



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DEL TERRENO, CARTOGRÁFICA Y GEOFÍSICA

**EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO MEDIANTE
MÉTODOS AVANZADOS Y TÉCNICAS GIS.
APLICACIÓN A LA CIUDAD DE BARCELONA.**

TESIS DOCTORAL
(Volumen I)

Autora:

M^a Nieves Lantada Zarzosa

Directores:

Dr. Luis G. Pujades Beneit

Dr. José A. Gili Ripoll

Barcelona, 2007

CAPÍTULO 7

ESCENARIOS SÍSMICOS

7.1 Introducción

La ciudad de Barcelona se encuentra en la zona oriental central de Cataluña que es una región considerada de sismicidad entre moderada y baja. Efectivamente, Cataluña se caracteriza por la ocurrencia de eventos de baja magnitud. Las intensidades históricas máximas ocurridas en su territorio varían entre VI y IX en la escala EMS-98. Existen escasos datos de aceleración registrada. La intensidad máxima percibida en Barcelona se estima entre VI y VII (Secanell, 1999; Secanell *et al.*, 2004). Sin embargo, la alta vulnerabilidad de sus edificios hace esperar un considerable grado de daño, y por tanto, un riesgo sísmico significativo. Para generar los escenarios de daño físico sufrido por los edificios residenciales de la ciudad, es necesario definir escenarios sísmicos esperables y determinar, para cada tipología estructural, las correspondientes matrices de probabilidad de daño, es decir, las probabilidades de ocurrencia de los estados de daño.

En este capítulo se definen dos escenarios sísmicos correspondientes a dos eventos sísmicos razonables. El primer sismo se ha determinado con técnicas deterministas mientras que el segundo se ha cuantificado mediante técnicas probabilistas. Nos referiremos a estos dos escenarios respectivamente como escenario determinista y escenario probabilista. El escenario determinista es representativo de la mayor intensidad sísmica que es razonable esperar que ocurra en la ciudad, mientras que el probabilista corresponde al terremoto con una probabilidad de ocurrencia del 10% en 50 años, lo que equivale a un sismo con un período de retorno de 475 años. Ambos escenarios se definirán tanto en términos de intensidad EMS-98, como en términos de valores espectrales y espectros de respuesta. Junto con estos escenarios básicos de demanda, se considera también la microzonificación sísmica que tiene en cuenta los diferentes tipos de suelo de la ciudad. Los resultados de la demanda para ambos escenarios, determinista y probabilista, incluyendo los efectos de suelo, se incorporan al Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS) creado, lo que va a permitir, de forma automática, su representación geográfica en mapas y la asignación, a cada edificio de la ciudad, de la acción sísmica esperada.

En el capítulo siguiente se obtienen matrices de probabilidad de daño específicas para los edificios de la ciudad, tanto para el caso en que el edificio se caracteriza mediante un índice de vulnerabilidad, como para el caso en que el edificio se caracteriza mediante su espectro de capacidad. En el primer caso, la acción sísmica se define en términos de intensidad EMS-98, mientras que en el segundo ésta se define por el espectro de demanda. En este último caso, el cruce de los espectros de capacidad y de demanda permite estimar el punto de desempeño (*performance point*), que proporciona el desplazamiento espectral de demanda. Este desplazamiento espectral, junto con las curvas de fragilidad, permite estimar las matrices de probabilidad de daño. Estas matrices de probabilidad de daño se utilizarán, más adelante, para obtener y analizar otros aspectos relacionados con los escenarios de daño correspondientes a los escenarios sísmicos aquí definidos, que se basan en los trabajos de Cid (Cid, 1998; Cid *et al.*, 2001), Secanell (Secanell, 1999; Secanell *et al.*, 2004) e Irizarry (2004).

7.2 La demanda básica

La amenaza sísmica para la ciudad de Barcelona se ha determinado para ambos escenarios (determinista y probabilista) en términos de intensidad EMS-98, necesaria para aplicar la metodología del índice de vulnerabilidad, y en términos de valores de aceleración espectral y espectros de respuesta, necesarios para aplicar la metodología del espectro de capacidad.

El escenario determinista evalúa el mayor sismo que es razonable esperar que ocurra en la ciudad, basándose en los terremotos históricos que la han afectado. Mientras que el escenario probabilista se ha definido mediante el terremoto cuya probabilidad de ocurrencia es del 10% en un período de 50 años, o, en términos de intervalos de recurrencia, aquel cuyo período de retorno es de 475 años. Este terremoto característico es frecuentemente utilizado en diseño sísmico y en análisis de riesgo, y suele venir definido en las normativas sísmicas, aunque para este trabajo se ha evaluado específica y cuidadosamente.

7.2.1 Escenarios deterministas

Método del Índice de Vulnerabilidad

Para crear el escenario determinista en términos de intensidad se tomó del Catálogo Sísmico de Cataluña (Secanell *et al.*, 2004) el evento sísmico con mayor intensidad epicentral situado a la menor distancia epicentral de la ciudad. Este evento histórico corresponde al ocurrido en Cardedeu en 1448 con una intensidad epicentral de VIII en la escala MSK (comparable a la escala EMS-98), a una distancia epicentral de 25 km del centro de Barcelona y una profundidad de 7 km. En la Figura 7.1 (Susagna y Goula, 1999), puede observarse el emplazamiento de dicho evento que se encuentra, al igual que Barcelona, en la zona sismotectónica número 2.

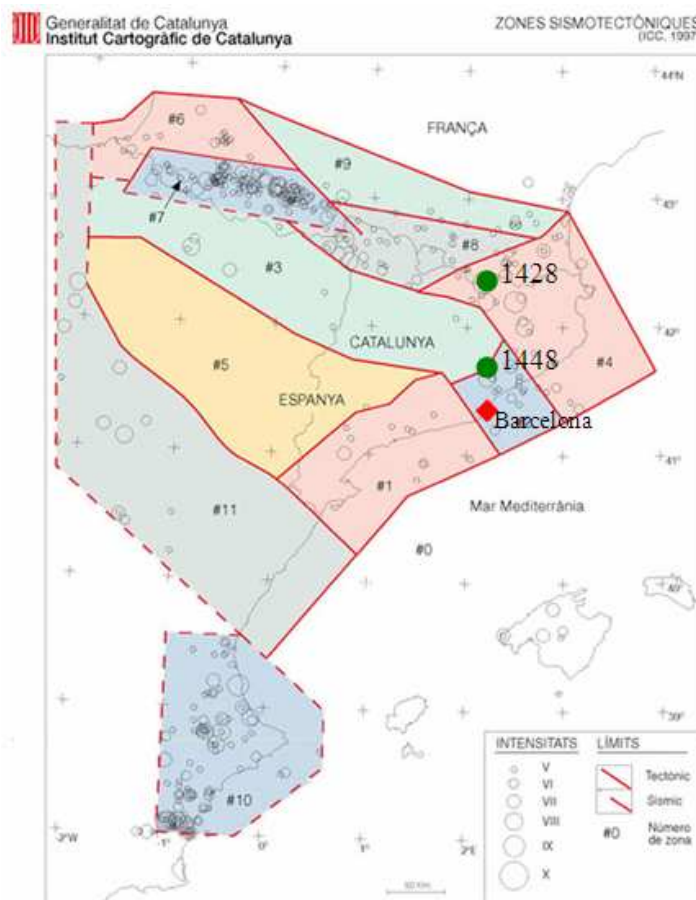


Figura 7.1. Zonas sismotectónicas de Cataluña y situación de los terremotos de 1428 y 1448 para obtener el escenario determinista de intensidad (Secanell *et al.*, 2004).

El efecto de la atenuación de la intensidad sísmica fue aplicado por Secanell *et al.* (2004) según la Ecuación [7.1], ajustando los parámetros del modelo de atenuación de Sponheuer (1960) para los datos de intensidad observados en otro terremoto que, con una intensidad epicentral de VII grados, ocurrió en 1927 cerca del epicentro del terremoto de 1448.

$$I = I_0 - k \log \left(\frac{r}{h} \right)^b + k \gamma (\log e)(r - h) \quad r = \sqrt{x^2 + h^2} \quad [7.1]$$

Siendo:

- b el coeficiente de extensión geométrica
- γ el coeficiente de atenuación inelástica
- k relaciona la intensidad con el logaritmo de la aceleración pico del sismo.

En Secanell *et al.* (2004) se obtuvieron como valores plausibles para Cataluña de b , γ y k : 1.0, 0.001 km⁻¹ y 3.0, respectivamente.

A partir del escenario utilizado y la relación de atenuación mencionada, se construyó el mapa determinista en términos de intensidad para el sustrato rocoso de la ciudad (Figura 7.2), donde puede apreciarse una variación en la intensidad desde VI en la zona sur a VII para el norte de la ciudad. Estos valores se corresponden con los definidos por Secanell *et al.* (2004).

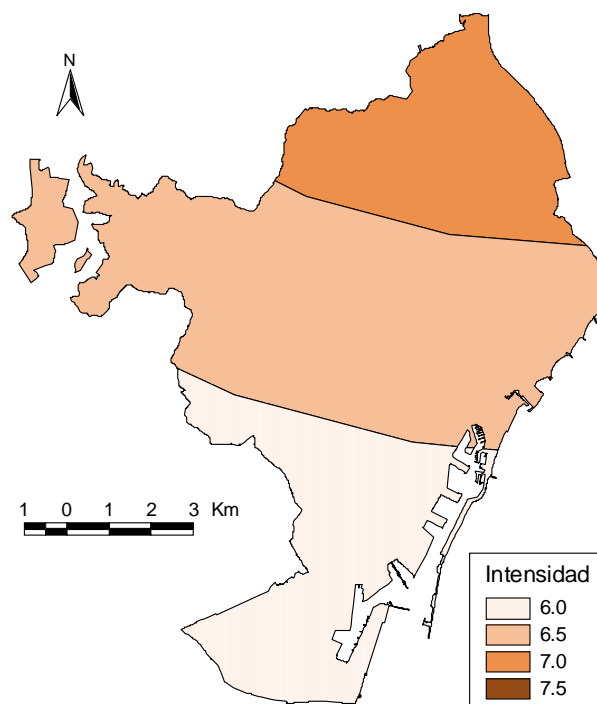


Figura 7.2. Mapa determinista en intensidades para el basamento rocoso.

Método del Espectro de Capacidad

Para obtener el escenario determinista en términos de aceleración espectral se combinaron los efectos de dos terremotos históricos: el de 1448 en la zona de Cardedeu, por ser el de mayor intensidad epicentral a menor distancia epicentral de la ciudad; y otro en la provincia de Girona ocurrido en 1428 con una intensidad epicentral de IX (MSK), que pese a producirse a mayor distancia de Barcelona que el anterior, fue percibido en la ciudad. La idea es unir las características espectrales de

un sismo cercano, el de Cardedeu, con las de un sismo lejano, como el de 1428, para poder definir de una forma más completa y adecuada todo el rango de periodos.

La definición del espectro de respuesta esperado de terremotos de los que sólo se conoce la intensidad no es una tarea trivial. Aquí se ha resuelto estimando la magnitud del sismo y utilizando espectros correspondientes a sismos europeos de características parecidas para estimar el espectro de respuesta. Por lo tanto, para definir el escenario determinista en términos de espectros de respuesta, se necesita realizar dos transformaciones. La primera transforma la intensidad epicentral del máximo evento sísmico I , en magnitud local o de intensidad (M_I). Esta relación, que puede observarse en la Figura 7.3, fue obtenida modificando la relación desarrollada por González Díaz (2000), para incluir los efectos de la profundidad del sismo (Irizarry, 2004).

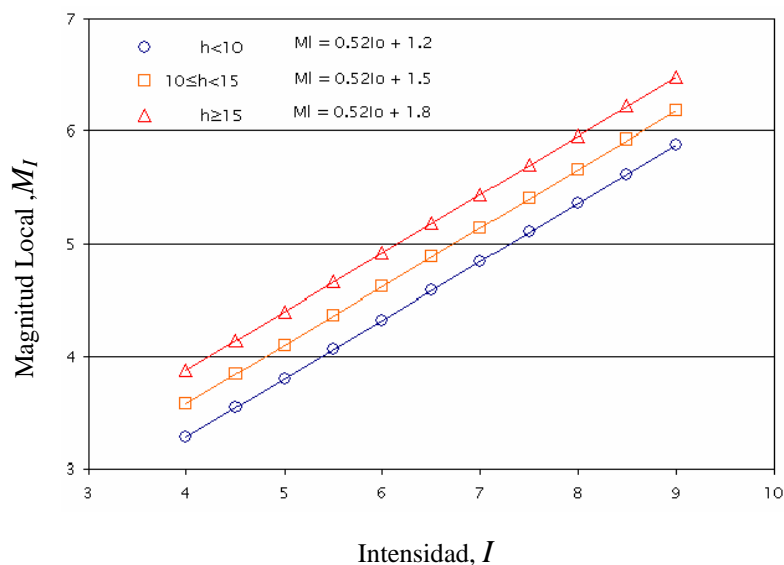


Figura 7.3. Relación empleada para transformar la intensidad I en magnitud local M_I , según la profundidad del sismo (h , en km) (Irizarry, 2004).

La segunda transformación, necesaria para pasar de la magnitud local (M_I) a la magnitud de ondas superficiales (M_S) fue desarrollada por Dufimier (2001) y se efectúa por medio de la siguiente ecuación [7.2]:

$$M_s = 1.75M_I - 4.3 \quad [7.2]$$

Con estas magnitudes ya se pueden usar acelerogramas actuales correspondientes a terremotos de características comparables para definir espectros de respuesta razonables, y evaluar valores de aceleración espectral en Barcelona, usando las relaciones de atenuación espectral de Ambraseys *et al.* (1996). La Figura 7.4 muestra el espectro medio obtenido junto con sus desviaciones típicas. En él se han tomado los valores espectrales máximos entre los dos terremotos analizados; El sismo cercano domina en los períodos cortos, mientras que el lejano domina en los periodos largos. Finalmente este espectro puede ajustarse para disponer de una fórmula analítica que permita su uso numérico de forma sencilla. En este estudio se usó la definición de los espectros de respuesta prevista en el Eurocódigo-8 (CEN, 2004).

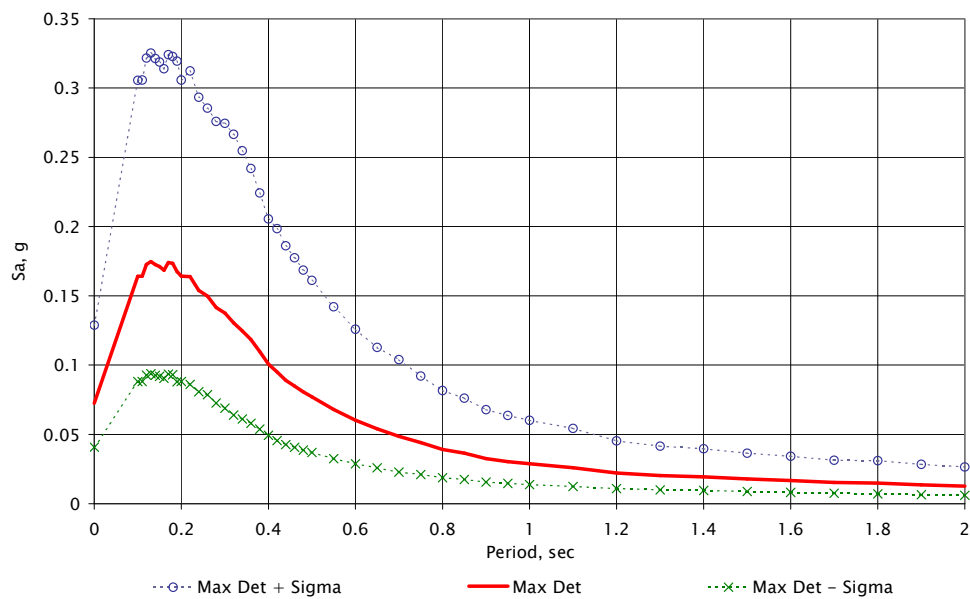


Figura 7.4. Espectro de respuesta para el basamento rocoso, para el escenario determinista (Irizarry, 2004).

7.2.2 Escenarios probabilistas

Método del Índice de Vulnerabilidad

Para la creación del escenario probabilista en términos de intensidad, se ha adoptado para el basamento rocoso una intensidad de 6.5 (entre VI y VII), que Secanell *et al.* (2004) predicen para Barcelona para una probabilidad del 10% en 50 años.

Para un periodo de retorno de 500 años, la Norma Española NCSE-02 (2002) asigna a Barcelona una aceleración básica de 0.04 g. Utilizando la transformación entre la aceleración básica y la intensidad prevista en la norma NCSE-94 (1994), se obtiene una intensidad VI, por lo que el valor aquí adoptado se sitúa del lado conservador.

Método del Espectro de Capacidad

Los escenarios probabilistas en términos de valores espectrales fueron calculados por Irizarry (2004) usando técnicas comparables a las descritas para el escenario determinista y el programa CRISIS99 (Ordaz *et al.*, 1999). También se utilizaron las leyes de atenuación de aceleraciones espectrales de Ambraseys *et al.* (1996) para propagar los espectros hasta la ciudad de Barcelona. La Figura 7.5 muestra los espectros obtenidos. Se da el valor medio, la desviación estándar y la mejor estima. Este último es el que se va a adoptar para el escenario probabilista.

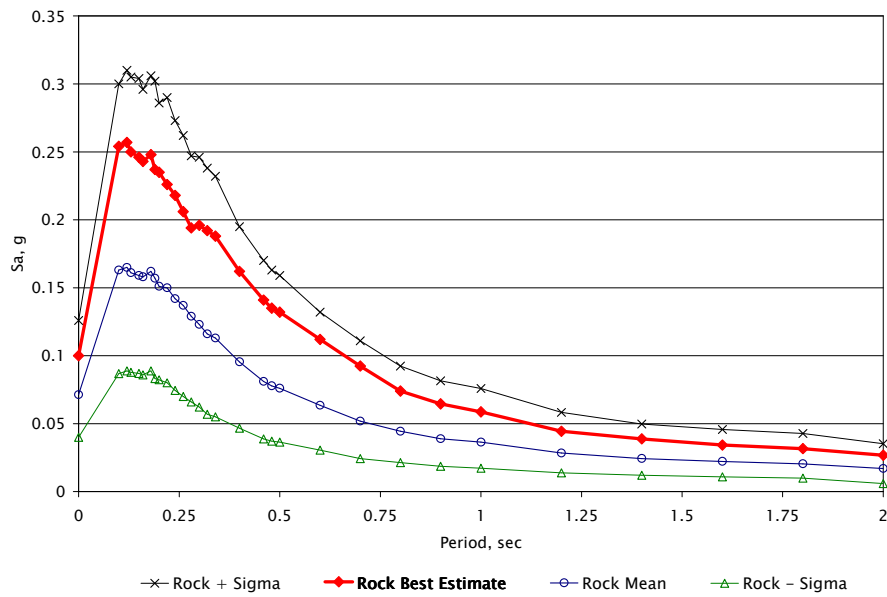


Figura 7.5. Espectro de respuesta para el basamento rocoso, según el escenario probabilista (Irizarry, 2004).

7.2.3 Espectros suavizados: Eurocódigo-8

Para las componentes horizontales de la acción sísmica, el Eurocódigo-8 define el espectro de respuesta elástica, $S_e(T)$, mediante las siguientes expresiones:

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot k \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad [7.3]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot k \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad [7.4]$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot k \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad [7.5]$$

$$T_D \leq T \leq 4 \text{ seg} : S_e(T) = a_g \cdot k \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad [7.6]$$

Donde:

- $S_e(T)$ = ordenada del espectro elástico de respuesta,
- T = periodo de vibración de un sistema lineal con un grado de libertad,
- a_g = aceleración pico del terreno,

- k = factor de modificación regional (recomendado $k=1$),
- T_B, T_C = límites del segmento de aceleración espectral constante,
- T_D = inicio del rango de respuesta de desplazamiento constante,
- S = parámetro del suelo,
- η = factor modificador del amortiguamiento ($\eta=1$ para 5% amortiguamiento).

Se ha empleado esta formulación, modificándola ligeramente a partir del trabajo de Lagomarsino *et al.* (2002), para obtener cada uno de los espectros de respuesta correspondientes a los diferentes suelos de la ciudad. Algunos coeficientes como el factor de modificación regional, k , y el parámetro del suelo, S , no se consideran en la formulación analítica del espectro de aceleración de Barcelona. La variable a_g se sustituye por el PGA y el factor 2.5 se sustituye con la variable B_C que viene definida como $S_{a\ max}/pga$. Con estas modificaciones y dando valor 1 a las variables k y η , las expresiones del Eurocódigo-8 se reducen a las expresiones siguientes:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_a(T) = PGA \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} (B_C - 1) \right] \quad [7.7]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_a(T) = PGA \cdot B_C \quad [7.8]$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_a(T) = PGA \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)^d B_C \quad [7.9]$$

$$T \geq T_D \quad S_a(T) = PGA \cdot \left(\frac{T_D}{T} \right)^2 B_C \quad [7.10]$$

Siendo ahora:

- $S_a(T)$ = ordenada del espectro elástico de respuesta,
- PGA = aceleración pico del suelo,
- BC = factor que relaciona la aceleración máxima espectral con el PGA , definido como $S_{a\ max}/PGA$,
- d = parámetro que modula la caída del espectro para períodos largos, definido mediante la expresión siguiente:

$$d = - \frac{\log\left(\frac{T_B}{T_C}\right)}{\log\left(\frac{T_D}{T_C}\right)} \quad [7.11]$$

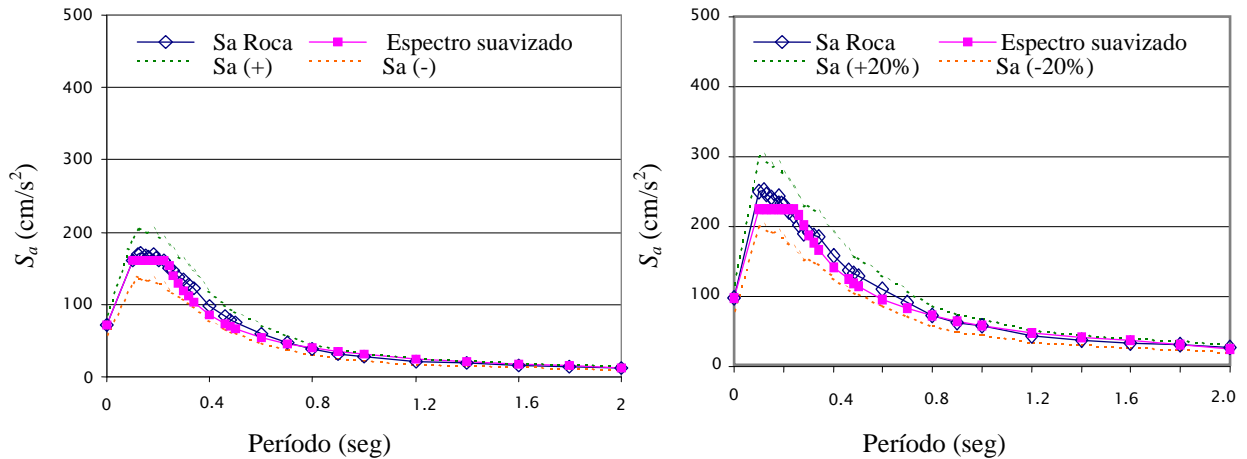


Figura 7.6. Espectro suavizado para el caso determinista (izquierda) y probabilista (derecha).

7.3 La zonificación sísmica

La zonificación sísmica de los suelos de la ciudad de Barcelona, llevada a cabo por Cid (1998), clasifica los suelos de la ciudad en 4 tipos que corresponden a las 4 zonas que se describen a continuación y que pueden verse en la Figura 7.7.

- Zona R: Constituida por afloramientos paleozoicos y terciarios. No son esperables efectos de amplificación.
- Zona I: caracterizada por afloramientos de materiales deltaicos del Holoceno con una velocidad típica de las ondas sísmicas de cizalla (ondas S) de alrededor de 200 m/s por encima de los 20 metros. Los materiales del Cuaternario tienen un grosor de entre 25 y 70 metros. Por debajo de esta capa de suelos blandos y por encima del basamento paleozoico que se sitúa a una profundidad inferior a los 350 m, se halla una gruesa capa de materiales

terciarios. La función de transferencia en esta zona (Cid, 1998) presenta un primer pico de amplificación máximo en torno a 2.5 Hz, que coincide con la máxima amplificación en torno a 2.5.

- Zona II: formada por afloramientos del pleistoceno sobre un sustrato terciario, con unas velocidades típicas de las ondas S alrededor de 300m/s en los primeros 20 metros más superficiales. La columna estratigráfica típica de este tipo de subsuelo está representada por una capa de materiales del Cuaternario con un grosor de entre 10 y 25 metros sobre otra capa de materiales terciarios que llega hasta profundidades de entre los 100 y los 350 metros, profundidad a la que comienza el basamento con materiales del Paleozoico. La función de transferencia típica de esta zona (Cid, 1998) presenta un primer pico de amplificación en el rango de frecuencias en torno a 5 Hz, que coincide con la máxima amplificación, con un valor en torno a 2.5.
- Zona III: Esta zona presenta unas características de composición similares a las de la zona II. De forma esquemática estaría representada por una capa de materiales del Cuaternario con un grosor de entre 10 y 15 metros sobre el basamento paleozoico. La función de transferencia típica de esta zona se caracteriza por un primer pico de amplificación en torno a 5Hz, que coincide con la máxima amplificación en torno a 2.25, con una desamplificación en las bajas frecuencias.

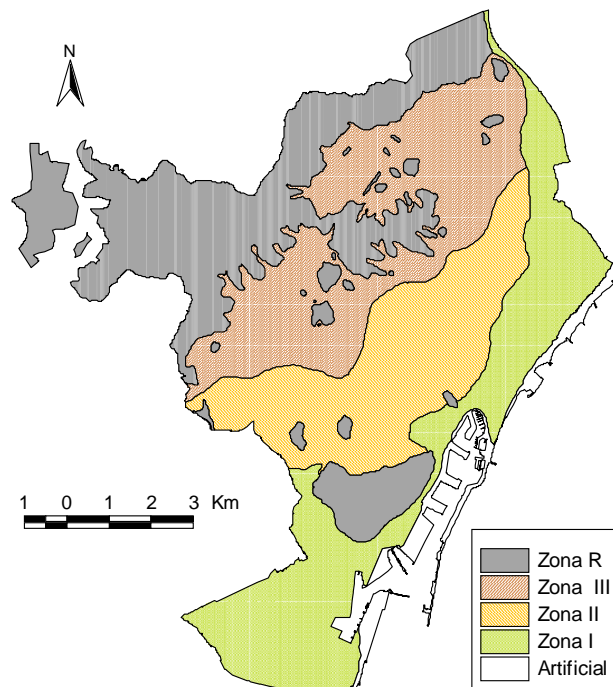


Figura 7.7. Zonificación sísmica de la ciudad de Barcelona (Cid, 1998).

En cuanto a los efectos de suelo, en la determinación de la demanda en términos de intensidad se consideró un aumento de intensidad de 0.5 en las zonas de suelos blandos (Secanell *et al.*, 2004); para los escenarios en términos de aceleración espectral los efectos locales se incluyeron mediante factores de amplificación

Método del Índice de Vulnerabilidad

espectral. Estos factores de amplificación para cada tipo de suelo, se calcularon con las funciones de transferencia, previamente propuestas por Cid *et al.* (2001), para cada una de las zonas de la ciudad.

7.3.1 Escenario determinista

Para el efecto del suelo se ha seguido un criterio parecido al utilizado por Secanell (1999), quien parte de la caracterización geotécnica de Cataluña propuesta por Fleta *et al.* (1998) para tener en cuenta los efectos de suelo en el mapa de peligrosidad

sísmica de Cataluña. Secanell (1999) considera cuatro tipos de suelo: roca (R), materiales compactos (A), semicompactos (B) y materiales sin cohesión o arenas (C). Teniendo en cuenta el mapa geológico de Barcelona, y a partir de la opinión de expertos basada en correlaciones empíricas (Bard, 1997), se incrementa en medio grado la intensidad correspondiente a las poblaciones cuyos municipios contienen suelos de tipo B o C. No se aplica ninguna corrección a los municipios situados sobre suelos del tipo R y A. Aplicando un criterio análogo a las intensidades correspondientes al escenario definido en la Figura 7.2, se ha incrementado en medio grado, la intensidad correspondiente a los suelos situados en zonas tipo I, II y III definidas en la Figura 7.7. El resultado obtenido se muestra en el mapa de la Figura 7.8, que define el escenario sísmico determinista que será utilizado para analizar el riesgo sísmico mediante el método del índice de vulnerabilidad. Obsérvese cómo, debido a la proximidad de la fuente y a la atenuación de la intensidad con la distancia, se dan intensidades mayores hacia la parte norte de la ciudad. Este efecto se podrá observar también en los escenarios de daño.

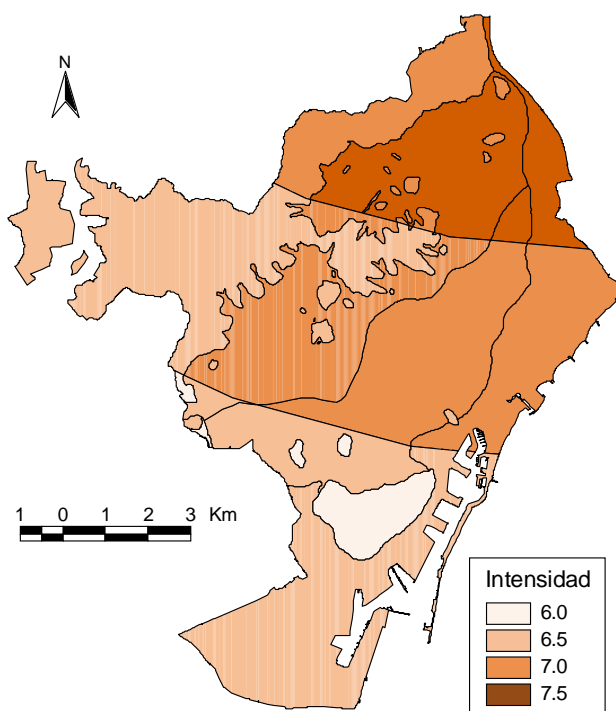


Figura 7.8. Mapa determinista en intensidades con efectos de suelo.

Método del Espectro de Capacidad

Para obtener espectros de respuesta específicos para los 4 diferentes tipos de suelo, se ha efectuado la convolución entre el espectro básico descrito más arriba (Figura 7.4) y las funciones de transferencia obtenidas por Cid *et al.* (2001) y Irizarry (2004). La Figura 7.9 muestra las funciones de transferencia, que indican las amplificaciones sísmicas en función del período. La Figura 7.10 muestra los espectros zonificados obtenidos. Finalmente, la Figura 7.11 muestra las aceleraciones máximas del suelo esperadas en las 4 zonas que definen los diferentes tipos de suelo de la ciudad de Barcelona. Dichos valores oscilan entre 0.07 g en el afloramiento rocoso y 0.14 g en los suelos más blandos. La relación entre la aceleración (PGA) en superficie y el emplazamiento de referencia, en base al nivel de peligrosidad local supuesto, por un valor de 1.69 en la Zona I, de 1.65 en la Zona II y un valor de 1.43 en la Zona III (Cid, 1998).

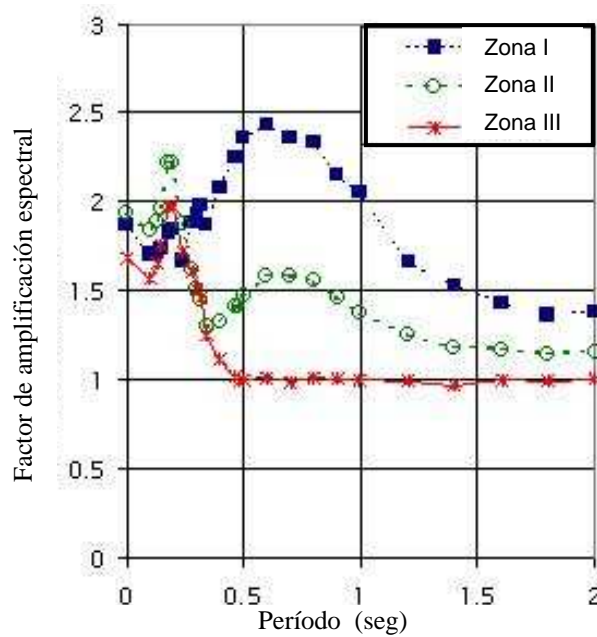


Figura 7.9. Funciones de transferencia de los diferentes tipos de suelo de Barcelona (Irizarry, 2004). Estas funciones, que definen la amplificación sísmica en función del período, se usarán para hallar espectros zonificados para la ciudad.

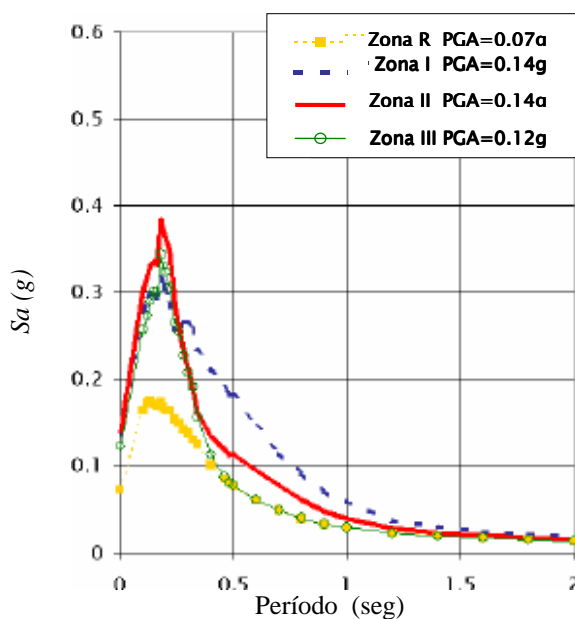


Figura 7.10. Espectros de respuesta zonificados para la ciudad de Barcelona. Escenario determinista. (Irizarry, 2004).

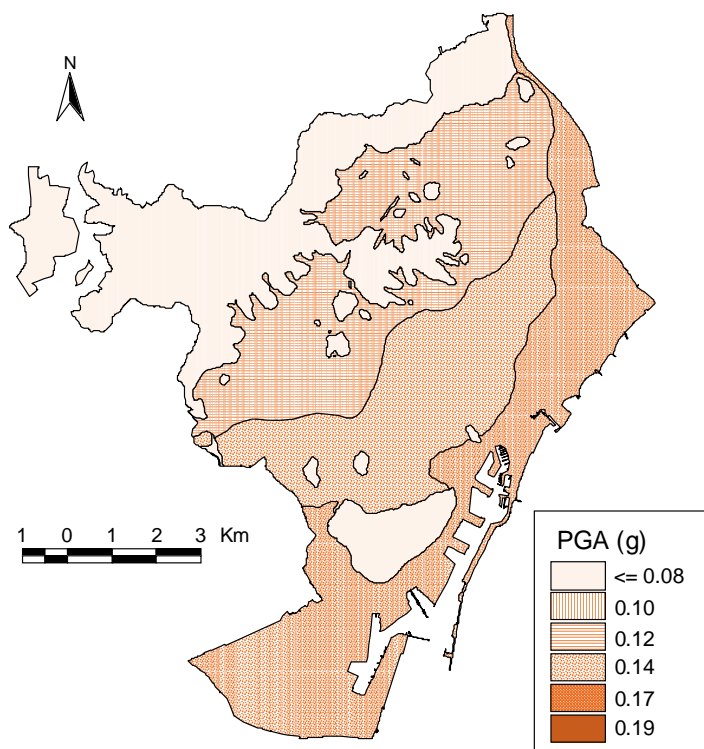


Figura 7.11. Mapa de aceleraciones máximas del suelo, teniendo en cuenta los efectos del suelo, para el escenario determinista.

7.3.2 Escenario probabilista

Método del Índice de Vulnerabilidad

Siguiendo el mismo criterio que en el escenario determinista, la intensidad básica, que se consideró de 6.5 (entre VI y VII), se ha incrementado en media unidad en los suelos situados en las zonas I, II y III. La Figura 7.12 muestra el mapa que define la acción sísmica, en términos de intensidad macrosísmica, para el caso probabilista.

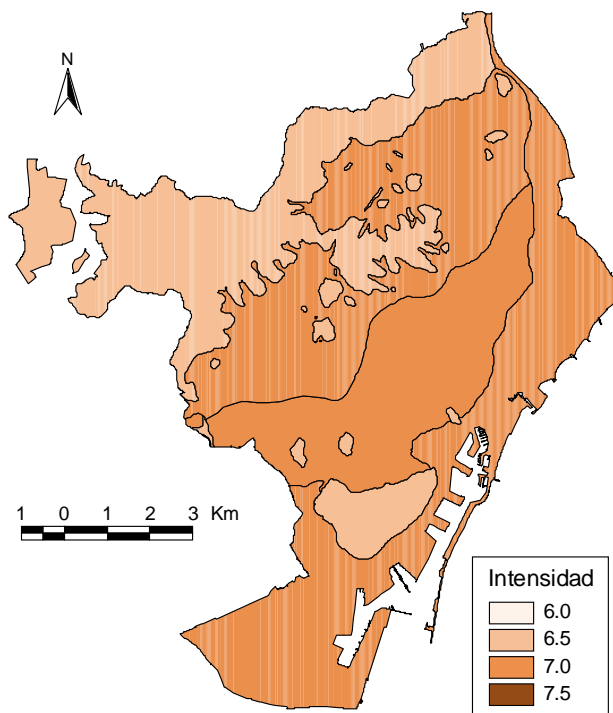


Figura 7.12. Escenario sísmico probabilista, en términos de intensidad EMS-98. El mapa se ha obtenido a partir del escenario básico de intensidad 6.5, considerando los efectos de suelo.

Método del Espectro de Capacidad

La misma técnica utilizada para zonificar el espectro de respuesta básico correspondiente al escenario determinista, se ha utilizado para el escenario probabilista, a partir del espectro de la Figura 7.5, allá identificado como la mejor estima. La Figura 7.13 muestra los espectros zonificados obtenidos. La Figura 7.14

muestra las aceleraciones máximas del suelo esperadas que oscilan entre 0.10 g en el afloramiento rocoso y 0.19 g en las zonas con suelos más blandos.

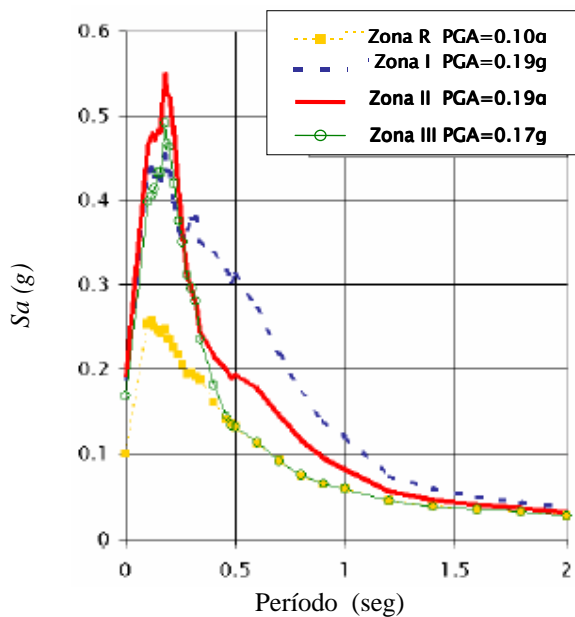


Figura 7.13. Espectros de respuesta zonificados para la ciudad de Barcelona. Escenario probabilista (Irizarry, 2004).

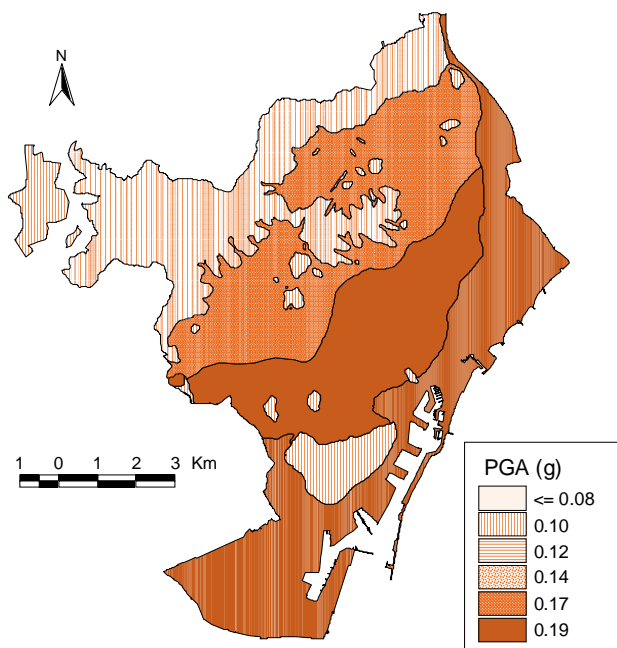


Figura 7.14. Aceleraciones máximas del suelo. Escenario probabilista con efectos de suelo.

7.3.3 Espectros suavizados: Eurocódigo-8

De forma análoga al caso de los espectros básicos, los espectros de respuesta zonificados también se han ajustado a la expresión analítica definida por las ecuaciones [7.7] a [7.10]. Los resultados del ajuste se presentan de manera sintética en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Parámetros que definen la forma espectral para los escenarios determinista y probabilista y errores del ajuste (Irizarry, 2004).

	Escenario Determinista			
	Zona R	Zona I	Zona II	Zona III
$a_g(\text{cm/s}^2)$	71.1	133.3	137.7	120.0
$T_B(\text{seg})$	0.10	0.10	0.10	0.10
$T_C(\text{seg})$	0.20	0.38	0.38	0.16
$T_D(\text{seg})$	1.50	0.72	0.72	0.85
B_C	2.3	1.8	2.1	2.3
RMS $S_a(\text{g})$	0.01	0.03	0.05	0.01
RMS $S_d(\text{cm})$	0.08	0.11	0.14	0.14
Max.Error (%)	26	26	26	44
	Escenario Probabilista			
	Zona R	Zona I	Zona II	Zona III
$a_g(\text{cm/s}^2)$	98.1	183.9	190.1	165.5
$T_B(\text{seg})$	0.10	0.10	0.10	0.10
$T_C(\text{seg})$	0.25	0.37	0.18	0.25
$T_D(\text{seg})$	1.76	0.90	1.36	1.76
B_C	2.4	2.0	2.3	2.4
RMS $S_a(\text{g})$	0.01	0.03	0.04	0.06
RMS $S_d(\text{cm})$	0.07	0.19	0.19	0.18
Max.Error (%)	12	17	23	28

Los espectros definitivos finalmente utilizados en su forma suavizada de acuerdo a la fórmula dada en el Eurocódigo se muestran en la Figura 7.15, correspondientes al escenario determinista y probabilista.

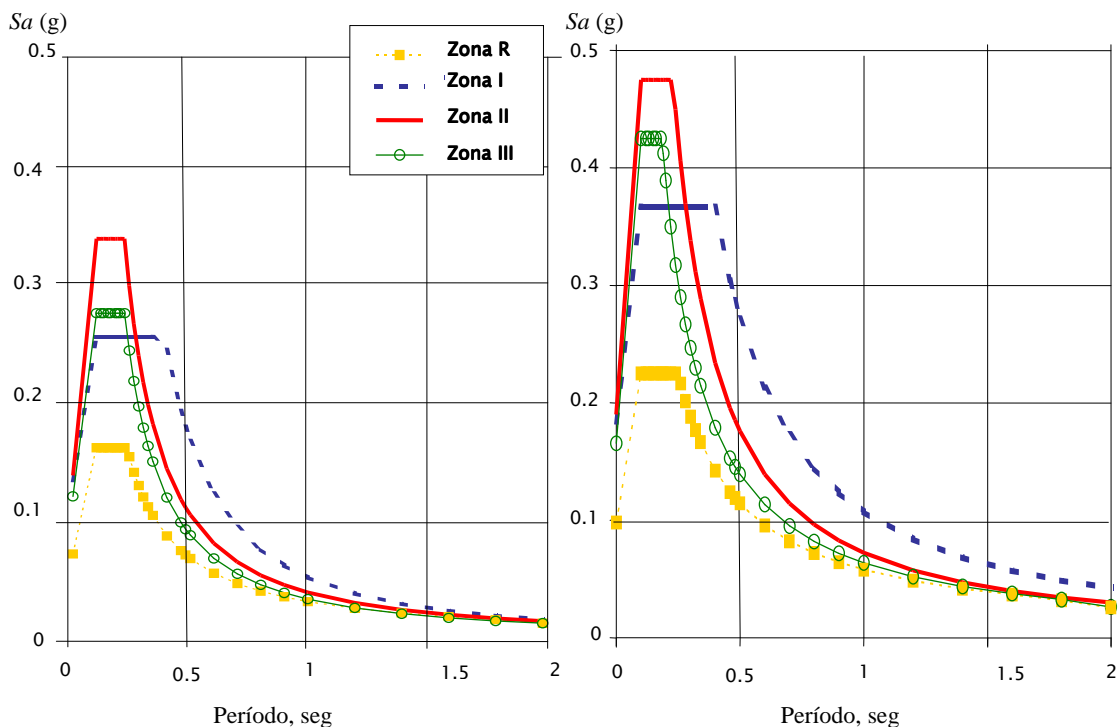


Figura 7.15. Espectro suavizado para el caso determinista (izquierda) y probabilista (derecha), para las distintas zonas sísmicas de la ciudad de Barcelona.

7.4 Resumen y conclusión

En este capítulo se han definido los dos escenarios sísmicos de la ciudad de Barcelona, determinados con técnicas deterministas y probabilistas, tanto en términos de intensidad EMS-98, como en términos de valores espectrales y espectros de respuesta. En todos estos escenarios se han incluido también los efectos de amplificación causados por las condiciones locales del suelo, según las cuatro zonas identificadas en la ciudad que clasifican los suelos por su tipo.

La Tabla 7.2 y la Tabla 7.3 resumen respectivamente los escenarios determinista y probabilista desarrollados para aplicar el método del índice de vulnerabilidad, donde se observa. En el caso determinista (Tabla 7.2 y Figura 7.8) se observa como la intensidad, por efecto de la atenuación y de la cercanía de la fuente, decrece de Norte a Sur y de Este a Oeste. De forma análoga, la Tabla 7.4 y la Tabla 7.5, respectivamente para el caso determinista y probabilista, sintetizan los parámetros

que definen los espectros de respuesta utilizados para el análisis del daño mediante el método del espectro de capacidad.

Tabla 7.2. Síntesis del escenario determinista en términos de intensidad EMS-98.

Intensidad EMS-98	Escenario Determinista			
	Zona R	Zona I	Zona II	Zona III
Máxima	7 (VII)	7.5 (VII-VIII)	7.5 (VII-VIII)	7.5 (VII-VIII)
Mínima	6 (VI)	6.5 (VI-VII)	6.5 (VI-VII)	6.5 (VI-VII)

Tabla 7.3. Síntesis del escenario probabilista en términos de intensidad EMS-98.

	Escenario Probabilista			
	Zona R	Zona I	Zona II	Zona III
Intensidad EMS-98	6.5 (VI-VII)	7 (VII)	7 (VII)	7.5 (VII-VIII)

Tabla 7.4. Síntesis del escenario determinista en términos espectrales (Irizarry, 2004).

	Escenario Determinista			
	Zona R	Zona I	Zona II	Zona III
$pga(g)$	0.072	0.136	0.141	0.122
B_C	2.26	1.91	2.45	2.29
$T_B(\text{seg})$	0.10	0.10	0.10	0.10
$T_C(\text{seg})$	0.23	0.39	0.22	0.22
$T_D(\text{seg})$	1.75	2.30	2.20	2.00
d	1.12	1.70	1.43	1.40

Tabla 7.5. Síntesis del escenario probabilista en términos espectrales (Irizarry, 2004).

	Escenario Probabilista			
	Zona R	Zona I	Zona II	Zona III
$Pga(g)$	0.100	0.188	0.194	0.169
B_C	2.29	2.00	2.50	2.57
$T_B(\text{seg})$	0.10	0.10	0.10	0.10
$T_C(\text{seg})$	0.25	0.40	0.23	0.19
$T_D(\text{seg})$	1.75	2.85	2.21	1.77
d	0.98	1.34	1.28	1.12

El escenario determinista en términos de intensidad presenta mayor heterogeneidad que el probabilista, con un rango de intensidades que van desde 6, valor mínimo en el basamento rocoso (Zona R), hasta una intensidad máxima de 7.5 para las zonas en la parte norte de la ciudad, debido a la proximidad de la fuente y a la atenuación con la distancia. Dicha intensidad máxima coincide también con la máxima del escenario probabilista en la Zona III, correspondiente a las zonas deltaicas y costera de la ciudad.

En el espectro de respuesta del caso determinista se observa que el terremoto más cercano a la ciudad domina en los períodos cortos mientras que el lejano domina en los periodos largos. Este espectro presenta aceleraciones espectrales menores que en el probabilista para un periodo de retorno de 475 años.

El *PGA* esperado para un retorno de 475 años se incrementa hacia la zona costera de la ciudad. En esta zona es donde se encuentran las amplificaciones mayores, debido a la localización de los suelos más blandos.

En el caso probabilista las aceleraciones máximas del suelo esperadas oscilan entre 0.10 g en el afloramiento rocoso y 0.19 g en las zonas con suelos más blandos, valores superiores a los del caso determinista que varían entre 0.07 g y 0.14 g. Con todo hay que entender estos elevados valores de *pga* como resultado de un ajuste por mínimos cuadrados de una función analítica, por lo que su significado no coincide con el del valor del *pga* que prevé la norma sísmica española para Barcelona que es de 0.04 g.