



## **APLICACIÓN PRELIMINAR DEL ANÁLISIS DEL SISTEMA URBANO A LA EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE BARCELONA**

*A. Roca, J. Irizarry, J. Marturià y U. Mena*

*Instituto Cartográfico de Cataluña, Parc de Monjuïc, s/n, Barcelona*

[roca@icc.es](mailto:roca@icc.es)

### **RESUMEN**

El análisis de la exposición de sistemas urbanos (USE) consiste en una estrategia global e integrada para mejorar la eficacia de la evaluación del riesgo usando un sistema de información geográfico (SIG). Esta metodología fue desarrollada por un equipo de trabajo internacional dirigido por el BRGM (Francia) dentro del programa de investigación de GEMITIS (Luttot et al., 1998). La gran ventaja del análisis de sistemas urbanos es que una vez analizado el sistema los resultados se pueden utilizar para obtener la vulnerabilidad del mismo ante diversos eventos de emergencia como lo pueden ser los terremotos, inundaciones, etc. Una evaluación típica del riesgo sísmico rara vez brinda información sobre cómo mejorar eficazmente los esfuerzos de prevención, pues por lo general no proporciona suficientes datos sobre las consecuencias indirectas de un terremoto. Esta nueva metodología se centra en la identificación y valoración de los elementos esenciales para el funcionamiento del sistema urbano, permitiendo la evaluación de su vulnerabilidad y la definición de planes para el manejo de emergencias y de acción preventiva. Este estudio presenta la aplicación preliminar del análisis del sistema urbano en la ciudad de Barcelona.

Palabras Clave: análisis de la exposición del sistema urbano, riesgo, terremotos

### **SUMMARY**

The exposure analysis of the urban system (USE) consists of a global integrated strategy to improve the effectiveness of the risk evaluation using a geographical information system (GIS). This methodology was developed by an international work group directed by the BRGM (France) within the research program of GEMITIS (Luttot et al., 1998). The main advantage of the exposure analysis of urban systems is that once the system is analysed, the results can be used to obtain its vulnerability to diverse emergency events like earthquakes, floods, etc. A typical seismic risk evaluation rarely offers information on how to effectively improve the prevention efforts because generally does not provide sufficient data on the indirect consequences of an earthquake. This new methodology is centred in the identification and valuation of the essential elements for the functioning of the urban system, allowing the evaluation of their vulnerability, and the definition of plans for handling emergencies and preventive action. This study presents a preliminary application of the urban system exposure analysis in the city of Barcelona.

Keywords: urban system exposure analysis, risk, earthquakes

### **Introducción**

El proyecto a nivel Europeo RISK-UE (Mouroux et al., 2002) se está aplicando actualmente en la ciudad de Barcelona. Como parte del mismo se han aplicado nuevas metodologías para la evaluación del riesgo sísmico en la ciudad.

La metodología USE para el análisis de la exposición del sistema urbano, desarrollada dentro del proyecto GEMITIS (1996-1999) dirigido por el BRGM (Francia), es una de estas nuevas metodologías aplicadas en la ciudad. El método USE (Massure, 2002) analiza el sistema urbano elemento por elemento, determinando su importancia para el buen funcionamiento del sistema en las etapas de normalidad, crisis y recuperación del sistema urbano. De esta manera se determinan también aquellos elementos más vulnerables ante la emergencia sísmica. Los resultados del análisis de la exposición de los diversos elementos del sistema urbano nos sirven para determinar el impacto profundo de la emergencia en la ciudad.

## **Objetivos**

El objetivo principal es presentar los trabajos en curso relativos al análisis de los principales elementos del sistema urbano de Barcelona para cada una de las etapas de la emergencia sísmica. Para los mismos se determinará su importancia dentro del sistema urbano y su vulnerabilidad ante la emergencia sísmica. Así se identificarán los puntos más fuertes y débiles del sistema urbano. Una vez completados estos trabajos el análisis permitirá hacer recomendaciones a considerar para mejorar el plan de emergencia y prevención ante una emergencia sísmica existente en la ciudad de Barcelona (PEEM, 2002).

## **Metodología**

Para obtener la importancia de cada elemento del sistema urbano que está en riesgo primero se tiene que definir lo que se conoce como tejido urbano. El tejido urbano es la unidad más pequeña y homogénea que se puede definir dentro del sistema urbano. En torno al tejido urbano se define el valor de importancia de cada elemento que componen el sistema urbano en riesgo.

Los elementos en riesgo que se consideran en esta aplicación preliminar de la metodología USE son los siguientes: área residencial, actividad económica, actividad comercial, hospitales y actividad turística. Cada elemento en riesgo identificado se describe en términos de lo que se conoce como componentes del tejido urbano. Estos componentes son diferentes aspectos o roles que el elemento puede representar en el sistema urbano. Estos componentes son los siguientes: población, espacio urbano, actividad, función, gobierno e identidad.

Cada componente es descrito por medio de un indicador que puede ser medido de manera cuantitativa o cualitativa. Este indicador se usa para determinar la importancia que tiene el elemento en riesgo dado el componente considerado. De manera que el estado del elemento en riesgo es valorado en base a la importancia relativa dentro del sistema urbano de cada uno de sus componentes. La importancia de cada componente se determina estableciendo una escala de cuatro niveles para



cada indicador. A estos niveles se les asigna un valor relativo entre 0 y 1 que permite crear una escala común entre los diferentes componentes. Un valor relativo de 1 es asignado al nivel mas alto, mientras que el valor 0 es usado para el nivel mas bajo del indicador.

La suma de los valores relativos asignados a los componentes de un elemento en riesgo nos permite conocer el valor global del elemento en riesgo para cada unidad del tejido urbano. El valor global representa la importancia del elemento en riesgo para el buen funcionamiento del sistema urbano. Un valor global alto implica que el elemento en riesgo es mas crucial para el sistema urbano. Como el valor global de cada elemento en riesgo está asociado a una unidad geográfica de tejido urbano, se pueden generar mapas temáticos utilizando herramientas SIG, en los cuales se pueden delimitar las áreas e identificar los puntos mas significativos o cruciales para el funcionamiento del sistema urbano.

### **Tejido Urbano de Barcelona**

En un principio se había pensado que las unidades de distrito en las que está dividida la ciudad de Barcelona podrían considerarse como el tejido urbano de la misma. Luego de varias consultas con los expertos en urbanismo de la ciudad, esta idea fue descartada. Los expertos en el urbanismo de la ciudad explicaron que solo unos cuantos distritos pueden considerarse lo suficientemente homogéneos para ser utilizados como tejido urbano. Ellos sugirieron que otras unidades mas pequeñas en las que se divide la ciudad podían considerarse mucho mas homogéneas.

Dentro de este grupo de zonas se encuentran los barrios de la ciudad y las zonas de investigación pequeñas conocidas por las siglas ZRP. De estos dos grupos de zonas, los barrios de la ciudad resultan mas convenientes para este trabajo puesto que la gran cantidad de datos necesarios para este análisis se puede encontrar fácilmente para estas unidades de trabajo en la página web del Departamento de Estadística del Ayuntamiento de Barcelona ([www.bcn.es/estadistica](http://www.bcn.es/estadistica)). Por esta razón se seleccionaron los barrios como la unidad de tejido urbano de la ciudad de Barcelona. Los 38 barrios de la ciudad de Barcelona se muestran en la Figura 1.



**Fig. C1-28 1 – Tejido urbano de Barcelona: sus barrios.**

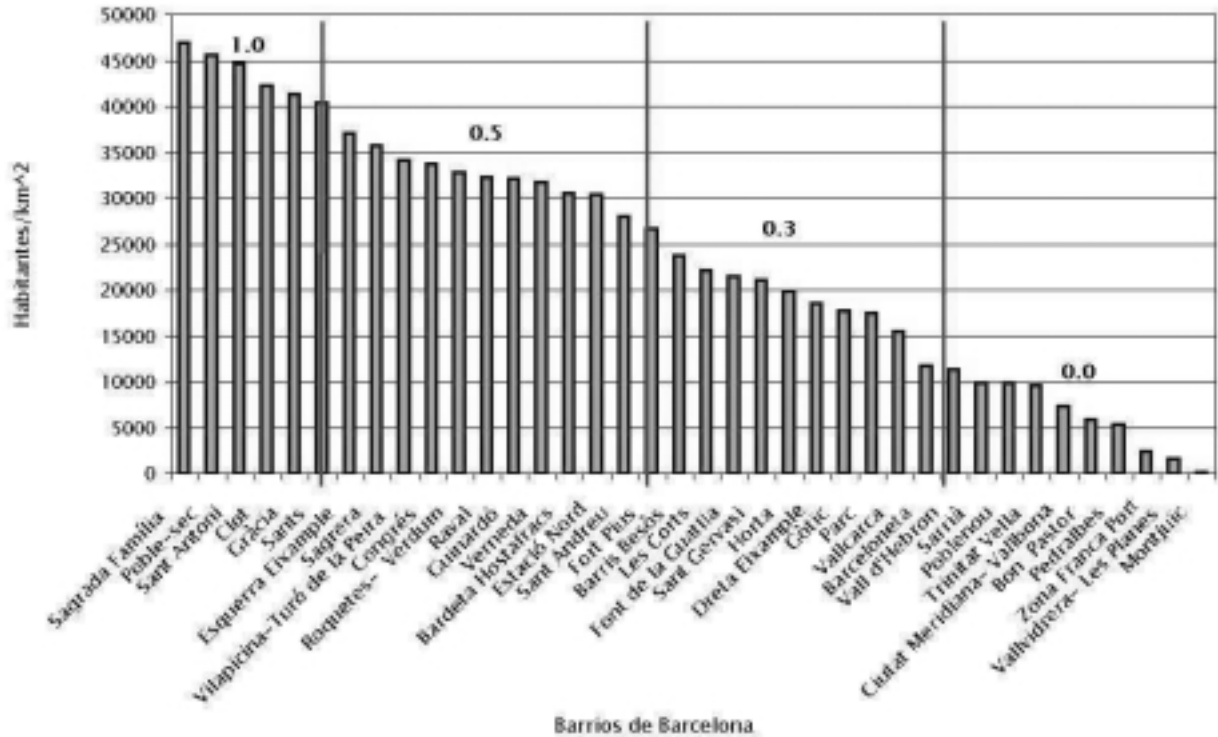
### Análisis de la Exposición del Área Residencial

El análisis de la exposición del área residencial dentro del sistema urbano de la ciudad de Barcelona se llevó a cabo usando los siguientes componentes del sistema urbano: población, espacio urbano y función. Los indicadores y sus correspondientes unidades se muestran en la Tabla 1. El área usada para cada una de los barrios no incluye las áreas forestales.

**Tabla 1 – Componentes, indicadores y unidades para el análisis de la exposición del área residencial.**

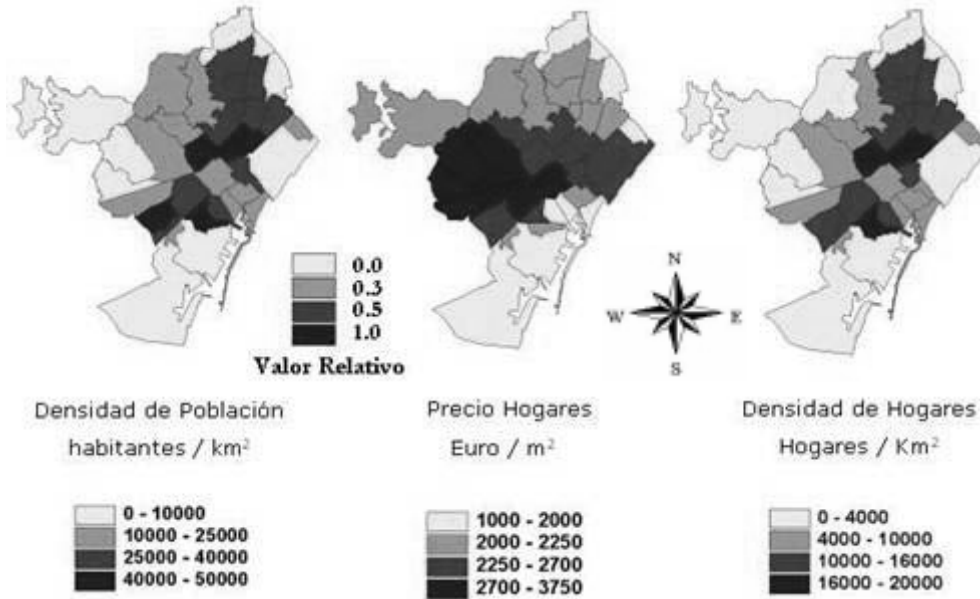
Componente	Indicador	Unidades
Población	Densidad Poblacional	Habitantes/km <sup>2</sup>
Espacio Urbano	Valor del Hogar	Euros/m <sup>2</sup>
Función	Densidad de Hogares	Hogares/km <sup>2</sup>

Para cada indicador usado para describir el área residencial se construye una grafica donde los valores del indicador en cada barrio se organizan de mayor a menor. La Figura 2 muestra esta gráfica para el indicador población, su división en cuatro niveles y sus respectivos valores relativos.



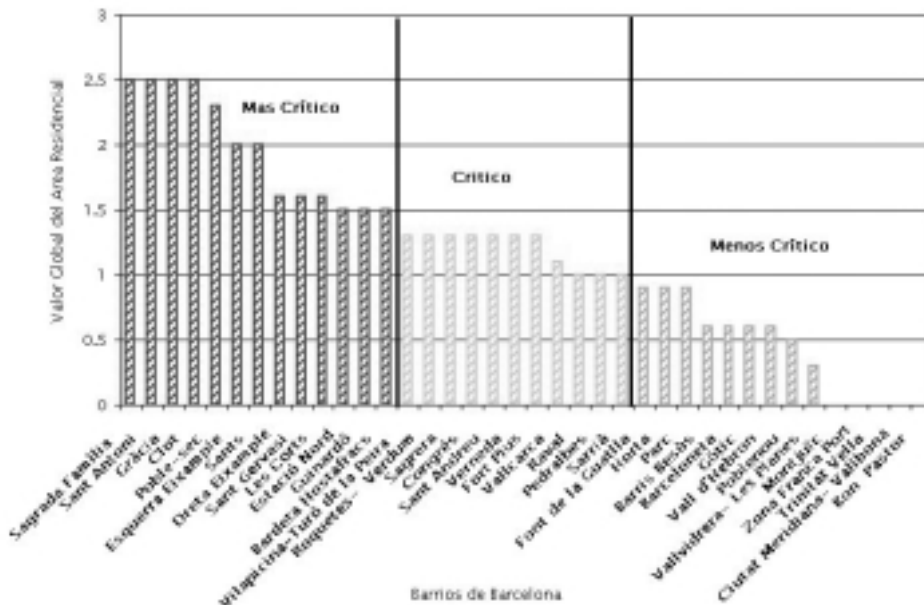
**Fig. C1-28 2 – Asignación de los valores relativos para el componente de población.**

Para el análisis se ha utilizado un sistema de información geográfica para representar los valores relativos asignados a cada barrio en un mapa de la ciudad para cada indicador. Estos mapas nos ayuda a entender la distribución de la importancia del componente estudiado. La Figura 3 muestra los mapas de valores relativos para la densidad de población, el costo de las viviendas, y la densidad de hogares.

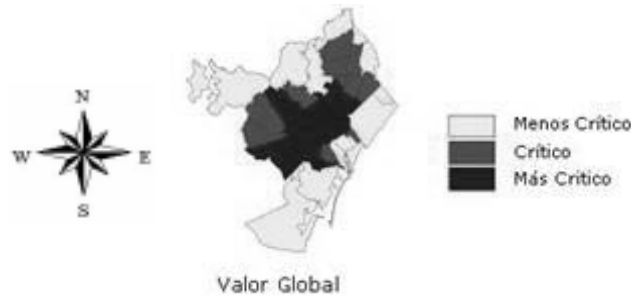


**Fig. C1-28 3 – Valores relativos asignados a cada barrio según los componentes del área residencial.**

Los valores relativos asignados a cada barrio se suman para obtener el valor global del área residencial en cada uno. Según el valor global obtenido la exposición del área residencial se clasificó en tres categorías: menos crítico, crítico y más crítico. La Figura 4 muestra el proceso de la clasificación de los valores globales del área residencial en cada barrio. La Figura 5 muestra un mapa de Barcelona con las diferentes zonas que se forman tras la agrupación de los valores globales.



**Fig. C1-28 4 – Clasificación del valor global del área residencial.**



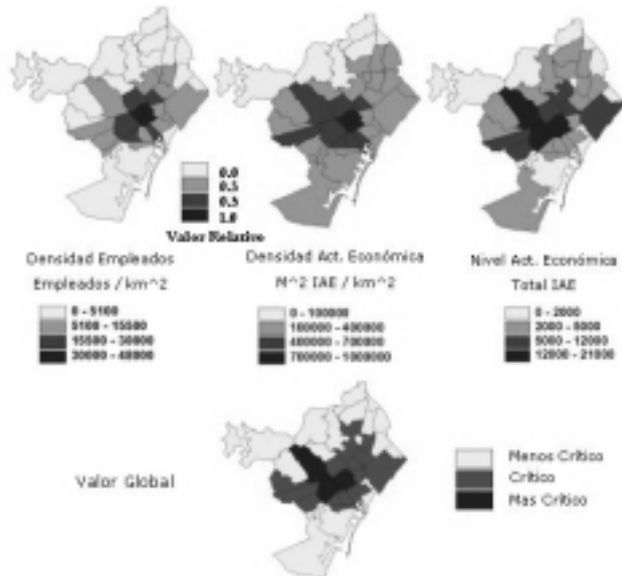
**Fig. C1-28 5 – Valores globales para el análisis de exposición del área residencial.**

Tal y como se puede observar la porción central de la ciudad presenta los valores globales mas críticos para el elemento del área residencial. Este hecho se debe a la combinación de niveles altos y moderados de tanto la densidad de población como la de hogares haciendo que esta área de la ciudad sea muy vulnerable en cualquier tipo de emergencia.

En el caso de una emergencia sísmica es preciso prestar especial atención a estos barrios para que sus edificios estén preparados para soportar el embate del evento sísmico y sus responsables puedan manejar todas las posibles consecuencias de la alta exposición de su área residencial como lo pueden ser un elevado número de pérdidas humanas, gran número de personas atrapadas en los edificios y muchas personas que queden sin hogar.

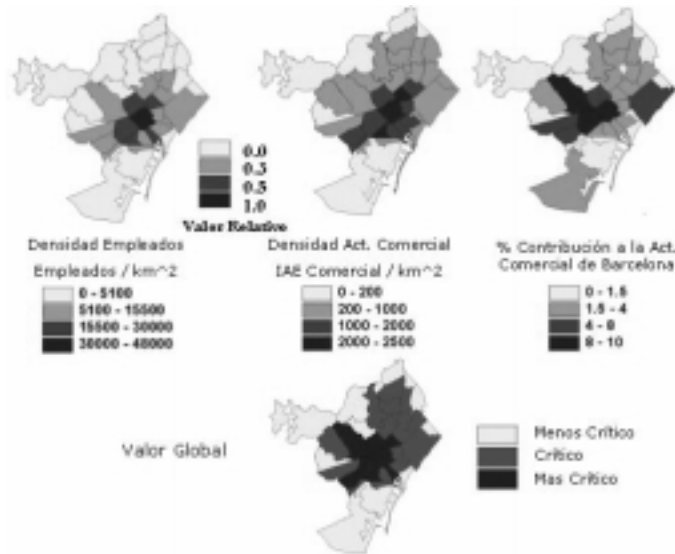
### Análisis de Otros Elementos en Riesgo

El análisis de la exposición del sistema urbano se aplicó a otros elementos en riesgo como lo son la actividad económica, la actividad comercial, la disponibilidad de camas de hospital, y la actividad turística utilizando diversos indicadores. Sus valores relativos y globales se muestran en las Figuras 6, 7, 8, y 9, respectivamente.



**Fig. C1-28 6 – Análisis de la actividad económica en Barcelona.**

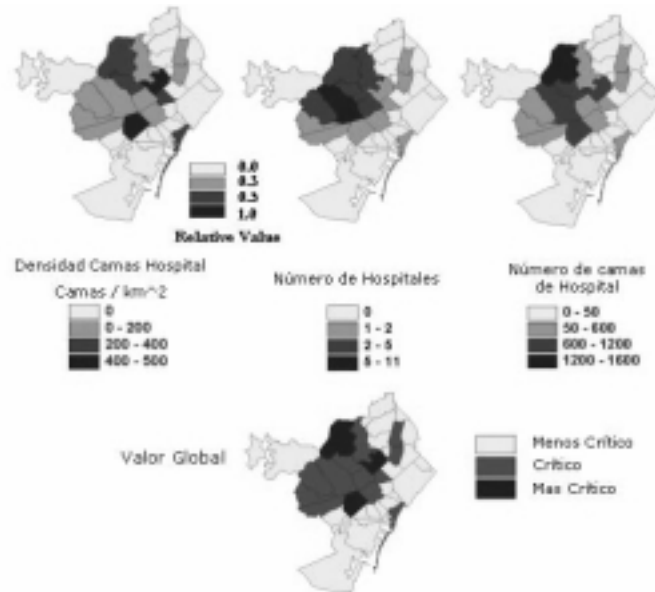
Como se puede observar en las Figuras 6 y 7, existe un eje central en Barcelona a lo largo del cual se concentran las actividades económicas y comerciales de la ciudad. Independientemente de la hora del día en la que ocurra el evento, este eje podría representar una gran fuente de víctimas dada la alta densidad poblacional y laboral de los mismos. Mas aun daños en este eje económico de Barcelona podría representar graves consecuencias a la economía de la ciudad.



**Fig. C1-28 7 – Análisis de la actividad comercial en Barcelona.**

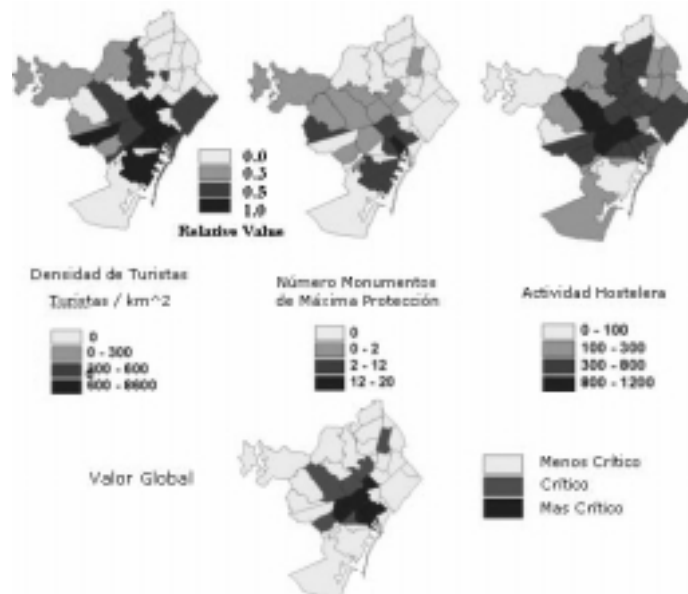
Los grandes hospitales con gran capacidad de camas se encuentran concentrados en la porción oeste de la ciudad. Atención especial se debe prestar a estas estructuras pues son criticas durante la emergencia que pueda ocurrir. Otro punto de importancia es que las vías de acceso a estos hospitales no queden obstruidas impidiendo el transporte de heridos al hospital mas próximo.





**Fig. C1-28 8 – Análisis de la disponibilidad de camas de hospital en Barcelona.**

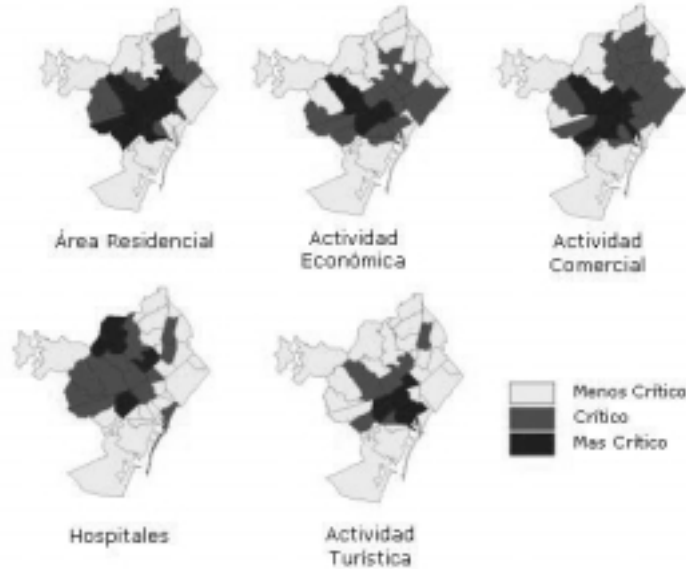
La Figura 9 muestra el análisis de la actividad turística en la ciudad de Barcelona. La actividad turística, una de las más importantes en la ciudad, también podría ser seriamente afectada ante una emergencia. El área más crítica es el centro histórico de la ciudad y su litoral donde existe la mayor concentración de turistas y se concentran gran parte de los monumentos más representativos y la actividad hostelera. Ante un evento sísmico los monumentos más antiguos podrían resultar muy afectados lo que debe ser considerado a la hora de planificar la conservación de los monumentos de la ciudad.



**Fig. C1-28 9 – Análisis de la actividad turística en Barcelona.**

La Figura 10 muestra la comparación de los valores globales obtenidos para

cada uno de estos elementos en cada barrio. Esta comparación servirá para determinar las zonas mas criticas a la hora de enfrentarse la ciudad a una emergencia de cualquier tipo.

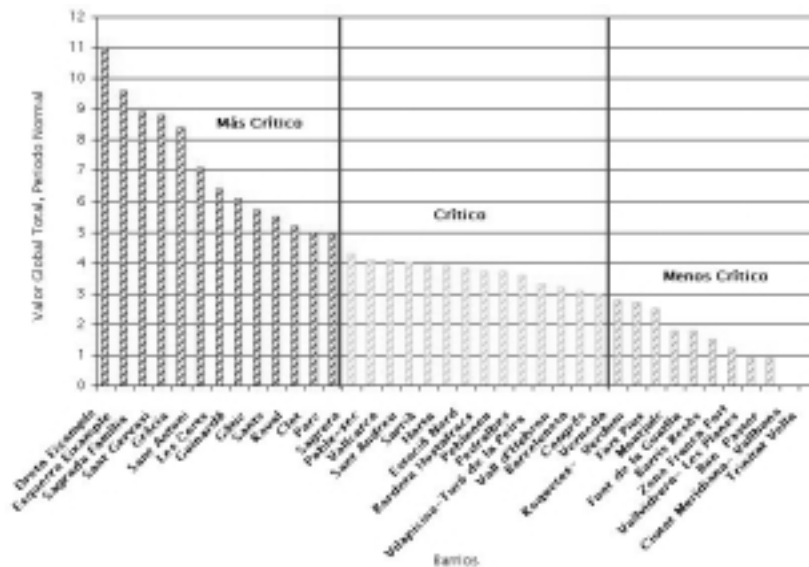


**Fig. C1-28 10 – Valores globales para los elementos en riesgo considerados.**

### **Análisis de la Exposición del Sistema Urbano para el Periodo Normal**

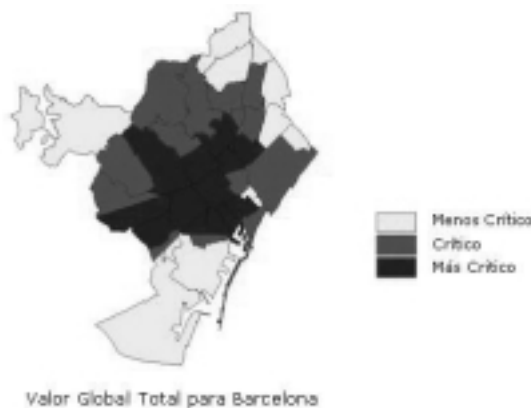
Luego de analizar los valores globales para cada uno de los elementos en riesgo tomados en consideración se procede a contemplar el sistema urbano como un todo asumiendo la acción en el mismo de un determinado evento. Durante esta aplicación preliminar de la metodología USE se analizara el caso del periodo normal o periodo previo al evento. Durante el periodo normal se considera que todos los elementos están presentes en el sistema urbano por lo que los valores globales de cada elemento son sumados para dar un valor global total a cada barrio. El valor global total de cada barrio para el periodo normal de muestra en la Figura 11.

Ponencias del 2º Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica



**Fig. C1-28 11 – Valor global total para cada barrio durante el periodo normal.**

Al ordenar los valores globales totales de mayor a menor, los barrios se pueden agrupar según su nivel de exposición delineando así zonas dentro de la ciudad con niveles similares de exposición. Entonces se delimitan tres áreas con valores globales bien diferenciados como se puede observar en la Figura 12. Las zonas se han clasificado como menos crítica, crítica y más crítica según su nivel de valor global total.



**Fig. C1-28 12 – Valores globales para el análisis de exposición del área residencial.**

Como se puede observar, la exposición del sistema urbano de Barcelona tiene su máxima expresión en el centro de la ciudad, decreciendo hacia las afueras de la misma. La zona más crítica corresponde al corazón de la actividad económica, comercial y turística de la ciudad así como a los barrios con mayor exposición del área residencial. La zona clasificada como crítica corresponde a barrios con buena disponibilidad de camas de hospital para atender los casos de emergencia así como niveles medios en la exposición del área residencial y las actividades económicas. Las zonas menos críticas corresponden a los barrios periféricos de la ciudad donde por su carácter industrial y/o montañoso los elementos analizados presentan niveles bajos de exposición.

## Conclusiones

En esta primera aplicación de la metodología USE en Barcelona se han estudiado los siguientes elementos del sistema urbano: el área residencial, la disponibilidad de camas de hospital, y las actividades económicas, comerciales y turísticas de la ciudad. Dentro del ámbito de este trabajo se ha desarrollado un sistema de información geográfico que sirve de base para esta evaluación y que será de gran utilidad por su posible uso futuro en un sistema integrado de gestión de riesgo.

El análisis ha reflejado una alta exposición de la zona central de ciudad donde los elementos del área residencial y las actividades económicas, comerciales y turísticas presentan altos niveles de exposición. También se ha visto que la mayor disponibilidad de camas de hospital se encuentra concentrada en unos pocos barrios, principalmente en la periferia de la ciudad, lo que podría considerarse un punto débil en el sistema urbano ante un evento sísmico. Debido a la gran concentración de residentes y fuerza laboral en el centro de la ciudad, un sismo podría causar muchos heridos, pérdidas humanas y personas sin hogar independientemente de la hora en que ocurra. Además podría causar grandes pérdidas económicas debido a la gran actividad económica que se concentra en esta zona.

En la continuación del análisis del sistema urbano se estudiará la exposición de las vías de tránsito y se deberá analizar si las vías de acceso a los hospitales se pueden ver afectadas ante el evento sísmico. También se tomarán en consideración la distribución de otros centros de atención primaria que pueden contribuir a la rápida atención de heridos durante la emergencia. En el análisis de riesgo sísmico deberá compararse cuidadosamente el número de camas de hospital disponibles con el número posible de heridos y así determinar si éstas son suficientes.

El mapa final obtenido en esta aplicación preliminar podría cambiar al considerar en el análisis la distribución de la actividad industrial en la ciudad, así como al incluir la exposición en el sistema de los centros de educación, centros de cultura y ocio, centros administrativos y las estaciones de policías y bomberos de la ciudad.

## Referencias:

- € Massure, P. 2002. "Urban system exposure and main steps of earthquake scenario at urban scale". Proc. of 12<sup>th</sup> European Conference of earthquake Engineering, Elsevier Science Ltd., London.
- € Mouroux, P., Bour, M. and the RISK-UE team (2002), "RISK-UE: an advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different European cities". Proc. of 12<sup>th</sup> European Conference of earthquake Engineering, Elsevier Science Ltd., London.
- € Luttof, C., Arnal, C., Masure, P. y Thierry P. (1998), "Projet GEMITIS Nice : identification des principaux enjeux sur la ville de Nice". Rapport BRGM R 39 907.
- € PEEM (2002), "Pla Específic d'Emergència Municipal per a risc sísmic". Serveis de Protecció Civil de l'Ajuntament de Barcelona.



Asociación Española de Ingeniería Sísmica

[www.aeis.es](http://www.aeis.es)

[secretaria@aeis.es](mailto:secretaria@aeis.es)

1-4 de Abril 2003 Málaga

[www.aeis.es/2cnis/](http://www.aeis.es/2cnis/)

Ponencias del 2º Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica

## **Agradecimientos**

Este trabajo se ha realizado como parte de la participación de la ciudad de Barcelona en el proyecto europeo "RISK-UE: an advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different European cities" financiado por la Comunidad Europea bajo el contrato: EVK4-CT-2000-00014.