

Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de
Ingeniería de Minas

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

Estudio de la relación existente entre la
composición de la trama urbana de la
ciudad de Lorca y las patologías detectadas
tras el terremoto del 11 de Mayo de 2011

Proyecto Fin de Grado

Daniel Sánchez Peña

Dirigido por:

Salvador García-Ayllón Veintimilla

Codirigido por:

Gloria Martínez Marí

Cartagena, Noviembre de 2014

Índice

CAPÍTULO 1	MEMORIA	1
1.1.	ANTECEDENTES	3
1.2.	DAÑOS DEL TERREMOTO DE LORCA DEL 2011	10
1.3.	ZONAS AFECTADAS DE LA CIUDAD	12
1.4.	RELACIÓN DE PATOLOGÍAS DETECTADAS	16
1.4.1.	DAÑOS EN EDIFICACIÓN TRADICIONAL	16
1.4.2.	DAÑOS EN EDIFICACIÓN TECNOLÓGICA	24
1.5.	PARÁMETROS RECTORES	32
CAPÍTULO 2	PLANOS	33
2.1.	PLANOS DE INFORMACIÓN	35
2.2.	PLANOS DE SITUACIONES	37
2.3.	PLANOS DE ANÁLISIS	39
CAPÍTULO 3	ANÁLISIS	41
3.1.	DIAGNÓSTICO DE LAS PROBLEMÁTICAS DETECTADAS	43
3.1.1.	PLANEAMIENTO URBANO INADECUADO	43
3.1.2.	FALTA DE ESTANDARIZACIÓN EN LA EVALUACIÓN POST-SÍSMICA	44
3.2.	MEDIDAS CORRECTORAS	45
CAPÍTULO 4	CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA		53

CAPÍTULO 1

MEMORIA

1.1. ANTECEDENTES

El 11 de Mayo de 2011 se produjo en Lorca, Región de Murcia, un terremoto de una magnitud de 5.1 M_w (escala de magnitud del momento). A pesar de ser tan solo de 5.1 M_w , el terremoto dejó 9 víctimas, el 80% de los edificios dañados y un daño material valorado en 800 millones de euros, siendo uno de los terremotos más significativos de España en los últimos años.

El terremoto ocurrió a las 18:47 hora local, precedido por otro seísmo premonitorio de 4.5 M_w sucedido a las 17:05 de la hora local, múltiples réplicas se produjeron después del principal siendo el mayor de 3.9 M_w a las 22:37 hora local. El epicentro del terremoto estuvo ubicado 2 kilómetros aproximadamente del noreste del centro de la ciudad y su hipocentro a 1 kilómetro de profundidad. Este terremoto fue especialmente catastrófico debido a la combinación de una magnitud moderada con poca profundidad.

Fecha	Hora	Profundidad (km)	Intensidad (MM) ¹	Magnitud (M_w)	Lugar
11/05/2011	17:05	2	VI	4.5	Lorca (NE)
11/05/2011	17:21	10	-	2.6	Lorca (E)
11/05/2011	18:47	1	VIII	5.1	Lorca (NE)
11/05/2011	18:53	11	-	2.8	Lorca (E)
11/05/2011	21:28	2	-	2.9	Lorca (NE)
11/05/2011	22:37	4	IV	3.9	Lorca (NE)
11/05/2011	22:44	11	-	2.7	Lorca (E)

Tabla 1: Sismos y Principales réplicas del 11 de Mayo de 2011 en Lorca, (Wikipedia).

En la tabla 1 se puede observar la secuencia de los sismos ocurridos el 11 de Mayo de 2011. El terremoto principal fue a las 18:47, precedido por uno de menor magnitud y una serie de réplicas posteriores, la mayor de ellas con una magnitud de 3.9 a las 22:37.

La Región de Murcia es la zona con mayor actividad sísmica de España, y ello es debido a que se encuentra en el límite de placas entre la placa euroasiática y la placa africana, estas placas tienden a chocarse siendo el resultado el desplazamiento de África debajo de España.

¹ Escala Sismológica de Mercalli (MM): Es una escala de 12 grados desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras.



Figura 1: Distribución de las placas tectónicas.

En este desplazamiento de las placas tectónicas se producen fallas (fisuras en el terreno), estas fisuras a su vez se desplazan liberando energía lo que produce el sismo.

En la siguiente figura se representan las fallas con mayor actividad de la Región de Murcia, entre ellas destacan las fallas de Crevillente, Alhama de Murcia, Palomares, Carrascoy y Bajo-Segura como fallas con mayor potencial sismogénico en función de sus dimensiones y grado de actividad pliocuaternaria.

Se puede observar en la figura como la Falla de Alhama de Murcia (FAM) atraviesa Lorca. Esta falla es una línea muy superficial que se extiende de 40 a 50 km situada entre el norte del valle del Guadalentín y Puerto Lumbreras. Permanece en movimiento casi continuamente, provocando pequeños movimientos, lo que es buena señal ya que la energía se va liberando poco a poco. De esta falla se tienen datos paleosísmicos que han permitido identificar y cuantificar paleoterremotos y terremotos históricos de magnitud superior a 6 ocurridos en los últimos 5000 años y relacionar las formas recientes del paisaje con la actividad cuaternaria de la falla.

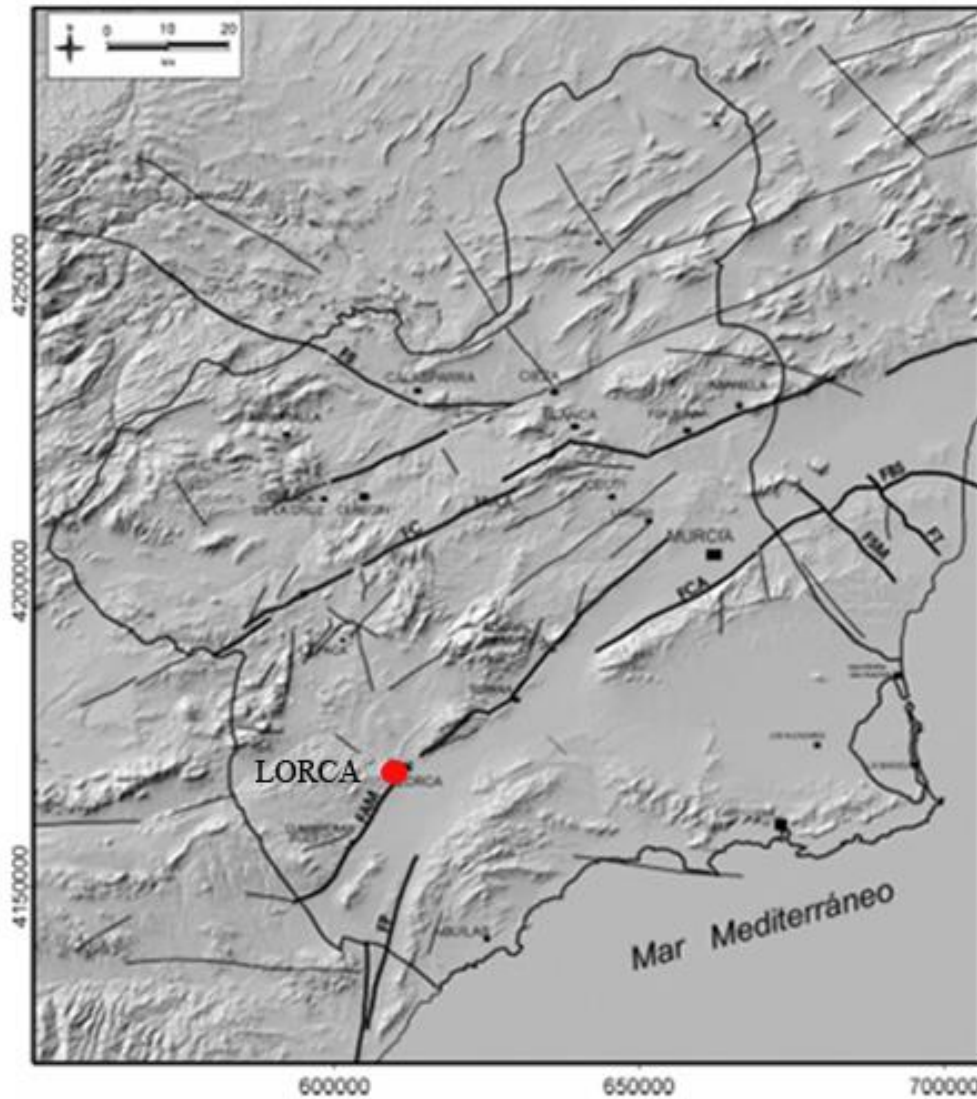


Figura 2: Mapa de las fallas con mayor actividad sísmica de la Región de Murcia. FAM: Falla de Alhama de Murcia; FS: Falla de Socovos-Calasparra; FC: Falla de Crevillente; FCA: Falla de Carrascoy; FBS: Falla del Bajo Segura; FP: Falla de Palomares. FSM: Falla de San Miguel; FT: Falla de Torrevieja (SISMIMUR).

En la figura 3 se muestra la distribución de los terremotos ocurridos en la Región de Murcia con una intensidad igual o superior a IV². Tan solo 95 terremotos tienen el valor de la intensidad asignada y 12 de ellos superan o igualan el grado VII. Las mayores intensidades son de VIII, y corresponden a los sismos ocurridos el 28 de agosto de 1674 en Lorca, los de 21 de Marzo y 3 de abril de 1911 en Cotillas y Lorquí, respectivamente y el que tuvo lugar en Cehegín el 23 de Junio de 1948.

² Escala Macrosísmica Europea (EMS): Escala para evaluación de la intensidad sísmica en los países europeos se denomina oficialmente EMS-98.

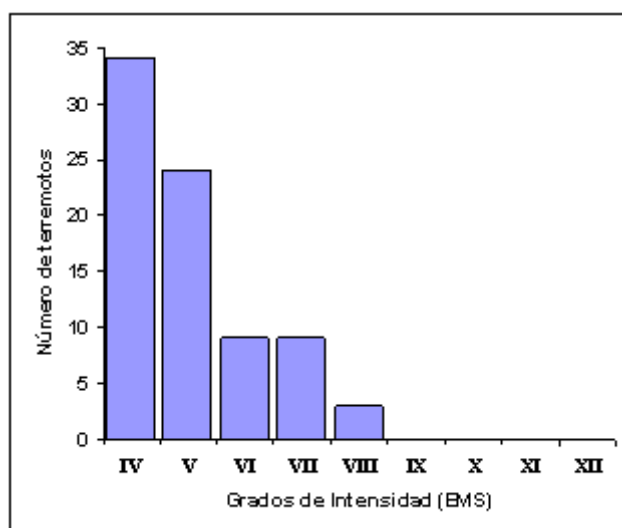


Figura 3: Distribución del número de terremotos para cada grado de intensidad con epicentro en el interior de la Región de Murcia. Sólo se representan eventos principales con intensidad igual o superior a IV (SISMIMUR).

En la siguiente tabla se muestran los terremotos más relevantes ocurridos en la Región de Murcia y zonas cercanas a partir del año 1482.

Fecha	Magnitud	Intensidad	Localización
1482		VIII	Orihuela, Alicante
1487		VIII	Almería
1518		VIII-IX	Veta, Almería
1522		VIII-IX	Alhama de Almería
1644		VIII	Muro de Alcoy, Alicante
1658		VIII	Almería
1673		VIII	Orihuela, Alicante
1674		VIII	Lorca, Murcia
1804		VIII-IX	Dalias, Almería
1829	6.6	IX-X	Torre vieja, Alicante
1910		VIII	Adra, Almería
1911		VIII	Las Torres de Cotillas, Murcia
1919	5.1	VIII	Jacarilla, Alicante
1932	4.8	VIII	Lucar, Almería
1948	5	VIII	Cehegin, Murcia
2011	5.1	VII	Lorca, Murcia

Tabla 2: Terremotos más importantes en la Región de Murcia y áreas cercanas a partir del año 1482 (IGN).

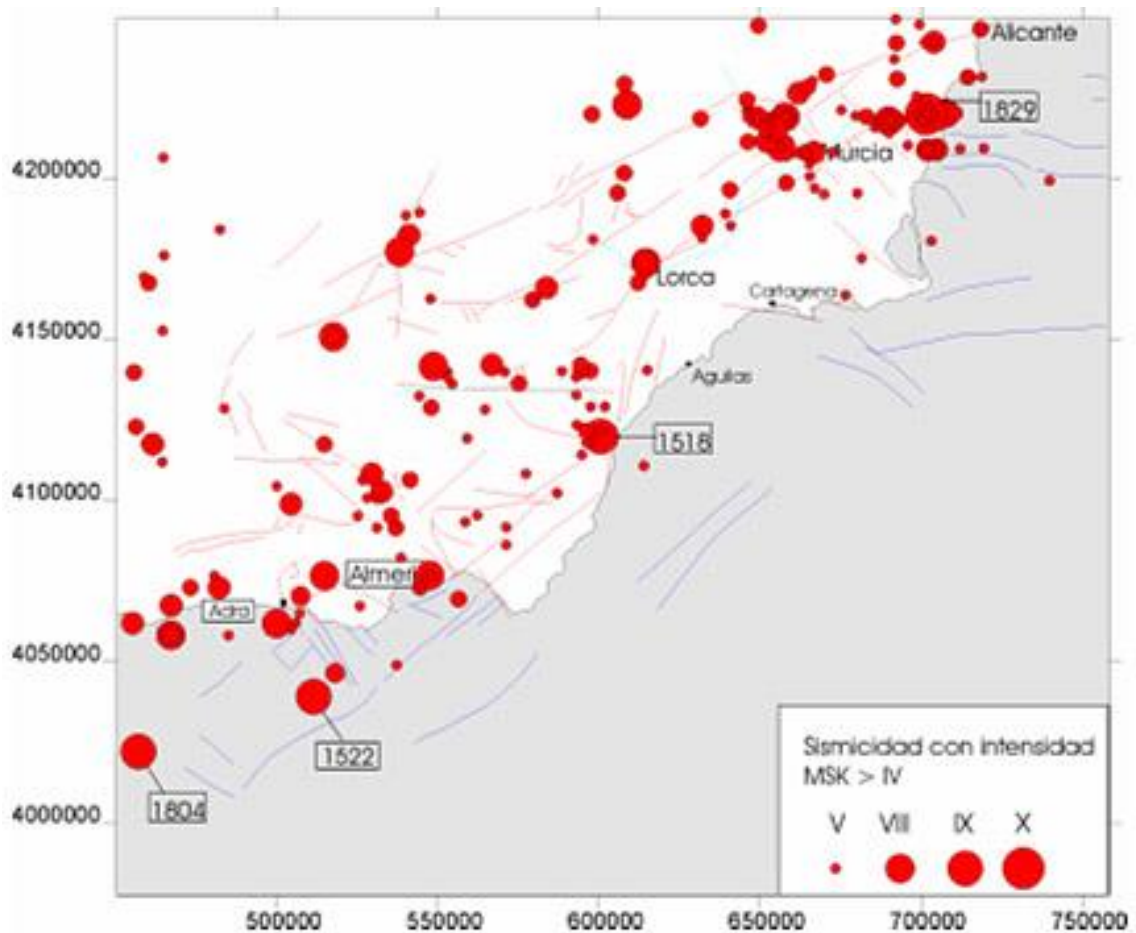


Figura 4: Mapa de la sismicidad de intensidad MSK³ > IV al Este de las Cordilleras Béticas (periodo 1000-2005). Las flechas marcan los terremotos históricos más destructivos (SISMIMUR).

En la figura 4 se representan los terremotos ocurridos en La Región de Murcia y alrededores con una intensidad MSK mayor a IV desde el año 1000 hasta el 2005. Entre estos terremotos destacan el de Torre Vieja de 1829 de intensidad X, dejando 389 muertos y 2000 viviendas completamente destruidas, los ocurridos a lo largo de la Falla de Alhama de intensidad VIII (Cehegin, Lorca).

La Región de Murcia es la zona con mayor actividad sísmica de España pero no está entre las de mayor peligrosidad sísmica, como se refleja en la siguiente figura.

³ La escala MSK es una escala de intensidad macrosísmica anterior a la EMS-98.

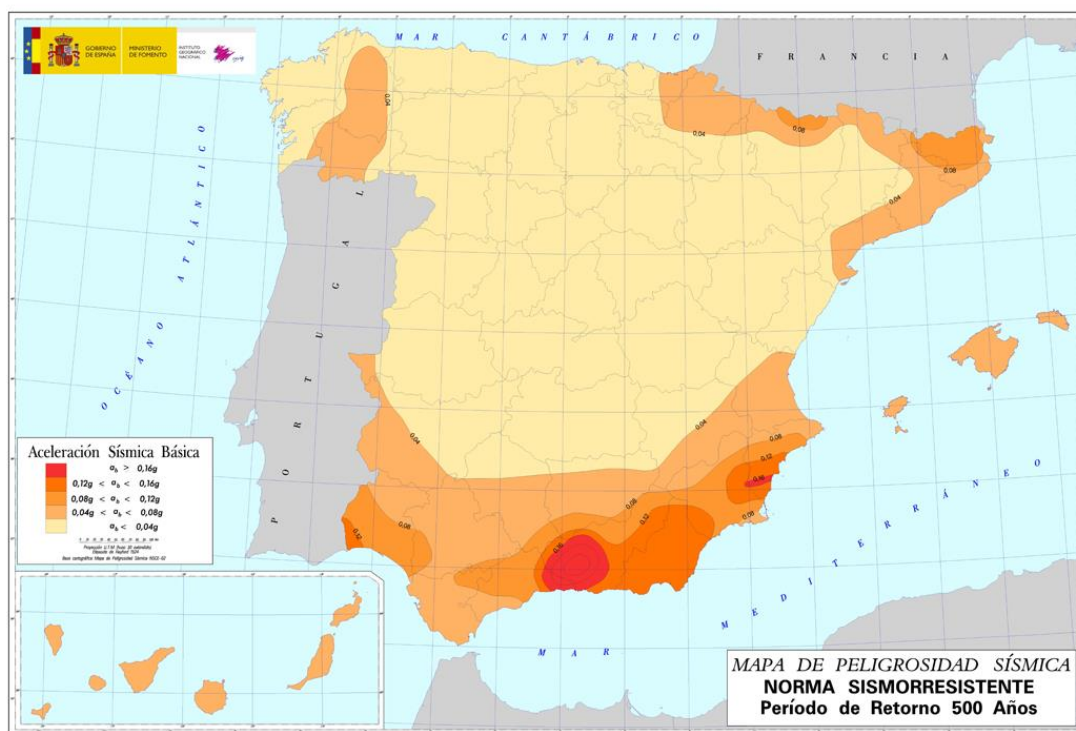


Figura 5: Mapa de peligrosidad sísmica (NSCE-02).

El mapa de peligrosidad sísmica representa la aceleración sísmica básica a_b , expresada en relación a la gravedad g , y el coeficiente de contribución K , que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto. Se observa como en la mayor parte de la región de Murcia la aceleración sísmica básica a_b se encuentra entre $0.08g$ y $0.12g$.

En la siguiente tabla se citan algunos de los terremotos con mayor incidencia en España desde el año 1396:

Año	Magnitud	Intensidad	Zona	Observaciones
1396	6.5	VII-IX	Tavernes de Villadigna	Hundimiento de 200 casas
1428		IX-X	Queralbs, Gerona	800 muertos, destrucción de la ciudad de Queralbs
1431	6.7	VIII-IX	Granada	Graves daños en La Alhambra
1504	6.8	VIII-IX	Carmona, Sevilla	32 muertos, caídas o grietas en la mayor parte de edificios
1522	6.5	VII-IX	Mar de Alborán	1000 muertos, destrucción de Almería y Ugijar (Granada)
1531		VIII-IX	Baza, Granada	400 muertos, 61% de casas arruinadas
1658		VIII	Almería	Graves destrozos en Almería
1680	6.8	VIII-IX	Málaga	70 muertos, 20% de casas destruidas y 20% inhabitables
1748	6.2	IX	Estubeny, Valencia	38 muertos, Montesa, Sellent y Estubeny destruidas
1755	8.5	X	Sw Cabo de San Vicente	15000 muertos, tsunami de 15 metros
1804	6.7	XIII	Mar de Alborán	2 muertos, graves daños en Mortril
1806	5.3	VIII	Granada	13 muertos, de 1322 casas, 1110 quebrantadas y 94 arruinadas
1829	6.6	IX-X	Torreveija, Alicante	389 muertos, Torreveija y Guardamar reedificadas
1884	6.5	IX-X	Granada	839 muertos, 4400 edificios destruidos y 13000 dañados
1956	5	VIII	Albolote, Granada	11 muertos, 83% de edificios dañados
1969	7.8	VII	Sw Cabo de San Vicente	19 muertos, en Huelva 18 casas inhabitables y en Isla Cristina 4
1997	5.3	VI	Lugo	
1999	5.2	VI	Mula, Murcia	Daños moderados en zonas epicentrales
2005	4.6	VII	La Paca, Murcia	Numerosos daños en viviendas de las pedanías altas de Lorca
2011	5.1	VII	Lorca, Murcia	9 muertos, daños de consideración en edificios

Tabla 3: Terremotos más importantes de España (IGN).

En el siguiente mapa se muestra la distribución de los epicentros de los terremotos ocurridos en España desde 1048 hasta el 2003. Los epicentros del periodo histórico entre los años 1048 y 1919 están representados mediante valores de intensidad, mientras que los correspondientes al periodo entre los años 1920 y 2003, se representan por valores de magnitud.

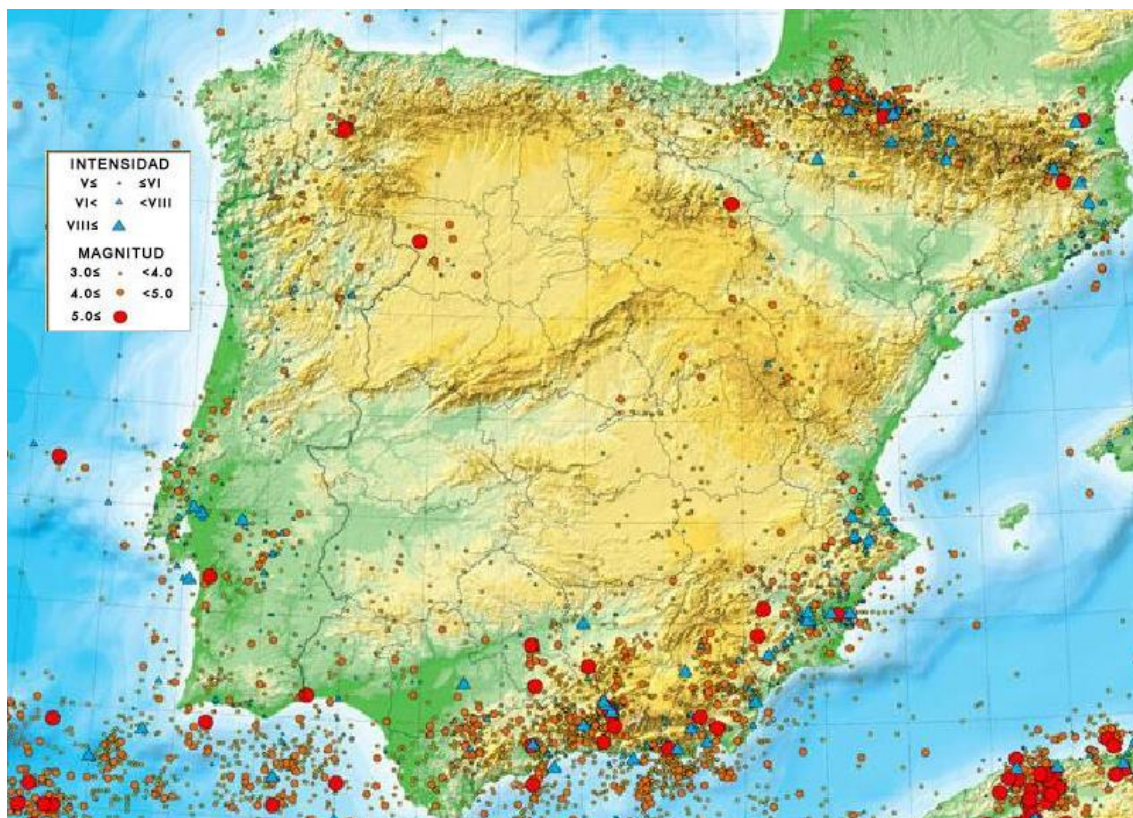


Figura 6: Mapa de sismicidad de la península ibérica (IGN).

1.2. DAÑOS DEL TERREMOTO DE LORCA DEL 2011

El terremoto de Lorca de Mayo de 2011, fue el primero con **víctimas** desde hace 40 años. El terremoto dejó 9 víctimas mortales y unos 324 heridos. Es importante destacar que ninguna de estas víctimas fue debida al colapso del edificio cuando se encontraba dentro. La mayoría de víctimas fueron debidas a desprendimientos o fenómenos asociados a elementos no estructurales como alfeizares, antepechos, soleras y revestimientos que cayeron a personas que estaban en la calle.

Causa de muerte	víctimas
Colapso de estructura que albergaba la víctima	1 (11%)
Consecuencia del colapso de una estructura sobre la víctima	2 (22%)
Desprendimiento de elementos no estructurales	6 (67%)

Tabla 4: Número de víctimas y causas (UME, S. García-Ayllón & A. Tomás, 2014).

Referente a los daños materiales se puede diferenciar entre daños a infraestructuras y daños a edificios.

En el caso de las **infraestructuras** los daños fueron muy pequeños; y por lo general, aguantaron bastante bien el terremoto. Los viaductos y túneles de la carretera A-7 resistieron bien y solo se reportaron pequeños daños. Las infraestructuras de ferrocarriles fueron las más dañadas, teniendo que demoler la estación Lorca-Sutullena, mientras que la estación Lorca-Águilas apenas sufrió daños. En obras hidráulicas, las presas Valdeinfiernos y Puentes apenas sufrieron daños, solo registrándose daños en las redes de drenaje urbanos.

El daño ocasionado en **edificación** fue sustancial, afectando a edificios públicos, las viviendas y el patrimonio histórico.

Se estima que el 80% de las viviendas fueron dañadas en alguna parte, según la concejalía municipal de urbanismo el número de viviendas demolidas había sido de 1649, además de 45 naves y un número indeterminado de otras construcciones, unas 150 pendientes de derribo. La corporación emitió 260 decretos de derribo (algunos para varias edificaciones), que afectaron a una superficie total demolida de 164.458 m², por importe de 22 millones de euros, de los que el 50 % correspondieron a gastos de derribo y el resto a otras emergencias de apuntalamiento, desescombros, limpieza, mantenimiento de fachadas, desvío de líneas eléctricas y señalización del grado de riesgo en los edificios (con etiqueta verde, amarilla, roja y negra).

Entre los edificios públicos, se vieron afectados, en mayor o menor medida, los edificios educativos y sanitarios. En edificios educativos, fue demolido el Instituto Ros Giner debido a los daños estructurales, y se planteó el derribo parcial del Instituto Ramón Arcas Meca. A principios de diciembre se aplaza el derribo de dicho instituto para conservar las esculturas de la fachada obra de Miguel Fisac Serna, que fue galardonado con el Premio Nacional de Arquitectura en 2003. Finalmente el día 26 de ese mes comienza el derribo del instituto conservándose parte de la fachada y, al igual que en el Ros Giner, la parte más moderna, fruto de una ampliación posterior. Otros edificios públicos quedaron afectados como el Conservatorio de Música Narciso Yepes, la Comisaría del Cuerpo Nacional de Policía y la casa cuartel de la Guardia Civil.

En cuanto al patrimonio histórico, el casco histórico de Lorca, declarado Conjunto histórico-artístico desde 1964, se ha visto muy afectado, con 33 edificios históricos afectados, entre ellos el Castillo de Lorca.

El Ayuntamiento de Lorca y la Consejería de Cultura de la Región de Murcia cifran en 1.650 millones de euros el coste de reconstrucción y revitalización socioeconómica del municipio.

Ante todo esto, cabe destacar que solo un edificio, situado en la calle Infante Juan Manuel nº5, colapsó durante el terremoto.

1.3. ZONAS AFECTADAS DE LA CIUDAD

El principal terremoto de magnitud 5,1 Mw ocurrió aproximadamente a 2 kilómetros al noreste de la ciudad de Lorca. Haciendo un análisis sencillo espacial de los daños se pueden sacar dos conclusiones:

- heterogeneidad: el daño material y las víctimas están mayormente concentradas en unos 7 u 8 puntos geográficos específicos dispersos alrededor de la ciudad.
- Independencia de los epicentros: paradójicamente, las zonas cercanas a los epicentros (ni las estructuras ni las casas a unos pocos metros del epicentro sufrieron grandes daños) de hecho, el barrio La Viña (zona cero) es uno de los puntos más distantes del epicentro.

Desde el momento en el que ocurrió el terremoto, se procedió a realizar la evaluación de emergencia, en la que participó un amplio y heterogéneo grupo de voluntarios formado por ingenieros y arquitectos. De acuerdo a la IGN, el fin de esta evaluación corresponde a una evaluación inicial de referencia en la seguridad y habitabilidad de los edificios, así que los datos obtenidos son de referencia.

Esta evaluación consiste en etiquetar los edificios con un código de color (verde, rojo, amarillo). El color verde significa que el edificio es seguro y habitable, puede presentar pequeñas roturas, grietas o deslizamientos de tierras. El color amarillo indica edificio dañado con posibilidad de acceso en caso de eliminar el riesgo (demolición de parapetos, tejados, etc...). El uso de estos edificios se puede conceder con cautela, siempre que no haya daños estructurales que comprometan su estabilidad global. El color rojo indica edificio estructuralmente dañado con acceso prohibido.

Un total de 7839 edificios se analizaron al finalizar la primera semana del sismo. Estos datos han sido incorporados a la planimetría municipal para disponer de datos de daños georreferenciados para una perspectiva territorial.

El resultado fue que 5.155 de ellos tenían estructura tradicional y los 1.607 estructura tecnológica⁴. De los 889 edificios afectados (el 13,1 % del total de edificios), 550 presentaban daños estructurales moderados (etiqueta amarilla) y 326 daños estructurales graves (etiqueta roja), a los que se sumaban los 13 edificios demolidos.

Cabe destacar la incidencia de los daños en algunos distritos censales del barrio de La Viña, como son los números 1013 y 1024 con porcentajes de edificios dañados del 41% y 40% sobre el total de edificios de su distrito. El distrito censal 1004, representativo del casco histórico, sufre daños amarillos o rojos en un 16% del total de edificios de su distrito. El barrio de la avenida de las fuerzas armadas, representado por el distrito 1027 tiene daños al 40% del total de edificios.

⁴ En el informe del IGME (Cabañas *et al.*, 2011) se denominan «edificios tecnológicos» a los construidos a base de pórticos de hormigón armado.



Figura 7: Representación esquemática de los barrios de Lorca.

Se ha superpuesto a los datos obtenidos del triage (color amarillo y rojo) las características de suelo del municipio de Lorca realizado en el proyecto Sismozon donde se caracterizan 4 tipos de suelos de firme a blando denominados IA; IB II y III (tabla 5).

Los datos pormenorizados por distrito censal se presentan en la tabla 6.

Tipo de suelo	Total de edificios	Total dañados	% sobre daños total
IA	369	24	6.5%
IB	1006	74	7.4%
II	2013	127	6.3%
III	3374	664	19.7%

Tabla 5: Daños a los edificios de Lorca por tipo de suelo (IGN).

Distrito censal	Triage		Edificios demolidos	Total Dañados	Tipo suelo	Nº Edif. Tradicionales	Nº Edif. Tecnologicos	Total Edificios	% daños sobre total
	Amarillo	Rojo							
1001	28	26	1	55	II	527	57	584	9,4%
1002	33	29		62	III	164	56	220	28,2%
1003	9	6	1	16	III	25	37	62	25,8%
1004	21	19		40	III	201	48	249	16,1%
1005	22	29		51	IB	304	48	352	14,5%
1006	38	21		59	III	161	83	244	24,2%
1007	14	5		19	III	17	28	45	42,2%
1008	28	10		38	III	93	43	136	27,9%
1009	12	3		15	III	67	76	143	10,5%
1010	2	3	1	6	IB	333	57	390	1,5%
1011	13	10	1	24	IA	228	141	369	6,5%
1012	35	9	1	45	III	177	31	208	21,6%
1013	14	3	2	19	IB y III	21	25	46	41,3%
1014	0	1		1	II	318	26	344	0,3%
1015	1	7		8	III	376	34	410	2,0%
1016	5	3		8	II	315	46	361	2,2%
1017	21	6		27	II	275	50	325	8,3%
1018	21	14	1	36	II	365	34	399	9,0%
1019	8	0		8	III	19	56	75	10,7%
1020	10	1		11	III	25	26	51	21,6%
1021	8			8	III	6	26	32	25,0%
1022	18	5		23	III	129	73	202	11,4%
1023	14	13		27	III	45	71	116	23,3%
1024	22	8	3	33	III	31	50	81	40,7%
1025	3	5		8	III	14	24	38	21,1%
1026	7	6		13	III	25	32	57	22,8%
1027	17	11		28	III	20	50	70	40,0%
1028	4	4		8	III	38	23	61	13,1%
1029	5	5		10	III	28	23	51	19,6%
1030	70	32	1	103	III	277	57	334	30,8%
1031	14	7	1	22	III	177	38	215	10,2%
1032	4	2		6	III	42	32	74	8,1%
1033	12	10		22	III	44	27	71	31,0%
1034	9	4		13	III	50	33	83	15,7%
1035	8	9		17	IB	218	46	264	6,4%
Total	550	326	13	889	0	5155	1607	6762	13,1%

Tabla 6: Daños a edificios de Lorca por distrito censal (IGN).

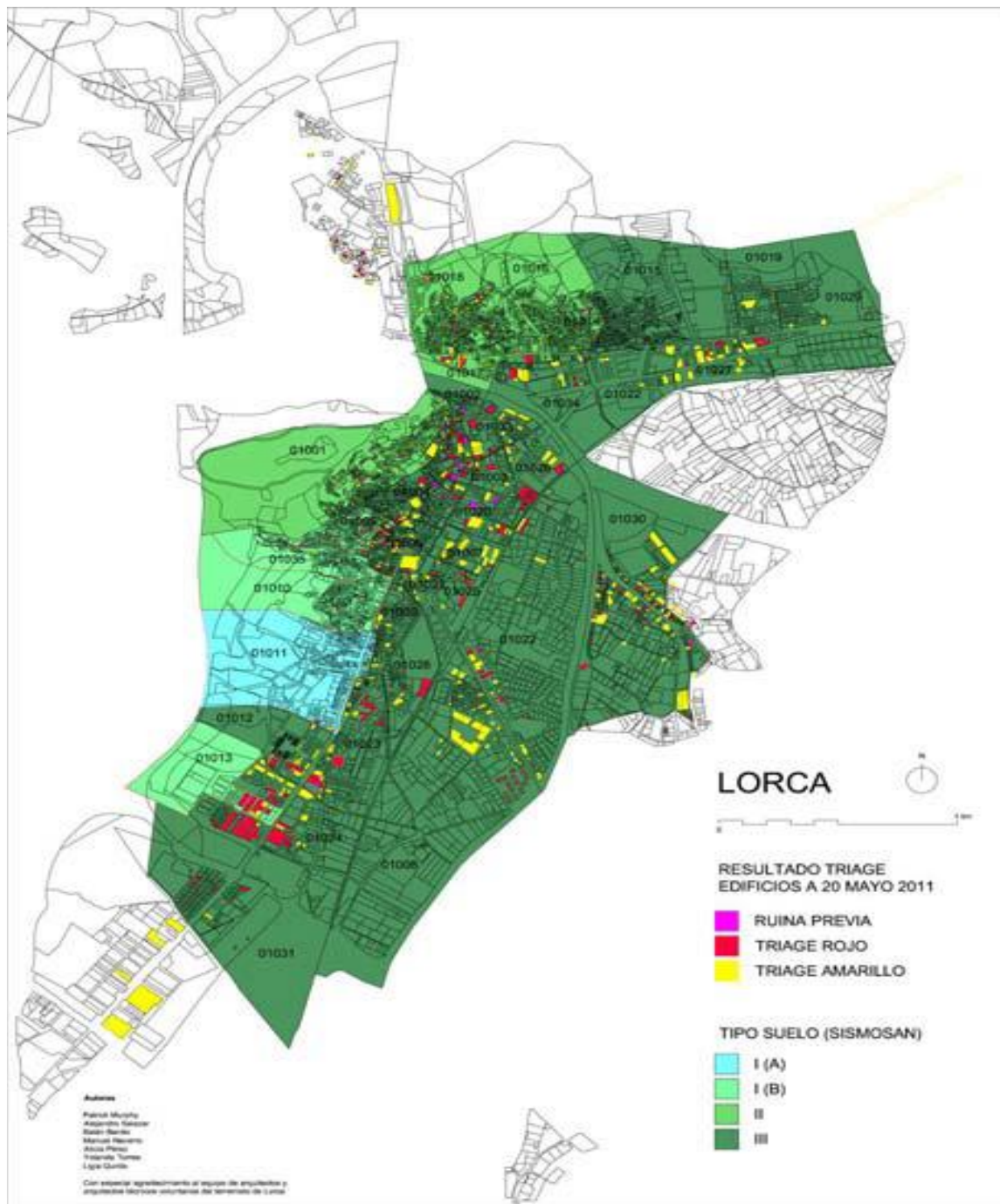


Figura 8: Daños en Lorca indicando edificios declarados amarillo (daños moderados) y rojo (daños graves) por distrito censal y tipo de suelo con datos del 20 de mayo. Se indican también aquellos edificios que ya se hallaban en ruina antes del sismo. El parque inmobiliario del área censal estudiado en este trabajo es de 5155 edificios (IGN).

En la figura anterior se puede observar la distribución de los edificios dañados declarados amarillos y rojos presentando una heterogeneidad espacial. Un análisis de la incidencia de daños sobre el total de edificios por cada tipo de suelo muestra un claro aumento de daños en el suelo tipo III, correspondiendo a los depósitos sedimentarios del Guadalentín.

1.4. RELACIÓN DE PATOLOGÍAS DETECTADAS

Se debe distinguir entre daños a edificación tradicional y daños a edificación tecnológica. A continuación se describe la tipología estructural y los daños encontrados en cada tipo de edificación.

1.4.1. DAÑOS EN EDIFICACIÓN TRADICIONAL

El casco histórico de Lorca está compuesto principalmente por estructuras murarias de mampostería de piedra. Los forjados son de madera, sin que se pueda considerar un efecto diafragma rigidizante. Estas tipologías son consideradas de alta vulnerabilidad debido a la gran masa que poseen y el escaso empotramiento entre los planos murarios.

Los edificios singulares como los eclesiásticos y parte de la expansión del siglo XIX poseen fábrica de ladrillo que mejoran el empotramiento entre planos murarios y reducen la masa de la edificación, considerándose por ello menos vulnerables que la edificación de mampostería.

A lo largo del casco histórico 33 edificios sufrieron daños de muy difícil cuantificación económica, se observan daños tanto en las edificaciones más antiguas como el pórtico de San Antonio, como en las diferentes iglesias y conventos repartidos en el centro cultural lorquino. Se observa una concentración de daños en las torres elevadas, afectando principalmente a los arcos, bóvedas nervadas, cúpulas, bolardos, cimborrios, cubiertas, tejadillos, arbotantes y contrafuertes, así como rotaciones y pérdidas de equilibrio en pináculos y elementos decorativos de coronación como en el obelisco de la pequeña plazuela anexa a la iglesia de San Francisco.

Los planos murarios sometidos a esfuerzos de cortante se dañan en fisuras características en forma de aspa o X, mientras fuera de plano las estructuras murarias sufren deriva y pérdida de enlace con los muros de arrostramiento perpendicular.



Figura 9: Interior de la Iglesia de Santiago antes y después del terremoto de Lorca del 2011.



Figura 10: Exterior de la Iglesia de Santiago tras el terremoto de Lorca del 2011.

En las figuras 9 y 10 se muestran los daños en la Iglesia de Santiago. Se observa como se ha hundido el crucero con el cimborrio que es la parte más rígida de la cubierta. En la figura 10 derecha los daños por cortante en forma de aspa en la torre.



Figura 11: Torre de Porche de San Antonio antes y después del terremoto de Lorca del 2011 (www.patrimoniolorca.org).

En la figura 11 se puede apreciar el daño en una esquina y en almenas de la torre del Porche de San Antonio.



Figura 12: Daños en el Convento de Las Clarisas.

En el Convento de Las Clarisas (Figura 12), se puede observar las roturas por cortante en forma de aspa en los huecos de fachada y en la torre.



Figura 13: Torre dañada de la Iglesia de San Francisco.

Torre de la Iglesia San Francisco (Figura 12) con daños por cortante en forma de aspa en las zonas más débiles (huecos).



Figura 14: Iglesia de San Diego.

Daños en el campanario de la Iglesia de San Diego (Figura 14), desplazándolo y fracturándolo.



Figura 15: Detalle de la Iglesia de Santa María (www.patrimonioxelorca.org).

En la figura anterior se muestra la clave de arco de la Iglesia Santa María extruida al no soportar la carga vertical, además se produjo el derrumbe de los muros del patio posterior cayendo numerosos cascotes a la calle. Se desprendieron también piezas de sillería de los arcos de la nave, y otros se desplazaron modificando la propia geometría del arco. Aparecieron grietas y fisuras por todos los muros del edificio, así como sus estructuras, camarín y torre.



Figura 16: Torre del Espolón antes y después del terremoto del 2011. Tomada con un ángulo diferente.

La torre del Espolón sufrió importantes desprendimientos y pérdidas de volumen en la totalidad de su coronación, con la aparición de grietas en los muros, en los paramentos y bóvedas del interior (figura 15).



Figura 17: Torre del convento de la Virgen de las Huertas antes y después del terremoto del 2011 (<http://www.patrimonioxlorca.org>).



Figura 18: Pináculos dañados en la Colegiata de San Patricio.

Algunos elementos de remate de coronación como los pináculos de la iglesia de San Patricio (Figura 17), que han registrado giros e incluso derrumbes, por pérdida de equilibrio ante la acción horizontal de sismo.



Figura 19: Iglesia de Nuestra Señora del Carmen.

En la figura 19 se observan los daños estructurales en la Iglesia de Nuestra Señora del Carmen que afectaron sobre todo a las bóvedas, las cuales se agrietaron y rompieron prácticamente en su totalidad.



Figura 20: Iglesia de Nuestra Señora del Rosario.

La cúpula de la Iglesia de Nuestra Señora del Rosario quedó arrancada totalmente, así como los arcos que sujetaban ésta y bóvedas y cimborrios quedaron fracturados. Los muros de toda la capilla quedaron fisurados tras el sismo (Figura 20).



Figura 21: Cúpula del Conservatorio Narciso Yepes.



Figura 22: Estación Lorca-Sutullena tras el terremoto de Lorca de 2011 (<http://elpais.com>).

La estación de Lorca-Sutullena (Figura 20) en la que el muro de fábrica de ladrillo perdió el equilibrio y cayó sobre la marquesina, rompiendo el entramado de viguetas.

1.4.2. DAÑOS EN EDIFICACIÓN TECNOLÓGICA

La tipología básica estructural más común, que mejor describe la edificación actual de Lorca es el de estructura de pilares y forjados de hormigón armado.

Cuando se trata de una finca urbana, es habitual que la planta baja se destine a local comercial o actividad terciaria, y las plantas superiores a vivienda. La base de cimentación directa por zapatas, con atado de cimientos, como mínimo en el perímetro, con muros de sótano, pilares, vigas planas y forjados unidireccionales. Hay casos de edificios con forjado reticular o con losas. Esta solución constructiva está muy arraigada en nuestro territorio por las ventajas, rapidez, economía y sencillez del proceso de encofrado de losas planas y la ausencia de vigas de canto permite maximizar las alturas libres interiores.

Los daños en los edificios nuevos, de estructuras aporricadas de hormigón armado, se producen en general en la planta baja (por ser la planta que menos posibilidades tiene de absorber, mediante deformación, la energía del sismo).

Es muy importante destacar que sólo se han producido dos casos de colapsos de estructuras en edificios nuevos, construidos estando en vigor las normas sísmicas (un edificio colapsó por completo en el momento del sismo en la situado en la calle Infante Juan Manuel nº 5 y otro se derrumbó unos días después, ante una mínima acción de las máquinas), y todo ello, pese a que la intensidad del terremoto ha sido más del triple de la prevista en el mapa de riesgo sísmico.

Se pueden agrupar los daños en las edificaciones de la siguiente manera:

- pilares cortos
- plantas bajas blandas
- falta de confinamiento de pilares
- cerramientos no conectados a la estructura
- elementos no estructurales no anclados
- juntas sísmicas entre edificios de dimensión insuficiente

Pilares cortos

El efecto pilar corto tiene su origen en su mayor rigidez en comparación con los pilares más largos que se encuentran al mismo nivel del edificio. Debido a dicha rigidez los pilares cortos atraen una mayor carga sísmica por lo que están sometidos a mayores esfuerzos, especialmente cortantes. Como consecuencia sufrirán daños mayores que los pilares de mayor longitud.

Diversas situaciones propician la existencia de pilares cortos: edificios sobre suelo inclinado, entresuelos añadidos entre dos plantas regulares y pórticos con muros de relleno de altura parcial.

El único edificio que colapso, situado en la calle Infante Juan Manuel nº5 en el barrio La Viña, era un edificio de tres alturas con una planta baja elevada respecto de la rasante de la calle y pilares cortos en dos pórticos perimetrales.

Un edificio colindante de la misma promoción acusa graves deformaciones en los pilares cortos confirmando el mecanismo de colapso causado por el fallo de los pilares cortos perimetrales.



Figura 23: Edificio colapsado durante el terremoto de Lorca.



Figura 24: Daño en pilares cortos de edificio colindante.

Se trata de un elemento fácilmente prescindible, haciendo llegar simplemente el muro de sótano al primer forjado, por lo que el fallo podría calificarse de «absurdo», aunque bien es cierto que no existían experiencias previas reales que constataran tan mal comportamiento sísmico.

Plantas bajas blandas

La situación de planta baja blanda añade dificultades al problema de los daños no estructurales, habitual en muchos edificios que se encuentran en zonas sísmicas.

Este tipo de configuración estructural suele tener origen en una mayor altura de la planta baja. Debido a este efecto se concentran esfuerzos en una planta del edificio debido a que es más flexible que las demás. Generalmente el término se le aplica a los edificios con plantas bajas abiertas o menos rígidas que las plantas superiores (Figura 25).

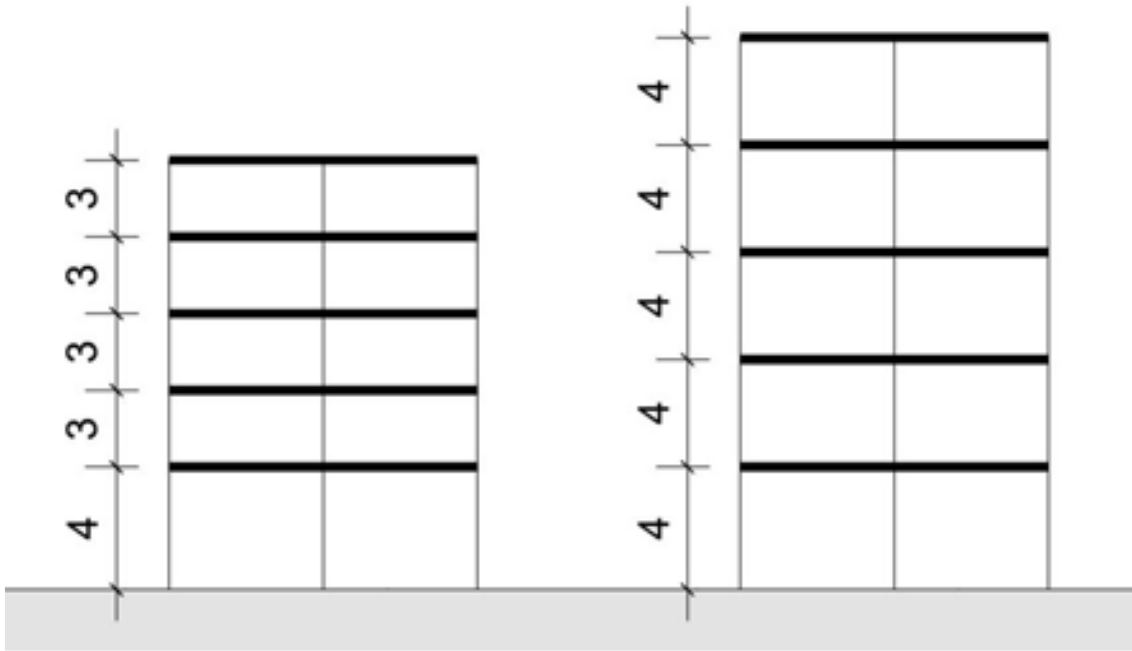


Figura 25: Edificio irregular (izquierda) y regular (derecha). El edificio de la izquierda posee una planta baja débil por el cambio de rigidez en esa planta relativa a las superiores.

En la mayoría de los casos, la presencia de dicha planta blanda no conduce al colapso de la estructura sino a grandes desplazamientos horizontales seguidos de daños graves en los cerramientos.

El efecto de planta blanda se observó en la mayoría de los edificios afectados por el terremoto de Lorca.



Figura 26: Pérdida de los cerramientos en un edificio de Lorca debido al efecto de planta blanda



Figura 27: Daños en el cerramiento en una planta blanda.

El plan general de ordenación urbana de Lorca obliga a los locales de planta baja alturas libres mínimas superiores a los de plantas de viviendas. (3m locales comerciales; 3,2m locales hostelería y 2,5m viviendas). Esta obligación tiene gran relevancia al generalizar por cumplimiento urbanístico el fenómeno de planta baja diáfana.

Tanto el Eurocodigo 8 como la Normativa de Construcción Sismorresistente (NCSE, 2002) consideran que los muros de relleno son elementos no estructurales, pero adquieren un claro carácter estructural durante un sismo. Cuando estos elementos son más rígidos que la estructura principal, la respuesta del sismo viene condicionada por estos elementos. Por tanto su contribución estructural a la rigidez lateral debería tomarse en cuenta a la hora de dimensionar elementos estructurales. En FEMA 454 (FEMA, 2006) se presentan algunas soluciones para prevenir el efecto de plantas blandas en plantas bajas que se pretenden mantener abiertas. Estas soluciones incluyen aumentar el número de pilares, añadir refuerzo lateral o arbotantes que contribuyan a aumentar la rigidez de la planta e igualarla a las demás.

Falta de confinamiento de los pilares

La utilización de una armadura inadecuada en pilares, por ejemplo, diámetro insuficiente del redondo y un espaciamiento inadecuado de los cercos o su mala conexión, impiden el confinamiento de dichos elementos en las zonas de los nudos e influyen decisivamente en el comportamiento sísmico de los edificios. Se observaron muchos pilares dañados no solo por los efectos antes mencionados, sino también por deficiencias en las armaduras de refuerzo, tanto transversales como longitudinales y en las uniones entre losas y pilares. Estas deficiencias incluyen el uso de acero no corrugado, excesiva distancia entre el refuerzo transversal y el pobre confinamiento de las armaduras. Dependiendo del año de construcción del edificio, estas características que llamamos “deficiencias” hoy en día, podrían haberse considerado normales y correctas en el momento de construirse el edificio.



Figura 28: Daño en pilares debidos a deficiencias en la armadura.

En la figura anterior se muestran las cabezas de los pilares de plantas bajas dañadas por el cortante. Este mecanismo se ha observado en muchos edificios de Lorca tras el terremoto y es de gran peligrosidad.

Cerramientos no conectados a la estructura

Se ha constatado que la mayor parte de los daños materiales del terremoto no se han producido en las estructuras resistentes, sino en otros elementos no estructurales que se apoyan en esas estructuras, tales como cerramientos de ladrillo. La fracturación y fisuración generalizadas de cerramientos y tabiques ha contribuido en gran medida su constitución a base de ladrillo. El ladrillo, en cualquiera de sus formatos y sistemas de construcción, produce elementos (paredes) de gran rigidez que, al no poder deformarse como sí lo hace la estructura de hormigón, se rompen, manifestando fracturas y fisuras, especialmente en la planta más rígida (la baja); por ello, locales comerciales y portales han sido los más afectados y son los daños que más se han visto en las imágenes distribuidas. Los elementos con tabiques modulares (tipo Pladur©) han sido mucho menos alterados por este fenómeno, por contar con una estructura interior resistente, de acero. En casos extremos, se produjo el desplome y derrumbe hacia la calle de los cerramientos.

Las normas no fijan un límite de deformación horizontal que permitan limitar o minimizar los daños no estructurales, por esto en muchos edificios sin daños en la estructura o con daños menores, los cerramientos o tabiques pueden sufrir grandes daños. La falta de conexión entre paneles de mampostería y la estructura hace que dichos elementos se dañen tanto por movimientos fuera de plano como por movimientos en el plano.



Figura 29: daños en cerramientos en forma de aspa debidos al cortante.

Elementos no estructurales no anclados

Se observaron parapetos y antepechos de ladrillo no reforzado que colapsaron cayendo sobre edificios contiguos o sobre la calle y chimeneas dañadas en casas residenciales unifamiliares. El desprendimiento de estos elementos no estructurales fue la principal causa de mortalidad durante el terremoto de Lorca, destrozando automóviles y matando a transeúntes (Figura 30).

La actual norma obliga a estos elementos no estructurales a ser enlazados correctamente a la estructura para garantizar su estabilidad. Además cuando $a_c \geq 0.12g$ los muros o petos con el borde superior libre con más de 1 metro de altura, se remataran con un encadenado de coronación, disponiendo refuerzos verticales anclados a la estructura o a la cimentación.



Figura 30: Daños por desprendimiento de elementos no estructurales.

Juntas sísmicas entre edificios de dimensión insuficiente

Se observaron daños por golpeteo en algunos edificios muy cercanos. Esto ocurre cuando dos o más edificios están muy cercanos y la vibración sísmica hace que se golpeen mutuamente. Cuando los edificios adyacentes son de diferentes alturas y sus plantas no coinciden, las plantas y el techo del edificio más bajo puede golpear a los pilares a media altura, ocasionando graves daños.

Los daños por golpeteo ocurren cuando la distancia entre edificios es insuficiente para que los mismos puedan desplazarse lateralmente sin perjudicarse.



Figura 31: Daño por golpeteo observado en Lorca tras el sismo.

1.5. PARÁMETROS RECTORES

Tras la inspección de los daños se puede concluir:

- La problemática de los **pilares cortos** es debida a una mayor rigidez, como se ha mencionado puede sustituirse fácilmente prolongando el muro de sótano hasta el primer forjado. Este fenómeno era desconocido y no existían experiencias previas en cuanto al comportamiento sísmico del elemento, tras la experiencia del terremoto de Lorca del 2011 sería aconsejable evitar la construcción de pilares cortos y reforzar los ya existentes. Ignorancia.

- La problemática de **planta baja blanda** es debida a una mayor longitud de pilares en la planta baja debido a usos terciarios de los edificios, este fenómeno hace que sea más flexible que las demás y se produzcan mayores desplazamientos repercutiendo en la rotura de los cerramientos y elementos no estructurales. En el Eurocodigo 8 y en la NCSE-02 consideran los muros de relleno como elementos no estructurales. En FEMA 454 (FEMA, 2006) se presentan algunas soluciones para prevenir el efecto de plantas blandas en plantas bajas que se pretenden mantener abiertas. Estas soluciones incluyen aumentar el número de pilares, añadir refuerzo lateral o arbotantes que contribuyan a aumentar la rigidez de la planta e igualarla a las demás. Falta de rigidez.

- Gran parte de **pilares se encontraban con falta de armado** y un diseño deficiente. La EHE 08 establece las cuantías mínimas de hormigón armado y no fueron cumplidas. Esto pudo deberse a una reducción de costes de construcción y de materiales.

- Elementos estructurales como **cerramientos, voladizos, antepechos y parapetos** se desprendieron hacia la calle ocasionando numerosos daños y víctimas. La normativa obliga a enlazarse correctamente con la estructura. Esto se pudo deber a un ahorro de costes de material y construcción. Los elementos no fueron debidamente arriostrados y enlazados con la estructura. Convendría disminuir los voladizos y asegurar el anclaje a la estructura.

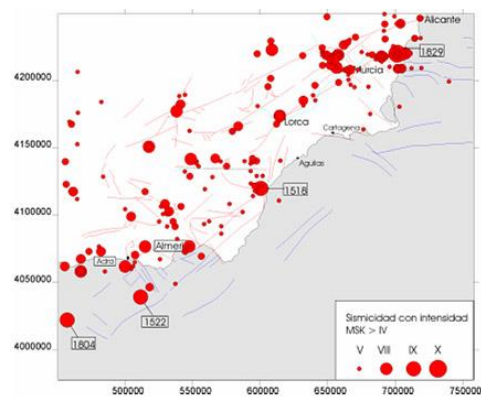
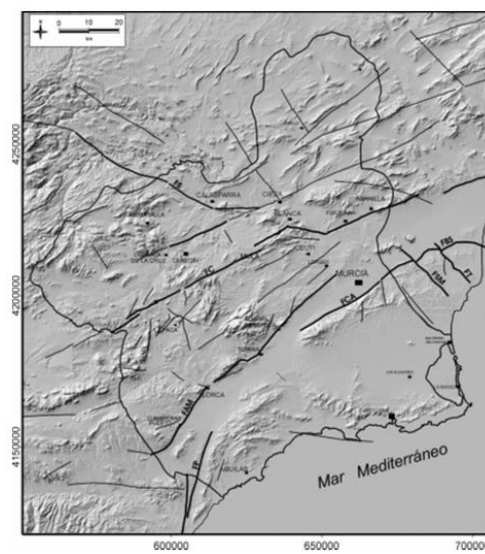
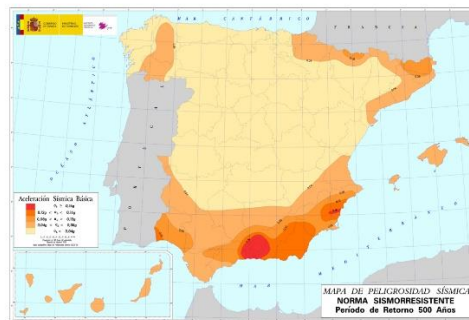
- En cuanto a las **juntas sísmicas**, los daños ocurrieron debido a la falta de espacio para el movimiento lateral de los edificios. En zonas de riesgo de actividad sísmica sería conveniente instalar juntas altamente funcionales y con gran capacidad de absorción de movimientos multidireccionales. Como norma general, se consideran juntas sísmicas aquellas cuya capacidad de movimiento es de al menos el 25% del ancho de la junta en el eje horizontal.

En la mayoría de los casos observados en los daños de los edificios no se falla en la norma, sino en la verificación de su cumplimiento. Se detectan más errores en la ejecución física de las obras que en su proyecto y cálculo.

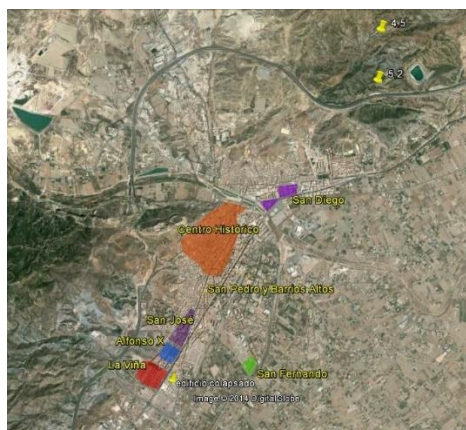
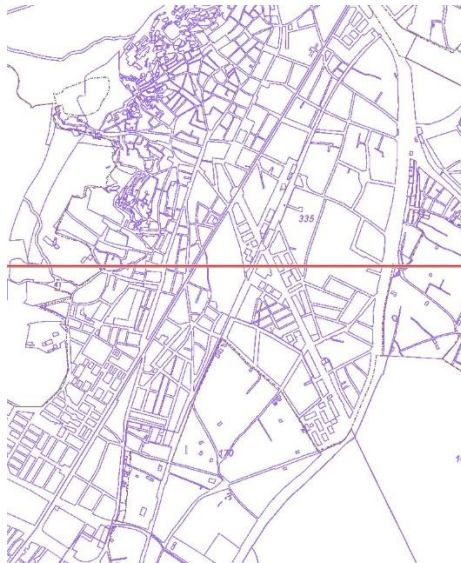
CAPÍTULO 2

PLANOS

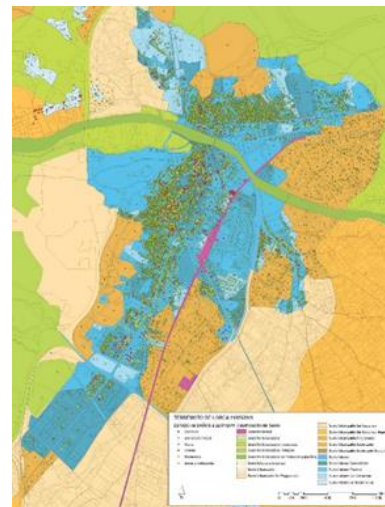
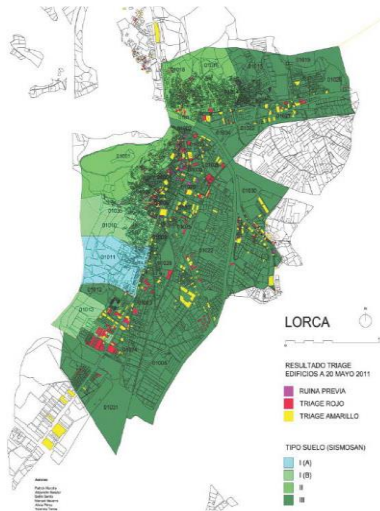
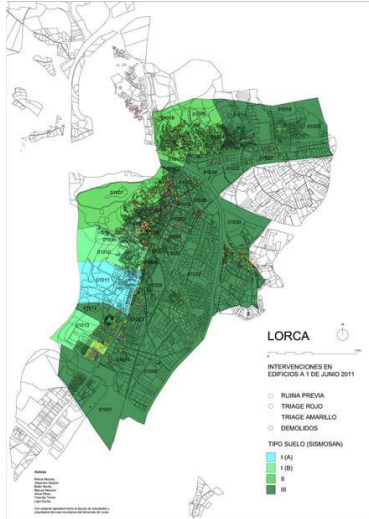
2.1. PLANOS DE INFORMACIÓN



2.2. PLANOS DE SITUACIONES



2.3. PLANOS DE ANÁLISIS



CAPÍTULO 3

ANÁLISIS

3.1. DIAGNÓSTICO DE LAS PROBLEMÁTICAS DETECTADAS

3.1.1. PLANEAMIENTO URBANO INADECUADO

Como se ha mencionado antes, si hacemos un simple análisis espacial en la distribución del daño en la ciudad de Lorca tras 2011, podemos extraer dos conclusiones muy sencillas.

- 1- la distribución del daño no es homogénea: el daño material y las víctimas son mayormente concentradas en unos 7 u 8 puntos geográficos específicos dispersos alrededor de la ciudad.
- 2- paradójicamente, las zonas cercanas a los epicentros (ni las estructuras ni las casas a unos pocos metros del epicentro sufrieron grandes daños) de hecho, El barrio La Viña (zona cero) es uno de los puntos más distantes del epicentro.

Estas distribuciones asimétricas nos llevaron a pensar en un principio derivado de la naturaleza geotécnica. En efecto, la naturaleza y distribución de la calidad responden en cierto punto a algunas de los efectos ocurridos. Si hacemos un reconocimiento geográfico de los principales factores de parametrización local de las regulaciones sísmicas NCSE 02 (el factor amplificado C) algunos de los daños de la ciudad pueden ser explicados.

El barrio de San Fernando fue un barrio de 232 casas coexistiendo con 9 edificios de 1970, la existencia de suelos de relleno compuestos por depósitos sedimentarios del río Guadalentín con factor $C = 1.98$ y la existencia de edificios históricos blandos que favorecieron el fenómeno "suelo blando", causó daño severo, forzando a los 9 edificios a ser demolidos.

Sin embargo, si suponemos una clasificación básica de daño de edificios (dañados, muy dañados y demolidos) sobre las características geotécnicas de la distribución del suelo impuestas por normativa española (I, II, III, IV), los resultados de esta relación se representan en la figura. Por lo tanto hay otras variables que pueden ayudar a describir la asimetría de los daños.

Una variable que puede incluirse en el análisis del daño global de la ciudad es la incidencia de un planeamiento urbano inadecuado de sus edificios. En el caso de Lorca, donde vemos que los daños se concentran en los edificios y no en las estructuras, se puede ver como el planeamiento urbano no se tiene en cuenta la variable sobre el riesgo sísmico.

Algunas causas como la ejecución constructiva o diseño que han sido identificadas anteriormente como negativas son frecuentemente los resultados de un planeamiento urbano inadecuado:

- **pilares cortos en su base:** esta disposición de columnas cortas es el resultado de un diseño urbano forzado por la disposición de las calles en una reciente expansión de la ciudad.
- **golpeteo o interacción entre edificios:** a costa de diferente frecuencia de resonancia debido a diferentes alturas.

El método de conformación de la trama urbana debe ser una variable a tener en cuenta en planeamiento sísmico, por el mismo camino estas herramientas de gestión urbana tienen que implementarse en el contenido de las guías sísmicas.

3.1.2. FALTA DE ESTANDARIZACIÓN EN LA EVALUACIÓN POST-SÍSMICA

Tras un terremoto hay un número determinado de horas, entre 24 y 48 en las cuales una intervención técnica es necesaria para realizar un diagnóstico de escala global. El diagnóstico debe ser rápido y seguro para los propietarios. En Lorca, a parte de los especialistas de la administración de los servicios de emergencia (técnicos, bomberos...) técnicos de toda la región fueron invocados a través de asociaciones profesionales. Estos técnicos fueron un grupo muy heterogéneo de arquitectos e ingenieros de diferentes categorías y niveles de sabiduría. En general, muchos de ellos tenían un conocimiento básico sobre cuestiones sísmicas pero no recibieron suficiente entrenamiento específico.

Los diagnósticos fueron hechos solo por inspección visual porque era imposible realizar pruebas u otras verificaciones en ese contexto. Alrededor de 20 grupos de técnicos fueron creados en Lorca, los cuales cubrieron los barrios. Los edificios fueron marcados por códigos verdes, amarillos o rojos. Esta metodología ha sido reciente en terremotos por el mundo. En el terremoto de Lorca hubo una falta de estandarización en los protocolos y clasificaciones en permitir un diagnóstico seguro y homogéneo. La heterogeneidad de las acciones y la falta de estandarización de protocolos para valorar los daños fueron evidentes durante los días tras el terremoto de Lorca. La diversidad de los criterios cuando se catalogaban el nivel de los daños y la seguridad de los edificios dieron un crecimiento de la peligrosidad de la situación.

Un caso obvio de este problema fue la presuntuosa demolición controlada de un edificio llamado Grial del barrio La Viña. El edificio tenía de acuerdo al rápido informe de evaluación varios datos que motivaban su ruina financiera, pero no contemplaban un inminente colapso, permitiendo una demolición tradicional que estimulo el colapso del edificio. El repentino incidente destruyo una iglesia cercana y puso en peligro las vidas de los trabajadores.

Resumiendo se puede concluir que hubo una falta de experiencia y formación por parte de los técnicos, un alto grado de subjetividad en el criterio de evaluación y una falta de organización y sistematización.

3.2. MEDIDAS CORRECTORAS

En cuanto a la evaluación post-sísmica el gobierno de la región de Murcia decidió instigar un nuevo plan estratégico sísmico llamado SISMIMUR.

Este nuevo plan tuvo 2 objetivos:

- Por una parte debería de ser capaz de evitar tan lejos sea posible la mayor vulnerabilidad sísmica del medio ambiente del territorio de la ciudad. La región de Murcia como se ha mostrado en las figuras tiene un riesgo sísmico medio bajo de sismos. Sin embargo, esta pobremente protegido para estos evento, con la evidencia de los daños ocurridos en la trama urbana.

- Por otra parte es necesario proporcionar los técnicos y profesionales tratando en caso de emergencia con unos claros y simples protocolos para el establecimiento de los daños.

Con este propósito, el Ministerio de Obras Publicas y Planificación De Murcia ha redactado unas guías estratégicas. Hay un manual técnico comprensivo estructurado en 3 partes.

Primero, una guía con prácticos ejemplos para la aplicación de las regulaciones sísmicas para hacer la compleja metodología sísmica abordable por todos los diseñadores técnicos (ingenieros, arquitectos). **Segundo**, un manual conteniendo las soluciones y metodologías en el campo de reparación de las estructuras afectadas por el terremoto. Esto es un asunto heterogéneo y disperso, no incluido en los estándares y a menudo resuelto bajo criterio subjetivo o la limitada capacidad de los técnicos. **Tercero** una guía rápida de evaluación, la cual se fue terminando mientras se escribía este artículo, esta última guía coleccionara metodologías de reconocimiento y apuntalamiento de las estructuras dañadas por los terremotos e incluirá una rápida evaluación post terremoto basada en el formulario de la figura anterior.

Esto es intencionado por el terremoto de Lorca de 2011, incluyendo el posterior estudio llevado en Lorca, reflejado en un nuevo plan SISMIMUR. El nuevo plan respetando la siguiente metodología para la evaluación del riesgo sísmico, teniendo en cuenta los efectos locales de la ciudad de Murcia. Los pasos son los siguientes:

1. El peligro sísmico a lo largo de la región de Murcia debe ser calculado para determinar la acción sísmica que representa el movimiento más probable en el área con periodos de retorno de 475 a 975 años, en lugares rocosos y excluyendo explícitamente efectos locales.
2. Después del análisis preliminar, debemos ir un paso más allá en la caracterización del movimiento, considerando el tipo de suelo en cada punto de la región e incluyendo la contribución llamada "efecto local" en la estimación de los parámetros de funcionamiento. Este efecto debería ser cubierto regionalmente, realizando una clasificación geotécnica de los suelos que cubre la Región de Murcia y apuntando los factores amplificadores de las diferentes clases. Aplicando estos factores, el movimiento de la roca preestablecido, debe conducir a estimaciones de los parámetros de funcionamiento siendo obtenidos e incorporados los efectos locales, para diferentes áreas de la región.

3. El funcionamiento estimado es incluido como una variable de entrada del sismo, para estimar el riesgo sísmico local. Esto requiere reducir la escala de trabajo de nivel regional a nivel de ciudad. Ello requerirá un estudio de microzonación que incluirá los tipos de edificio de cada zona y más específicamente su vulnerabilidad para una cierta acción sísmica. La clase de vulnerabilidad asignada deberá ser realizada asignando el estado de la trama urbana. La trama urbana deberá extenderse desde los edificios antiguos históricos hasta la expansión de edificios tecnológicos y el suelo urbanizable del plan general urbano. La región de Murcia tiene una metodología de clasificación de edificios en términos de vulnerabilidad, de acuerdo a la escala macrosísmica EMS-98 a través de RISMUR Project.
En el campo, SISMIMUR incluye enfoques innovadores en planificación sísmica, tales como la implementación de instrumentos de planificación urbana y herramientas de gestión regional con el fin de disminuir la vulnerabilidad sísmica de las ciudades en desarrollo. Como proyecto piloto el Ministerio de Obras Públicas ha encargado a la UPCT desarrollar una microzonación urbana de la ciudad de Lorca. Esta microzonificación urbana ha establecido la vulnerabilidad del medioambiente urbano y su resultado establecerá recomendaciones que serán implementadas en el desarrollo de instrumentos urbanos en Lorca.
4. Estos datos locales deben ser contrastados con datos de RISMUR, un estudio apunto a la identificación de áreas donde el riesgo de actividad sísmica ha incrementado debido a los cambios de esfuerzos por previos sismos. En RISMUR, los mapas regionales han sido realizados por los cambios de tensión estática de Coulomb generados por la sismicidad histórica de magnitud $M_w > 4.5$ ocurrida en Murcia entre los años 1000 y 2005. La interpretación de estos mapas ha permitido la identificación de áreas que han sido sobrecargadas por esfuerzos sísmicos en los últimos 80 años. Los cuales pueden ser considerados como un incremento de la probabilidad de ocurrencia de nuevos terremotos.

Los resultados de los diferentes puntos deben ponerse juntos en una etapa posterior. En esta etapa, con una evaluación ponderada de los resultados, nosotros debemos dibujar las conclusiones que tienen que ser transcritas en práctica a través de su implementación en mapas SIG, estos resultados gráficos deben someterse a revisiones de Plan Urbano General que guie el crecimiento y desarrollo de la ciudad para ejecutarse. Esta operación debe incluir órdenes de ejecución y estrategias para reducir el riesgo como nivel de criterio en plan urbano.

En cuanto al diseño de edificios tecnológicos se pueden tener en cuenta las siguientes medidas:

- evitar pilares cortos prolongando el muro de sótano hasta el primer forjado del edificio.
- Realizar un buen diseño estructural regular porticado, lo más simétrico posible.
- Rigidizar en altura los edificios más esbeltos, con soluciones como pilares apantallados alternados o núcleos de arriostramiento en zonas de ascensores.
- Evitar la existencia de plantas de muy diferente peso.

- Dotar de un mayor atado a los cimientos con vigas.
- Eliminar los petos de las cubiertas y balcones, sustituyéndolos por otras soluciones como las barandillas, más ligeras y resistentes a la acción sísmica.
- Sustituir los tabiques de ladrillo por otras soluciones como las particiones modulares o de yeso laminado, dotadas de estructura entramada interna.
- Verificar el correcto apoyo de todos los cerramientos en los bordes de las estructuras y su arriostrado, por ejemplo, sujetando la hoja exterior a los pilares.
- Sustituir los falsos techos de placas rígidas de escayola por otras soluciones menos frágiles.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

- La gran catástrofe ocurrida en el terremoto de Lorca del 2011 fue debida a la combinación de una magnitud moderada y un hipocentro muy cercano a la superficie. Originado por un movimiento de la Falla de Alhama de Murcia, una de las de mayor actividad en España.
- Los daños se centraron en edificios, tanto elementos estructurales como elementos no estructurales. Las infraestructuras apenas sufrieron daños.
- Los desprendimientos de elementos no estructurales como cerramientos, voladizos y antepechos ocasionaron la mayoría de las víctimas. Estos elementos deben evitarse y anclarse debidamente a la estructura.
- La heterogeneidad espacial de los daños deja ver la necesidad de implementar un planeamiento urbano que tenga en cuenta los factores locales.
- La experiencia del terremoto de Lorca, deja al descubierto la falta de estandarización de un protocolo de evaluación post-sísmica sistematizada, con técnicos especializados.
- La mayoría de fallos estructurales y no-estructurales en edificios fueron debidos a una mala puesta en obra y ejecución de las construcciones.

BIBLIOGRAFÍA

- **C. A. Brebbia (2014).** Risk analysis IX. Wessex Institute of Technology. UK.

- **Instituto Geográfico Nacional (2011).** Informe del sismo de Lorca del 11 de mayo de 2011. Universidad Complutense de Madrid.

- **Instituto Geográfico Nacional.** Estadística y cartografía sísmica. [En Línea]. Disponible en internet: <<http://www.ign.es/ignlayout/sismologia/EstadisticasCartografiaSismica.do>>. [Consulta: 10 Octubre 2014].

- **Instituto Geológico y Minero de España, IGME (2011).** Informe geológico preliminar del terremoto de Lorca del 11 de mayo del año 2011, 5.1 Mw.

- **Lorca Renace.** Edificios religiosos. [En Línea]. Disponible en internet: <<http://www.lorcarenace.es/>>. [Consulta: 12 Octubre 2014].

- **Monografies tècniques (2011).** El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011. Instituto Geológico de Cataluña. Barcelona.

- **Salcedo Hernández, José-Carlos & Campesino Fernández, Antonio-José (2012).** Experiencias constructivas del terremoto de Lorca. Instituto Interuniversitario de Geografía. Universidad de Alicante.

- **SISMIMUR.** Sismicidad y Tectónica de la Región de Murcia. [En Línea]. Disponible en internet: <http://www.112rm.com/dgsce/planes/sismimur/sis_3_2_3b.html>. [Consulta: 8 Octubre 2014].

- **S. García-ayllón & A. Tomás (2014).** The new SISMIMUR plan: seismic urban planning in the region of Murcia (Spain) after the earthquake of may 11, 2011. Department of Civil Engineering, Technical University of Cartagena. UPCT.

- **Tomás Espín, Antonio (2013).** Tema 16. Diseño sismorresistente. Dpto. Ingeniería Civil. UPCT.