

# Análisis de riesgos en el plan de protección civil ante el riesgo sísmico en Cataluña

## *Risk Analysis within the Civil Protection Plan for Seismic Risk in Catalonia (Spain)*

T. Susagna, X. Goula, J. Fleta and A. Roca.

Institut Cartogràfic de Catalunya. Parc de Montjuïc. 08038 Barcelona. tsusagna@icc.es, xgoula@icc.es, jfleta@icc.es, roca@icc.es

### **SUMMARY**

*Catalonia can be classified as a zone of moderate seismic activity. Seismic events of considerable intensity are described in historical records. At the same time, different studies predict zones where earthquakes with intensity equal or higher than VII can occur for a return period of 500 years.*

*Considering the characteristics of the seismic emergency and its consequences, and the probability of occurrence of a seismic event of these characteristics, it is necessary to develop a plan that gives a rapid and efficient response. This emergency response plan have as purpose to minimize the possible personal, property and environmental damages, and to reestablish basic services to the population in the minimum time possible.*

*The zones with the highest seismic risk within Catalonia are identified through the seismic zonation of the territory and the vulnerability study of the buildings in the different towns of Catalonia. Then, it is possible to define the municipalities that should make the corresponding Municipal Action Plan.*

## **1. INTRODUCCIÓN**

Cataluña se puede calificar como una zona de actividad sísmica moderada. En los registros históricos están descritos fenómenos sísmicos de considerable intensidad. Al mismo tiempo, los diferentes estudios predicen zonas donde es previsible seísmos de una intensidad igual o superior a VII, para un período de retorno de 500 años.

Atendiendo las características de la emergencia sísmica y de las que se puedan derivar, y la probabilidad de que se produzca un fenómeno de estas características, es necesario desarrollar un plan para dar una respuesta rápida y eficaz, dirigida a minimizar los posibles daños a las personas, bienes y medio ambiente, y que permita restablecer los servicios básicos para la población en el menor tiempo posible.

A través de la zonificación sísmica del territorio y del estudio de la vulnerabilidad de los edificios de las diferentes poblaciones de Cataluña se establecen las zonas donde el riesgo es más elevado y se determina los municipios que han de hacer el correspondiente Plan de Actuación Municipal.

En esta comunicación se presenta la zonificación sísmica del territorio, el estudio de vulnerabilidad de los edificios y los municipios que están sujetos a la realización del correspondiente plan de emergencia.

El Plan Especial de Emergencias Sísmicas de Cataluña fue homologado por la Comisión Nacional de Protección Civil en Junio de 2002

## **2. CONOCIMIENTO DEL RIESGO**

Hay determinadas áreas en Cataluña que se encuentran expuestas a un riesgo mayor de que se produzcan situaciones de emergencia sísmica. Los estudios que llevan a identificar estas zonas constan fundamentalmente de tres partes:

a) La valoración de la peligrosidad sísmica, que permite una estimación de la intensidad del movimiento sísmico que puede razonablemente esperarse en cada municipio de Cataluña.

b) La valoración de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones en todo el territorio catalán, que permite una estimación de los daños que el movimiento sísmico

considerado puede causar sobre los municipios de Cataluña. Construcciones tales como:

- las edificaciones de vivienda y otros usos para la población
- aquellas en las cuales reposan los servicios imprescindibles para la comunidad
- construcciones que, debido a sus actividades, en caso de seísmo pueden hacer que se incrementen los daños por efectos catastróficos asociados.

c) La combinación de estos dos estudios permite la elaboración de un escenario de riesgo para cada municipio de Cataluña y por tanto identificar las poblaciones con más riesgo:

- Poblaciones con una peligrosidad sísmica mayor
- Poblaciones con una vulnerabilidad sísmica mayor.

## **3. EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA**

Para la correcta evaluación de la peligrosidad sísmica en Cataluña, el Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC) elaboró el nuevo Catálogo Sísmico que recoge y unifica la información sísmica que procede de diversas fuentes existentes hasta el momento en Cataluña (Susagna y Goula, 1999). También se ha realizado una nueva zonificación sismotectónica basada en criterios geológicos y sísmicos (Fleta et al., 1996).

La evaluación de la peligrosidad sísmica en Cataluña se ha llevado a término combinando métodos deterministas y probabilísticos que tienen en cuenta estos nuevos datos (Secanell, 1999; Secanell et al., 1999).

El mapa que determina las diferentes áreas del territorio en función de su peligrosidad sísmica es el mapa de zonas sísmicas. En la figura 1, se presenta este mapa, expresado en diferentes valores de intensidad para una misma probabilidad anual de  $2 \cdot 10^{-3}$  equivalente a un período de retorno de 500 años en el que además se ha tenido en cuenta efectos de amplificación debidos a la presencia de suelos blandos en los núcleos urbanos (Fleta et al., 1998).

En el anexo 6 del Plan se detallan los datos considerados y los procesos intermedios para llegar al mapa final de zonificación del territorio. Igualmente se presenta una lista de todos los municipios con la intensidad que le corresponde según el mapa de la figura 1.

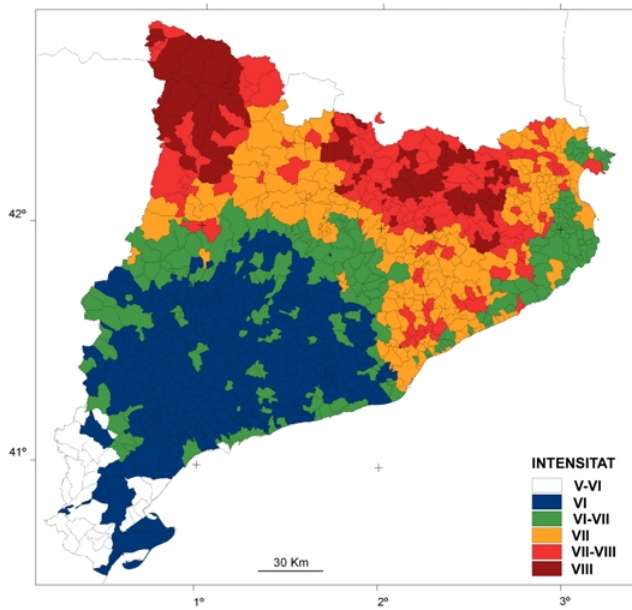


Figura 1. Mapa de zonas sísmicas considerando el efecto de suelo. (Map of the seismic zones taking into account the soil conditions)

#### 4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica se han considerado métodos diferentes, según se trate de edificios de vivienda o similares por sus características constructivas y estructurales (hospitales, edificios de bomberos, etc.) o bien de líneas vitales, con características técnicas particulares (conducciones de gas o electricidad, transformadores eléctricos, etc.). Los métodos tienen en común que estiman daños por movimientos sísmicos expresados en intensidad macrosísmica (mapa de zonas sísmicas de la figura 1) y por lo tanto están basados en la nueva escala de intensidades EMS-92 (que completa la definición de la escala de intensidad MSK), ya que de hecho, las tipologías constructivas pueden ser expresadas sin demasiadas dificultades en las tipologías definidas en la escala EMS'92 y los daños que pueden esperarse para una cierta intensidad pueden deducirse de la matriz de probabilidad de daños de acuerdo con esta escala.

La metodología utilizada para edificios de vivienda o similares tiene un carácter estadístico para poder utilizarse con poca información disponible de los edificios y sin necesitar un trabajo de campo largo y costoso. Esto implica, entre otras cosas, que los resultados que se obtengan para cada municipio, que es la unidad de trabajo escogida, se refieren siempre a valores globales, sin poder dar resultados con detalle para edificios individuales. En el caso de interesarnos para edificios individuales, como son los edificios con servicios imprescindibles para la comunidad, la

metodología tan solo permitirá obtener un resultado probabilista para traducir el aspecto estadístico del análisis.

#### Clasificación de las edificaciones de viviendas o similares a vivienda en clases de vulnerabilidad

La clasificación de los edificios de vivienda de Cataluña (cerca de un millón) según las clases de vulnerabilidad definidas en la EMS-92 se ha elaborado partiendo de los datos del censo de edificios realizado el año 1990 por el Instituto de Estadística de Cataluña (IEC). La información disponible es la edad, la altura y la situación geográfica de los edificios.

La edad y la altura están claramente asociadas a la vulnerabilidad sísmica de los edificios. La edad no tan solo tiene importancia por su efecto sobre el proceso de deterioramiento de la resistencia del edificio sino que es indicativo de técnicas constructivas, variables a lo largo del tiempo. Según las informaciones recogidas de expertos en temas constructivos se han podido hacer tres grupos de edificios según el período de construcción: anteriores a 1950; entre 1950 y 1970 y posteriores a 1970. Por su parte, la altura influye en el comportamiento de los edificios delante de una sollicitación sísmica. En el caso de los edificios de Cataluña, que han sido construidos únicamente para aguantar cargas gravitatorias, éste parámetro ha servido para diferenciar los edificios que tienen un margen de seguridad respecto a aquellos que están en el límite de resistencia. Los grupos de edificios por altura se han definido con los límites siguientes: 12 m (menos de 5 plantas), que forman el primer grupo y 18 m (más de 5 plantas), que forman el segundo grupo. Los edificios de alturas intermedias (5 plantas) forman un tercer grupo. Finalmente se ha tenido en cuenta si el edificio pertenece al núcleo urbano o se trata de un edificio aislado.

En la tabla 1 se presenta la distribución de los edificios de vivienda de Cataluña (aprox. 935000) según los tres parámetros indicados.

Tal como se observa en esta tabla, la gran mayoría de los edificios de Cataluña, alrededor del 90%, están localizados en núcleos urbanos; un porcentaje similar se determina para las edificaciones menores de 5 plantas; respecto a la distribución por edad, se observa el mayor crecimiento de la construcción a partir de 1970, con un 41%.

Otra información utilizada en la clasificación de las edificaciones en clases de vulnerabilidad fue la tipología estructural y el estado de conservación de los edificios. Las diferentes tipologías estructurales utilizadas en Cataluña han estado identificadas a partir de las épocas de construcción consideradas. La ponderación de toda la información disponible, con los criterios de la escala EMS-92 y el juicio de experto permitió hacer una clasificación de las edificaciones en clases de vulnerabilidad que se expresa en función de los tres principales parámetros (Chávez, 1998; Chávez et al 1999).

Los mapas con las distribuciones de las diferentes clases de vulnerabilidad obtenidas para todos los municipios de Cataluña se detallan en el apartado 8.1.2 del anexo 8 del Plan.

Tabla 1. Distribución de los edificios de vivienda de Cataluña según la altura, el año de construcción y la situación (IEC, 1990). (Distribution of dwelling buildings in Catalonia by height, age and location, IEC, 1990)

Fecha de Construcción		Hasta 1950		1951-1970		Después de 1970	
Área de Situación		Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Altitud	< 5 plantas	232740	31119	212070	16304	315504	37346
	= 5 plantas	7065	9	14083	24	11937	22
	> 5 plantas	12699	2	21963	33	22028	44

#### 4. ESTIMACIÓN DE DAÑOS RELACIONADOS CON EDIFICIOS DE VIVIENDA

Se ha llevado a cabo una estimación de los daños que pueden experimentar los edificios de los diferentes municipios de Cataluña, considerando las intensidades previstas en el mapa de zonas sísmicas presentado en la figura 1. Además, como resultado del daño causado en los edificios se ha realizado un escenario de las consecuencias para la población de cada municipio.

##### Estimación del daño en los edificios

La estimación del daño que podrían experimentar las edificaciones de vivienda de los diferentes municipios, considerando la ocurrencia de un sismo como el indicado en el mapa de zonas sísmicas de la figura 1, se ha realizado mediante el uso de matrices de probabilidad de daños que han sido determinadas para las clases de vulnerabilidad A, B, C, D, E y F, los grados de daños de 0 (no daño) a 5 (colapso total) y los grados de intensidad (de VI a X) de la escala EMS-92 (Chávez, 1998; Chávez et al 1999).

Como resultado de la evaluación del daño físico se obtiene el número de edificios de cada municipio distribuido según los diferentes grados de daños.

A partir del daño experimentado en los edificios se ha elaborado una estimación de los que podrían quedar en condiciones inhabitables, considerándose en este estado aquellos que sufran los grados de daños 4 y 5 así como un 50% de los que experimenten daño 3. Estos resultados son de máxima importancia para la evaluación del número de personas que pueden quedar sin vivienda después de la acción del terremoto.

En la figura 2 se muestra para cada municipio la estimación del número de edificios que resultarían inhabitables, inmediatamente después de producirse el terremoto.

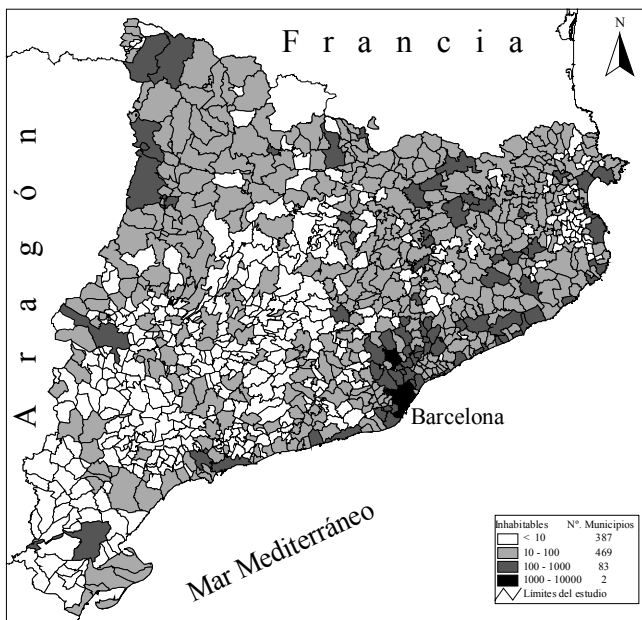


Figura 2. Mapa con la estimación del número de edificios inhabitables inmediatamente después de producirse un terremoto con el grado de intensidad considerado en el mapa de la Figura 1. (*Estimation map with of the number of buildings seriously damaged after earthquake with intensity degrees as considered in figure 1*)

Como síntesis de los resultados de estas estimaciones

se obtiene que un gran número de municipios, poco menos de 400 resultarían poco afectados: menos de 10 edificios inhabitables; aproximadamente la mitad de municipios de Cataluña tendrían entre 10 y 100 edificios inhabitables; menos de 100 municipios tendrían un número superior a 100 edificios sin poder habitarse después del terremoto.

En el apartado 8.1.4 del anexo 8 del Plan se pueden encontrar un listado de todos los municipios de Cataluña con el grado de intensidad asignado en el mapa de zonificación sísmica de la figura 1, la distribución de los edificios para clases de vulnerabilidad, el número total de edificios, el número de edificios que quedarían inhabitables y el número de edificios para cada grado de daño. También se presentan las estimaciones de los daños en forma de mapas, con los límites municipales.

##### Estimación del daño a la población

La posibilidad de sufrir víctimas humanas como consecuencia de la acción de un terremoto está directamente ligado al número de edificios dañados como consecuencia de la intensidad del movimiento sísmico y al número de personas que allí viven, pero depende además de otras circunstancias como la época del año, el día o la hora que se produce el terremoto y también de la preparación de los responsables de Protección Civil y de los ciudadanos para hacer frente a los primeros auxilios.

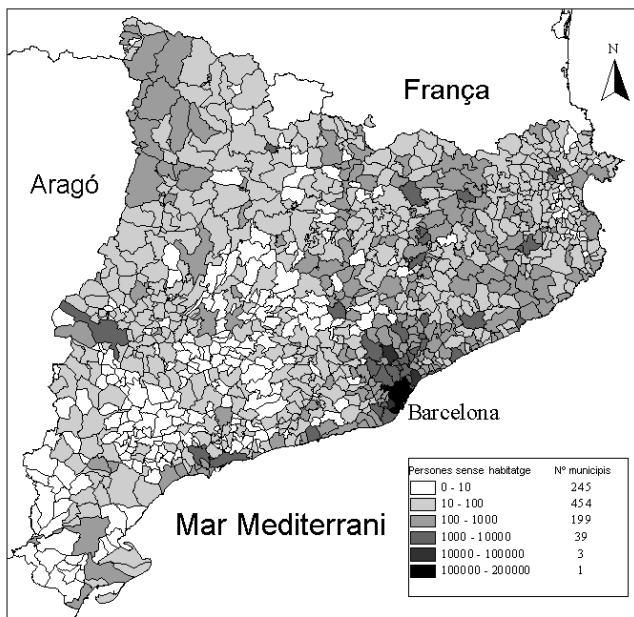
En una primera aproximación se puede hacer una estimación del número de víctimas, de diferente gravedad, a partir de datos disponibles de terremotos ocurridos en otros lugares y de los resultados de las estimaciones de edificios dañados, que se han expuesto anteriormente, acompañadas de los datos del censo de población.

En el apartado 8.2 del anexo 8 del Plan se pueden encontrar los datos del censo de población del año 1996, que juntamente con el censo de edificios permite hacer una estimación del número medio de personas por edificio en cada uno de los municipios. Como resultado se obtiene que en la gran mayoría de municipios, más de 800, el número medio de personas por edificio es inferior a 5 habitantes y tan solo algunos municipios, como Barcelona y otros de su zona de influencia, llegan a valores medios de casi 30 habitantes por edificio.

En el mismo anexo y haciendo una gran simplificación del problema se presenta una estimación muy aproximada del número de personas que podrían resultar afectadas con diferente gravedad en forma de un listado y de mapas con las distribuciones por municipio.

En la figura 3 se presenta un mapa con la estimación aproximada del número de personas que podrían quedarse sin hogar debido a la inhabilitación de su vivienda, después de producirse un terremoto con el grado de intensidad considerado en el mapa de la figura 1.

Los habitantes de casi dos tercios partes del número total de municipios de Cataluña resultarían poco afectados por un terremoto, menos de 100 personas por municipio. El límite superior corresponde a la ciudad de Barcelona con un total de más de 100.000 personas que quedarían sin hogar, en caso de producirse la intensidad indicada en el mapa de zonas sísmicas.



**Figura 3. Estimación aproximada de la distribución del número de personas que pueden perder su vivienda por la acción de un terremoto para todos los municipios. (approximate estimation of the distribution of homeless due to the earthquake action)**

Como resultado de estos estudios han de elaborar el correspondiente Plan de Actuación Municipal:

- Los municipios que tengan una intensidad sísmica prevista igual o superior a VII en un período de retorno asociado de 500 años según el mapa de Peligrosidad Sísmica presentada en la figura 1.
- Los municipios para los cuales se ha calculado que resultarían más de 50 edificios inhabitables o más de un 10% del total de edificios de municipio inhabitables en caso que se produzca el máximo sismo esperado en el mencionado período de 500 años, según los estudios de riesgo elaborados para la redacción del plan.

## 5. CONCLUSIÓN

En Junio de 2002 la Comisión Nacional de Protección Civil ha homologado el primer plan regional de emergencias sísmicas en España correspondiente a Cataluña.

El conocimiento del riesgo ha permitido determinar aquellos municipios que deben elaborar un Plan de Actuación Municipal y por otro lado establecer una estimación de los daños para cada municipio para facilitar la gestión de la emergencia sísmica.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una síntesis, realizada por los autores, de una serie de trabajos que se ha llevado a cabo en Cataluña y en los cuales, además del Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), han participado otras instituciones: Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITEC), Universitat de Barcelona (UB), Observatori Fabra (OF), Direcció General d'Emergències i Seguritat Civil y Direcció General d'Accions Concertades, Arquitectura i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

## REFERENCIAS

- Chávez, J. (1998).** Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a escala regional: aplicación a Cataluña. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, 343 pp.
- Chávez, J., Goula, X., Roca, A., Mañá, F., Presmanes, J.A., López-Arroyo, A. (1999).** Escenarios de Daños sísmicos en Cataluña. *1<sup>er</sup> Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Murcia. 299-307.
- Fleta, J., Escuer, J., Goula, X., Olivera, C., Combres, Ph., Grellet, & Granier, Th. (1996).** Zonación tectónica, primer estadio de la zonación sismotectónica del NE de la península Ibérica (Cataluña). *Geogaceta*, Vol. 20, 853-856.
- Fleta, J., Estruch, I. & Goula, X. (1998).** Geotechnical characterization for the regional assessment of seismic risk in Catalonia. *Environmental and Engineering Geophysical Society. Barcelona*.
- Secanell, R. (1999).** Avaluació de la perillositat sísmica a Catalunya: Anàlisi de sensibilitat per a diferents models d'ocurrència i paràmetres sísmics. Tesis Doctoral Universitat de Barcelona. 335 pp.
- Secanell, R., Goula, X., Susagna, T., Fleta, J., Roca, A. (1999).** Mapa de zonas sísmicas de Cataluña. *1<sup>er</sup> Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Murcia. 251-259.
- Susagna, T. & Goula, X. (1999).** Catàleg de Sismicitat, *Vol I Atlas Sísmic de Catalunya*, Institut Cartogràfic de Catalunya. 436 pp.