

# Comparación de Metodologías de Cartografía en la Microzonación Sísmica

## *A Comparison of Methodologies in Seismic Microzonation Mapping*

M. J. Iniesto Alba <sup>(1)</sup>, J. Mulas de la Peña <sup>(1)</sup> y P. Gumiel Garrido <sup>(2,3)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. de Arquitectura. Universidad Camilo José Cela. 28692 Villafranca del Castillo (Madrid).

<sup>(2)</sup> Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

<sup>(3)</sup> Dpto. de Geología. Universidad de Alcalá. 28870 Alcalá de Henares (Madrid).

### ABSTRACT

*Seismic Microzonation maps deals with the characterisation of the seismic risks at any of its items, hazards, vulnerability and the risk itself. In this work we are introducing focuses of two main targets, several microzonation mapping analysis and the carry out of a purely cartographical aspects methodological proposal, to be applied in any zone with a certain degree of risk in our country. Some tasks of compilation and information analysis were realised. After getting conclusions the final result was the elaboration of a seismic microzonation map model proposal.*

**Key words:** Mapping, maps, natural hazards, seismic risk, seismic microzonation.

*Geogaceta*, 32 (2002), 319-322  
ISSN:0213683X

### Introducción

Los mapas de microzonación sísmica representan una forma de caracterizar el riesgo sísmico a gran escala en cualquiera de sus términos, ya sea peligrosidad, vulnerabilidad o el propio riesgo.

Se han analizado más de medio centenar de mapas de microzonación sísmica de distintas instituciones y organismos, tanto públicos como privados y a nivel nacional e internacional.

Del análisis de las distintas cartografías se desprenden las siguientes conclusiones:

- Existe una gran diversificación, al igual que en la cartografía geotécnica de detalle, en cuanto a las cartografías y métodos de microzonación sísmica, ya que, hay una notable diferencia en la forma de acometer los estudios según las distintas escuelas científico-técnicas y las condiciones socio-económicas y políticas del país.

- Existe una falta de uniformidad de criterios metodológicos en la elaboración del mapa, aspecto habitual en cualquier cartografía temática, tanto en el diseño, como en la escala, formato y simbologías a utilizar. Los parámetros y factores a cartografiar son muy variables y están condicionados por los objetivos del mapa. Al igual que sucede con otras cartografías temáticas no hay una normativa común que regule la forma de abordar este tipo de documen-

tos gráficos, debido a la amplia problemática que éstos llevan consigo.

- Debido a los diferentes parámetros que se utilizan para expresar los resultados en este tipo de estudios, se pueden encontrar mapas de microzonación de peligrosidad sísmica (intensidad, aceleraciones, parámetros espectrales, etc.), de vulnerabilidad sísmica (tipologías de la edificación, líneas vitales, edificios singulares, etc.) y de efectos inducidos (potencial de licuefacción, movimientos de laderas, etc.)

- Este tipo de mapas son documentos abiertos, siendo pocas las zonas del mundo que disponen de varias generaciones de los mismos (California y Japón) y donde se continua esta actualización utilizando nuevos formatos y sistemas informáticos (S.I.G., etc.)

- Estos mapas constituyen una herramienta fundamental para la planificación urbana y territorial, ya que proporcionan una visión de la distribución espacial del territorio que facilita la adopción de una serie de medidas en relación con la ordenación del suelo, y las características sismo-resistentes de las construcciones. Finalmente estos mapas constituyen también un documento fundamental para los servicios de Protección Civil en la gestión de catástrofes, que pueden servir para establecer los distintos planes de actuación en caso de emergencia; a una escala de detalle.

### Propuesta de normativa de mapa de microzonación sísmica

El problema de la elaboración de un buen mapa de microzonación sísmica, radica en la necesidad de representar un elevado número de variables. Esta dificultad se resuelve parcialmente con la incorporación de cortes y bloques-diagramas, que resultan de gran utilidad, con la edición de varios mapas (superponibles o no) y la representación de los factores principales en esquemas a menor escala, que suelen acompañar al mapa principal y la elaboración de un mapa único de simbología compleja, combinando tramas, colores, índices numéricos y gráficos, cartogramas y bandas.

En algunos países existen normativas para la elaboración de mapas de microzonación sísmica, como Estados Unidos o Canadá, si bien se refieren más a las metodologías, factores y datos que habría que incluir, que a las condiciones tanto físicas como técnicas del mapa.

### Modelo de mapa de microzonación sísmica

Todo mapa de microzonación sísmica debería ir acompañado por un documento escrito o memoria explicativa que contenga, entre otros, los apartados o capítulos descritos en la tabla 1.

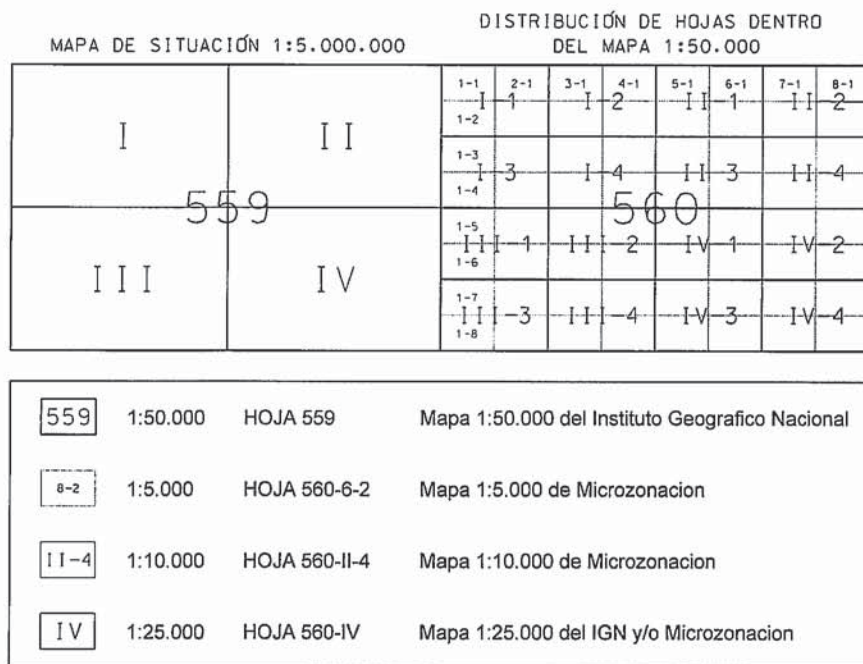


Fig. 1.- Distribución de hojas.

Fig. 1.- Sheets distribution

**Base cartográfica**

Se adoptará como base cartográfica la correspondiente del mapa topográfico adaptado razonablemente a la escala del mapa de microzonación que pretendamos realizar, con su toponimia completa y todos sus datos topográficos y geográficos a excepción de los signos y cifras que designen la anchura de carreteras, las líneas que indican límites de zonas, los tipos de vegetación, cultivos y aprovechamiento y las referencias marginales, además de ciertos datos que se consideren innecesarios o que puedan perjudicar la claridad y entendimiento del mapa. Así mismo, quedarán suprimidos los colores de fondo y de la simbología original del mapa base, realizándose ésta en uno dos colores como máximo dependiendo del tipo de mapa.

**Condiciones técnicas**

*Denominación del mapa*

Los mapas de microzonación sísmica deben ser elaborados sin perder de vista los objetivos de su aplicación, los cuales pueden tratar desde aspectos más científico-técnicos (respuesta del terreno y de las construcciones) a aspectos más administrativos (restricciones urbanísticas, normativas de construcción, recomendaciones sobre protección civil, etc.). Por consiguiente, la denominación del mapa deberá ajustarse a la denominación del concepto o conceptos que se representen de forma que no haya lugar a dudas ni confusiones.

**Escala y Formato**

Los mapas de microzonación sísmica deberían ajustarse a los tres niveles de escalas (1:25.000, 1:10.000 y 1:5.000) propuestos por las normas más conocidas y extendidas por el momento, la AFSP y la TC-4, según los objetivos, disponibilidad de datos, así como de la precisión requerida para el trabajo.

En cuanto al formato, deben tenerse en cuenta la geometría (tamaño y forma) de la realidad a representar y la escala de representación. Existen varias tablas y nomogramas que orientan sobre los formatos más adecuados en cada caso.

Otros factores condicionantes son el tamaño máximo admisible por las máquinas de impresión o de reproducción, la forma de encuadernación y las zonas del mapa, sin cubrir por el área cartografiada, para representar la información adicional: leyendas, esquemas, título, etc.

APARTADO	CONTENIDO
Introducción	Con indicación los antecedentes, objetivos, justificación y método de trabajo.
Historia sísmica	Muestra de datos de los terremotos sentidos, registrados histórica e instrumentalmente, en el entorno de influencia de la zona de estudio (listado y distribución de epicentros, acelerogramas y espectros de respuesta).
Aspectos geográficos y geológicos	Delimitación y situación del área de estudio. Estructura geológica regional. Marco geodinámico. Neotectónica. Sismotectónica (actividad de fallas).
Tectónica reciente	Mecanismos focales, direccionalidad, etc.
Peligrosidad sísmica	Método de evaluación. Atenuación. Microzonación sísmica: - Factores de amplificación local: condiciones geológicas- geotécnicas y topografía. - Factores inducidos: Licuefacción, movimiento de laderas, subsidencia, ruptura de falla en superficie, etc.
Vulnerabilidad sísmica	Exposición y vulnerabilidad sísmica. Índices de vulnerabilidad, funciones y matrices.
Escenarios de daños	Establecimiento de escenarios posibles en caso de terremotos catastróficos.
Documentación complementaria	Incluirá toda aquella información que se considere necesaria como datos de sondeos y calicatas, datos geofísicos ("down-hole", "cross-hole", etc.), un plano de situación de las muestras, colección de fotografías, columnas estratigráficas de detalle, etc.
Bibliografía	Bibliografía o referencias de interés.

Tabla I.- Capítulos de la memoria de los mapas de microzonación sísmica.

Table I.- Chapters of the memoir of the seismic microzonation maps.

INFORMACIÓN MARGINAL	
Título	Título o nombre del mapa.
Denominación	Nombre y numeración de la hoja.
Escala	Escalas gráfica y numérica.
Abreviaturas	Glosario de abreviaturas, si las hubiere.
Gráficos de referencia	Gráfico con la referencia sobre el MTN 50 y gráfico con la referencia regional sobre un mapa de España a pequeña escala.
Leyenda.	Leyenda con todos y cada uno de los datos de la simbología utilizada claramente especificados.
Marco de referencia	Elipsoide, datum y proyección.
Créditos	Autor, entidad, fecha y año, deposito legal, organismo editor, etc.
Esquemas	Esquema estructural de actividad de fallas (Fig. 2 - Cuadro 1).
	Mapa de epicentros (Fig. 2 - Cuadro 2).
	Esquema de fuentes sísmicas (Fig. 2 - Cuadro 3).
	Cuadro de leyes de atenuación (Fig. 2 - Cuadro 4).
Otros gráficos y esquemas	Aspectos geotécnicos (Perfil Litológico / Geotécnico / Topográfico) (Fig. 2 - Cuadro 5).
	Aspectos geofísicos (Fig. 2 - Cuadro 6).
	Funciones de transferencia y / o espectro de respuesta (Fig. 2 - Cuadro 7).
	Cortes esquemáticos que aclaren o especifiquen algún parámetro, como para el cálculo de la influencia de la topografía, etc.

Tabla II.- Informaciones marginales de los mapas de microzonación sísmica.

Table II.- Marginal information of the seismic microzonation maps.

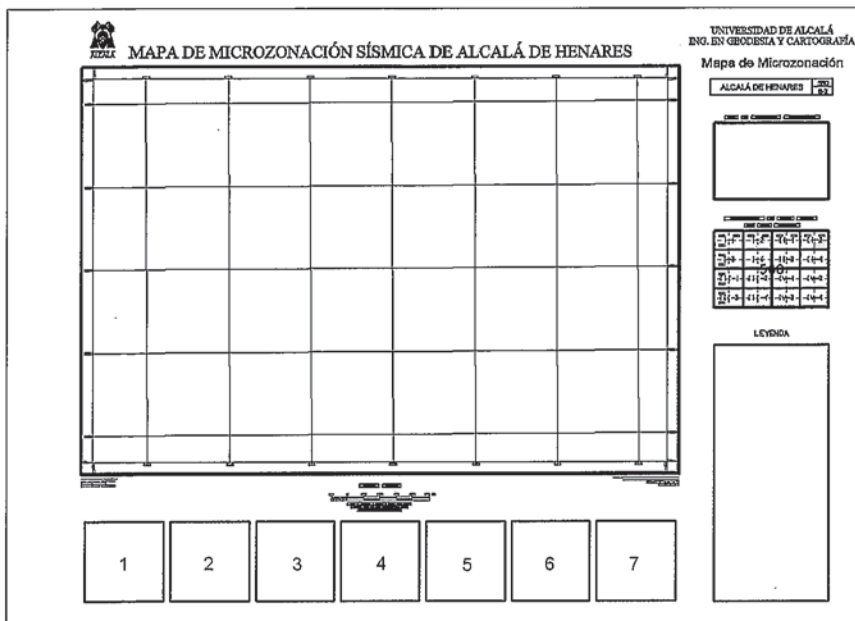


Fig. 2.- Modelo de hoja propuesta de mapa de microzonación sísmica.

Fig. 2.- Model of proposed seismic microzonation map

Por último, hay una serie de razones de índole estético, que aconsejan seleccionar siempre que sea posible, formatos determinados con una cierta razón entre lados, por ejemplo, los que guardan una relación próxima a 1.5, o bien, utilizar formatos normalizados como el formato *DIN* o el *áureo*. La necesidad de utilizar un formato normalizado puede estar condicionada, también, por las especificaciones del organismo editor o por la necesidad de unificar el formato de varios mapas relacionados.

#### Condiciones geodésicas

En España, los mapas de microzonación sísmica se deben adaptar a las normas para la realización de cartografía básica a escala 1:25.000 y 1:50.000 y para los levantamientos a gran escala, según las cuales las condiciones geodésicas son las siguientes: Sistema de Referencia: European Datum 1950, constituido por elipsoide Internacional de Hayford, datum Postdam, longitud referida al meridiano de Greenwich y latitud al ecuador, Sistema Geodésico: RE 50 (Red de Europa Occidental), Sistema Cartográfico de Representación: Proyección UTM, husos 27, 28, 29, 30 y 31 y Cuadrícula CUTM.

#### División y numeración de las hojas

Deberá aparecer en cada mapa la designación de cada hoja, que se hará por su nombre seguido de la numeración correspondiente, cuyo primer dato será el utilizado por el Instituto Geográfico Nacional para la distribución de hojas del mapa topográfico nacional a escala 1:50.000 (MTN 50). Después, se

consignará el dato correspondiente, según la escala del trabajo, realizándose la numeración de este a oeste y de arriba abajo, tal y como se muestra en el siguiente esquema. Si, por la extensión de la zona, el trabajo requiere de una serie de mapas, deberá aparecer en cada margen de la hoja el nombre y numeración de la hoja colindante (Fig. 1).

No obstante, si se ha utilizado como base cartográfica cualquier otro tipo de cartografía municipal o local, tiene que respetarse la denominación y numeración de éstas.

#### Signos convencionales

Los símbolos y tramas propuestos, deberán aparecer claramente especificados en la leyenda. Ya que, en los trabajos de microzonación no existe ninguna norma que obligue al cumplimiento de una determinada simbología, hay

que procurar ajustarse a las leyendas estándar de las colecciones o catálogos de simbología geológica y geotécnica establecidos convencionalmente, con la intención de uniformizar la representación cartográfica de los fenómenos estudiados. En este trabajo se recomienda la utilización de símbolos y tramas, contemplados en la normativa para la realización del mapa geológico nacional, MAGNA (a escala 1:50.000), así como los utilizados en los mapas de ingeniería geológica y cartografía geotécnica, y por último, la simbología utilizada en los distintos mapas sísmicos y de microzonación sísmica, tanto de España como de diferentes países.

#### Marco y cuadrículas

La zona cartografiada, es decir, el campo del mapa, se situará dentro de un doble marco, interno y externo, quedando las informaciones marginales fuera de éstos y sin que exista ningún otro marco que las recoja. Entre el marco interno y externo figurarán las coordenadas UTM con su cuadrícula, cuyas líneas estarán distanciadas cada 10 cm, y las coordenadas geográficas en las esquinas de las hojas.

#### Leyenda e información marginales

Figurarán en cada hoja, aparte de la leyenda, que se situará en la parte derecha, otras informaciones marginales, que tendrán, según nuestra propuesta, una distribución esquemática de cada uno de estos datos tal y como puede verse en el modelo de hoja propuesta (Fig. 2).

El número de cuadros numerados del 1 al 7 en la parte inferior de la hoja es variable, dependiendo el número de ellos de los datos disponibles. Siendo éstos, en el caso de disponer de toda la información, los que figuran el apartado esquemas de la tabla 2.

#### ROTULACIÓN MÍNIMA QUE DEBE CONTENER UN MAPA

Portada:	Título del mapa Nombre y número de la hoja. Nombre y escala del mapa de situación. Organismo editor Cuadro de distribución de hojas.
Datos marginales:	Nombre del Mapa Escala Rotulación de los gráficos y esquemas Leyenda Créditos y demás textos
Datos del marco:	Coordenadas Geográficas Coordenadas UTM Destino de vías de comunicación
Datos del campo del mapa:	Respetaremos la rotulación de los elementos de la base cartográfica. Rotularemos todos los datos nuevos incluidos en el mapa

Tabla III.- Rotulación de los mapas de microzonación sísmica.

Table III.- Designation of the seismic microzonation maps.

Las demás informaciones marginales quedan también recogidas en la tabla 2.

#### Color

Se procurará respetar los criterios en cuanto al uso del color establecidos en las distintas normas y referencias antes citadas, aunque puede haber cierta flexibilidad dependiendo del tipo de mapa que se vaya a realizar. No obstante, hay algunos criterios comunes que deben cumplirse en todos los mapas, por ejemplo, la base cartográfica debe aparecer en color gris o siena; para algunos mapas, puede utilizarse un fondo cartográfico bicolor, utilizando el gris o siena para las curvas de nivel, red viaria y toponimia y el azul para la red hidrográfica, lagos, mares y su correspondiente toponimia. Los símbolos de elementos tectónicos, de riesgo asociado, mecanismos focales y sondeos aparecerán siempre en negro, así como los marcos, cuadrícula, escala y rotulación de todos los elementos marginales. Por último, para la representación de la peligrosidad sísmica, en vez de utilizar la variable color, que es sin lugar a dudas la más potente de todas las variables visuales, deberían utilizarse las de valor, razón entre las cantidades totales de negro y de blanco, la forma y el espaciado, con distintas gradaciones del rojo, que siempre es asociado a riesgo y peligro.

#### Rotulación

Procuraremos adaptar la rotulación del mapa a la empleada en el mapa utilizado como base cartográfica. La rotulación mínima que debe contener figura en la siguiente tabla 3.

### Condiciones Físicas

#### Soporte

La mayoría de los mapas de microzonación sísmica se han presentado en papel, aunque hoy en día y debido al incremento de las nuevas tecnologías sería adecuado adjuntar también los mapas en soporte digital.

En cuanto al papel cartográfico a utilizar, en España está regulado por la norma UNE 57048-77, titulada "Papel. Papel cartográfico para usos generales" donde figuran las características referentes a la composición (composición, gramaje, humedad, etc.), a las propiedades físico químicas y ópticas (blancura, opacidad, absorción, porosidad, lisura, pH, etc.) y mecánicas (longitud de rotura, alargamiento, plegado, estabilidad dimensional, etc.) del papel cartográfico, así como las normas que deben seguirse para hacer los ensayos de cada propiedad.

La cartografía actual utiliza múltiples tecnologías de reproducción, cada una de las cuales tiene unas exigencias concretas sobre el papel soporte. Si bien éste es un aspecto de la tecnología bastante importante, es igualmente oscuro por cuanto no existen referencias claras a las propiedades de los papeles, ni a normativas. En algunos casos, los propios fabricantes del sistema de impresión aconsejan cuando no se usan papeles propios, probar hasta encontrar el papel más adecuado.

### Referencias

- AFPS (1995): *Guidelines for Seismic Microzonation Studies*. Assoc. Fr. Genie Parasismique (Saint-Rémy-lès-Chevreuse, Francia).
- Carreño, E. (1995). *Reducción de Riesgos Geológicos en España*, IGME-R. Acad. Ci. Ex. Fís. Nat., Madrid.
- CSG (1985): *Normas Cartográficas para la ejecución del M.T.N. Escalas 1:25.000-1:50.000*, IGN (Madrid).
- Gomes Coelho (1991). Lab. N. Eng. Civil., MOPTC (Lisboa, Portugal).
- Kaila, K.L. y Rao, M.N. (1975). *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 65: 1721-1732.
- Higgins, J.D. y Rockaway, J.D. (1986). *Bull. Assoc. Geol. XXIII* - 1: 77-91.
- IAEG: *Engineering Geological Maps. (A Guide to Their Preparation)*. Earth Sci., 15. Com. Eng. Geol. Maps Int. Assoc. Eng. Geol.
- Iniesto, M.J. (2000): *Análisis Comparativo sobre Cartografías de Microzonación Sísmica* T.F. UAH, Alcalá de Henares, Madrid.
- MAGNA (1973): *Mapa Geológico Nacional Escala 1:50.000. Modelo de Hoja*. IGME (Madrid).
- Mulas, J. (1991). *I Bienal Esp. de Ing. Geol. y Min.* IGME, Madrid.
- Mulas, J., et al. (1992). IGME, Madrid.
- Mulas, J., et al. (1999). *I Cong. Nac. Ing. Sísmica*. I: 241-250. AEIS, Murcia.
- Pascual, G., Carreño, E., y Martín, A. J. (1994). *Publ. Téc. 28*. IGN, Madrid.
- Pascual, G., Carreño, E., y Martín, A. J. (1998). *Publ. Téc. 36*. IGN, Madrid.
- Pereira, J.M. et al. (1984). *I Congr. Esp. Geol. III*: 461-467. IGME (Madrid).