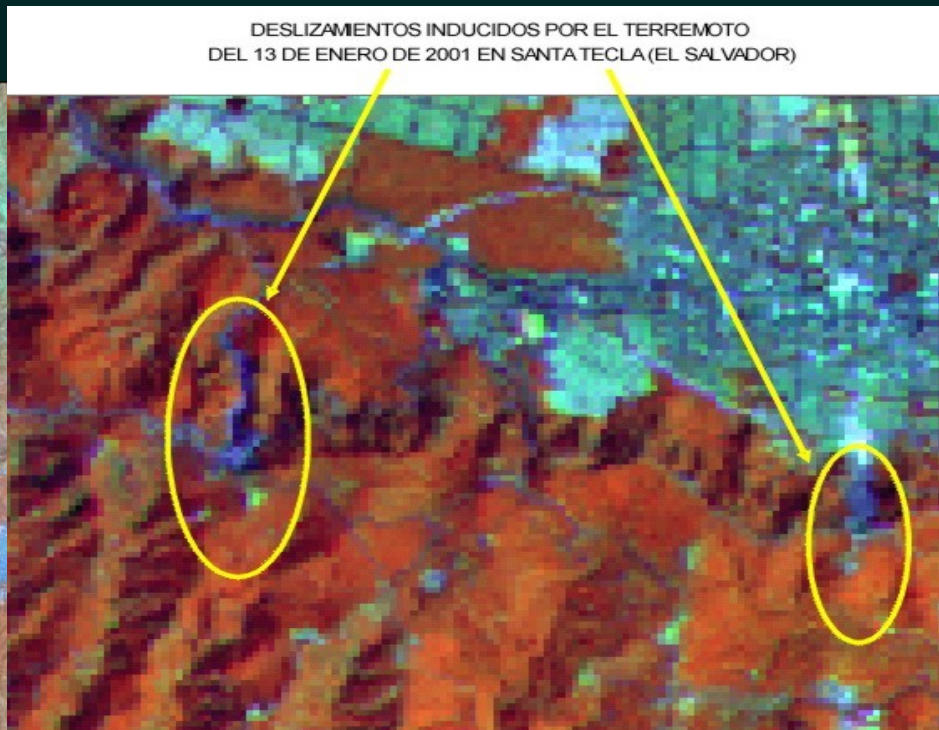
Discontinuidad en tejado plano indica daño grave



Ausencia de sombra revela edificio derrumbado

TELEDETECCIÓN

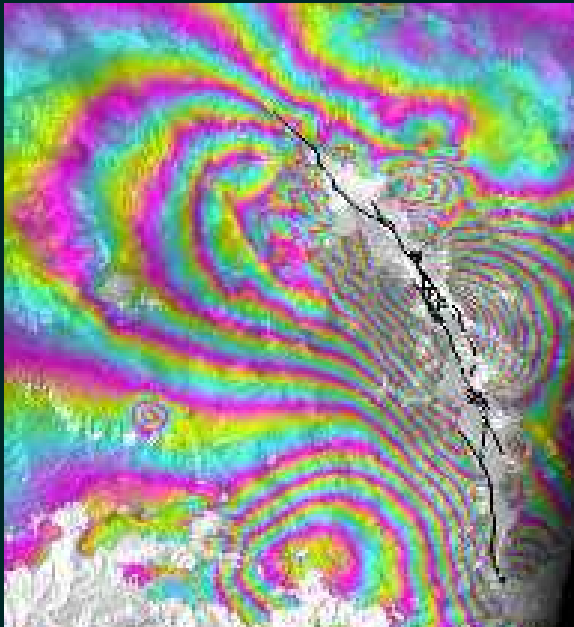
Uso de imágenes de satélite para identificación de deslizamientos inducidos por terremotos



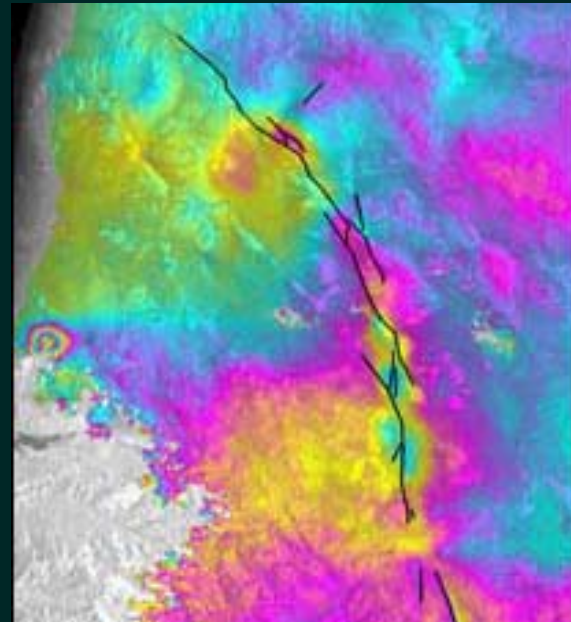
RADAR

Uso de **imágenes de radar** para cuantificar la deformación superficial co-sísmica y post-sísmica

Terremoto de Landers (EEUU) del 28 de Junio de 1992



Interferograma de 35 días:
efectos de la ruptura en
superficie y salto de falla lateral



Interferograma de 40 meses
relajación viscoelástica,
rebote post-sísmico, y
creep a lo largo de la falla

GRANDES INICIATIVAS INTERNACIONALES

Global Earthquake Model (<http://www.globalquakemodel.org/>)

Pretende constituir un estándar mundial para cálculo y para la difusión del riesgo sísmico, aumentar la concienciación, promover la mitigación y el uso de seguros y estimular la transferencia de conocimientos.

Earthquake and Megacities Initiative (<http://www.emi-megacities.org/>)

Organización científica internacional que busca asociaciones estratégicas, sostenibles y duraderas con ciudades grandes sometidas a riesgo sísmico para reducirlo.



Índice

- Definición y conceptos generales
- Directriz Básica de Protección Civil
- Planteamiento de estudios de riesgo a nivel Autonómico
- Pautas para estudios de riesgo a nivel municipal
- La situación en España
- Líneas de investigación abiertas
- **Recomendaciones y conclusiones hacia la mitigación del riesgo**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES (I)

Los mapas de peligrosidad incluyendo el efecto local son más adecuados para la toma de decisiones

Las unidades geográficas consideradas deben ser consistentes con la escala de trabajo

El estilo de representación de los mapas y los parámetros representativos del riesgo deben ser comprendidos por los usuarios finales: conveniencia de obtener un *feedback*

Los daños se deben expresar por medio de parámetros relativos y absolutos, pues dan información complementaria.

Los SIG constituyen un gran apoyo para este tipo de estudios y junto con herramientas de visualización de resultados sirven de ayuda para la toma de decisiones.

Los métodos y escalas de trabajo deben ser fijados en función del carácter regional o municipal del estudio: planteamiento probabilista en estudios regionales y determinista o híbrido (definición de escenarios) en estudios municipales

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES (II)

Es aconsejable realizar estudios de otros riesgos asociados al riesgo sísmico para planificación de emergencias

Es recomendable tener una “guía” para la realización de estudios de riesgo sísmico a escala municipal en la que se especifiquen los costes de medidas de prevención y de reparación a fin de priorizar los recursos disponibles

Se deben fomentar actividades cooperativas entre todos los agentes implicados en el riesgo sísmico a fin de facilitar la comunicación entre ellos y disminuir la *vulnerabilidad administrativa* (falta de comunicación, errores de interpretación)

Los estudios de riesgo deben actualizarse continuamente, de acuerdo con la evolución del conocimiento científico y con las variaciones en los datos de entrada (distribución de población, nuevas construcciones, etc)

Necesidad de homogeneizar metodologías de estimación de riesgo a fin de evitar discontinuidades en zonas limítrofes

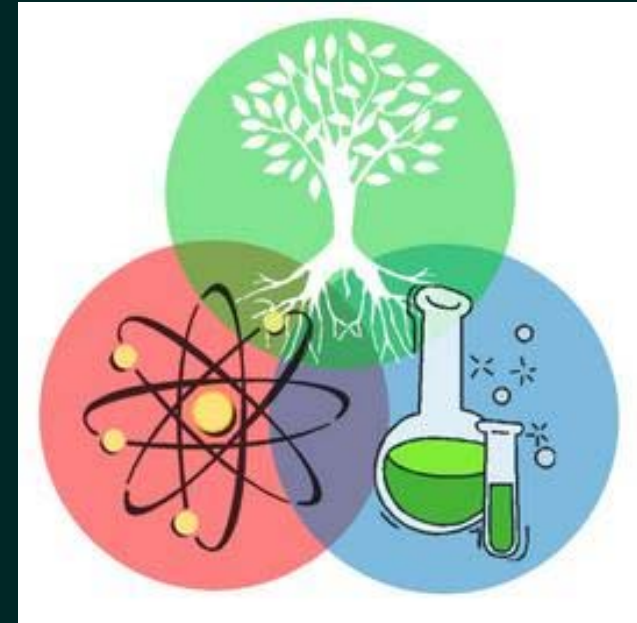
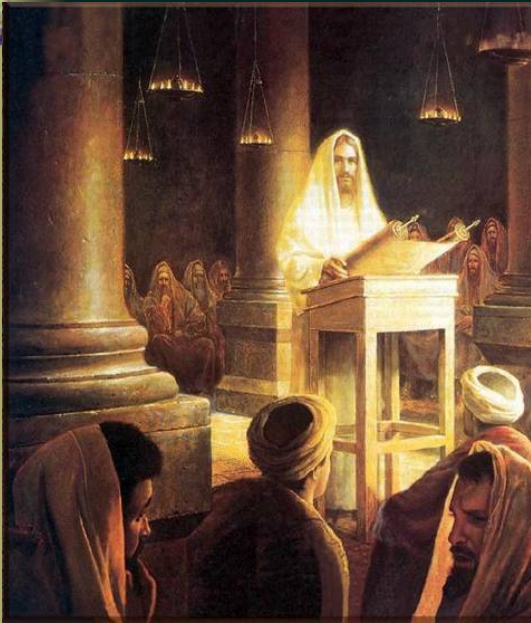
Herramientas políticas



Previsión; Organismos oficiales



La formación, divulgación y desarrollo sostenible





¡ Gracias por la atención !

