



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 4

LA CIUDAD DE BARCELONA

4.1 Introducción

Antes de realizar la recopilación y clasificación de toda la información cartográfica y temática necesaria para realizar el estudio de riesgo, es conveniente conocer, de forma global, el entorno urbano sobre el que se va a realizar.

El objetivo de este capítulo es exponer información básica referente a la ciudad de Barcelona. Dicha información comprende las características geotectónicas del suelo, la evolución histórica de la ciudad, la organización de su territorio y la distribución de su población.

El conocimiento del marco geológico y de la evolución histórica y social de la ciudad permitirá, por un lado, comprender mejor el comportamiento de la ciudad y de las personas que la integran frente a un terremoto y, por otro lado, una mejor interpretación y comprensión de los resultados que se obtengan. Las diferentes zonas administrativas en que se organiza la ciudad, serán utilizadas en este estudio para

identificar aquellas áreas de la ciudad que presentan una mayor homogeneidad de la información necesaria para realizar el estudio de riesgo.

4.2 Apuntes de historia

A continuación se presenta una breve reseña histórica de la evolución de la ciudad (Solé, 1975), resaltando su diseño urbanístico y los tipos de construcciones realizadas, temas que pueden ayudar a comprender mejor el porqué de las diferentes vulnerabilidades de los edificios de la ciudad.

Los dos primeros asentamientos en el entorno de Barcelona datan de la época ibérica. Uno estaba emplazado en el monte *Tàber*, y era conocido con el nombre de *Barcino* en el siglo III a.C. (Figura 4.1); el otro se encontraba en *Montjuïc* con el nombre de *Laie*. Al llegar los romanos se establece un pueblo fortificado en *Montjuïc*. Sin embargo, la pacificación de la época, el difícil acceso que presentaba a la playa, y la insalubridad del delta del *Llobregat*, hacen que desaparezca la fortaleza y prospere la colonia del *Mons Tàber*. Dicha colonia, a la que se le atribuyen de 10 000 a 15 000 habitantes, sería destruida en el siglo III d.C. por invasores francoalemanes.

Destruída la colonia de *Barcino*, ésta fue reconstruida y fortificada, pero la ciudad había disminuido en extensión, siendo en este momento aproximadamente de unas 6 Ha. El urbanismo de esta época se caracterizaba por dos calles principales perpendiculares: *Cardús* (calle de *Ferran*) y *Documanus* (calle del *Bisbe*, de la *Ciutat* y del *Regomir*), que se cruzaban en el *Focus* (plaza *Sant Jaume*), el resto de calles carecían de alguna ordenación específica.

Desde el siglo VIII al XI, la ciudad pasa a manos de los musulmanes, carolingios y condes, siendo con estos últimos con los que se comienzan a formar nuevos núcleos alrededor de la fortificación: uno alrededor de la Parroquia de *Sant Pere de les Puel·les* (calle *Sant Pere més Alt*); otro a lo largo de las calles de la *Boria i Carders*; un tercero, llamado *Vilanova*, alrededor de Santa María del Mar; y el último entre las murallas y lo que son ahora las Ramblas, alrededor de la iglesia del *Pi*. De este modo la ciudad se extiende a unas 80 Ha con unos 20 000 habitantes.

Durante el reinado de Catalunya y Aragón, en la primera mitad del siglo XIII, Barcelona adquiere un mayor impulso y construye la nueva muralla (lo que actualmente son las Ramblas, *Plaça Catalunya*, calle *Fontanella*, *Ronda Sant Pere*, *Passeig de Lluís Companys* y el litoral).

El término municipal de Barcelona tenía 34 339 habitantes en el año 1359 (IMI, 2002) y es entonces cuando se amplía el recinto amurallado, el tercero, que envolvía todo el barrio del Raval (Figura 4.1), discurriendo por la calle Pelayo, la *Ronda Sant Antoni*, la de *Sant Pau* y el *Paral·lel* hasta las *Drassanes*, el resto queda igual. Así las Ramblas se convierten en arteria central de la urbe, y su superficie llega a 218 Ha. Sin embargo, la izquierda de las Ramblas, donde hoy se halla el barrio del Raval, continuaba siendo una zona rural que no sería poblada y edificada por completo hasta mediados del siglo XIX, con la evolución de la implantación industrial.

En 1753 se proyecta extramuros la creación de un nuevo barrio, “*la Barceloneta*”, para resolver el problema de las personas desalojadas por el derribo de parte del barrio de la Ribera cercana a “*la Ciutadella*”. También se comienza a demoler la muralla interior de las Ramblas y se urbaniza este paseo.

Sin embargo, año tras año, las condiciones de vida empeoran en Barcelona. La población no para de crecer dentro de un recinto con una extensión aún muy limitada para el crecimiento que estaba desarrollando la ciudad. La población pasa de los 118 000 habitantes en 1835, a más de 173 000 en el año 1849. Los edificios deben aumentar su altura mientras que las viviendas tienen que disminuir su superficie.

Durante todo el siglo XIX las obras de urbanización que se realizan son aún intramuros: se suprimen cementerios parroquiales para construir plazas más espaciosas, se pavimentan las calles y se abren otras nuevas. Entre 1858 y 1868 se derriban las murallas de la ciudad y se inicia el gran proyecto urbanístico para la construcción de la Barcelona moderna, una nueva ciudad abierta e industrial. A finales del siglo XIX se derriba el complejo militar de “*la Ciutadella*” que, en la actualidad constituye el parque del mismo nombre.

Pero el nacimiento de la idea de reforma de la ciudad a gran escala se inició con Ildefons Cerdà que dedicó un gran esfuerzo al estudio de las condiciones de vida de

la clase obrera que residía en la ciudad vieja. Comenzando en 1856 los planes de urbanismo que establecen la reforma del distrito de *Ciutat Vella*, como mecanismo para corregir los problemas de gran densidad, el desorden de la edificación dentro del espacio de la muralla y malas condiciones higiénicas de la vivienda. El modelo de Cerdà, supondrá un urbanismo moderno, un tanto utópico, con calles amplias, manzanas homogéneas, una ciudad igualitaria y servicio de transportes integrado. La filosofía era ordenar el crecimiento de la ciudad en el espacio que queda entre el núcleo antiguo, el histórico y los núcleos preexistentes cerca del mar (Barceloneta), las laderas de *Montjuïc* (*Hostafrancs*, *Poble Sec*), así como el pie de *Collserola* (*Sarrià* y *Gràcia*). Para lograrlo, Cerdà propuso que tres vías cortasen el tejido histórico y, a partir de ellas, se emprendiera el saneamiento de la ciudad densificada: dos vías “verticales”, como continuación de *Pau Claris* y *Muntaner*, y una paralela a la costa a la altura de la calle *Pallars*; todas ellas eran vías de 20 metros de ancho con una clara continuidad con las del *Eixample* (Figura 4.1). Sin embargo, el Plan Cerdà no tuvo como prioritario el frente de mar, en el que se habían implantado el ferrocarril hacia *Mataró* y las industrias pesadas.

La presión edificadora del *Eixample* y su continua densificación se van traduciendo directamente en *Ciutat Vella* dejando que las edificaciones puedan crecer en altura, lo que añade una última fase de densificación interna de dramáticos resultados.

Con el crecimiento del *Eixample*, se agregaron los pueblos de la planicie de la ciudad, todos ellos formando un anillo, a una distancia similar de *Ciutat Vella*, ya que por disposiciones administrativas militares no se podía edificar a menos de 3 km de las murallas de una plaza fuerte; por lo que los antiguos núcleos de estos municipios están unidos entre sí por nuevas barriadas, de construcción más reciente. La anexión comenzó con el núcleo de *Sants* en 1885, *Gràcia* en 1897, al igual que *Sant Gervasi*, *les Corts*, *Sant Martí de Provençals* y *Sant Andreu*. Posteriormente, entre 1903 y 1921, lo hicieron *Horta*, *Sarrià* y *Vallvidrera* (Figura 4.1). Durante todo este siglo XX, se lleva a cabo un proyecto de crecimiento de la ciudad, especialmente durante los años 60 y 70, en que las zonas más alejadas del casco antiguo que quedaban entre la ciudad y la montaña y los dos ríos, se edificaron con nuevos criterios: más altura y grandes bloques de edificios de hormigón, con gran

capacidad para las clases trabajadoras (*Sant Martí, Horta, Verdum, Fort Pius y Zona Franca*).

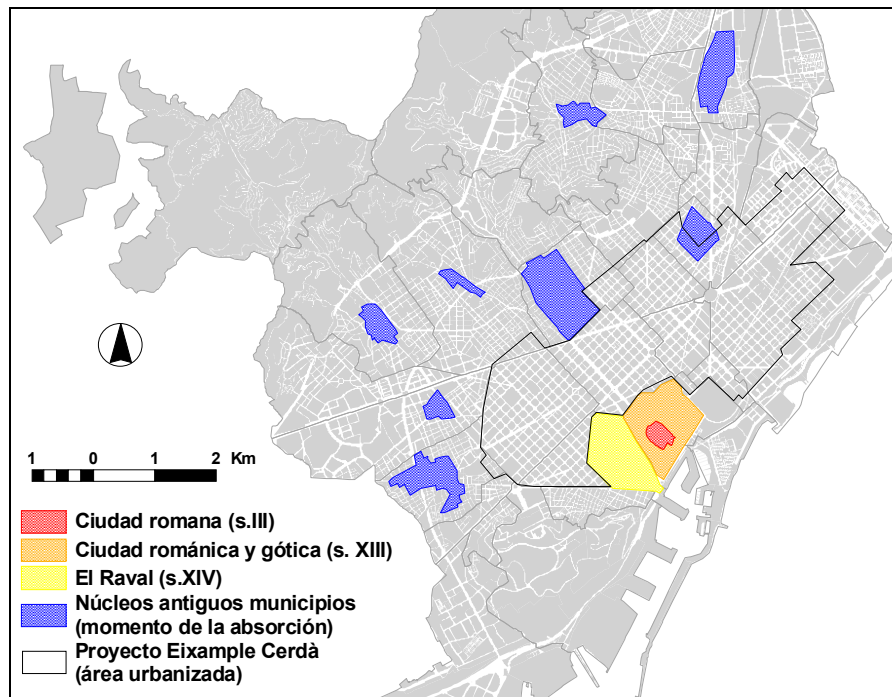


Figura 4.1. Evolución urbanística de la ciudad de Barcelona.

En la actualidad Barcelona está encajada entre *Montjuïc, Collserola* y el río *Besós*, que limitan claramente su crecimiento en superficie, dejando como única alternativa la reconversión de zonas deprimidas, en desuso o industriales; los últimos ejemplos son la *Vila Olímpica* de 1992 y la apertura al mar de la *Avinguda Diagonal* con el *Forum de las Culturas* en el 2004. El distrito de *l'Eixample* destaca como principal área residencial de Barcelona. Actualmente, el término municipal de Barcelona se extiende en una superficie de 10 096 Ha con una población aproximada de 1.5 millones de habitantes según el censo de enero de 2004 (Ajuntament de Barcelona, 2005).

4.3 La organización del territorio

Tradicionalmente, Barcelona, como la mayoría de las ciudades modernas, se compone de barrios y distritos, que son fruto de la evolución y crecimiento de la ciudad y de las agrupaciones históricas de su población, y constituyen la división territorial administrativa básica de la ciudad. Con fines estadísticos, Barcelona se compone de pequeñas unidades, denominadas Secciones Estadísticas (SE), que fueron configuradas al actualizar la división territorial de Barcelona en el año 1984. Desde entonces se mantienen estables en el tiempo, lo que hace que sean válidas para representar series temporales de información. La ciudad de Barcelona tiene un total de 1919 secciones estadísticas; a partir de la agregación de estas áreas se obtienen las otras configuraciones del territorio que se detallan a continuación (IMI, 2002).

4.3.1 Las “Zones de Recerca Petites” (ZRP)

Por agregación o partición de las secciones estadísticas, a partir de las revisiones del Censo Electoral, se obtienen las Secciones Censales (SC). Los criterios de mantenimiento de estas zonas vienen marcados por el artículo 23.2 de la Ley Orgánica 5/1985 sobre Règim Electoral General (BOE 20-6-85), por lo que desde 1991 hasta la actualidad han ido variando de 1812 a 1491 secciones censales. Y de nuevo, por agrupación de las SC se obtienen las “Zones de Recerca Petites” (ZRP) cuya traducción al castellano sería “Zonas de Investigación Pequeñas”, que forman un total de 248 zonas (Figura 4.2 y Tabla 4.1 a la Tabla 4.10) creadas con finalidad de estudio estadístico de la ciudad por el Departamento de Estadística del Ayuntamiento de Barcelona.

4.3.2 Los Barrios

Las diferentes zonificaciones llevadas a cabo por el Departamento de Estadística que comenzaron por las Secciones Estadísticas (SE) en el año 1984, llegaron a agruparse hasta llegar a un total de 38 Zonas Estadísticas Grandes (ZEG), que pueden

asimilarse a lo que se conoce como *Barrios* de la ciudad. La Figura 4.2 muestra su distribución geográfica y código. La Tabla 4.1 a la Tabla 4.10 contienen la denominación de los 38 barrios de la ciudad.

4.3.3 Los Distritos

La división en 10 distritos municipales de la ciudad de Barcelona (Figura 4.2) fue aprobada en el Consistorio del 24 de abril del año 1897, con motivo de la agregación a Barcelona de los pueblos del llano (IMI, 2002).

Para una mejor interpretación de la situación espacial de cada división administrativa, se ha creado una codificación numérica propia en la base de datos del GIS, que puede observarse en la Tabla 4.1 y siguientes:

- Distrito: 2 dígitos desde el 01 al 10.
- Barrio: 4 dígitos en total, los dos primeros correspondientes al distrito al que pertenece el barrio y los 2 siguientes pertenecientes al barrio.
- *Zonas de Recerca Petites* o Zonas de Estudio (ZRP): 7 dígitos en total, los 4 primeros correspondientes respectivamente al distrito y al barrio donde se encuentra la ZRP, y los 3 últimos los correspondientes a la ZRP según el Departamento de Estadística del Ayuntamiento de Barcelona.

Se han considerado las ZRP como unidades básicas más pequeñas para realizar este estudio y nos referiremos a ellas indistintamente como ZRP o Zonas de Estudio. Por un lado, porque son más fáciles de gestionar que las SC o las SE, debido al área que abarca cada una de ellas y a su número total (248); y, por otro lado, debido a que muestran una visión más adecuada de la distribución de la población en la ciudad, así como una mayor homogeneidad en la tipología estructural de sus edificios, frente a los barrios y los distritos.

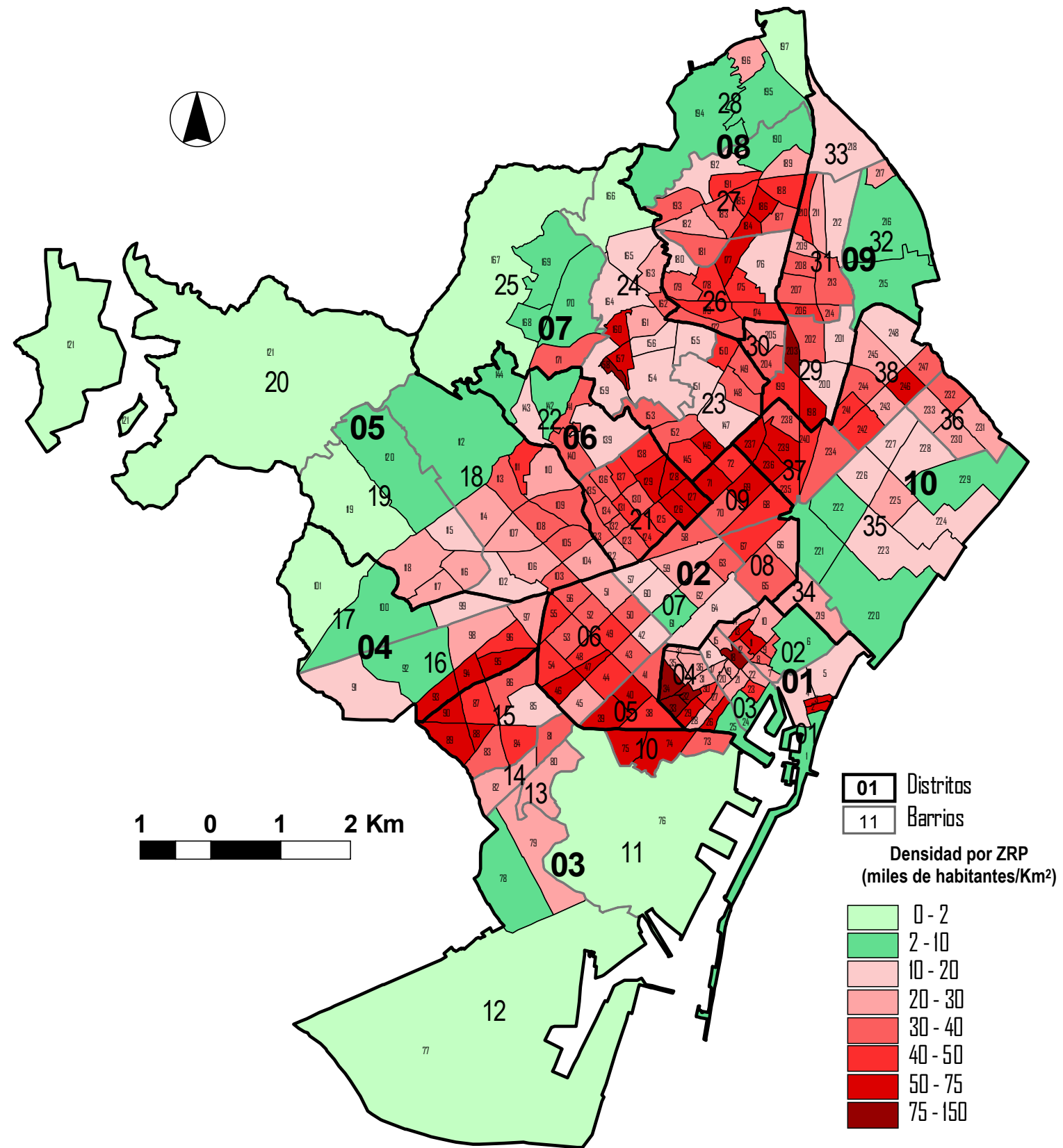


Figura 4.2. Distritos, barrios y zonas de estudio (ZRP) de Barcelona. Se indica también la densidad de población del 1 de enero de 2004, (Ajuntament de Barcelona, 2005). La Tabla 4.1 y las nueve siguientes contienen los nombres de los 10 distritos, los 38 barrios y las 248 zonas de estudio.

Tabla 4.1. Distrito 01: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).

DISTRITO	BARRIO	ZONA DE ESTUDIO (ZRP)
01 CIUTAT VELLA	01 Barceloneta	01 Sant Sebastià
		02 c/Cervera- Aixada
		03 c/Churruca
		04 Barceloneta Centre
		05 Hospital del Mar
	02 Parc	06 Ciutadella-Born
		07 Llotja de Mar
		08 Santa Maria del Mar
		09 Museu Picasso
		10 Casc Antic-Juïjats
		11 Mercat Sta. Caterina
		12 Av. Francesc Cambó
		13 Sant Pere
		14 Palau Música
	03 Gòtic	15 c/Condal
		16 Pl. Villa de Madrid
		17 c/Petritxol
		18 Catedral
		19 Palau Generalitat
		20 c/Boqueria
		21 Pl. Reial - Ajuntament
		22 Correus
		23 Pl. La Mercè
		24 Pl. Medinaceli
	04 Raval	25 Drassanes
		26 Palau Güell
		27 Liceu
		28 Sant Pau del Camp
		29 Pl. Folch i Torres
		30 Sant Agustí
		31 Mercat Boqueria
		32 c/Riera Baixa
		33 c/La Cera
		34 c/Riera Alta
		35 Casa Caritat
		36 Acadèmia Ciències
		37 c/Tallers-Pelai

Tabla 4.2. Distrito 02: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).

DISTRITO	BARRIO	ZONA DE ESTUDIO (ZRP)
02 EIXAMPLE	05 Sant Antoni	38 Mercat San Antoni
		39 Av. Mistral
		40 c/Sepúlveda - Viladomat
		41 c/Sepúlveda-Casanova
	06 Esquerra Eixample	42 Universitat.
		43 c/Casanova-Diputació
		44 Casa Golferichs
		45 Parc Escorxador
		46 c/Llançà
		47 Av. Roma-Aragó
		48 Telefònica
		49 Mercat Ninot
		50 c/Aribau - Mallorca
		51 c/Aribau - Còrsega
		52 Hospital Clínic
		53 Escola Industrial
	54 Presó Model	
	55 c/Londres-Borrell	
	56 c/Londres-Casanova	
	07 Dreta Eixample	57 La Pedrera
58 Casa de les Punxes		
59 Mercat Concepció		
60 Pg. Gràcia Central		
61 Illa Discòrdia		
62 Torre de les Aigües		
63 Tetuan Nord		
64 Pl. Catalunya-Rondes		
08 Est. del Nord	65 Estació del Nord	
	66 Auditori	
	67 Plaça Monumental	
09 Sagrada Família	68 Pl. Hispanitat	
	69 Mercat Sgrda. Família	
	70 Sagrada Família	
	71 Jardins Industria	
	72 Creu Roja	

Tabla 4.3. Distrito 03: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).

DISTRITO	BARRIO	ZONA DE ESTUDIO (ZRP)	
03 SANTS - MONTJUÏC	10 Poble Sec	73	Tres Xemeneies
		74	Poble Sec – Satalia
		75	Mercat de les Flors
	11 Montjuïc	76	Montjuïc
	12 Zona Franca- Port	77	Polígon Zona Franca
		78	Pg. Zona Franca - Oest
		79	Pg. Zona Franca – Est
	13 Font de la Guatlla	80	Font de la Guatlla.
	14 Bordeta Hostafrancs	81	Hostafrancs
		82	Magoria - Can Batlló
	15 Sants	83	Sants - Mercat Nou
		84	Cotxeres de Sants
		85	Espanya Industrial
		86	Pl. Centre Sud
		87	Can Mantega
88		Mercat Sants	
89		c/Sugranyes	
90		c/Roger	

Tabla 4.4. Distrito 04: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).

DISTRITO	BARRIO	ZONA DE ESTUDIO (ZRP)
04 LES CORTS	16 Les Corts	91 Torre Melina - Collblanc
		92 FC Barcelona
		93 Jardins Bacardi
		94 Sol de Baix
		95 Pl. Centre Nord
		96 Les Infantes
		97 c/Loreto
		98 Les Corts - Centre
	17 Pedralbes	99 Santa Gemma
		100 Palau Reial
		101 Pedralbes

Tabla 4.5. Distrito 05: barrios y ZRP (IMI, 2002) (véase Figura 4.2).

DISTRITO	BARRIO	ZONA DE ESTUDIO (ZRP)
05 SARRIÀ - SANT GERVASI	18 Sant Gervasi	102 R.C.D. Espanyol
		103 c/Sagues
		104 c/Tuset
		205 Jardins Moragues
		106 Turó Parc
		107 Pl. Adriano
		108 Parc De Monterols
		109 c/Saragossa
		110 Parc Turo del Putxet
		111 C.T. Barcino
		112 Av. Tibidabo
		113 c/Sant Gervasi
		114 C/Mandri
		19 Sarrià
	116 Salesians	
	117 Quinta Amèlia	
	118 Sarrià Centre	
	119 Can Caralleu	
	120 Institut Químic	
	20 Vallvidrera Les Planes	121 Vallvidrera

Tabla 4.6. Distrito 06: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).

DISTRITO	BARRIO	ZONA DE ESTUDIO (ZRP)
06 GRÀCIA	21 Gràcia	122 Riera Sant Miquel
		123 Pl. Rius i Taulet
		124 c/Libertat
		125 c/Quevedo
		126 c/D'en Grassot
		127 La Sedeta
		128 c/Romana
		129 c/Legalitat
		130 Pl. Virreina -Travessera
		131 Pl. Diamant
		132 Pl. Sol
		133 Rambla del Prat
		134 Fontana
		135 Pl. Lesseps -Sud
		136 Torrent de l'Olla -Trav. Dalt
		137 Pl. Nord - Pl. Rovira
		138 C.F. Europa
		22 Vallcarca
	140 Baixada de la Glòria	
	141 c/Mora d'Ebre	
	142 La Creueta del Coll	
	143 Hospital Militar	
144 Penitents N.		

Tabla 4.7. Distrito 07: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).

DISTRITO	BARRIO	ZONA DE ESTUDIO (ZRP)
07 HORTA - GUINARDÓ	23 Guinardó	145 Quarter Girona
		146 La Aliança
		147 Hospital Sant Pau
		148 Pl. Guinardó
		149 Mercat Guinardó
		150 c/Mascaro
		151 Parc del Guinardó
		152 Parc de les Aigües
		153 Can Baró
	24 Horta	154 c/Font d'en Fargues,.
		155 c/Alt Pedrell
		156 Can Pujolet
		157 Mercat Carmel
		158 c/Segimon
		159 Muntanya del Carmel
		160 Pl. Pastrana
		161 Mercat Horta
		162 Pl. Santes Creus
		163 C. Esportiu Horta
	164 Horta Centre - Pl. Eivissa	
	165 Horta - Valldaura	
166 Cementeri Horta		
25 Vall d'Hebrón	167 Sant Genis	
	168 C. Sanitària Vall Hebrón	
	169 Montbau	
	170 A. Olímpica Vall Hebrón	
	171 Teixonera	

Tabla 4.8. Distrito 08: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).

DISTRITO	BARRIO	ZONA DE ESTUDIO (ZRP)
08 NOU BARRIS	26 Vilapiscina - Turó de la Peira	172 Torre Llobeta
		173 Vilapiscina
		174 c/Escòcia
		175 . Pl. Sóller
		176 Can Dragó
		177 c/Alcúdia
		178 Calderón de la Barca
		179 Turó de la Peira
		180 Ramon Albó
	27 Roquetes - Verdum	181 Can Ensenya
		182 Guineueta
		183 Parc Guineueta
		184 Prosperitat - Lluchmajor
		185 Verdum
		186 Prosperitat - Via Júlia
		187 Prosperitat - Rio Janeiro
		188 Prosperitat - Via Favència
		189 Trinitat Nova
		190 Dipòsits Aigua
		191 Roquetes
		192 c/Mina de la Ciutat
		193 Canyelles
	28 Ciutat Meridiana- Vallbona	194 Turó de Roquetes
		195 Torre Baró
		196 Ciutat Meridiana
		197 Vallbona

Tabla 4.9. Distrito 09: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).

DISTRITO	BARRIO	ZONA DE ESTUDIO (ZRP)
09 SANT ANDREU	29 Sagrera	198 c/Bofarull
		199 Navas
		200 La Sagrera - Estació
		201 c/Berenguer de Palou
		202 La Sagrera
		203 Mercat Felip II
	30 Congrés	204 I.B. Alzina
		205 Congrés
	31 Sant Andreu	206 Fabra i Coats
		207 Sant Andreu
		208 Mercat Sant Andreu
		209 c/Servet
		210 Pl. Mossèn Clapés
		211 Casa Bloc
		212 Colorantes
		213 Sant Andreu - c/Segre
	214 C.F. Sant Andreu.	
	32 Bon Pastor	215 Bon Pastor - Santander
216 Bon Pastor - Maquinista		
217 Baró de Viver.		
33 Trinitat Vella	218 Trinitat Vella.	

Tabla 4.10. Distrito 10: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).

DISTRITO	BARRIO	ZONA DE ESTUDIO (ZRP)
10 SANT MARTÍ	34 Fort Pius	219 Fort Pius
	35 Poble Nou	220 Vila Olímpica
		221 C/Sancho de Ávila
		222 Olivetti
		223 Poblenou
		224 Catalana
		225 Can Felipa
		226 c/Gran Vía - Bilbao
		227 Pl. Perú
		228 c/Veneçuela
	229 Diagonal Mar	
	36 Barris Besòs	230 Besòs - Diagonal
		231 Besòs - Mar
		232 Besòs
		233 Besòs – Paraguai
	37 Clot	234 Parc del Clot
		235 c/Aragó - Independència
		236 Provença - Independència
		237 Sant Josep Calasanz
		238 Camp de l'Arpa Nord
239 Can Robacols		
240 Clot - Meridiana		
38 Verneda	241 c/Provençals	
	242 Centre Cívic Sant Martí	
	243 C.E. Júpiter	
	244 Parc Sant Martí	
	245 Polígon Sant Martí	
	246 Pl. la Palmera	
	247 La Pau	
	248 La Verneda Santander	

4.4 Ambiente geotectónico

La ciudad de Barcelona está situada en el NE de la Península Ibérica, extendiéndose a lo largo de la costa Mediterránea, entre los deltas de los ríos Llobregat al SW y Besòs al NE (Figura 4.3). Desde el punto de vista geomorfológico pueden apreciarse dos zonas claramente diferenciadas: la montaña (N-NW de la ciudad) que constituye el basamento rocoso de la ciudad con materiales del Paleozoico y del Terciario, y el llano formado por depósitos del Cuaternario. A su vez, el llano de la ciudad contiene la zona centro, con materiales del Pleistoceno, y las zonas deltaicas de los ríos Llobregat y Besòs, con materiales del Holoceno (LOSAN, 1978; Jiménez *et al.*, 2000; Cid *et al.*, 2001).

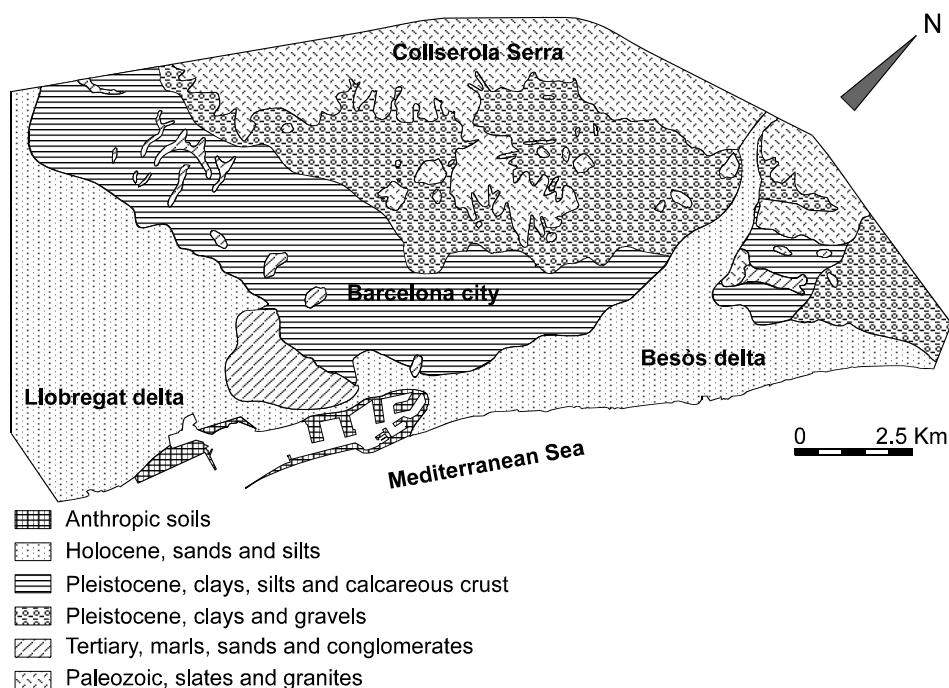


Figura 4.3. Mapa geológico de la región de Barcelona (Cid et al., 2001).

Los materiales del Paleozoico son principalmente granitos, pizarras, calizas, intercalaciones de cuarcitas, areniscas y rocas metamórficas. Los materiales del Terciario, emplazados sobre los anteriores, están constituidos por margas, areniscas y

conglomerados de un espesor entre 200 y 300 metros. Los depósitos del Pleistoceno (también denominados localmente como *Tricycle*) están compuestos de arcillas, limos, gravas y costras calcáreas, que descansan directamente sobre el basamento rocoso o bien sobre los sedimentos del Terciario, con un espesor variable de 18-25 m que se incrementa desde la zona montañosa hacia la costa. Los materiales del Holoceno incluyen básicamente arenas, limos, cantos rodados y materia orgánica, con un grosor máximo de 100 m en el delta del Llobregat y de 50 metros en el delta del Besòs; el grosor decrece hacia los márgenes en ambos deltas.

4.5 Las normativas sísmicas

El diseño sismorresistente es un proceso en el que, partiendo de requisitos en la función, construcción, coste y estética de la estructura, se llega a dar una descripción completa de las características de todos sus componentes estructurales, tomando en consideración las acciones sísmicas probables. Durante dicho proceso, deben hacerse razonamientos y tomarse decisiones referentes a aspectos tales como: la elección de un cierto tipo de estructura y de un cierto material, la definición de las acciones de diseño y de las técnicas de cálculo, así como de la obtención de una solución económica de diseño (Barbat, 1998).

La calidad del diseño y la construcción de los edificios, relacionados directamente con la vulnerabilidad, dependen en gran medida del nivel científico-técnico de las normativas aplicadas. Pese a ello únicamente cerca de 50 países en el mundo tenían una normativa sísmica propia (IAEE, 1996). En España actualmente está vigente la normativa del Ministerio de Fomento (NCSE-02, 2002), actualización de la norma de 1994 (NCSE-94, 1994).

En este estudio han sido consideradas todas las normativas de diseño que han existido en España desde que apareció la primera normativa legal en el año 1962 (MV101, 1963) hasta la actualidad, ya que se han considerado de gran importancia a la hora de delimitar los diferentes períodos constructivos de los edificios y la posterior asignación de su índice de vulnerabilidad (véase apartado 6.3).

Barcelona se encuentra en una zona de sismicidad moderada, tal y como se reflejaba en las previsiones de las distintas normativas de diseño de edificios que han existido en España entre 1963 y 1994. En éstas, se le asigna a Barcelona un grado de intensidad VII en la escala MMI (MV101, 1963) y MSK (PGS-1, 1968; NTE-ECS, 1973; PDS-1, 1974). Sin embargo, de acuerdo a la normativa (NCSE-94, 1994) se considera que la aceleración sísmica de cálculo para la ciudad de Barcelona es de 0.04g que, de acuerdo a la fórmula empírica que facilita la misma norma NCSE-94, correspondería a una intensidad de VI, con lo que quedaría fuera del rango de obligatoriedad y no se requeriría diseño sismorresistente alguno para sus edificios. Actualmente la norma (NCSE-02, 2002) asigna el mismo valor de aceleración a Barcelona, pero obliga a su cumplimiento en edificios de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica es mayor o igual a 0.04g. En el capítulo 6 se detallan los periodos constructivos de la ciudad atendiendo a las normativas sísmicas vigentes.

4.6 La población

El área metropolitana de Barcelona, formada por la propia ciudad y una serie de poblaciones limítrofes (27 municipios entre los que destacan *L'Hospitalet de Llobregat* y Badalona), concentra casi la mitad de la población de Cataluña, que es de unos 6 millones de habitantes.

4.6.1 Crecimiento y evolución en el siglo XX

La superficie urbanizada de la ciudad, de unos 100 km², creció aproximadamente un 100% durante el siglo XX, incrementando la población entre los años 1910 y 1930 de 587 411 a 1 005 565 personas. El récord histórico de población se alcanza en 1979, con 1 906 998 habitantes. Sin embargo, el crecimiento entre este año y el año 2000 fue negativo. En diciembre de este último año la población era de 1 512 971 habitantes, según el padrón municipal de habitantes del Ayuntamiento de Barcelona.

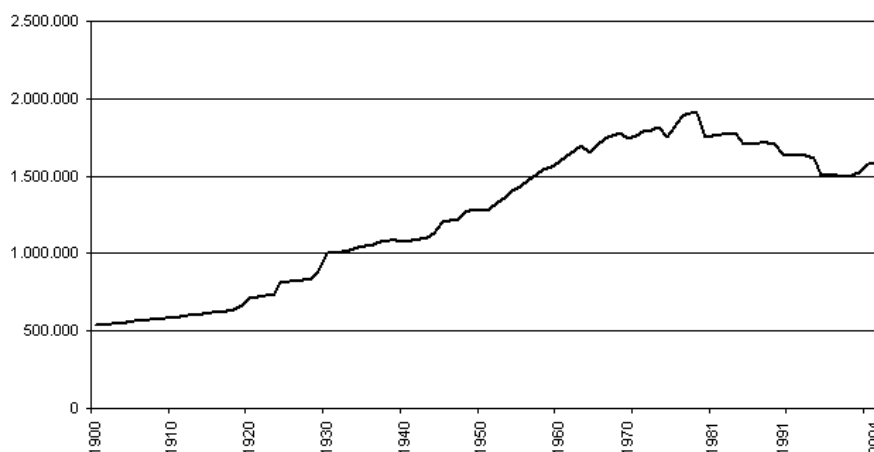


Figura 4.4. Evolución de la población desde 1900 (Ajuntament de Barcelona, 2005).

El diario “*La Vanguardia*” del 13 de Enero de 2006 cita un reciente estudio del Departamento de Estadística del Ayuntamiento de Barcelona según el cual, la fuerte presión migratoria que experimenta la ciudad es la responsable del crecimiento de su población desde el año 2000. Este estudio, cifra la población a 30 de junio de 2005 en 1 612 237 habitantes. El porcentaje de extranjeros en Barcelona es del 15.4%, siendo los distritos de *Ciutat Vella* y *Sants Montjuïc*, con respectivamente el 43.9% y el 17.3% los que sufren una mayor presión y el distrito de *Les Corts* y *Horta-Guinardó*, con el 10.6 %, los que tienen una menor proporción de habitantes extranjeros.

4.6.2 Densidad de población

De acuerdo al censo del Instituto Nacional de Estadística del 1 de enero de 2004, la población total de la ciudad, a principios de este año, era de 1 578 546 habitantes, lo que hace una densidad de 15 635 habitantes/km² (con cerca de 600 000 viviendas en 75 932 edificios residenciales, según el censo de viviendas de 2001). La Figura 4.5 muestra la densidad de población de la ciudad por barrios y distritos y se ha elaborado a partir de los datos de población de Barcelona del padrón de enero de 2004, facilitados por el Departamento de Estadística del Ayuntamiento de Barcelona.

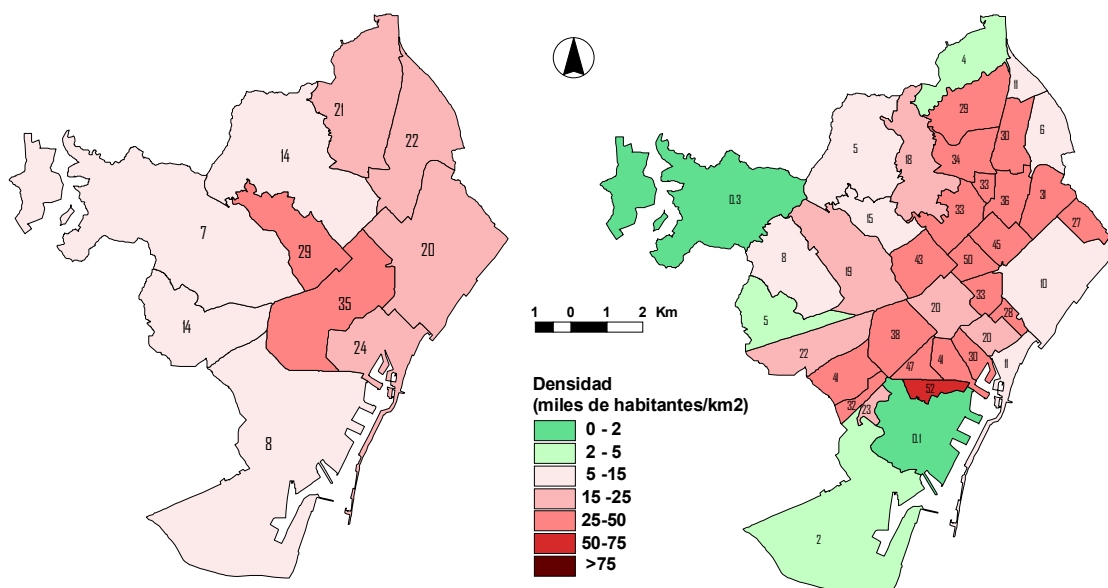


Figura 4.5. Densidad de población por distritos (izquierda) y barrios (derecha).

Destaca claramente como distrito con mayor densidad de población el *Eixample*, con $34\,863\text{ hab/km}^2$. Los barrios de *Poble Sec* y *Sagrada Família* son los que muestran una mayor densidad de población con densidades aproximadas respectivamente de $52\,000$ y $50\,000\text{ hab/km}^2$. Otros 7 barrios superan los $40\,000\text{ hab/km}^2$. La densidad de población aumenta aún más si consideramos las zonas de estudio (ZRP), ya que se separan los efectos producidos por las grandes avenidas, plazas, parques y jardines. La Figura 4.2 muestra la distribución de densidad de población por zonas de estudio. La máxima densidad de $131\,983$ habitantes por km^2 se da en la Zona de Estudio (ZRP) número 158 de la Calle *Segimon*, situada en el barrio de *Horta* (barrio número 24) del distrito de *Horta-Guinardó* (distrito número 07) (véase Tabla 4.7 y Figura 4.2). Otras 6 zonas de estudio tienen una densidad de población superior a $75\,000\text{ hab/km}^2$ y 34 zonas de estudio tienen densidades de población comprendidas entre los $50\,000$ y $75\,000\text{ hab/km}^2$.

La mayor concentración de población se halla en zonas de los barrios de *Sants*, *Sant Antoni*, *Gràcia*, y *Eixample Esquerra*. Este último barrio destaca por ser eminentemente residencial y de actividades terciarias, tanto de comercio como administrativas. Las zonas con menos densidad de población se encuentran en *Montjuïc*, *Ciutadella* y *Pedralbes*, en toda la franja norte de la ciudad, más

montañosa, y allí donde predomina la localización de industrias, como son las áreas de *Zona Franca* y *Poblenou*.

4.6.3 Las víctimas

La cuantificación de los muertos y heridos que es capaz de causar un terremoto en una ciudad así como su distribución geográfica, es fundamental para la evaluación de la magnitud de la catástrofe, para la prevención y para la gestión de la emergencia creada. Estos números son extremadamente difíciles de predecir, y su contabilización, incluso una vez ocurrido el terremoto, no suele estar exenta de controversia. Las víctimas se suelen entender en sentido amplio e incluyen muertos, heridos leves, heridos graves que no necesitan ser ingresados en un hospital y heridos graves cuyo cuidado requiere hospitalización. Evidentemente, el daño sísmico a la población está relacionado directamente con el daño sufrido por los edificios, con el número de personas que los habitan en el momento de producirse el terremoto y con la capacidad de respuesta de la sociedad.

Para estimar el número de muertos y heridos, en este estudio se utiliza el modelo de víctimas de Coburn y Spence (1992, 2002) quienes cuantifican estos números críticos mediante la siguiente expresión:

$$K_S = C \cdot [M1 \cdot M2 \cdot M3 \cdot (M4 + M5 \cdot (1 - M4))] \quad [4.1]$$

donde, para cada tipo de edificio y clase de víctimas, K_S es el número de víctimas. C es el número de edificios colapsados, que se calcula como el número de edificios de la tipología considerada por la probabilidad de colapso. $M1$ es el número de personas que viven en el edificio. Este número puede estimarse a partir de la superficie total del edificio, considerando todas las plantas con viviendas, y del número de personas por m^2 edificado. $M2$ es el porcentaje de ocupación del edificio en el momento del terremoto. Este número depende del día y de la hora en qué se produce el terremoto; se suele suponer máxima la ocupación en horario nocturno de días laborables. $M3$ representa el porcentaje de ocupantes afectados por el colapso. $M4$ depende del tipo

de edificio y define la distribución porcentual de los afectados en las diferentes clases de víctimas, es decir en muertos, heridos leves, heridos graves y heridos que requieren hospitalización. $M5$ cuantifica la mortalidad post-colapso entre las víctimas supervivientes.

Para ilustrar el uso de la ecuación [4.1] consideremos el siguiente ejemplo: edificios de mampostería no reforzada, $M1=22.5$ habitantes por edificio, $M2=80\%$ de ocupación en el momento de producirse la crisis sísmica, $M3=5\%$ de los habitantes del edificio son afectados, $M4=15\%$ que cuantifica el porcentaje de las personas afectadas que mueren de forma inmediata; se usarían otros valores de $M4$ para las otras clases de víctimas; y $M5=60\%$ es la tasa de mortalidad posterior a la crisis sísmica entre las víctimas por ella producidas. Suponiendo una ciudad con 1000 edificios de mampostería y un escenario sísmico tal que estos edificios tienen una probabilidad de colapso del 12%, el número de muertes esperadas es de:

$$K_s = 1000 \cdot \frac{12}{100} \left[22.5 \cdot \frac{80}{100} \cdot \frac{5}{100} \cdot \left(\frac{15}{100} + \frac{60}{100} \cdot \left(1 - \frac{15}{100} \right) \right) \right] = 71 \text{ víctimas mortales}$$

Número que representa el total de víctimas mortales causadas por el colapso de edificios de mampostería en la hipotética ciudad y en el hipotético escenario. Para estimar el número total de muertes en la ciudad hay que sumar todas las contribuciones de las diferentes tipologías de edificios. La ecuación [4.1] es aproximada, debe entenderse en sentido probabilista y su estimación requiere el manejo de una información compleja.

El capítulo siguiente se dedica al análisis de la información disponible sobre el parque edificado de la ciudad. La estimación de las víctimas esperables para escenarios sísmicos razonables se efectúa en el capítulo 9 y allí se comentará y aplicará con un mayor detalle la ecuación [4.1]. Para estimar el parámetro $M1$, es decir, el número de personas que viven en cada edificio, se utilizarán datos estadísticos sobre la superficie destinada a viviendas, el número total de viviendas, la superficie media de las viviendas y el número medio de personas por vivienda. Esta información está disponible a nivel de zonas de estudio o ZRP (Ajuntament de

Barcelona, 2004). En los casos de insuficiencia o incompletitud de datos se formularán y emplearán hipótesis razonables.

4.6.4 La población sin hogar (“homeless”).

También de vital importancia para la gestión de los efectos de un sismo sobre la población es la evaluación del número de personas que no podrán ocupar su vivienda inmediatamente después del terremoto.

Este número se obtiene como el producto del número de viviendas no habitables por el número de personas por vivienda. El número de viviendas no habitables se suele estimar a partir de las probabilidades de ocurrencia de los estados de daño extensivo ($ds3$) y completo ($ds4$). En este estudio se adopta la propuesta de (Vacareanu *et al.*, 2004)) quienes estiman que el 90% de las viviendas que sufren el estado de daño extensivo y el 100% de las que sufren el estado de daño completo quedan inhabitables. Por lo tanto la siguiente ecuación se usa para estimar el número de personas que quedan sin techo por causa de una crisis sísmica:

$$N_{psh} = N_{pv} \cdot N_{viv} \cdot (0.9P_{ds3} + 1.0P_{ds4}) \quad [4.2]$$

donde P_{ds3} es la probabilidad del estado de daño extensivo y P_{ds4} es la probabilidad del estado de daño completo, N_{viv} es el número de viviendas y N_{pv} es el número de personas por viviendas; N_{psh} cuantifica el número de personas sin hogar.

Para los escenarios sísmicos considerados en este trabajo, al igual que el número de víctimas, el número de personas sin hogar se estimará en el capítulo 9. El número total esperado en la ciudad se obtendrá sumando las contribuciones de los diferentes tipos de edificios y de las 248 zonas de estudio. El número de personas por vivienda se estimará de forma similar a la utilizada para estimar el número de personas por edificio, a partir de información disponible y/o de hipótesis razonables.

4.7 Resumen y conclusión

Tras una breve revisión de la evolución histórica de la ciudad, que permite recorrer su devenir desde los primeros asentamientos en la época Ibérica hasta su compleja organización y desarrollo actual que encara el siglo XXI, se describe la organización socio-administrativa del territorio según 10 distritos, 38 barrios y 248 zonas de estudio o “*Zones de Recerca Petites*”. Como veremos en el capítulo siguiente, la riqueza y detalle de las bases de datos utilizadas ha permitido efectuar el estudio edificio por edificio. Con todo las ZRP, al ser unas áreas de gestión administrativa bien definidas, de dimensiones homogéneas y, sobre todo, estables en el tiempo, se han elegido como las unidades mínimas de representación e interpretación de la información. Los análisis y resultados de este trabajo, sin menoscabo del uso también de los barrios, más cercanos a la evolución histórica de la ciudad con la integración de los pueblos que hoy forman parte de ella, y de los distritos que, por su reducido número permiten ofrecer una visión esquemática y simplificada, pero suficiente, de las principales características de los resultados de nuestros escenarios de riesgo sísmico. Una sola figura, la Figura 4.2, muestra esta división territorial y debe ser tomada como un índice al que nos referiremos frecuentemente, así como las 10 Tablas que contienen la denominación de ZRP, barrios y distritos. Estas 10 Tablas – índice, también contienen el número identificativo que permite su ubicación en el mapa de la Figura 4.2. Esta misma figura muestra las densidades demográficas de las ZRP.

Barcelona, afortunadamente, está situada en una región de bajo peligro sísmico. La intensidad macrosísmica VI-VII se estima tiene una probabilidad de ocurrencia del 10% en 50 años, que corresponde a un periodo de retorno aproximado de 500 años. En este capítulo se describen también los principales rasgos geomorfológicos de la ciudad que se pueden resumir en un basamento rocoso con materiales Paleozóicos y Terciarios y suelos cuyas características geológicas y geotécnicas decrecen en antigüedad y calidad desde los afloramientos rocosos de la *Sierra de Collserola*, al NW, hacia el frente marítimo y los deltas de los ríos *Llobregat* y *de Besós*, situados respectivamente al SW y al NE de la ciudad. Este sencillo marco geotectónico ha

sido el fundamento de la microzonificación sísmica de la ciudad que se describe en el Capítulo 7.

También se efectúa una revisión de la normativa sísmica española desde la primera norma legal del año 1962 (MV101, 1963), hasta la actualmente vigente NCSE-02 (2002). El nivel de exigencia en el diseño sísmico de los edificios de la ciudad, regulada en las sucesivas normativas sísmicas, se usará, más adelante en el Capítulo 6, para definir períodos constructivos y para modular la resistencia de los edificios a acciones horizontales.

Finalmente se dedica un apartado a analizar la población y densidad demográfica de la ciudad. Sin duda, las peculiaridades de evolución, expansión y presión demográfica actual sobre una ciudad de geografía cerrada entre el mar y la cordillera de *Collserola*, le han conferido una muy alta densidad de población. La densidad media es superior a los 15 000 hab/km², pero sus barrios y ZRP pueden alcanzar valores típicos superiores a los 50 000 habitantes por km². La máxima densidad de población es del orden de 130 000 hab/km². Se introducen también modelos de estimación de daños a la población y de estimación del número de personas sin hogar. Para ello se definen los parámetros involucrados en la estimación de muertos y heridos y una ecuación cuantitativa para estimar las víctimas esperables, entendiendo por tales los muertos, los heridos leves y graves así como los que requieren atención hospitalaria. Estas claves se establecen también para cuantificar el número de personas sin techo. Toda esta información, que es crucial para la predicción, prevención y gestión de la emergencia sísmica, se evaluará con detalle en el Capítulo 9.

Entramos pues ahora ya, en el siguiente capítulo, en el análisis detallado de nuestras bases de datos referentes a edificios de la ciudad, a partir de las cuales se generará una base de datos específica representativa de los edificios destinados a viviendas, sobre los que versarán los principales análisis efectuados en esta tesis.

4.1	Introducción	107
4.2	Apuntes de historia	108
4.3	La organización del territorio	112
4.3.1	Las “Zonas de Recerca Petites” (ZRP)	112
4.3.2	Los Barrios	112
4.3.3	Los Distritos	113
4.4	Ambiente geotectónico	126
4.5	Las normativas sísmicas	127
4.6	La población	128
4.6.1	Crecimiento y evolución en el siglo XX	128
4.6.2	Densidad de población	129
4.6.3	Las víctimas	131
4.6.4	La población sin hogar (“homeless”).	133
4.7	Resumen y conclusión	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1.	Evolución urbanística de la ciudad de Barcelona.	111
Figura 4.2.	<i>Distritos, barrios y zonas de estudio (ZRP) de Barcelona. Se indica también la densidad de población del 1 de enero de 2004, según el Departamento de Estadística del Ayuntamiento de Barcelona. La Tabla 4.1 y las nueve siguientes contienen los nombres de los 10 distritos, los 38 barrios y las 248 zonas de estudio.</i>	115
Figura 4.3.	Mapa geológico de la región de Barcelona (Cid et al., 2001).	126
Figura 4.4.	Evolución de la población desde 1900 (IMI, 2005).	129
Figura 4.5.	Densidad de población por distritos (izquierda) y barrios (derecha).	130

ÍNDICE TABLAS

Tabla 4.1.	Distrito 01: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).	117
Tabla 4.2.	Distrito 02: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).	118
Tabla 4.3.	Distrito 03: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).	119
Tabla 4.4.	Distrito 04: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).	120
Tabla 4.5.	Distrito 05: barrios y ZRP (IMI, 2002) (véase Figura 4.2).	120
Tabla 4.6.	Distrito 06: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).	121
Tabla 4.7.	Distrito 07: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).	122
Tabla 4.8.	Distrito 08: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).	123
Tabla 4.9.	Distrito 09: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).	124
Tabla 4.10.	Distrito 10: barrios y ZRP (IMI, 2002), (véase Figura 4.2).	125

- Ajuntament de Barcelona (2004). Departament d'Estadística de l'Ajuntament de Barcelona, <http://www.bcn.cat/estadistica/catala/dades/timm/index.htm> (último acceso 23 de marzo de 2007)
- Ajuntament de Barcelona (2005). *Anuari estadístic de la ciutat de Barcelona 2005*. Departament d' Estadística, Barcelona. 571 pp. (en catalán)
- Barbat, A. H. (1998). *El riesgo sísmico en el diseño de edificios. Cuadernos técnicos 3*. Calidad Siderúrgica, Madrid. 248 pp.
- Cid, J., Susagna, T., Goula, X., Chavarria, L., Figueras, S., Fleta, J., Casas, A. y Roca, A. (2001). "Seismic Zonation of Barcelona Based on Numerical Simulation of Site Effects." *Pure Applied Geophysics* **158**: 2559-2577.
- IAEE (1996). *Regulations for Seismic Design. A World List*. International Association for Earthquake Engineering, Tokyo. pp.
- IMI, Institut Municipal d'Informàtica (2002). *Informació del Centre de Cartografia Automàtica (InfoCCA)*. Ajuntament de Barcelona, Barcelona. pp. (en catalán)
- Jiménez, M. J., García-Fernández, M., Zonno, G. y Cella, F. (2000). "Mapping soil effects in Barcelona, Spain, through an integrated GIS environment". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **19** (No. 4): 289-301.
- LOSAN (1978). *Mapa geotécnico de Barcelona, Badalona, Esplugues, L'Hospitalet, Sant Adrià, Sta. Coloma. 1 mapa, p.32*.
- MV101 (1963). *Norma N.V.101-1962. Acciones en la edificación*. Ministerio de la Vivienda, decreto del 17 de enero de 1963 (195/1963). pp.
- NCSE-02 (2002). *Norma de Construcción Sismorresistente Española. Parte General y de Edificación, Comisión Permanente de Normas Sismorresistente, Real Decreto 997/2002 del 27 de septiembre de 2002, Boletín Oficial del Estado n° 244, viernes 11 de octubre de 2002*. Ministerio de Fomento. 35898-35987 pp.
- NCSE-94 (1994). *Norma de Construcción Sismorresistente Española, Parte General y de Edificación*. Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes, Real Decreto 2543/1994 del 29 de diciembre de 1994, Boletín Oficial del Estado n° 33, miércoles 8 de febrero de 1995. 3936-3980 pp.
- NTE-ECS (1973). *Norma Tecnológica de la Edificación "Estructuras a cargas sísmicas"*. Ministerio de la Vivienda, Orden del 15 de febrero de 1973. pp.
- PDS-1 (1974). *Norma Sismorresistente P.D.S.-I*. Comisión Interministerial de la Presidencia del Gobierno, Decreto de 30 de agosto de 1974, BOE, 279, 21 de noviembre de 1974. 3723-3740 pp.
- PGS-1 (1968). *Decreto 106/1968, de 16 de enero, por el que se aprueba la aplicación de la «Norma Sismorresistente PGS I (1968), parte A»*. Presidencia del Gobierno. BOE 30/1968. Fecha de publicación. 04/02/1968. 1658 pp.
- Solé, L. (1975). *Geografia de Catalunya*. Aedos, Barcelona. 723 pp. (en catalán)
- Vacareanu, R., Lungu, D., Aldea, A. y Arion, C. (2004). *WP07. Report Seismic Risk Scenarios Handbook*. Risk-UE Project, Bucarest. 50 pp.