



**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
Programa de Doctorado en Tecnologías de la Computación e  
Ingeniería Ambiental

Análisis del territorio urbano de Lorca tras las demoliciones  
derivadas de los terremotos de 2011: caracterización,  
evaluación y equilibrio del proceso.

Autor:

Damián Soriano García

Directores:

Dr. Juan Roldán Ruiz

Dra. María Isabel Pérez Millán

Murcia, mayo de 2019





**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
Programa de Doctorado en Tecnologías de la Computación e  
Ingeniería Ambiental

Análisis del territorio urbano de Lorca tras las demoliciones  
derivadas de los terremotos de 2011: caracterización,  
evaluación y equilibrio del proceso.

Autor:

Damián Soriano García

Directores:

Dr. Juan Roldán Ruiz

Dra. María Isabel Pérez Millán

Murcia, mayo de 2019







**UCAM**  
UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

**AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS**  
**PARA SU PRESENTACIÓN**

El Dr. Juan Roldán Ruiz y la Dra. María Isabel Pérez Millán como Directores de la Tesis Doctoral titulada “Análisis del territorio urbano de Lorca tras las demoliciones derivadas de los terremotos de 2011: caracterización, evaluación y equilibrio del proceso” realizada por D. Damián Soriano García en el Departamento de Ciencias Politécnicas (Arquitectura e Ingeniería de Edificación), **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmamos, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 2 de mayo de 2019.

Dr. Juan Roldán Ruiz

Dra. María Isabel Pérez Millán



## AGRADECIMIENTOS

Tras todos estos años dedicados al estudio llega el momento poner en la balanza lo conseguido y lo invertido. Aunque he intentado que impactara lo menos posible en todos los que me habéis acompañado en este viaje, muchas de las horas dedicadas a este proyecto han sido sustraídas a familia y amigos. Por otro lado, he tenido la gran suerte de compartir experiencias y conocimientos con grandes personas que se han incorporado a mi vida. A todos siempre estaré agradecido por vuestro apoyo y comprensión, y especialmente:

A mis padres, que me han traído de la mano hasta donde estoy y me han hecho sentir que podría llegar donde quisiera.

A mis hermanos y familia, que siempre han confiado en mis posibilidades.

A Amparo, que no me ha dejado de querer durante todo este tiempo y sigue haciéndome la vida más fácil.

A mis amigos, con los que he compartido grandes momentos durante la investigación y redacción de esta tesis, especialmente a Alicia y Maripaz que me han acogido en su casa desde que comenzó mi etapa en Murcia. También quiero agradecer el apoyo a mis compañeros de los diferentes cuerpos de bomberos de nuestra geografía, especialmente a Raúl, uno de nuestros operadores de emergencia, que con la mayor de las paciencias me ha ayudado siempre a salvar mis limitaciones en los aspectos informáticos asociados a esta tesis.

A Carmen Díez y Helena García así como a todo el personal del Excmo. Ayuntamiento de Lorca, que me han puesto todas las facilidades del mundo y me han acogido como a uno más, convirtiéndose en parte de mí.

A Ángeles Más y su equipo de la UPV, que me acogieron durante mi estancia investigadora y me hicieron sentir como en casa.

A Juan Roldán e Isabel Pérez, mis queridos directores, y a Francisco Sánchez, mi tutor, que han sabido aconsejarme para llegar hasta aquí, y sin los cuales este trabajo no hubiera sido posible. También a todo el personal de la UCAM que siempre me han allanado el camino con todo el cariño del mundo.

Con todo el reconocimiento y respeto a las víctimas y a todos aquellos que sufrieron directa o indirectamente el terremoto de Lorca de 2011, así como a los que dieron lo mejor de sí para caminar juntos hacia la mejor solución.



## RESUMEN

El terremoto del 11 de mayo de 2011 en Lorca supuso, además de una etapa de sufrimiento e incertidumbre para los vecinos, el inicio de un proceso de cambios relacionados con la planificación y gestión de emergencias, urbanismo y construcción. El medio ambiente urbano existente hasta ese momento, se vio obligado a cambiar como consecuencia de las demoliciones que tuvieron que llevarse a cabo. El proceso administrativo de los expedientes de ruina gestionados en el Excmo. Ayto. de Lorca, generó gran cantidad de información cuyo acceso ha sido fundamental para el desarrollo de esta tesis.

Una vez que el Ayuntamiento permitió el acceso a la información, comenzó la fase de recopilación de datos en la que se han escaneado casi 18000 documentos que fueron posteriormente analizados. Paralelamente al análisis bibliográfico se ha llevado a cabo el desarrollo de una base de datos, cuyo formato ha permitido la incorporación de la información extraída de los expedientes de ruina. Con ello se ha podido recuperar la memoria histórica de los edificios y el “skyline” de la ciudad de Lorca.

De este modo ha sido posible su exportación a herramientas de análisis estadístico que permitieran extraer conclusiones sobre la información recopilada y sobre las relaciones existentes entre las características de los edificios analizados y las consecuencias de la serie sísmica.

Finalmente se ha creado un sistema de información geográfica (SIG) en el que se han plasmado los datos analizados en la fase anterior. Tanto la base de datos como el sistema de información geográfica se incorporan en soporte informático adjuntas al presente documento.

**Palabras clave:** Lorca, terremoto, análisis, territorio, expediente de ruina, base de datos, catálogo, SIG.



## ABSTRACT

The earthquake of May 11, 2011 in Lorca was, in addition to a stage of suffering and uncertainty for the neighbors, the beginning of a process of changes related to planning and emergency management, urban planning and construction. The urban environment that existed until then, was forced to change as a consequence of the demolitions that had to be carried out. The administrative process of ruin files managed in the City Council of Lorca, generated a great quantity of information whose access has been fundamental for the development of this thesis.

Once the City Council allowed access to information, the data collection phase began, in which almost 18000 documents were scanned and subsequently analyzed. Parallel to the bibliographic analysis, the development of a database has been carried out, whose format has allowed the incorporation of the information extracted from the ruin files.

On the other hand, it has been possible to export them to statistical analysis tools that allow conclusions to be drawn about the information collected and about the relationships between the characteristics of the buildings analyzed and the consequences of the seismic series.

Finally, a geographic information system (GIS) has been created in which the data analyzed in the previous phase have been captured. Both, the database and the geographic information system are incorporated in computer support attached to this document.

With all this, it has been possible to recover the historical memory of the buildings and the "skyline" of the city of Lorca, as well as to unify the language and the criteria to evaluate damaged buildings after an event of these characteristics.

**Keywords:** Lorca, earthquake, analysis, territory, ruin file, database, catalog, GIS.





“Cuando lo hacemos lo mejor que podemos, nunca sabemos qué milagro se  
obrará en nuestra vida o en la vida de otro”.  
Helen Keller.



## ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES	
AGRADECIMIENTOS	
<b>SIGLAS Y ABREVIATURAS .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>35</b>
1.1. ASPECTOS GENERALES.....	35
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	35
1.3. OBJETIVOS .....	36
1.4. METODOLOGÍA.....	38
<b>CAPÍTULO 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....</b>	<b>43</b>
2.1. CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO SÍSMICO DE LORCA DEL AÑO 2011 .....	43
2.2. PARÁMETROS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS.....	50
2.2.1. Implicaciones del suelo sobre los efectos del terremoto. El efecto sitio .....	50
2.2.2. Estudios de microzonación sísmica.....	54
2.3. PARÁMETROS EDIFICATORIOS.....	57
2.3.1. Normativas sísmicas y conceptos sísmicos asociados al comportamiento .....	58
2.3.2. Espectro de respuesta .....	62
2.3.3. Efectos del sismo en las estructuras.....	65
2.3.4. Tipologías edificatorias y efectos del sismo en Lorca .....	71
2.3.5. El patrimonio histórico-artístico de Lorca .....	76
2.3.6. Escenario de daño .....	77
2.3.7. Análisis de causas.....	91
2.4. PARÁMETROS URBANÍSTICOS.....	99
2.4.1. Descripción del entorno urbano.....	99
2.4.2. Normativa urbanística.....	100
2.5. ANÁLISIS DE LAS EVALUACIONES LLEVADAS A CABO TRAS EL SISMO .....	109
2.5.1. Triage técnico .....	110
2.5.2. Lenguaje empleado en la interpretación de estructuras. Criterios para clasificación de edificaciones tras la evaluación .....	117

2.5.3.	Demoliciones.....	133
2.5.4.	El inicio de la fase de reconstrucción.....	134
2.5.5.	El nuevo plan Sismimur.....	136
2.6.	LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A ACCIONES NATURALES CON EFECTOS URBANÍSTICOS.....	137
2.7.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICOS.....	139
2.7.1.	Vulnerabilidad y riesgo sísmicos en Lorca.....	140
2.7.2.	Métodos de determinación de la vulnerabilidad.....	145
2.7.3.	Factores con implicación en vulnerabilidad.....	148
2.8.	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y DE TRABAJOS SIMILARES REALIZADOS SOBRE TERRITORIOS AFECTADOS POR TERREMOTOS	161
2.8.1.	Análisis estadístico.....	161
2.8.2.	Territorios de la Comunidad de Murcia.....	164
2.8.3.	Otros territorios de España.....	168
2.8.4.	Territorios de la Unión Europea.....	172
2.8.5.	Territorios en otras partes del Mundo.....	180
<b>CAPÍTULO 3. PLAN DE INVESTIGACIÓN.....</b>		<b>195</b>
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	195
3.2.	PROCEDIMIENTO.....	195
3.3.	DATOS EXISTENTES EN LOS EXPEDIENTES MUNICIPALES DE DEMOLICIÓN.....	197
3.4.	ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS.....	199
3.4.1.	Encabezado: datos genéricos.....	202
3.4.2.	Descripción general.....	205
3.4.3.	Descripción estructural y constructiva.....	209
3.4.4.	Características de la acción sísmica del 11 de mayo de 2011.....	213
3.4.5.	Daños estructurales y constructivos.....	214
3.4.6.	Intervenciones llevadas a cabo tras los sismos.....	217
3.4.7.	Demolición.....	218
3.4.8.	Información gráfica.....	220
3.5.	ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	220
3.5.1.	Introducción.....	220
3.5.2.	Selección de variables de estudio.....	220
3.5.3.	Análisis estadístico realizado.....	223
3.5.4.	Análisis de agrupación de variables según su localización.....	224
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>227</b>
4.1.	ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS Y LOS DAÑOS EN LOS EDIFICIOS.....	227

4.2.	ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS Y LOS DAÑOS REGISTRADOS .....	246
4.3.	ANÁLISIS DE LA AGRUPACIÓN DE LOS DAÑOS SEGÚN SU LOCALIZACIÓN .....	262
4.3.1.	Agrupación de daños sobre la cimentación.....	262
4.3.2.	Agrupación de daños sobre los muros.....	265
4.3.3.	Agrupación de daños sobre pilares .....	267
4.3.4.	Agrupación de daños sobre forjados.....	269
4.3.5.	Agrupación de daños sobre fachadas.....	271
4.3.6.	Agrupación de daños sobre cubiertas .....	273
4.3.7.	Agrupación de costes de demolición.....	275
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES .....</b>		<b>281</b>
5.1.	INTRODUCCIÓN .....	281
5.2.	CONCLUSIONES.....	281
5.3.	SÍNTESIS .....	288
5.4.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....	289
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>293</b>
<b>ANEXO I. GRÁFICOS SOBRE OTROS ASPECTOS RELEVANTES ....</b>		<b>305</b>
AI.1.	INTRODUCCIÓN .....	305
AI.2.	DATOS GENERALES Y DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL .....	305
AI.2.1.	Distribución de expedientes, número de edificios, portales y viviendas por tipo de ruina y barrio-pedanía .....	306
AI.2.2.	Distribución de expedientes en función del año de construcción y emplazamiento en función del tipo de ruina, barrio y pedanía .....	311
AI.3.	IMPLICACIÓN DE LOS FACTORES RELACIONADOS CON VULNERABILIDAD DE LA EDIFICACIÓN SOBRE LOS DAÑOS EN CADA ELEMENTO .....	325
4.3.1.	Emplazamiento respecto a los colindantes.....	325
4.3.2.	Año de construcción .....	327
4.3.3.	Número de plantas sobre y bajo rasante.....	329
4.3.4.	Factores relacionados con vulnerabilidad .....	331
4.3.5.	Regularidad en planta .....	337
4.3.6.	Altura del colindante .....	339
4.3.7.	Estimación del porcentaje de huecos en muros y fachadas .....	341
4.3.8.	Terreno según NCSE-02 .....	343
4.3.9.	Compartimentación en planta baja.....	345
4.3.10.	Condiciones relativas al plan PEPRI .....	347
<b>ANEXO II. PLANOS .....</b>		<b>351</b>
AI.1.	INTRODUCCIÓN .....	351

AII.2. PLANOS INCORPORADOS .....	351
<b>ANEXO III. INFORMACIÓN EN SOPORTE DIGITAL .....</b>	<b>385</b>
AIII.1. INTRODUCCIÓN .....	385
AIII.2. BASE DE DATOS EN ACCESS .....	385
AIII.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN PLATAFORMA GOOGLE EARTH .....	387

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

CARM.- Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

CCS.- Consorcio de Compensación de Seguros.

EC8.- Eurocódigo 8.

EHE.- Instrucción de Hormigón Estructural.

EMS-98.- Escala Macrosísmica Europea.

ETRS 1989.- European Terrestrial Reference System 1989, Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989. Sistema de referencia ligado a la parte estable de la placa continental europea.

FaMIVE.- Método para cuantificar la vulnerabilidad de edificios pertenecientes a centros históricos europeos.

FAST.- Procedimiento de estimación de la vulnerabilidad para edificios a base de pórticos de hormigón armado con tabiquería de fábrica.

FEMA.- Federal Emergency Management Agency. Agencia Federal de Gestión de Emergencias.

GMT.- Greenwich Mean Time. Hora del meridiano de Greenwich.

IGME.- Instituto Geológico y Minero de España.

IGN.- Instituto Geográfico Nacional.

MASW.- Análisis multicanal de ondas de superficie.

MEDEA.- Herramienta multimedia que dispone de catálogo de daños.

Mw.- Escala sismológica de Magnitud de Momento. Cantidad de energía liberada por el terremoto.

NBS.- New Building Standard. Índice que pondera la demolición frente a la reparación.

NCSE.- Norma de Construcción Sísmica Española.

p.a. y aa.- Párrafo actual y anteriores.

p.a. y ss.- Párrafo actual y siguientes.

PEPRI.- Plan Especial de Protección y Rehabilitación Integral.

PGA.- Peak Ground Acceleration. Aceleración pico del suelo.

RAE.- Real Academia Española de la Lengua.

RI.- Expediente de ruina inminente

RISMUR.- Proyecto de Riesgo Sísmico de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

RT.- Expediente de ruina técnica

SA.- Aceleración espectral.

SE-NW.- SurEste-NorOeste.

SIG (GIS).- Sistema de Información Geográfica.

SIGPAC.- Sistema de Información Geográfica de parcelas agrícolas.

SISMIMUR.- Plan Especial de Protección Civil ante el Riego Sísmico en la Región de Murcia.

SISMOSAN.- Proyecto de Evaluación de la Peligrosidad y el Riesgo Sísmico en Andalucía.

SPAC.- Ensayos para determinar la autocorrelación espacial para obtener Vs mediante la inversión de las ondas Rayleigh.

STEP.- Proyecto europeo sobre investigación de daños tras sismo en edificios.

URL.- Uniform Resource Locator, localizador de recursos uniforme. Identificador de recursos uniforme cuyos recursos referidos pueden cambiar. Formados por una secuencia de caracteres que designa recursos en una red.

Vs.- Velocidad de ondas de corte.

WMS.- Web Map Service, servicio Web Map que produce mapas con datos georreferenciados

WMTS.- Web Map Tile Service, servicio de mapas en web por teselas.

WSW-ENE.- OesteSurOeste-EsteNorEste.



## ÍNDICE DE FIGURAS y TABLAS

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sismicidad de la región de Murcia en valores de magnitud momento (Martínez Solares et al., 2013) .....	49
Figura 2 Plano del casco histórico de Lorca con indicación de los edificios utilizados para los cálculos de direcciones de movimiento del sustrato (Rodríguez-Pascua, M.A. et al., 2012).....	50
Figura 3 Efectos de la geología local observados en el terremoto de Caracas en 1967.....	54
Figura 4 Distribución del periodo predominante del suelo en la ciudad de Lorca (Martínez-Pagán et al., 2014) .....	57
Figura 5 Configuraciones irregulares en planta .....	61
Figura 6 Falta de continuidad en la estructura vertical y cambios de rigidez.....	62
Figura 7 Proceso de creación del espectro de respuesta.....	63
Figura 8 Relación entre la altura y la rigidez en un edificio .....	66
Figura 9 Relación entre la altura y el amortiguamiento en un edificio .....	67
Figura 10 Distribución de daño en Lorca como consecuencia del terremoto del 11 de mayo de 2011 (Navarro, M. et al., 2012) .....	78
Figura 11 Tipos de daños en vigas (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015) .....	89
Figura 12 Tipos de planes (Martínez Cuevas, 2014a).....	106
Figura 13 Representación tridimensional de la influencia de factores sobre la vulnerabilidad (Ayala García, 2017).....	108
Figura 14 Formulario de Evaluación Post-sismo (García-Ayllón & Tomás, 2014) .....	112
Figura 15 Organigrama del flujo de información (Roldán Ruiz, J. et al., 2015)....	113
Figura 16 Daños en Lorca por distrito censal y tipo de suelo (Benito Oterino et al., 2012) .....	115
Figura 17 Daños en pilares por movimientos sísmicos.....	118
Figura 18 Daños en vigas por movimientos sísmicos .....	119
Figura 19 Página 1 de la ficha de evaluación de estructuras porticadas.....	122
Figura 20 Página 2 de la ficha de evaluación de estructuras porticadas.....	123
Figura 21 Página 1 de la ficha de evaluación de estructuras murarias.....	124

Figura 22	Página 2 de la ficha de evaluación de estructuras murarias.....	125
Figura 23	Tipos de mapas obtenidos mediante ArcGis empleados en el estudio analizado (Karimzadeh, Miyajima, Hassanzadeh, Amiraslanzadeh, & Kamel, 2014) .....	138
Figura 24	Zonas de máximo incremento de esfuerzos, principales fallas activas y poblaciones con mayor daño neto esperado (Benito Oterino et al., 2012) .....	144
Figura 25	Tipologías de las edificaciones residenciales colectivas.....	151
Figura 26	Tipología de las edificaciones residenciales unifamiliares .....	151
Figura 27	Configuración en planta empleada en el método del índice de vulnerabilidad en edificios de mampostería no reforzada (Martínez Cuevas, 2014a) .....	153
Figura 28	Configuración en planta empleada en el método del índice de vulnerabilidad en edificios de hormigón armado (Martínez Cuevas, 2014a) .....	153
Figura 29	Unidades constructivas con áreas entrantes (Configuraciones urbanas contemporáneas en zonas sísmicas, Guevara Pérez, 2012) (Martínez Cuevas, 2014a) .....	154
Figura 30	Configuración en elevación según el índice de vulnerabilidad en los edificios de mampostería no reforzada (Martínez Cuevas, 2014a) .....	155
Figura 31	Variación de la rigidez lateral de un edificio (Martínez Cuevas, 2014a) .....	156
Figura 32	Modificador de irregularidad vertical (Martínez Cuevas, 2014a) .....	158
Figura 33	Retranqueos y piso blando según FEMA 154 (Martínez Cuevas, 2014a) .....	159
Figura 34	Plantas irregulares con indicación del punto en el que se produce el daño (Martínez Cuevas, 2014a).....	159
Figura 35	Localización y clasificación de daños tras el terremoto de Lorca.....	165
Figura 36	Esquemas de mecanismos de fallo existentes en FaMIVE.....	166
Figura 37	Formulario electrónico de inspección FaMIVE (Basset-Salom, L. & Guardiola-Víllora, A., 2014).....	167
Figura 38	Ficha analítica del catálogo patológico de edificaciones en el casco histórico de Burgos (González Martín, 2014) .....	169
Figura 39	Datos del inmueble en la ficha analítica del catálogo patológico de edificaciones en el casco histórico de Burgos (González Martín, 2014).....	169
Figura 40	Descripción del inmueble (González Martín, 2014).....	170

Figura 41 Estudio de las lesiones en la ficha analítica del catálogo patológico de edificaciones en el casco histórico de Burgos (González Martín, 2014).....	172
Figura 42 Fichas usadas para recopilar datos (Gizzi & Masini, 2009) .....	177
Figura 43 Mecanismos de colapso de iglesias contemplada en los formularios italianos de daños (Leite et al., 2013).....	187
Figura 44 Estructura de la red neuronal (Carreño et al., 2010) .....	191
Figura 45 Método de evaluación de habitabilidad y reparabilidad (Carreño et al., 2010) .....	192
Figura 46 Imágenes Google Earth de la misma ubicación en épocas diferentes..	201
Figura 47 Apartado de la base de datos relativa a los datos genéricos del encabezamiento .....	202
Figura 48 Sede electrónica del catastro: procedimiento de obtención de coordenadas .....	204
Figura 49 Plataforma Pixelis Maps de conversión de coordenadas.....	205
Figura 50 Apartado de la base de datos relativa a la descripción general.....	206
Figura 51 Plataforma sitmurcia de información geográfica.....	207
Figura 52 Irregularidad en planta y en volumen.....	209
Figura 53 Apartado de la base de datos relativa a la descripción estructural y constructiva .....	210
Figura 54 Clasificación de enlaces en función de su rigidez.....	212
Figura 55 Opciones frente a acciones horizontales y rigidez lateral.....	213
Figura 56 Apartado de la base de datos relativa a la acción sísmica .....	214
Figura 57 Apartado de la base de datos relativa a los daños estructurales y constructivos .....	215
Figura 58 Clases de vulnerabilidad según EMS-98. (Feriche, 2008).....	216
Figura 59 Grados de daño según EMS-98. (Feriche, 2008) .....	217
Figura 60 Apartado de la base de datos relativa a las intervenciones llevadas a cabo tras los sismos.....	218
Figura 61 Apartado de la base de datos relativa a las intervenciones llevadas a cabo tras los sismos .....	218
Figura 62 Apartado de la base de datos que contiene información gráfica.....	219
Figura 63 Matriz de variables I.....	222
Figura 64 Matriz de variables II .....	222
Figura 65 Porcentaje de expedientes según las características analizadas.....	229

Figura 66 Porcentaje de expedientes según la tipología estructural.....	232
Figura 67 Porcentaje parcial de expedientes según la tipología estructural.....	235
Figura 68 Porcentaje de expedientes por tipos de ruina y de edificios no demolidos.....	236
Figura 69 Porcentaje parcial de expedientes en los que aparece cada uno de los tipos de daño.....	244
Figura 70 Tendencia al agrupamiento de los daños en cimentación.....	263
Figura 71 Tendencia al agrupamiento del número elevado de daños en cimentación.....	264
Figura 72 Tendencia al agrupamiento de los daños en muros.....	265
Figura 73 Tendencia al agrupamiento del número elevado de daños en muros.....	266
Figura 74 Tendencia al agrupamiento de los daños en pilares.....	267
Figura 75 Tendencia al agrupamiento de los daños en pilares.....	268
Figura 76 Tendencia al agrupamiento de los daños en forjados.....	269
Figura 77 Tendencia al agrupamiento de los daños en forjados.....	270
Figura 78 Tendencia al agrupamiento de los daños en fachadas.....	271
Figura 79 Tendencia al agrupamiento de los daños en fachadas.....	272
Figura 80 Tendencia al agrupamiento de los daños en cubiertas.....	273
Figura 81 Tendencia al agrupamiento de los daños en cubiertas.....	274
Figura 82 Tendencia al agrupamiento de los costes de demolición.....	275
Figura 83 Tendencia al agrupamiento de los costes de demolición.....	276
Figura 84 Número de expedientes por barrio y tipo de ruina.....	306
Figura 85 Porcentaje de expedientes por barrio y tipo de ruina con respecto al total.....	306
Figura 86 Número de expedientes por pedanía y tipo de ruina.....	307
Figura 87 Porcentaje de expedientes por pedanía y tipo de ruina con respecto al total.....	307
Figura 88 Número edificios, portales y viviendas en función del tipo de ruina.....	308
Figura 89 Número edificios, portales y viviendas por barrios.....	309
Figura 90 Porcentaje de edificios, portales y viviendas por barrios con respecto al total.....	309
Figura 91 Número edificios, portales y viviendas por pedanías.....	310
Figura 92 Porcentaje de edificios, portales y viviendas por pedanías con respecto al total.....	310

Figura 93 Número de expedientes por tipo de ruina y año de construcción .....	311
Figura 94 Porcentaje de expedientes clasificados por año de construcción y tipo de ruina .....	311
Figura 95 Media de edad de las construcciones afectadas por los expedientes de ruina .....	312
Figura 96 Media de edad de las construcciones afectadas por los expedientes de ruina por barrio .....	313
Figura 97 Media de edad de las construcciones afectadas por los expedientes de ruina por pedanía.....	313
Figura 98 Distribución del número de expedientes según su emplazamiento ....	314
Figura 99 Distribución del porcentaje de expedientes según su emplazamiento	314
Figura 100 Distribución del número de expedientes según su emplazamiento ..	315
Figura 101 Distribución del porcentaje de expedientes según su emplazamiento .....	315
Figura 102 Distribución del número expedientes según su emplazamiento por barrios.....	316
Figura 103 Distribución del porcentaje de expedientes por barrios, respecto al número total de expedientes según su emplazamiento .....	316
Figura104 Distribución del número de expedientes según su emplazamiento por pedanías.....	317
Figura 105 Distribución del porcentaje de expedientes por pedanías, respecto al número total de expedientes según su emplazamiento .....	317
Figura 106 Número de expedientes según el porcentaje estimado de huecos en muros y cerramientos en función del tipo de ruina .....	318
Figura 107 Número de expedientes según el porcentaje estimado de huecos en muros de carga en función del tipo de ruina .....	318
Figura 108 Clasificación según la tendencia de rigidez estimada de las uniones entre elementos y en función del tipo de ruina .....	319
Figura 109 Porcentaje de expedientes en función de la rigidez estimada de las uniones entre elementos y en función del tipo de ruina .....	319
Figura 110 Clasificación de los distintos tipos expedientes de ruina en función de la irregularidad de las construcciones.....	320
Figura 111 Porcentaje de expedientes según tipos de ruina en función de la irregularidad de las construcciones.....	320

Figura 112 Elementos singulares encontrados en los diferentes tipos de ruina...	321
Figura 113 Porcentaje de expedientes en los que aparecen elementos singulares por tipos de ruina.....	321
Figura 114 Altura de los colindantes a los edificios considerados.....	322
Figura 115 Porcentaje de expedientes según la altura de los colindantes.....	322
Figura 116 Compartimentación en planta baja según los tipos de ruina.....	323
Figura 117 Porcentaje de expedientes según su compartimentación en planta baja por tipos de ruina.....	323
Figura 118 Singularidades relacionadas con la vulnerabilidad en los diferentes expedientes.....	324
Figura 119 Porcentaje de expedientes según singularidades relacionadas con la vulnerabilidad por tipos de ruina.....	324
Figura 120 Frecuencia de daños en muros en función del emplazamiento.....	325
Figura 121 Frecuencia de daños en pilares en función del emplazamiento.....	325
Figura 122 Frecuencia de daños en pilares en función del emplazamiento.....	326
Figura 123 Frecuencia de daños en forjados en función del emplazamiento.....	326
Figura 124 Frecuencia de daños en muros en función del año de construcción..	327
Figura 125 Frecuencia de daños en pilares en función del año de construcción..	327
Figura 126 Frecuencia de daños en vigas en función del año de construcción....	328
Figura 127 Frecuencia de daños en forjados en función del año de construcción	328
Figura 128 Frecuencia de daños en muros en función del número de plantas....	329
Figura 129 Frecuencia de daños en pilares en función del número de plantas....	329
Figura 130 Frecuencia de daños en vigas en función del número de plantas.....	330
Figura 131 Frecuencia de daños en forjados en función del número de plantas..	330
Figura 132 Frecuencia de daños en muros en función de la vulnerabilidad I.....	331
Figura 133 Frecuencia de daños en pilares en función de la vulnerabilidad I.....	331
Figura 134 Frecuencia de daños en vigas en función de la vulnerabilidad I.....	332
Figura 135 Frecuencia de daños en forjados en función de la vulnerabilidad I...	332
Figura 136 Frecuencia de daños en muros en función de la vulnerabilidad II ....	333
Figura 137 Frecuencia de daños en pilares en función de la vulnerabilidad II....	333
Figura 138 Frecuencia de daños en vigas en función de la vulnerabilidad II.....	334
Figura 139 Frecuencia de daños en forjados en función de la vulnerabilidad II .	334
Figura 140 Frecuencia de daños en muros en función de la vulnerabilidad III...	335
Figura 141 Frecuencia de daños en pilares en función de la vulnerabilidad III...	335

Figura 142 Frecuencia de daños en vigas en función de la vulnerabilidad III .....	336
Figura 143 Frecuencia de daños en forjados en función de la vulnerabilidad III	336
Figura 144 Frecuencia de daños en muros en función de la regularidad en planta .....	337
Figura 145 Frecuencia de daños en pilares en función de la regularidad en planta .....	337
Figura 146 Frecuencia de daños en vigas en función de la regularidad en planta .....	338
Figura 147 Frecuencia de daños en forjados en función de la regularidad en planta .....	338
Figura 148 Frecuencia de daños en muros en función de la altura del colindante .....	339
Figura 149 Frecuencia de daños en pilares en función de la altura del colindante .....	339
Figura 150 Frecuencia de daños en vigas en función de la altura del colindante	340
Figura 151 Frecuencia de daños en forjados en función de la altura del colindante .....	340
Figura 152 Frecuencia de daños en muros en función del porcentaje de huecos estimado .....	341
Figura 153 Frecuencia de daños en pilares en función del porcentaje de huecos estimado .....	341
Figura 154 Frecuencia de daños en vigas en función del porcentaje de huecos estimado .....	342
Figura 155 Frecuencia de daños en forjados en función del porcentaje de huecos estimado .....	342
Figura 156 Frecuencia de daños en muros en función del tipo de terreno NCSE-02 .....	343
Figura 157 Frecuencia de daños en pilares en función del tipo de terreno NCSE-02 .....	343
Figura 158 Frecuencia de daños en vigas en función del tipo de terreno NCSE-02 .....	344
Figura 159 Frecuencia de daños en forjados en función del tipo de terreno NCSE-02.....	344

Figura 160 Frecuencia de daños en muros en función de la compartimentación en planta baja .....	345
Figura 161 Frecuencia de daños en pilares en función de la compartimentación en planta baja .....	345
Figura 162 Frecuencia de daños en vigas en función de la compartimentación en planta baja .....	346
Figura 163 Frecuencia de daños en forjados en función de la compartimentación en planta baja .....	346
Figura 164 Frecuencia de daños en muros en función estado indicado en el plan PEPRI .....	347
Figura 165 Frecuencia de daños en pilares en función estado indicado en el plan PEPRI .....	347
Figura 166 Frecuencia de daños en vigas en función estado indicado en el plan PEPRI .....	348
Figura 167 Acceso a la información en formato tabla y formato ficha .....	385
Figura 168 Acceso al número de expediente y obtención del número de registro .....	386
Figura 169 Acceso a la ficha en formato Formulario partiendo del número de registro .....	387
Figura 170 Elementos seleccionables que aportan la información existente .....	388
Figura 171 Opción de visualizar el fondo correspondiente a otra época anterior	389



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos sobre los terremotos premonitorio, principal y mayor réplica .....	45
Tabla 2 Sismicidad histórica en la región de Murcia (Martínez Solares et al., 2013) .....	47
Tabla 3 Sismicidad instrumental de la región de Murcia (Martínez Solares et al., 2013) .....	48
Tabla 4 Reglas de las diversas normas: incluido (O), no incluido (X), incluido sin cuantificar (XO) (Gómez-Martínez et al., 2015) .....	59
Tabla 5 Escala Mercalli Modificada (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015) .....	65
Tabla 6 Estimación de distribución de daños en inmuebles y viviendas por el terremoto de Lorca de 2011 (González López S., 2017) .....	81
Tabla 7 Resumen de daños de edificios sanitarios de Lorca .....	83
Tabla 8 Clasificación de efectos arquitectónicos de terremotos inventariados en construcciones del patrimonio cultural de la Ciudad de Lorca .....	127
Tabla 9 Magnitud esperada de daños en función de los elementos analizados ..	132
Tabla 10 RDL 6/2011 y 17/2011 sobre medidas extraordinarias Lorca .....	134
Tabla 11 Índices de vulnerabilidad para las diferentes tipologías estructurales según Risk-UE (Martínez Cuevas, 2014a).....	157
Tabla 12 Clasificación de daño según la EMS-98 (Dolce, M. et al., 2003).....	175
Tabla 13 Clases y descripciones de daños empleados para clasificar los efectos sobre los edificios (Gizzi & Masini, 2009).....	177
Tabla 14 Proporción del número de reclamaciones según el tipo de daño y el tipo de edificio (Paultre et al., 1993) .....	183
Tabla 15 Variables utilizadas para realizar el análisis de regresión.....	223
Tabla 16 Frecuencias de las características de los edificios .....	228
Tabla 17 Número de viviendas y de plantas de los edificios contenidos en cada uno de los expedientes .....	230
Tabla 18 Frecuencia del tipo estructural y constructivo .....	231
Tabla 19 Frecuencia de daños estructurales .....	234
Tabla 20 Frecuencia de tipología de expedientes .....	235
Tabla 21 Frecuencia del tipo de daño en cimentación .....	236
Tabla 22 Frecuencia del tipo de daño en muros .....	237

Tabla 23 Frecuencia del tipo de daño en pilares.....	238
Tabla 24 Frecuencia del tipo de daño en vigas .....	239
Tabla 25 Frecuencia del tipo de daño en forjados .....	240
Tabla 26 Frecuencia del tipo de daño en escalera.....	241
Tabla 27 Frecuencia del tipo de daño en fachadas no estructurales .....	242
Tabla 28 Frecuencia del tipo de daño en cubierta .....	243
Tabla 29 Asociación entre las características de los edificios y los daños / consecuencias que sufrieron por los terremotos.....	246
Tabla 30 Asociación entre las características de los edificios y los daños en la cimentación .....	248
Tabla 31 Asociación entre las características de los edificios y los daños en los muros .....	249
Tabla 32 Asociación entre las características de los edificios y los daños en los pilares.....	250
Tabla 33 Asociación entre las características de los edificios y los daños en el forjado.....	251
Tabla 34 Asociación entre las características de los edificios y los daños en las fachadas .....	252
Tabla 35 Asociación entre las características de los edificios y los daños en la cubierta .....	253
Tabla 36 Asociación entre las características de los edificios y los daños respecto a expedientes con pilares .....	255
Tabla 37 Asociación entre las características de los edificios y los daños respecto a expedientes con forjados.....	256
Tabla 38 Asociación entre las características de los edificios y los daños respecto a expedientes con fachadas.....	257
Tabla 39 Asociación entre las características del edificio y los elementos dañados (n=398).....	259
Tabla 40 Asociación entre las características del edificio y los elementos dañados (número de expedientes en los que se encuentran los elementos analizados).....	261
Tabla 41 Resumen del índice de Moran sobre los daños en cimentación .....	263
Tabla 42 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en cimentación .....	264
Tabla 43 Resumen del índice de Moran sobre los daños en muros .....	265

Tabla 44 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en muros	266
Tabla 45 Resumen del índice de Moran sobre los daños en pilares.....	267
Tabla 46 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en pilares .....	268
Tabla 47 Resumen del índice de Moran sobre los daños en forjados .....	269
Tabla 48 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en forjados .....	270
Tabla 49 Resumen del índice de Moran sobre los daños en fachadas .....	271
Tabla 50 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en fachadas .....	272
Tabla 51 Resumen del índice de Moran sobre los daños en cubiertas.....	273
Tabla 52 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en cubiertas .....	274
Tabla 53 Resumen del índice de Moran sobre los costes de demolición.....	275
Tabla 54 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los costes de demolición.....	276
Tabla 55 Resumen de conclusiones I .....	286
Tabla 56 Resumen de conclusiones II.....	287
Tabla 57 Resumen de conclusiones III .....	288



# **1. INTRODUCCIÓN**



## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ASPECTOS GENERALES

El 11 de mayo de 2011 permanecerá en la memoria colectiva como el día en que varios terremotos con epicentro en Lorca ocasionaron 9 muertos, cientos de heridos, un edificio colapsado y numerosos edificios con daños de diversa índole. También quedará como el día en que la solidaridad de toda la sociedad sentó las bases del inicio del proceso de recuperación.

Desde los momentos iniciales de la gestión posterior al terremoto comenzó el proceso de demolición de las edificaciones afectadas, de modo que durante los primeros siete días se actuó sobre no más de una decena de edificios cuyo estado crítico frente a la seguridad lo exigía. Una vez transcurridos los momentos de acción sobre lo más urgente, el proceso continuó hasta que el número de edificaciones finalmente afectadas por expedientes de ruina superó con creces lo esperado inicialmente.

Este hecho motivó el interés académico sobre las características constructivas y estructurales así como sobre los tipos de daños existentes en las edificaciones, impulsando la propuesta de la presente tesis doctoral<sup>1</sup> que pretende analizar la casuística de dichas demoliciones y catalogar las edificaciones afectadas, de forma que se preserven los datos que permitan, de forma más pausada en un futuro, analizar tales acciones desde varios puntos de vista.

Para ello se han tomado datos de los expedientes de ruina del Excmo. Ayuntamiento de Lorca así como de determinados sistemas de información geográfica, y se ha diseñado una base de datos en Access (Microsoft, s. f.), para incorporar los datos y facilitar su tratamiento estadístico.

### 1.2. JUSTIFICACIÓN

Desde que ocurrió el terremoto del 11 de mayo de 2011, la gestión inicial de la emergencia vino seguida de una dilatada etapa posterior que trajo como

---

<sup>1</sup> Inicialmente al amparo de un proyecto de investigación del grupo Tecnos de la UCAM.

consecuencia la aparición de numerosos expedientes de ruina, inicialmente inminente y posteriormente técnica y económica, que derivó en un creciente número de edificios demolidos.

La creación de un documento que permita recuperar la memoria de los edificios que hasta esa fatídica fecha formaban parte del horizonte del municipio de Lorca, junto con la posibilidad de analizar y aportar datos concretos sobre las características de esos edificios y condiciones en que quedaron tras el sismo, hacen posible en un mismo documento la recuperación histórica y el análisis que serviría de base para la realización de otros estudios que en el futuro pudieran permitir arrojar luz sobre lo ocurrido y ajustar los estudios de vulnerabilidad por riesgo sísmico.

Uno de los aspectos más relevantes de este estudio es el análisis de la componente territorial sobre las consecuencias del sismo, con implicaciones directas en la compatibilidad del proceso urbanístico con el medio ambiente urbano de Lorca.

### 1.3. OBJETIVOS

Teniendo en cuenta la justificación de esta investigación mencionada en el apartado anterior, los objetivos nacen de dar respuesta a las cuestiones que se plantean a continuación.

#### **Objetivo 1. Catálogo de edificios demolidos**

La recopilación y clasificación de la información disponible en los expedientes analizados permite, de manera directa con el tratamiento adecuado, conformar un catálogo de edificios de los que ya no podremos disfrutar en las ubicaciones en las que siempre se encontraron hasta su demolición.

No se pretende sustituir la sensación que tiene un observador, mucho menos si se trata del propietario o usuario, cuando se posiciona frente a un edificio para su deleite o para su uso, con la recuperación de la memoria de ese edificio a la que tiende esta investigación. Aun así, puede ser el modo más adecuado de dar el salto desde la frialdad de los expedientes administrativos a la memoria histórica, que haga permanecer algo de cada edificio en el sitio que antaño le correspondió.



Para ello se recurre al diseño de una base de datos, que recopile todos los aspectos estructurales, constructivos, urbanísticos, patológicos y de gestión extraídos de cada uno de los expedientes, y un sistema de información geográfica que represente los aspectos más significativos del estudio.

### **Objetivo 2. Causas de ruina en edificaciones**

El análisis de las diferentes tipologías estructurales y de las lesiones consecuencia del terremoto de 2011 a través del estudio de la información existente en los expedientes, determina la causa de la ruina a través del estudio de las lesiones más frecuentes en cada una de las tipologías.

Es evidente que el origen de las lesiones analizadas es la acción sísmica y por tanto el patrón de tales lesiones será común para cada tipología de edificio. Se analiza también la posible existencia de lesiones previas no asociadas al movimiento sísmico y su influencia en los edificios demolidos.

Para ello el cumplimiento del objetivo analizado requiere de un trabajo previo de homogeneización de la información en un lenguaje común, que a través de una serie de conceptos relacionados con la descripción estructural y patológica, permita traducir a un lenguaje común todos y cada uno de los informes existentes.

### **Objetivo 3. Asociación entre las características de los edificios y los daños**

Las características de los edificios recopiladas de los expedientes municipales de ruina guardan relación con los tipos de daños encontrados en los edificios analizados. Partiendo de la información incluida en la base de datos, este objetivo persigue determinar qué características son determinantes en la aparición de los daños clasificados por tipos de elementos en los que aparecen.

### **Objetivo 4. Agrupación de daños según su localización**

Este objetivo persigue conocer si se produce la tendencia al agrupamiento alrededor de determinadas localizaciones de algunas de las consecuencias del sismo en Lorca, como los daños en diferentes elementos estructurales y los costes de demolición.

### **Objetivo 5. Tipologías edificatorias compatibles con el medio ambiente urbano de Lorca**

El medio en el que se ubican los edificios impone sus condiciones en el comportamiento sísmico de los edificios, en lo que se ha venido a llamar el efecto sitio, que analiza la influencia de factores como el suelo o las condiciones de los edificios colindantes.

Se analiza la influencia de estos factores con el objetivo de determinar qué tipologías edificatorias pudieran resultar incompatibles con las condiciones que su ubicación les impone, resultando de este modo insostenibles.

#### 1.4. METODOLOGÍA

La investigación realizada puede considerarse de carácter mixto, ya que surge de la combinación de los enfoques cuantitativo y cualitativo (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2007). Por sus características de medir fenómenos, utilizar estadísticas, analizar la causa y su efecto, se trata de un enfoque cuantitativo. Sin embargo tiene otras características, como el hecho de que se conduzca básicamente en ambientes naturales y que los significados se extraen de los datos, que aproximan la investigación al enfoque cualitativo. El proceso seguido es secuencial, deductivo<sup>2</sup>, probatorio y analiza la realidad de modo objetivo, lo cual lo acerca al enfoque cuantitativo, cuyas bondades son la posibilidad de generalizar resultados que permitan controlar determinados fenómenos con cierta precisión. Ambos enfoques se pueden considerar paradigmas de la investigación científica y emplean procesos con similares fases, entre las que destacan:

- Observación y evaluación de fenómenos.
- Establecer suposiciones consecuencia de la observación.
- Demostrar el grado de fundamento de las suposiciones.
- Revisar las suposiciones sobre la base de análisis.
- Proponer nuevas observaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones o generar otras.

---

<sup>2</sup> De lo general a lo particular o dicho de otro modo, de las leyes y teoría sobre las consecuencias de la energía del terremoto (componente experimental), a los datos procedentes de la consulta de los expedientes de ruina municipales y su análisis (componente analítica).

El diseño de la investigación está estructurado y precede a la recolección de los datos, que se basa en instrumentos estandarizados y es uniforme para todos los casos, obteniéndose mediante el estudio de la información existente en los expedientes de ruina. Por otra parte, el diseño de la investigación es lo suficientemente flexible como para permitir la introducción de cambios en función de los datos que se van obteniendo y de la incorporación de nueva información fruto de la constante revisión bibliográfica. Los participantes en la recolección de datos son fuentes externas a la propia investigación, ya que se trata de aquellas personas que participaron en la redacción de informes y que generaron la información gráfica y escrita de la que el autor del presente documento extrae los datos, de la manera más objetiva y sistemática posible.

La finalidad del análisis de los datos es describir las variables y explicar sus cambios y movimientos, teniendo dicho análisis un carácter sistemático en el que la estadística es la herramienta fundamental.

Las fases seguidas en el método de investigación adoptado han sido las siguientes:

- Planteamiento de un problema de estudio concreto: se analizan determinados factores asociados a las construcciones afectadas por los terremotos de Lorca de mayo de 2011, tratando de buscar una asociación con las consecuencias que sufrieron.
- Revisión bibliográfica sobre lo investigado anteriormente, que sirve de guía a la investigación, siendo fundamental para la definición de la teoría, las hipótesis y su diseño. En gran medida aporta directrices para buscar las variables que puedan resultar significativas.
- Construcción de un marco teórico sobre la revisión anterior.
- Partiendo de la teoría construida se derivan hipótesis o cuestiones, cuya certeza se va a probar a lo largo del proceso de investigación.
- Mediante el empleo de diseños de investigación apropiados se someten a prueba las hipótesis, de manera que en función de los resultados, o se corroboran o se descartan y se buscan nuevas.
- Para llegar a los resultados se procede a la recolección de datos numéricos que se analizan mediante procedimientos estadísticos.

El enfoque cuantitativo seguido en la metodología persigue describir y explicar los fenómenos con objetividad, generando y probando teorías.

La posición del investigador es neutral, no teniendo en cuenta sus creencias sobre las materias objeto de la investigación, e imparcial ya que intenta que los procedimientos empleados se caractericen por el rigor y la objetividad en el proceso de recolección y análisis de los datos.

## **2. ESTADO DE LA CUESTIÓN**



## CAPÍTULO 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En el análisis del estado de la ciencia en la materia objeto de estudio se ha tratado de plasmar la información obtenida, haciendo una clasificación de las temáticas con las que guarda relación.

Se han analizado publicaciones relativas a investigaciones vinculadas al análisis del territorio urbano tras sismo reciente<sup>3</sup>. A pesar de que la búsqueda y el análisis de la bibliografía han estado muy vinculados a la información de carácter local sobre investigaciones y publicaciones relativas al propio terremoto de Lorca de 2011, también se han analizado fenómenos semejantes en otras partes del mundo.

El terremoto de Lorca resulta peculiar en primer lugar porque se trata del terremoto que más pérdidas humanas y materiales ha causado desde hace más de un siglo. También porque se trata de una localidad muy representativa, porque se trata de un sismo posible, es decir, que podría repetirse en muchos otros puntos de la península, y también porque produjo unos daños que no fueron diferentes a los que se podría esperar de cualquier otro terremoto. Por lo tanto, se puede decir que el estudio del terremoto no es sobre un hecho pasado, sino sobre un hecho de repetición posible. (Álvarez Cabal, R., Díaz-Pavón Cuaresma, E., & Rodríguez Escribano, R., 2013).

### 2.1. CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO SÍSMICO DE LORCA DEL AÑO 2011

Lorca se encuentra en el suroeste de la comunidad autónoma de Murcia. Ocupa una extensión de 1675 Km<sup>2</sup> de término municipal<sup>4</sup> y tiene una población superior a 92000 personas de las que casi 60000 residen en el casco urbano<sup>5</sup>. Está entre las sierras de las Estancias y la Tercia y la Vega del Guadalentín, a 350 m de altitud sobre el nivel del mar. Su situación en ladera le obliga desarrollarse en una

---

<sup>3</sup> Sobre 100 años.

<sup>4</sup> Datos del registro de Entidades Locales.

<sup>5</sup> INE 2018.

pendiente continua aunque irregular, condicionando estructuralmente muchos de sus edificios. Dicha situación en ladera está relacionada con una estructura geotécnica compleja. Los barrios altos existentes al pie del castillo se asientan sobre roca o terreno duro, mientras que los barrios más recientes se disponen sobre suelos sedimentarios consecuencia del transporte de materiales de erosión (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

La región de Murcia está localizada en la mitad oriental de la Cordillera Bética, que corresponde con la parte continental de la zona de contacto entre placas tectónicas africana y euroasiática. La convergencia entre ambas placas somete a la zona de fuerzas de compresión en la dirección SE-NW. Esto ocasiona gran cantidad de pliegues en la dirección WSW-ENE. Existe una serie de fallas cercanas que guardan relación con los terremotos de Lorca, como las fallas de Alhama de Murcia, de Carrascoy, de Socovos-Calasparra y de Crevillente (Guevara, 2011).

Lorca se localiza sobre la traza de una de las ramas centrales de la falla de Alhama de Murcia, situada en el límite noroeste de la cuenca del Guadalentín, que con más de 80 km de longitud atraviesa prácticamente la totalidad de la provincia. Es una zona de frecuentes terremotos de magnitud media similar al de mayo de 2011. Quedan en la memoria los terremotos de Mula de 1999, Bullas en 2002 y la Paca en 2005 con magnitudes entre 4.8 y 5. La proximidad a la superficie es lo que hace especial el terremoto que estamos analizando (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)(p.a. y ss.).

El evento que supuso el inicio de la situación que se analiza en esta investigación y que provocó diferentes consecuencias a los edificios en función de determinados factores, tiene suficiente entidad e importancia como para tratar de definirlo adecuadamente. Para ello se va a hacer referencia a determinados conceptos sobre los que se apoya la comprensión del mecanismo destructor y que se van a clasificar en los apartados siguientes.

La magnitud es una medida de la energía liberada por el terremoto, que está en función del tamaño de la superficie de la falla en la que se produce el deslizamiento. La intensidad, por otra parte, alude a los efectos en una localización concreta y depende entre otras cosas de la distancia entre el emplazamiento analizado y el epicentro (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).



Sin tener en cuenta las réplicas, la serie sísmica de 2011 se caracteriza con tres terremotos de mayor magnitud, uno premonitorio de 4.5 Mw sentido con intensidad VI según la EMS-98, otro posterior de magnitud 5.1 Mw con intensidad VII y una réplica de 3.9 Mw, cuatro horas después del principal (Martínez Solares, Cantavella Nadal, Cabañas Rodríguez, & Valero Zornosa, 2013)(p.a. y ss.).

La ubicación del hipocentro se calculó con las estaciones sísmicas del IGN y de otras instituciones, empleando un modelo de corteza general del propio IGN. En la Tabla 1 aparecen los datos de hora (GMT), latitud, longitud, Profundidad y Mw.

Fecha	Hora (GMT)	Latitud	Longitud	Prof (km)	Mw
11-mayo-2011	15:05:13.5	37,7196	-1,7076	2	4,5
11-mayo-2011	16:47:26.0	37,7175	-1,7114	4	5,1
11-mayo-2011	20:37:45.4	37,7308	-1,7012	4	3,9

**Tabla 1 Datos sobre los terremotos premonitorio, principal y mayor réplica (Martínez Solares et al., 2013)**

Como se puede apreciar en la Tabla 1, su localización es muy próxima y se sitúa entre 4.5 y 5 km al norte de la ciudad de Lorca.

El terremoto principal se registró en un total de 17 instrumentos de la red acelerográfica del IGN. La mayoría de ellos están situados en la zona epicentral, aunque algunos como el de Albolote o el de Jaén se pueden encontrar a más de 180 km. El acelerógrafo situado en Lorca y perteneciente al IGN registra una aceleración pico horizontal de 0.36 g en el terremoto principal y 0.27 g en el premonitorio<sup>6</sup>. Un dato a tener en cuenta es que el terreno sobre el que se sitúa la estación se puede catalogar como duro según la NCSE-02 (tipo II), y según el EC8 tipo B. Esto trajo como consecuencia la posibilidad de que se dieran aceleraciones superiores en zonas de la ciudad con terrenos más blandos.

A pesar de la magnitud moderada de los dos terremotos, la proximidad del epicentro y la superficialidad de la fuente sísmica (2-4 km), así como efectos de

---

<sup>6</sup> En ambos casos en la componente N 30 W, que aproximadamente corresponde a la perpendicular de la dirección de la ruptura.

campo cercano como polarización del movimiento y directividad, podrían explicar esta aceleración.

Observando la máxima PGA captada por algunas estaciones y a pesar de que la norma de construcción sísmica española asigna de aceleración básica de 0.12 g, no se puede realizar la comparación directa con los valores de aceleración registrados, ya que en primer lugar esta aceleración básica fue calculada como aceleración característica y no como máxima, y en segundo porque estaría asociada una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años.

El terremoto que se situó a unos 5 km de la ciudad de Lorca, registró una intensidad máxima en la escala EMS-98 de VII, a pesar de que fue sentido ampliamente en el término municipal de Lorca así como en zonas que distan muchos kilómetros de su epicentro, variando del grado VII hasta el grado IV.

Tuvo ciertos efectos sismogeológicos como desprendimiento de laderas, caída de rocas e incluso aumento de caudal en determinados manantiales, efectos que estarían en consonancia con lo establecido en la escala EMS-98.

La serie sísmica se inicia con un sismo premonitorio de 4.5 a las 15:05:13 del 11 de mayo de 2011<sup>7</sup>. Los siguientes 45 minutos ocurren 6 sismos premonitorios con magnitudes entre 1.5 y 2.6. Los eventos sísmicos posteriores al terremoto principal presentan una distribución de epicentros respecto a la falla de Alhama, que no permite diferenciar los que se pueden considerar pertenecientes a la misma serie de los que no.

Aplicando un análisis concreto desarrollado por Álvarez-Gómez et al., (2005), se delimita temporalmente la serie de réplicas, concluyendo que se compone de 141 sismos. Respecto a la información macrosísmica, se sintieron 20 réplicas, de las que únicamente la de magnitud 3.9 alcanza el grado IV.

Lorca está encuadrada en una región con una actividad sísmica moderada, pudiendo encontrar en épocas históricas terremotos de intensidad VIII y de magnitud máxima 5 en el periodo instrumental, superada por el actual sismo de 2011. La Tabla 2 refleja aquellos terremotos de intensidad superior a VI aportando sus características principales.

Por otra parte la Tabla 3 refleja aquellos terremotos pertenecientes al periodo instrumental con intensidad superior a V y magnitud superior a 4.

---

<sup>7</sup> Tabla 1

Tabla 1

Fecha	Hora (GMT)	Latitud	Longitud	Imax	Localización
30/01/1579		37,6833	-1,7000	VII	Lorca
28/08/1674	21:30:00	37,6833	-1,7000	VIII	Lorca
20/12/1818	09:45:00	37,7500	-1,6167	VI-VII	NE Lorca
11/11/1855*	04:00:00	37,8647	-1,3147	VI-VII	SE Librilla
16/01/1883	03:40:00	38,0500	-1,2500	VI-VII	Ceuti
26/09/1908*	09:50:10	38,0685	-1,3950	VI-VII	NE Mula

**Tabla 2 Sismicidad histórica en la región de Murcia (Martínez Solares et al., 2013)**

El periodo instrumental más reciente denota un aumento de la actividad sísmica de la región, coincidente con la ampliación de la capacidad de la red sísmica y de la calidad de los datos registrados.

La Figura 1 aporta el mapa de distribución de epicentros de magnitud superior a 3 (Martínez Solares et al., 2013).

La base de datos del IGN dispone de 252 terremotos en la provincia de Murcia, hasta el terremoto de Lorca del 2011. 125 de ellos corresponden al periodo histórico, que abarca desde que se tienen noticias del primer terremoto con epicentro en la región. La primera red sísmica comienza funcionar en España en torno a 1920, aunque no es hasta la mitad de 1930 cuando se comienza a contar con magnitudes para los terremotos ocurridos en Murcia (Guevara, 2011).

Del estudio de los terremotos se suelen desprender que los más importantes son los que se producen en las zonas de subducción, es decir en placas terrestres o macrosismos, considerando de menor importancia aquellos que corresponden a fallas activas. Sin embargo se pueden considerar como los más importantes desde el punto de vista geotécnico por su cercanía a núcleos de población y por su mayor potencial de daños catastróficos (Salcedo Hernández, J.C., & Campesino Fernández, A.J., 2012)

Analizando los terremotos históricos se llega la conclusión de que es probable la repetición de la dirección de los esfuerzos, ya que se aprecia una mayor intensidad de deformaciones entre los ejes N145E y N195E (orientación NW-SE). Esta dirección del esfuerzo se traducían en mayores desplazamientos en el eje NE-SE y mayores grietas en las caras orientadas al E y O.

FECHA	HORA	LAT	LONG	MAG (Tipo)**	INT	LOCALIZACION
21/03/1911	14:15:35	38,0167	-1,2167	5,7- (6)	VII-VIII*	Torres de Cotillas
03/04/1911	11:11:11	38,1000	-1,2000	5,3- (6)	VIII	Lorquí
17/03/1914	19:18:56	38,0333	-1,3333		VI	Campos del Rio
28/01/1917	22:32:31	38,0333	-1,2667		VI*	Torres de Cotillas
03/09/1930	09:59:58	38,0667	-1,2333	3,7- (1)	VI*	Lorquí
26/01/1931	03:16:15	38,6333	-1,1833	4,0- (1)	VI	Yecla
30/01/1936	09:35:18	38,0667	-1,2667		VII	Ceuti
13/06/1936	00:36:59	38,2333	-1,4167	4,5- (1)	IV	Cieza
26/10/1941	05:19:27	38,1167	-1,8833	3,9- (1)	VI	Caravaca
24/11/1941	00:53:59*	38,1250*	-1,6300*	4,1- (1)	V-VI*	E Caravaca*
23/02/1944	22:34:10	38,1667	-1,1500	3,8- (1)	VII	Fortuna
14/05/1945	06:33:30	38,4500	-1,3333	4,3- (1)	VI	Jumilla
14/05/1946	12:21:20	37,9167	-1,2000	4,2- (1)	VI	Sangonera
23/06/1948	03:43:58*	38,0467*	-1,7617*	5,0- (1)	VII*	Cehegin
02/05/1950	07:37:46	38,1500	-1,3333	4,0- (1)	VI	Archena
20/05/1952	13:18:05	37,9000	-1,1000	4,4- (1)	V	Palmar
22/12/1958	02:48:16	38,1833	-1,1167	4,0- (1)	V-VI*	Fortuna
01/11/1960	10:56:21	37,7017	-0,9400	4,0- (1)	V	SE Torre-Pacheco
19/01/1963	20:50:29	38,2167	-1,0500	3,3- (2)	VI	Abanilla
30/05/1963	01:54:49	37,7667	-1,8850	4,0- (2)	V	NW Lorca
29/07/1967	21:54:29	38,3567	-1,3833	4,2- (2)	III	NE Cieza
03/08/1967	00:34:13	38,3567	-1,2883	3,9- (2)	VI	SE Jumilla
12/01/1971	05:07:13	37,7450	-0,6933	4,2- (2)	V	SE S. P. del Pinatar
14/04/1972	03:22:17	38,4700	-1,3550	4,2- (2)		Jumilla
06/06/1977	10:49:12	37,6450	-1,7283	4,2- (2)	VI	SW Lorca
24/03/1978	13:01:24	37,6317	-1,7050	4,3- (2)		S Lorca
26/11/1995	05:39:40	38,0383	-1,2700	4,1- (2)	VI-VII	SW Alguazas
02/09/1996	19:07:01	37,5583	-1,5500	4,5- (2)	V	N Águilas
02/02/1999	13:45:17	38,0963	-1,5014	4,7- (2)	VI	N Mula
06/08/2002	06:16:19	37,8925	-1,8353	5,0- (5)	V	SW Bullas
29/01/2005	07:41:32	37,8535	-1,7555	4,8- (5)	VII	NW Aledo
03/02/2005	11:40:33	37,8349	-1,7864	4,3- (5)	IV-V	NW Lorca
04/02/2005	01:09:41	37,8325	-1,8135	4,0- (5)	III-IV	N Lorca

Tabla 3 Sismicidad instrumental de la región de Murcia (Martínez Solares et al., 2013)



En la Figura 2 aparece un mapa correspondiente a los efectos arquitectónicos del terremoto de Lorca aparecido en el boletín geológico y minero (Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Martín-González, F., Giner-Robles, J.L., & Silva, P.G., 2012), en el que las líneas en rojo marcan las direcciones medias de movimiento para cada edificio y la rosa de direcciones muestra los valores totales para las direcciones de movimiento calculadas y los sentidos de movimiento de una partícula extraída del acelerograma situado en Lorca por el IGN.

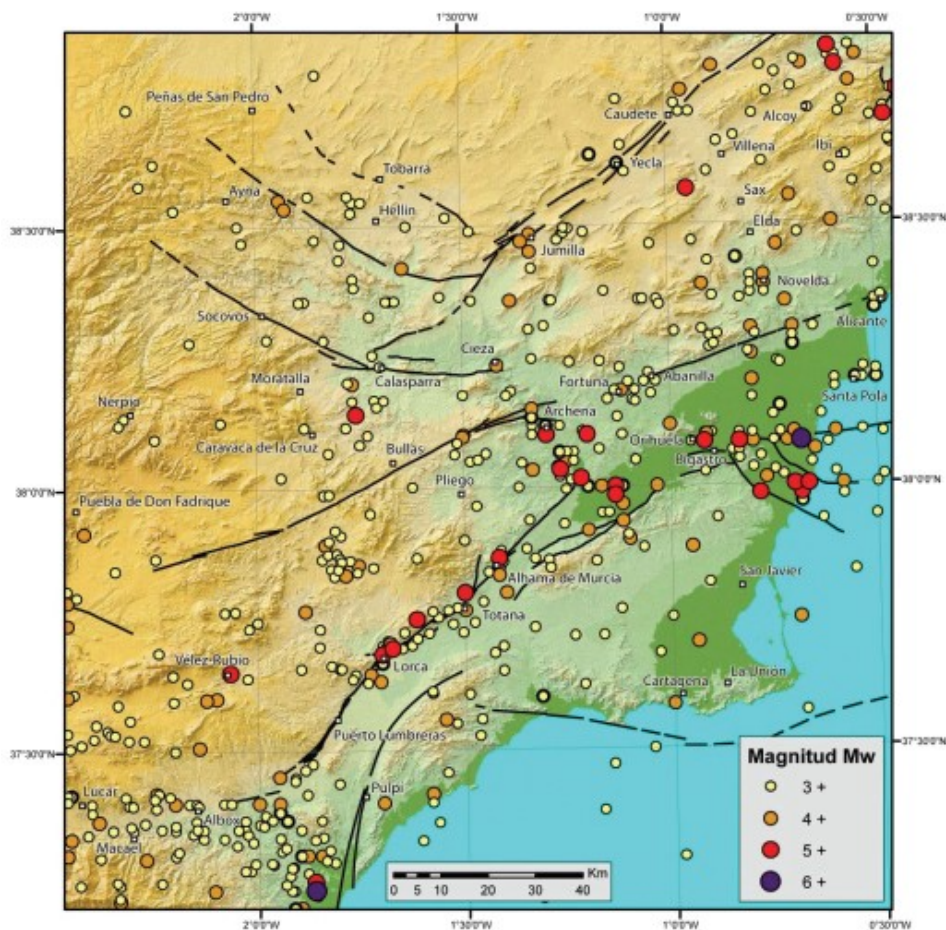


Figura 1 Sismicidad de la región de Murcia en valores de magnitud momento (Martínez Solares et al., 2013)

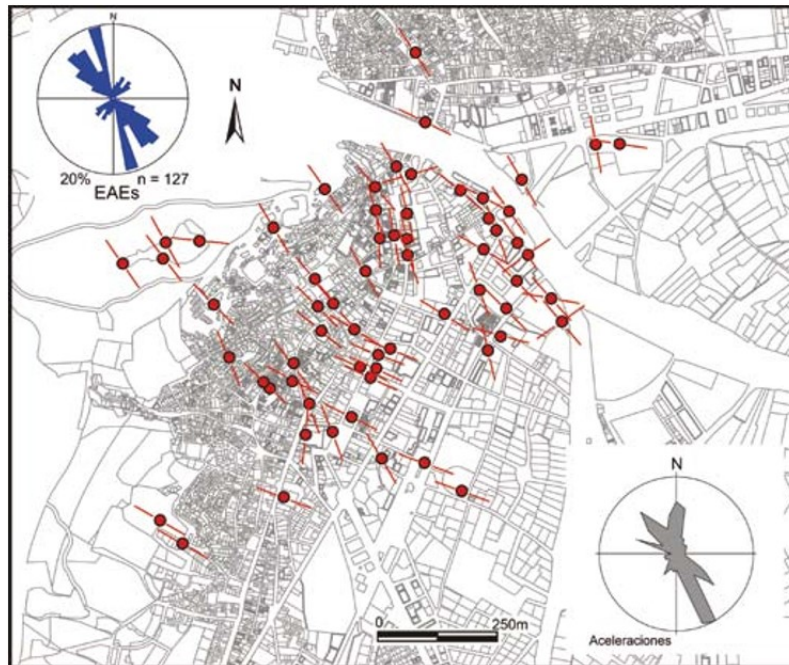


Figura 2 Plano del casco histórico de Lorca con indicación de los edificios utilizados para los cálculos de direcciones de movimiento del sustrato (Rodríguez-Pascua, M.A. et al., 2012)

## 2.2. PARÁMETROS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

El terreno en el que una estructura se apoya transmitiéndole su carga y a la que se ancla frente a acciones horizontales, supone un elemento más de la edificación que debe ser controlado en el proceso de diseño, cálculo y ejecución. Se trata de un elemento que se estudia y analiza, condiciona los sistemas de cimentación e incluso se puede mejorar con determinadas acciones durante el proceso edificatorio.

Los condicionantes geológicos y geotécnicos están junto a los urbanísticos entre los que determinan el efecto sitio, de modo que amplifican o amortiguan el fenómeno sísmico.

### 2.2.1. Implicaciones del suelo sobre los efectos del terremoto. El efecto sitio

La planificación en ámbito sísmico obliga a tener en cuenta la geología, geotectónica y topografía, factores fundamentales en la amplificación de las ondas

sísmicas a través del conocido efecto local o efecto de sitio. Los terrenos blandos están asociados con máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento, así como a un aumento de la duración de la sacudida<sup>8</sup>. Esto quiere decir que modificaciones locales del suelo traen como consecuencia diferencias considerables en cuanto a la intensidad, asociadas a su vez directamente con un mayor nivel de daños, incluso en terremotos moderados (Navarro et al., 2000) (Martínez Cuevas, 2014a).

Se produce un efecto de amplificación de los efectos del movimiento sísmico en capas superficiales. El suelo tiene un comportamiento con carácter de rígido no lineal más acusado que los edificios.

La ciudad de Lorca tiene una configuración desde el punto de vista del efecto de amplificación, debido a que en la zona vieja, la ciudad se levanta en ladera sobre roca, mientras que la zona nueva lo hace sobre suelos sedimentarios que están sometidos a efectos de amplificación. Dado que, como se ha comentado anteriormente, el sismógrafo está ubicado en la zona de la ciudad construida sobre roca, pueden existir barrios de la ciudad con registros superiores a los reflejados en el sismógrafo (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

A pesar de que el terremoto de Lorca se considera como un sismo de magnitud moderada, llama a la atención su alto poder destructivo así como el hecho de que el nivel de daños tan elevado está localizado en un área muy concreta y situada al suroeste del epicentro. El elevado nivel de daño vendría explicado tanto por la proximidad del epicentro de la ciudad de entorno a unos 5 km, como por la baja profundidad del foco que se localiza en torno a 4 ó 5 km. La propagación hacia el suroeste y su efecto de directividad es patente. El efecto sitio, favorecido por los terrenos blandos de tipo aluvial y con elevado potencial amplificador de la onda sísmica, explicaría sus efectos en determinadas zonas de la ciudad como son los barrios de la Viña, la Alberca o Alameda. En determinados estudios se ha llegado a detectar un efecto de resonancia (Navarro et al., 2012) que también hubiera contribuido a amplificar la onda sísmica. También se debe considerar los efectos del terremoto precursor de 4.6 Mw, que pudo llegar a debilitar las estructuras afectadas (González López S., 2017). La inexistencia de evidencia de vibración hacia la zona este del epicentro apoya esta teoría de la direccionalidad en la propagación (Guevara, 2011).

---

<sup>8</sup> Proyecto SISMO SAN, 2007

Los trabajos de campo realizados al respecto de la amplificación no cuantifican precisamente dicho efecto, llegando a identificar las capas del suelo que contribuyen a dicha amplificación y detectando la discontinuidad entre el suelo y la roca. El potencial destructor del terremoto suele venir referido y suele estar en función de la aceleración del suelo. En el caso de Lorca resultó ser tres veces más dañino que el terremoto previsto. Sin embargo la duración del terremoto o sus frecuencias pueden ser más importantes que la aceleración a la hora de determinar su potencial destructor (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

Tanto la NCSE-02 como el Eurocódigo 8 incluyen los tipos de suelo y su efecto amplificador de la aceleración tomada como básica para llegar a determinar la aceleración de cálculo. La NCSE-02 clasifica en 4 los tipos de terreno en función de la velocidad de ondas S en los 30 primeros metros, de la resistencia a la penetración en ensayos estáticos o dinámicos para terrenos granulares, e incluso de la resistencia a compresión simple para terrenos cohesivos, aportando en función de dicha clasificación un coeficiente de amplificación de la aceleración básica (Martínez Cuevas, 2014a).

El EC-8 clasifica el terreno en 7 tipos diferentes en base a los mismos parámetros referidos por la NCSE-02, con el añadido de que se generan mapas de microzonación sísmica útiles para establecer parámetros locales para el diseño urbano, permitiendo identificar ubicaciones adecuadas para edificios esenciales, así como para evaluar las condiciones sismorresistentes de los edificios existentes, llegando a identificar el riesgo sísmico de estas zonas y la necesaria aplicación de medidas restrictivas. También resulta adecuado como elemento de planificación ante un posible sismo (Martínez Cuevas, 2014a).

En muchos estudios (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)(p.a. y ss.) se analiza la influencia del suelo y el efecto sitio, entendiéndolo como el efecto de la geología local, dado a través del apoyo del depósito en la base. En función de si se trata de roca infinitamente rígida o de roca deformable esto supondría una disipación o un amortiguamiento. Según el estudio llevado a cabo por Seed e Idriss en 1969 en relación con el terremoto de San Francisco, los peores suelos están caracterizados por un mayor periodo predominante así como por el hecho de que el contenido de periodos altos del espectro aumenta.



La respuesta sísmica del terreno no es lineal, de modo que a mayor intensidad del terremoto el terreno se ablanda y se vuelve más flexible, además de que se da un menor aumento de la amplificación y los máximos espectrales.

En la Figura 3 se refleja el número de edificios que sufrieron daños en el terremoto de Caracas de 1967, en función del número de pisos y del periodo fundamental del depósito del suelo en segundos.

Se produce también una variación del espectro con las condiciones del suelo denominado rotura progresiva, consistente en que la formación de roturas provoca un aumento del periodo, y un aumento del espectro de aceleración en suelos blandos.

La topografía local también tiene un efecto sobre las consecuencias de los terremotos en los edificios, de forma que en terrenos no nivelados, si la longitud de onda sísmica es bastante inferior a 2 veces la anchura del accidente topográfico, se suele producir una amplificación de hasta un 200 % en caso de cima y laderas y una reducción de hasta un 65% en fondos de valle.

El terreno puede verse sometido a problemas de deformación permanente ante carga cíclica en caso de suelos sin cohesión y poco plásticos, pudiendo producirse densificación es decir compactación del suelo granular seco ante dicha carga cíclica o licuefacción en caso de suelos granulares saturados.

También hay que tener en cuenta los problemas de interacción entre el suelo y la estructura, ya que ambos poseen diferentes comportamientos dinámicos pudiendo considerarse las estructuras como sistemas finitos y lineales, mientras que los suelos se consideran semi-infinitos, inelásticos y capaces de guardar memoria de las deformaciones previas ocasionadas.

La respuesta será diferente en función de si la estructura está cimentada en suelo deformable o en una base rígida, pudiendo encontrar como componentes principales de este diferente comportamiento, el balanceo, el amortiguamiento del sistema estructura-suelo, así como los periodos y modos de vibración de la estructura en función de que su base sea flexible o rígida (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015).

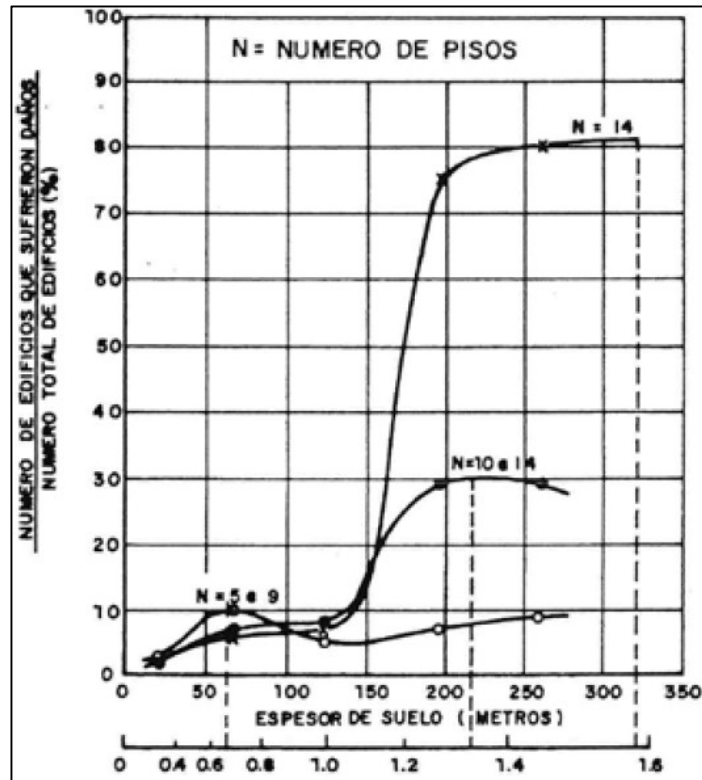


Figura 3 Efectos de la geología local observados en el terremoto de Caracas en 1967 (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)

### 2.2.2. Estudios de microzonación sísmica

La creación de mapas de peligrosidad sísmica se basa en la división geológica de áreas urbanas, que puede resultar compleja debido a la existencia del pavimento urbano. Para ello se parte del modelo geológico o tectónico a escala 1:50000, validado mediante geotecnia<sup>9</sup> o con la geofísica<sup>10</sup> (Alcalá et al., 2012).

En Lorca se inició el estudio geológico llevado a cabo por Alcalá et al, en el año 2006. La resolución de este tipo de estudios está en función del área a cubrir, de la complejidad geológica, de los datos obtenidos mediante prospección y de la posibilidad de realización de nuevos ensayos. También son factores determinantes el tiempo de ejecución y el aspecto presupuestario. Estudios

<sup>9</sup> Datos duros.

<sup>10</sup> Datos blandos.

llevados a cabo en Adra y Mula, sirvieron como experiencia previa para interpretar la amplificación mediante técnicas de ruido ambiental, en zonas sedimentarias no consolidadas, como son los rellenos antrópicos y aluviales. La velocidad de ondas de corte (ondas S) en los primeros 30 m es un parámetro característico en varios códigos sísmicos, como NCSE-02 y EC8 (Navarro, M. et al., 2012).

En Lorca se llevó a cabo la actualización de la cartografía geológica a escala 1:10000 (Alcalá et al., 2012), buscando la clasificación geológica y sísmica de las formaciones identificadas previamente, en base a propiedades geológicas como geometría, genética y edad, así como propiedades geofísicas y geotécnicas. Se trataba de asignar un rango de velocidades de onda S, a partir de parámetros geotécnicos, de datos obtenidos del análisis bibliográfico y de técnicas de ruido ambiental como medidas del periodo del terreno y ensayos SPAC<sup>11</sup> (Navarro, M. et al., 2012).

El estudio llega a identificar 17 formaciones geológicas mediante técnicas geomorfológicas con criterios topográficos, 14 catas, 40 sondeos mecánicos, 27 sondeos eléctricos verticales y 10 perfiles sísmicos de refracción obtenidos de la bibliografía, así como técnicas de ruido ambiental con las que se obtienen 74 periodos y 11 ensayos SPAC (Alcalá et al., 2012).

Existen expresiones que relacionan la resistencia mecánica con Vs, como (Alcalá et al., 2012):

$$V_s = x \cdot N^n$$

donde x toma valores entre 50 y 150, n entre 0.1 y 0.8 y N es el número de golpes en el ensayo de penetración estándar

Otros datos de Vs se obtienen partiendo del periodo dominante del terreno y relacionándolo con el espesor de materiales geológicos no consolidados, procedentes de sondeos mecánicos, mediante la siguiente expresión aplicable a emplazamientos con formaciones no consolidadas y suficientemente homogéneas:

$$V_s = 4H \cdot T^{-1}$$

---

<sup>11</sup> También conocidos como registros Array de componente vertical, son métodos de autocorrelación espacial para obtener Vs mediante la inversión de curvas de dispersión de ondas Rayleigh. Se trata de una innovadora técnica para determinar propiedades elásticas de depósitos sedimentarios superficiales.

En la Figura 4 se observan los periodos predominantes del suelo obtenidos mediante las medidas de vibración ambiente (Martínez-Pagán et al., 2014), pudiendo observar que en las zonas de roca del Norte y Oeste los periodos están entre 0.1 y 0.3 s, mientras que las zonas de formaciones cuaternarias no consolidadas de espesor variable del Este, oscilan entre 0.3 y 1 s, notándose un incremento de los mismos hacia el Sur Este.

Este estudio también se centra en la obtención de velocidades de ondas de corte  $V_s$  y de la geología local se basa en el empleo del análisis multicanal de ondas de superficie<sup>12</sup>, como herramienta para detectar huecos superficiales y delinear sistemas de fractura. En Lorca se llevaron a cabo 8 Km de transecto lineal de análisis MASW, que permite el empleo de diferentes fuentes coherentes de ruido, como directo, refractado, y ondas S y P reflejadas).

El estudio mencionado compara el promedio de velocidades de ondas S y la distribución del daño, concluyendo que en las zonas al Norte y Oeste de la ciudad se dio la existencia de velocidades de onda de entre 450 y 600 m/s asociadas a daños estructurales irrelevantes, mientras que en la zona del castillo de Lorca la velocidad supera los 600 m/s.

Por otra parte, las medidas de vibración ambiental también han servido para evaluar las características dinámicas de los edificios y comparar parámetros dinámicos, antes y después del terremoto del 11 de mayo de 2011. El estudio se llevó a cabo sobre 59 edificios de entre 2 y 12 plantas, 44 de ellos existentes en Lorca. Tras el terremoto el estudio se pudo repetir en 34 de estos edificios. Se estableció la relación empírica entre el periodo fundamental natural y el número de plantas, pudiendo observar que antes de Mayo la relación era  $T = (0.054 \pm 0.002) \cdot N$ , mientras que tras los terremotos pasaba a ser  $T = (0.075 \pm 0.002) \cdot N$ , con lo que se experimenta un aumento del periodo modal, consecuencia directa de la reducción de la rigidez de la estructura dañada. De la misma manera se analiza el factor de amortiguación antes y después de los terremotos de Lorca y Mula, llegando a la conclusión de que se reduce tras el sismo. (Martínez-Pagán et al., 2014).

---

<sup>12</sup> MASW

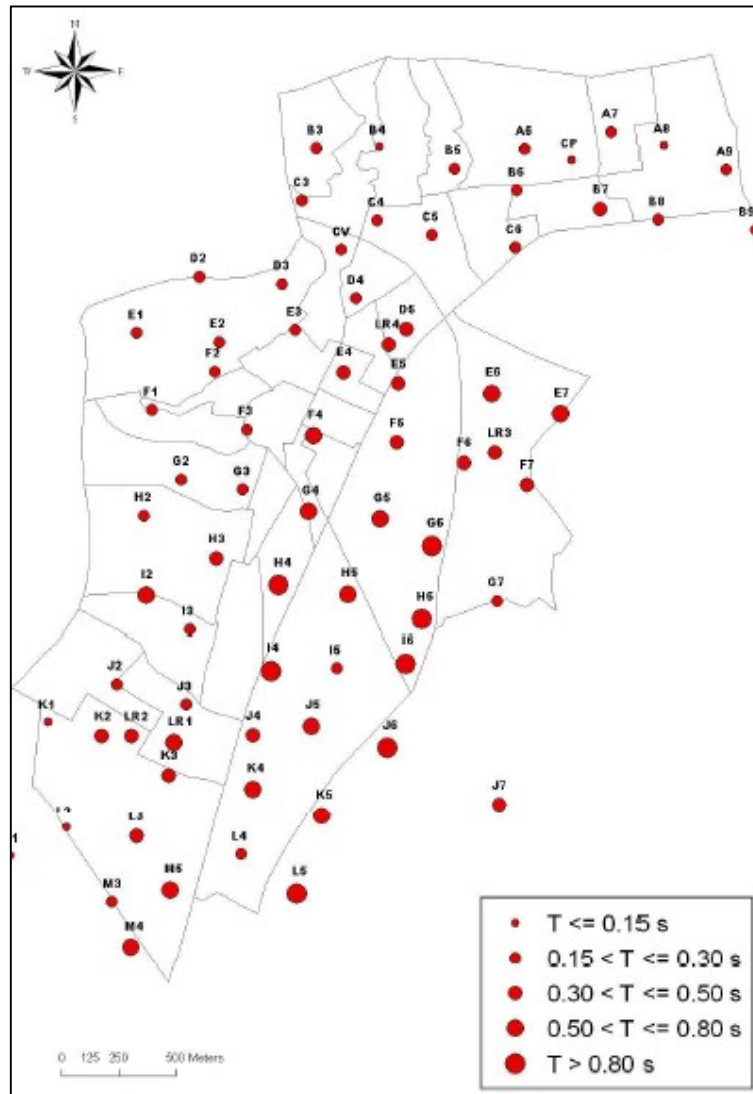


Figura 4 Distribución del periodo predominante del suelo en la ciudad de Lorca (Martínez-Pagán et al., 2014)

### 2.3. PARÁMETROS EDIFICATORIOS

Una acción sísmica como la ocurrida el 11 de mayo de 2011 en Lorca, tiene unas consecuencias en los edificios que están condicionadas por factores propios de la edificación y por factores impuestos por su ubicación en el entramado urbanístico. Se analiza en este punto el primer tipo de condicionantes.

### 2.3.1. Normativas sísmicas y conceptos sísmicos asociados al comportamiento

La norma sísmica establece como premisa de partida, el hecho de que después de un fenómeno sísmico de intensidad no superior a la esperada estadísticamente, el edificio debe seguir permaneciendo en pie, es más, debe permitir la evacuación de sus ocupantes absorbiendo la energía del impacto sísmico, de forma que ambas situaciones no resulten incompatibles entre sí. No obstante, uno de los aspectos en contra de la normativa sísmica actual es la falta de consideración respecto de las especificaciones sísmico-urbanísticas (Martínez Cuevas, 2014a).

La primera normativa de construcción española fue el código estructural de hormigón de 1939. Posteriormente, la normativa para acero desarrollaba las acciones de diseño, cargas muertas y vivas, así como acciones de viento y nieve. Las normas sísmicas españolas por orden cronológico son las siguientes (Aretxabala Díez, A. & Sanz Larrea, C., 2012) (Gómez-Martínez, Pérez-García, De Luca, & Verderame, 2015):

- MV-101 de 1962, con un mapa de zonificación de riesgo sísmico de la península ibérica basada en la escala de intensidad Mercalli.
- PGS-1 de 1968, dividía el territorio español en zonas A, B y C dependiendo de la intensidad sísmica en la escala MSK.
- PDS-1 de 1974, mismo año en que se constituyó la comisión permanente para la normativa de construcción sismorresistente. Se revisa en esta norma el mapa de riesgo manteniendo tres zonas. Se requiere consultar información local adicional para edificios, cuya destrucción después de un terremoto pudiera ocasionar la interrupción de un servicio esencial o tener efectos catastróficos. En 1975 se desarrolla la norma tecnológica española sobre cimentaciones e informes geotécnicos que desarrolla las bases para informe de suelo y criterios para desarrollar los estudios geotécnicos.
- NCSR-94, desarrolla el mapa de riesgo sísmico en base a valores de aceleración característica para un periodo de retorno de 500 años, así como el factor de contribución de suelo.
- NCSE-02, en vigor actualmente.
- Anexo 10 de la EHE-08 de carácter no obligatorio y que está orientado hacia el Eurocódigo 8 de 2004 que tampoco es obligatorio.

En la Tabla 4 se hace referencia a las características y elementos de la edificación controlados por las normativas sísmicas mencionadas. Como se puede observar se hace referencia a la jerarquía de resistencias, existencia de pilares cortos y la interacción de la tabiquería.

Norma	MV-101	PGS-1	PDS-1	NCSR-94	NCSE-02	EHE-08	EC8
Análisis modal	X	O	O	O	O	O	O
Peligrosidad en $a_g$	X	X	X	O	O	O	O
Análisis dinámico	X	X	X	O	O	O	O
Factor de estructura	X	X	X	O	O	O	O
Reglas de detalle de armado	X	X	X	O	O	O	O
Jerarquía de resistencias	X	X	X	XO	XO	O	O
Diseño de pilares cortos	X	X	X	X	XO	O	O
Diseño por capacidad	X	X	X	X	X	O	O
Pilares: límite compresión	X	X	X	X	X	O	O
Límite deformación	X	X	X	X	X	X	O
Irregularidad en alzado	X	X	X	X	X	X	O
Interacción de tabiquería	X	X	X	X	X	X	O
Restricción de forjado plano	X	X	X	O	X	X	X

**Tabla 4 Reglas de las diversas normas: incluido (O), no incluido (X), incluido sin cuantificar (XO) (Gómez-Martínez et al., 2015)**

Las normas básicas de edificación CT-79 y CA-82 sobre condiciones térmicas y acústicas, introduce cambios significativos sobre los sistemas constructivos, ya que los tejados y fachadas aumentan su espesor, se reduce el apoyo de la cara exterior de la albañilería sobre muros y parapetos y se aumentan los cantos de los forjados. En consecuencia se desarrolla la utilización de vigas planas de la misma altura que los forjados. Todo ello producía la reducción de la ductilidad derivados de criterios generales de diseño (Aretxabala Díez, A. & Sanz Larrea, C., 2012).

En el análisis del comportamiento de una estructura ante la acción sísmica hay una serie de conceptos cuya relación rige su cercanía al diseño sismorresistente establecido en la normativa (Gómez-Martínez et al., 2015)(p.a. y ss.).

La ductilidad de la estructura mediante la formación de rótulas plásticas como parte del mecanismo dúctil que permite absorber la energía del impacto sísmico, considera beneficioso la formación de estas rótulas en los extremos de las

vigas, mientras que son contraindicados mecanismos como el de planta débil o rotura frágiles. Sin embargo, parece que lo regulado en la NCSE-02 no resulta eficaz para tal fin.

Por otra parte, el establecimiento de una jerarquía de resistencias en la que el nudo prevalezca sobre la barra, el pilar sobre la viga, y el cortante sobre el momento, son de carácter cualitativo. La metodología existente para su cumplimiento se basa en requerir mayores coeficientes de seguridad para unos elementos que para otros, en lugar de operar directamente con las capacidades<sup>13</sup>.

El proyecto de pilares cortos por capacidad no es obligatorio y además tampoco se especifica el modo ideal de resolver su armado. Del mismo modo tampoco se previene la formación de pilares cautivos por tabiquería y cerramientos.

La normativa actualmente en vigor no impide que la acción de la tabiquería sobre la estructura sea un punto débil del proyecto. Dicho efecto tiene dos vertientes: por un lado es beneficioso, ya que aumenta la rigidez y resistencia inicial, y por otro es perjudicial ya que aumenta la demanda espectral debido a una reducción del periodo que tiene como consecuencia una reducción de la resistencia global asociada a su rotura frágil, así como una reducción de la capacidad de desplazamiento total.

El EC8, a pesar de no considerar directamente la tabiquería en el modelo estructural analizado, trata de controlar la irregularidad en altura mediante la reducción del factor de estructura y la compensación de la resistencia perdida, incrementando la de los pilares. También alarga las regiones críticas en pilares cautivos o con tabiquería a un solo lado. Con todo ello, junto con la limitación del desplazamiento lateral y el proyecto por capacidad, se dota al edificio una rigidez y resistencia, de tal forma que se permite no considerar el efecto de la tabiquería sin menoscabar la seguridad.

Por ello, las sucesivas normas han permitido soluciones estructurales a base de forjados planos con ausencia de pantallas de cortante, empleando pilares de menor sección o incluso cortos o cautivos y con estribado insuficiente, así como una reducción de la tabiquería y un incremento de la altura libre en planta baja (Gómez-Martínez et al., 2015).

---

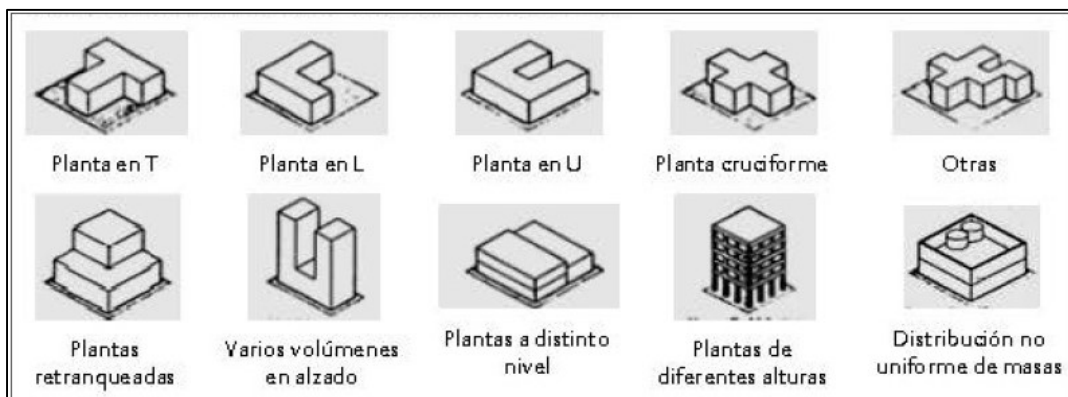
<sup>13</sup> Esto ha producido la sustitución del anexo 10 de la EHE por un procedimiento similar al indicado en el EC8.



Autores como Donaire et al., 2012 han comprobado que cerramientos y tabiquerías han aumentado la rigidez de los edificios y modificado su comportamiento durante el sismo. Esta situación se ha dado hasta su ruptura, provocando los cambios de rigidez en altura mediante su concentración en las plantas superiores (Feriche, Vidal, Alguacil, & Navarro, 2012)

En el artículo 4.2.1 de la NCSE-02 se hace referencia a los parámetros urbanísticos. En dicho artículo se alude a la simetría y regularidad en planta, dotando de elementos resistentes y de arriostramiento de dos ejes de simetría ortogonales. Cuando por diseño sea necesario acudir a edificios asimétricos, dicha simetría se conseguirá mediante estructuras simétricas separadas en cuerpos regulares independientes mediante juntas verticales adecuadas. También hace referencia a la regularidad en alzado evitando cambios bruscos de forma o de rigidez entre plantas.

La Figura 5 hace referencia a las configuraciones irregulares en planta que aparecen en la guía para definición de una estrategia antisísmica en el proyecto de edificios de nueva planta de 2012 (Martínez Cuevas, 2014a).



**Figura 5 Configuraciones irregulares en planta  
(Martínez Cuevas, 2014a)**

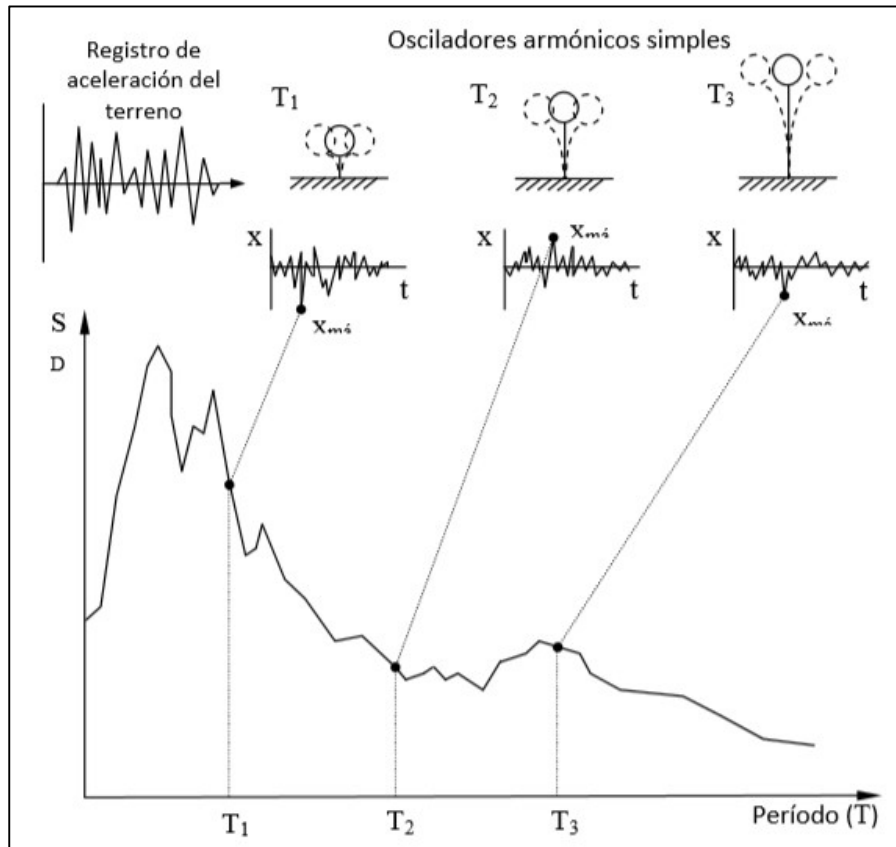
El artículo 4.2.3 de la NCSE-02 hace referencia a la necesaria distribución uniforme y simétrica de rigideces en planta, así como a la variación gradual de rigideces a lo largo de la altura. La Figura 6 hace referencia a los cambios bruscos de capacidad resistente frente acciones horizontales, así como de rigidez lateral.



Figura 6 Falta de continuidad en la estructura vertical y cambios de rigidez (Martínez Cuevas, 2014a)

### 2.3.2. Espectro de respuesta

El espectro de respuesta se determina en base al sismograma que simplemente es un gráfico aceleración-tiempo representativo del sismo. El espectro de respuesta es una gráfica que representa la respuesta máxima esperada para un amortiguamiento determinado (ordenadas), en función del periodo o frecuencia propia de la estructura (abscisas). Esta gráfica (Figura 7) se obtiene mediante el empleo de un peine de osciladores de un grado de libertad sometidos a la aceleración sísmica, determinando la amplitud máxima de respuesta en términos de desplazamiento, velocidad y aceleración. Cada uno de estos péndulos que componen el peine representa diferentes edificios con diferentes periodos. Cuando el periodo fundamental del suelo coincide aproximadamente con el periodo de vibración propio de alguno de los péndulos, éste estará en resonancia y sufrirá una modificación de la aceleración, con respecto a la aceleración del suelo. En la norma de construcción sísmica española aparecen espectros elásticos de respuesta modificados según el amortiguamiento y la ductilidad, aportando diferentes espectros según la cimentación y comportamiento sísmico (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015).



**Figura 7** Proceso de creación del espectro de respuesta  
(Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)

El estudio del acelerograma es fundamental para entender las acciones a que son sometidas las edificaciones en caso de terremoto (Álvarez Cabal, R., et al., 2013). Mediante él se determinan las fuerzas que actúan sobre los objetos en base a aceleración que se les aplica, siendo la masa el factor de proporcionalidad<sup>14</sup>. En función de que la unión de los elementos sometidos a estas aceleraciones con el suelo sea rígida o a través de un elemento flexible, los desplazamientos que se experimentan serán diferentes.

El método de los espectros de respuesta es el más utilizado para describir el efecto de los terremotos sobre los edificios y estructuras. Si imaginamos un

<sup>14</sup> La fuerza horizontal que en el caso de Lorca experimentaron los elementos afectados por el terremoto llegó a ser del 36% del peso.

forjado de una cierta masa sobre unos pilares, la fuerza lateral aplicada sobre el forjado como consecuencia del terremoto sería la multiplicación de su masa por la aceleración, que ya no sería la del suelo. En este caso la aceleración sería mucho mayor que la del suelo. También se aplicarían sobre el forjado las fuerzas elásticas que sobre él ejercerían los pilares, así como las fuerzas de amortiguamiento. La aceleración depende de las características del edificio y en definitiva de su periodo. Esta relación viene determinada a través del espectro de respuesta. En el caso del espectro de respuesta del terremoto de Lorca, se determina que para estructuras con un periodo fundamental muy bajo y llevadas a cabo normalmente a base de pilares muy rígidos o forjados muy ligeros, los movimientos del forjado y del suelo son prácticamente iguales, ya que las aceleraciones de ambos son muy semejantes. En caso de estructuras con periodos muy altos, llevadas a cabo normalmente con pilares flexibles o forjados muy pesados, los forjados no llegarían a moverse debido a que los pilares son tan flexibles que no llegarían a transmitir desplazamiento.

El periodo se define como el tiempo que tarda la estructura en volver a su posición inicial para un desplazamiento dado, cuando casi no existe amortiguamiento. Para valores de periodo habituales en edificación se dan amplificaciones importantes. Por ejemplo en un edificio con un periodo fundamental próximo a 0.5 segundos, periodo frecuente en caso de un edificio de estructura de hormigón armado de entre cinco y seis alturas, las fuerzas máximas equivaldrían a multiplicar la masa por una aceleración aproximada del 80% de la gravedad.

El Eurocódigo de sismo plantea dos tipos de espectros para un mismo sismo probable: uno para sismos de magnitud moderada y alta, y otro para sismos próximos y de baja magnitud. Para cada localidad sería necesario conocer el sismo probable, aplicando el espectro que corresponda.

Por otra parte, están los espectros de desplazamiento que recogen valores máximos del desplazamiento relativo entre elemento analizado y el suelo en función del periodo de la estructura (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)(p.a. y aa.).

El diseño sismorresistente que trata de proporcionar a la estructura la rigidez y resistencia suficiente, aconseja desacoplar suelo y estructura. Se ha podido comprobar la existencia de mayores daños en estructura flexible situada sobre suelos blandos, así como en estructuras rígidas sobre suelos firmes. Es por

tanto recomendable el empleo de estructuras flexibles sobre suelo firme y de estructuras rígidas sobre suelo blando (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015).

### 2.3.3. Efectos del sismo en las estructuras

Tras un primer eslabón en el que se realiza el cálculo de la peligrosidad sísmica, en un segundo eslabón del cálculo sísmico aparece la determinación del efecto de un movimiento probable. Dicho efecto alude directamente a los daños, para cuya determinación existen diferentes escalas de medida. La Tabla 5 hace referencia a la escala intensidades de Mercalli modificada (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015).

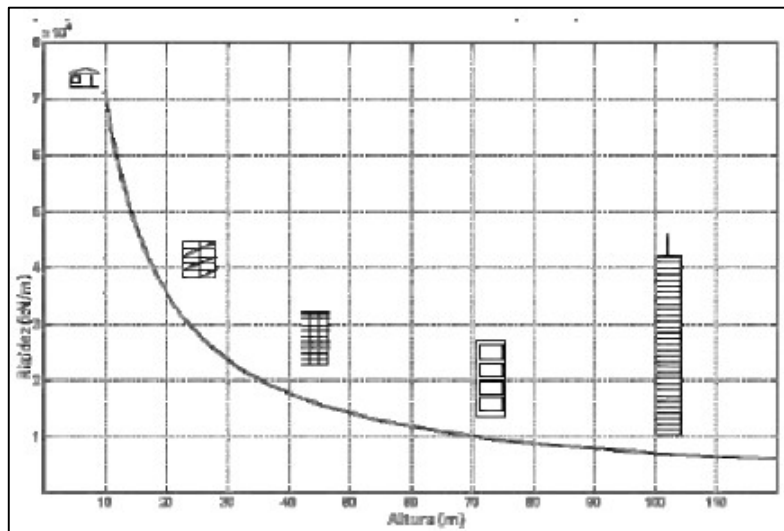
Grado	Efectos del terremoto
I	Muy débil. Microsismo, detectado por instrumentos
II	Débil. Sentido por algunas personas (generalmente n reposo)
III	Leve. Sentido por algunas personas dentro de edificios
IV	Moderado. Sentido por algunas personas fuera de edificios
V	Poco fuerte. Sentido por casi todos
VI	Fuerte. Sentido por todos
VII	Muy fuerte. Las construcciones sufren daños moderados
VIII	Destructivo. Daños considerables en estructuras
IX	Ruinoso. Daños graves y pánico general
X	Desastroso. Destrucción de edificios bien construidos
XI	Muy desastroso. Casi nada queda en pie
XII	Catastrófico. Destrucción total

**Tabla 5 Escala Mercalli Modificada (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)**

Cuando la onda sísmica llega al edificio, la inercia inducida por el mismo depende de determinados factores como la masa del mismo. El comportamiento pendular del edificio ante la acción sísmica depende de su altura, que influye directamente en su periodo. Los factores altura, periodo y aceleración están relacionados de la siguiente manera: edificios altos están relacionados con mayores periodos de oscilación. Muchos registros de terremotos indican que los sismos suelen concentrar su energía y mayores aceleraciones en periodos cercanos a 1/2 segundo. Como parámetro dinámico asociado al comportamiento de estructuras durante el sismo encontramos el amortiguamiento, entendido como el proceso de recuperación del reposo tras la vibración y que está asociado a un

mecanismo que supone la disipación de la energía cinética y potencial del sistema. En realidad se trata de varios mecanismos como la producción de microfisuras en el hormigón, la fricción entre uniones, así como entre elementos estructurales y no estructurales y el agotamiento por fatiga del material.

Por otra parte la rigidez se puede definir como la oposición a la deformación de una estructura ante una fuerza aplicada, limitando desplazamientos y deformaciones en función de las propiedades elásticas del material. Por lo tanto, es un parámetro relacionado directamente con el modo de vibración. El espectro de respuesta viene definido en función al periodo de oscilación y la frecuencia. En la Figura 8 se relaciona la rigidez con la altura, pudiendo concluir que la rigidez de un edificio ante acciones horizontales se reduce proporcionalmente conforme aumenta la altura.



**Figura 8 Relación entre la altura y la rigidez en un edificio**  
(Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)

La masa es otro parámetro dinámico relacionado con la aparición de fuerzas de inercia ante acciones sísmicas, debido a lo cual suele recomendarse que la estructura sea lo más ligera posible. Sin embargo un aumento de la altura del edificio conlleva inexorablemente un aumento de la masa, pero también supone un aumento de la fricción en los nudos. Este aumento de fricción trae como consecuencia un aumento del amortiguamiento y una mejor capacidad para disipar la energía del impacto sísmico a través de la fuerza de rozamiento.

En la Figura 9 se relaciona el número de plantas y el amortiguamiento, pudiendo que dicho coeficiente de amortiguamiento está más influenciado por la masa del edificio que por su periodo de vibración.

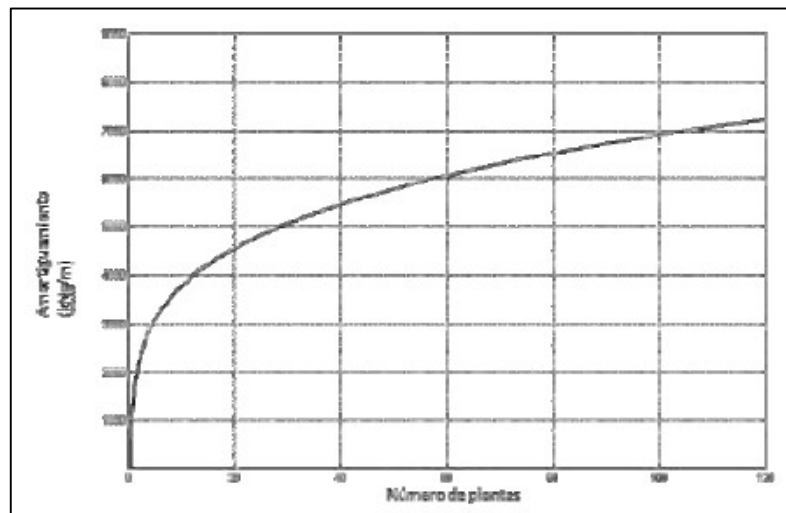


Figura 9 Relación entre la altura y el amortiguamiento en un edificio (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)

El parámetro dinámico conocido como frecuencia de resonancia trae como consecuencia una amplificación del movimiento sísmico. Cuando el diseño de la estructura se hace pensando en su funcionamiento adecuado en estado elástico, se produce una incertidumbre en el comportamiento cuando la acción sísmica la fuerza a trabajar en estado plástico. Sobre la resonancia también tiene implicación el terreno y la cimentación, así como el amortiguamiento debido al sistema estructural. La resonancia trae como consecuencia la superación del límite elástico, rotura de elementos resistentes y deformación. Se puede concluir que las estructuras más flexibles están asociadas a menores frecuencias de resonancia que en el caso de estructuras rígidas. Como ejemplo sirva el hecho de que para edificios de una planta y llevados a cabo a base de muros de mampostería, la frecuencia de resonancia es aproximadamente seis veces mayor que en el caso de una estructura de la misma dimensiones pero llevada cabo con estructura metálica.

En el comportamiento plástico de una estructura existe un concepto fundamental: la ductilidad. Se trata de la capacidad para disipar energía dentro

del rango de comportamiento plástico. En el caso de estructuras porticadas este concepto toma fuerza al relacionarse con el tipo de unión conocido como columna fuerte-viga débil. Se favorece de este modo la absorción de la energía del impacto sísmico a través de la formación de rótulas plásticas en los extremos de las vigas, garantizando que no se produzca el colapso global. Este hecho también está relacionado con la capacidad de aviso del elemento estructural afectado por las rótulas plásticas, de modo que en el caso de las vigas se producen daños en determinados puntos que ponen al edificio en una situación de daño con cierto retraso respecto al momento del colapso. Sin embargo, los pilares colapsan sin aviso previo, o al menos con menor margen entre el momento de la formación de la rótula plástica y el colapso (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015).

La simetría en planta de los edificios también tiene importancia sobre el comportamiento ante la acción sísmica. Dicha importancia viene del efecto que sobre la aparición de esfuerzos torsores tiene la distancia existente entre el centro de gravedad y el centro de tracción. Cuanto más nos aproximemos a la disposición simétrica, más cerca estarán dichos puntos, de modo que al reducirse esta excentricidad también se verá reducida la posibilidad de que aparezca este tipo de esfuerzos.

Incluso en disposiciones en planta regulares se produce una concentración de esfuerzos en las esquinas cuando la dirección del sismo es diagonal respecto a la planta, lo cual suele verse amplificado cuando el centro de masas y el de rigidez no coinciden. Ante la posibilidad de que existan efectos de torsión suele ser aconsejable la disposición de elementos resistentes al sismo en el perímetro del edificio (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)

La torsión espacial está relacionada con los cambios bruscos en rigidez estructural y de masas, y origina concentraciones de esfuerzo. Esta suele ser debida a excentricidades en planta y a asimetrías en muros de corte y pórticos o debidos a la distribución asimétrica de la tabiquería. Los cambios bruscos de rigidez en planta se suelen evitar mediante diseños de pórticos que no sean de mayor resistencia en una dirección que en otra. Esto ocurría tradicionalmente en el diseño de estructuras porticadas en las que se disponía un pórtico principal y perpendicularmente un secundario de arriostramiento. En caso de sismo se



llegaban a observar daños en la dirección de los pórticos (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)(p.a. y aa.).

Por otra parte, la torsión origina fuerzas y desplazamientos adicionales en algunos elementos de resistencia lateral, de modo que los códigos de diseños estructurales requieren considerar los efectos de torsión mediante la aplicación de fuerzas estáticas equivalentes a una distancia del centro de rigidez, que origina momento torsional de piso además de fuerzas cortantes. La torsión accidental en un edificio se debe a posibles errores en la evaluación de la distribución de la masa y de la rigidez e introduce cierta incertidumbre en las características estructurales del edificio.

La respuesta de una estructura ante un sismo está relacionada con su inercia y se aplica sobre los centros de masa de cada piso. La fuerza de inercia se contrarresta por la fuerza resistente del sistema cuya resultante pasa por el centro de rigidez. Pero cuando los centros de rigidez no coinciden con los de masa, las fuerzas sísmicas originan la torsión de la estructura. Se considera que las estructuras asimétricas son aquellas en las que los centros de masa y de rigidez no coinciden (Rueda & Rondón, 2005)(p.a. y a.).

Tradicionalmente se ha recomendado el diseño y ejecución de estructuras redundantes y dúctiles, es decir, capaces de redistribuir los esfuerzos ante la formación de rótulas plásticas. Como se ha mencionado anteriormente la distribución simétrica en planta evita que se produzcan zonas de concentración de esfuerzos, lo cual está directamente asociado con la consecución de la redistribución de esfuerzos y el concepto de redundancia.

La configuración de edificios tanto en planta como en altura en los que son patentes cambios bruscos tanto en la rigidez como en sus masas, resultan problemáticas ante aceleraciones sísmicas. Como hemos visto anteriormente la falta de simetría en planta provoca cierta excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez, lo cual se asocia a problemas de torsión. En este sentido la existencia de plantas débiles, como pueden ser las plantas bajas poco compartimentadas en edificios en los que el resto de plantas si lo están, pueden provocar colapsos parciales o totales. Por el contrario y como se ha observado en el comportamiento de determinadas estructuras históricas tras terremotos, las estructuras de fábrica con una elevada densidad de elementos resistentes en su planta baja absorben el esfuerzo cortante asociado al sismo.

La ductilidad permite reducir la posibilidad de que durante un sismo se produzca un fallo frágil, de modo que incluso la norma sismorresistente permite una reducción de la carga sísmica en función de la ductilidad. Existen determinadas ejecuciones o diseños que hacen que la estructura pierda ductilidad. Un claro ejemplo son las vigas y columnas cortas en las que se produce una acumulación de cortantes y se aumenta la probabilidad de rotura frágil. En el caso de las vigas una opción para mejorar la ductilidad sería reducir su refuerzo longitudinal para inducir el fallo por flexión y evitar el de cortante. El caso de los pilares cortos se podría evitar tanto en el diseño de la estructura como en el diseño de los cerramientos, ya que en muchas ocasiones estos condicionan y limitan los desplazamientos del pilar ante aceleraciones sísmicas.

El elemento que mantiene unidos los elementos estructurales, permitiendo el movimiento ante la aceleración sísmica, es el nudo. Debe ser lo suficientemente dúctil para permitir la disipación de la energía sísmica mediante deformaciones. Esta absorción de energía se produce ante la plastificación del material, es decir, ante la ruptura que evite la rotura frágil. Se suele establecer un orden de colapso en los elementos estructurales, de modo que lo que interesa durante un terremoto es acotar los daños en planta sin agravar la situación global del edificio. Esto se consigue mediante el diseño de vigas más débiles que los soportes.

Es frecuente que en la estructura de un edificio entren a formar parte diferentes sistemas estructurales. Se debe analizar la compatibilidad entre todos los elementos ante aceleraciones sísmicas, debiendo resultar compatibles sus deformaciones. Es el caso de la existencia de muros de corte diseñados para soportar cargas laterales, forjados, etc. En el caso de los forjados, aunque hay elementos situados a iguales alturas a los que corresponden iguales aceleraciones, si la longitud de este elemento es elevada no responde como una unidad, ya que la propagación de ondas sísmicas no es instantánea, dependiendo de la naturaleza del terreno y del tipo de estructura. La cimentación vibra con distintas aceleraciones (asincrónica), lo que se traduce en esfuerzos longitudinales de tracción, compresión y desplazamiento longitudinales. La redistribución de esfuerzos ante carga sísmica queda confiada a la suficiente rigidez del forjado.

Con respecto a los elementos no estructurales como tabiques o fachadas, estos provocan la rigidización de la estructura, pudiendo llegar a introducir esfuerzos de torsión.

Otro factor importante relacionado con el daño por terremoto es la separación de los edificios con respecto a sus colindantes. La diferente altura de los edificios colindantes con respecto al edificio estudiado, hace que el modo de vibración sea diferente pudiendo producir colisiones entre ambos. Para evitarlo existe la opción de separar adecuadamente los edificios, diseñar estructura más rígida, incluso emplear elementos que disipen la energía del impacto entre las colindancias (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)(p.a y aa.).

#### **2.3.4. Tipologías edificatorias y efectos del sismo en Lorca**

En Lorca conviven diferentes tipologías constructivas en función de la época de que se trate: estructura tradicional a base de muros de carga de mampostería de piedra, con forjados de madera que no actúan como diafragma ya que no están anclados a los muros; en otros casos la fábrica de ladrillo, más ligera que la piedra, mejora la unión entre elementos verticales lo que supone una reducción de la vulnerabilidad respecto a otras soluciones constructivas; la estructura tecnológica a base de hormigón armado que comenzó puntualmente en los años 20 y se generalizó a partir de los 50 hasta convertirse en predominante los edificios de nueva planta a partir de los años 70. Tras el reconocimiento de las construcciones de hormigón armado, se llega a la conclusión de que predomina la estructura base de pilares de hormigón armado con forjados unidireccionales o bidireccionales y planta baja destinada a local comercial. (Feriche et al., 2012).

La realidad descrita nos permite explicar los efectos de este terremoto en relación al grado de vulnerabilidad del parque inmobiliario de Lorca, en el que podemos encontrar que el 76% de los inmuebles son de mampostería, aunque el 22% de las viviendas están situadas en edificios de hormigón armado. Observando los daños producidos en este tipo de edificios de hormigón armado se llega a poner en duda que las prestaciones sismoresistentes fueran las adecuadas (Murphy, 2012)(González López S., 2017).

Otro sistema existente pero con menor representatividad son los edificios de estructura metálica. Los edificios con elevado nivel de autoconstrucción presentaban mezclas en los anteriores sistemas constructivos, dándose esta realidad sobre todo en construcciones existentes en pedanías o diputaciones (Carreño Tibaduiza et al., 2013)

### Estructura de muros

Son elementos estructurales sometidos a esfuerzos de compresión por las cargas que gravitan sobre ellos. Se trata de construcciones en las que la simplicidad, regularidad y simetría son sus características principales. Son elementos muy rígidos y resistentes frente a acciones contenidas en su plano, pero frente a acciones perpendiculares a su plano presentan una rigidez y resistencia muy inferiores (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)(p.a. y ss.).

El muro aislado sometido a una acción perpendicular a su plano se comporta con voladizo simple, de forma que para resistir este tipo de acciones se recurre a dos mecanismos: aumentar el peso en cabeza de tal forma que se consiga una compresión de las secciones, solución no adecuada en zonas sísmicas, o recurrir a un arriostramiento lateral, es decir, a muros perpendiculares. En este caso se debe tener en cuenta la distancia entre estos muros de arriostramiento, las uniones entre muros de carga y de arriostramiento en lo que se ha venido llamando enjarges, y que evitaría la separación entre ambos muros ante acciones sísmicas. También se tienen en cuenta otra serie de exigencias de estabilidad como son el confinamiento de fábricas entre verdugadas, y el refuerzo de huecos en cuyas esquinas se producen concentraciones de esfuerzos.

Otro sistema de arriostramiento tradicional es el atado horizontal mediante los forjados. En este caso el forjado para cumplir su objetivo de arriostramiento debe tener unos mínimos de rigidez y resistencia en su plano para que pueda considerarse monolítico. Cuando las viguetas unen muros de rigidez similar, ambos se mueven en fase de manera que ninguno ejerce sobre el otro una función de coacción. Por el contrario si se unen muros de rigidez diferente se produce un movimiento en contra fase, donde el muro de mayor rigidez trataría de impedir el desplazamiento del más flexible, con lo que se transmiten esfuerzos al forjado, pudiéndose producir deslizamientos en las uniones entre las viguetas y los muros.

Se corresponden con las estructuras de mayor antigüedad, de modo que no se han encontrado edificios de este tipo entre las construcciones recientes. Sin embargo, si se han encontrado edificios relativamente recientes realizados bajo este esquema estructural que corresponden a viviendas construidas o ampliadas por sus propietarios sin el soporte técnico de personal especializado. Ello conlleva una baja calidad de la construcción y el empleo de materiales inadecuados sin el

mínimo aparejo. La mayor antigüedad de este tipo de construcciones también está relacionada con la degradación por los agentes ambientales, como pueden ser humedades de capilaridad que aparecen en las entregas de las viguetas en los muros y por el ataque de insectos (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

### Hormigón armado

La mayoría de los edificios de hormigón armado están constituidos por un sistema de pilares y forjados planos, cuyo comportamiento antisismo depende de las prácticas constructivas llevadas a cabo en la zona. Hay una serie de errores típicos que se han llegado identificar como son: pilares cortos, cauticos, plantas bajas blandas, falta de confinamiento de los pilares, cerramientos no conectados a la estructura, elementos no estructurales no anclados, y juntas sísmicas de dimensión insuficiente entre edificios.

Un caso especial corresponde a las estructuras que disponen de forjado reticular con nervios en dos direcciones perpendiculares y que se apoyan en los pilares a través de secciones macizas de hormigón armado conocidas como ábacos y con ventaja arquitectónica por no atravesarse por vigas de canto. El hecho de no disponer de vigas y nudos impide la realización de un diseño dúctil, dependiendo dicho diseño de la rigidez y resistencia, así como la posibilidad de transferencia de tensiones entre pilares y forjado. En Lorca se han observado varios casos de estructuras con pilares dañados en sus extremos mientras que los forjados permanecían sin daños. Se trata de un caso de pilar débil y forjado fuerte que redundaría en una posible forma de rotura frágil del edificio (Carreño Tibaduiza et al., 2013)(p.a. y a.).

En otras publicaciones (Álvarez Cabal, R., et al., 2013) se hace referencia a que a partir de mediados del pasado siglo se va abandonando progresivamente las construcciones a base de muro de carga en pro de las estructuras de "barras", fundamentalmente de hormigón armado. Durante los primeros años las construcciones de hormigón armado se llevaron a cabo empleando ladrillo como encofrado perdido, lo que ocasionaba una conexión perfecta entre los paños de fábrica y el pórtico de hormigón originando una estructura mixta que trabajaba de forma unitaria. Un ejemplo de ello son algunos edificios encontrados en el barrio Alfonso X el Sabio. Con respecto a la estructura horizontal, esta se llevó a cabo mediante vigas de canto y forjado de viguetas prefabricadas de hormigón

armado que en pocos años pasarían a ser sustituidas por viguetas pretensadas. Normalmente este tipo de forjados carecen de capa de compresión, pudiendo encontrar distintos tipos de rellenos como elementos de entrevigado. En esta época los edificios todavía no superan las 4 o 5 alturas, encontrando vanos con luces en torno a los 4 m. En este tipo de edificio los cerramientos se integran en la estructura que se apoya en todo su espesor. Se trata de rellenos con un evidente componente estructural, de modo que la solidez de estos paños de fábrica contribuye a la resistencia.

Posteriormente, se vio cómo los edificios aumentaban tanto en el número de plantas como en las luces de sus vanos mediante el empleo de soluciones mixtas a base de vigas metálicas sobre pilares de hormigón armado. Esta solución es totalmente inadecuada desde el punto de vista del comportamiento frente a aceleraciones sísmicas. La evolución de las tipologías constructivas lleva a que las fachadas comienzan a apoyarse parcialmente sobre los frentes de forjado, y se alzan sobre las cubiertas en forma de petos. .

A finales de los años 70 ya se construían edificios de más de ocho plantas de altura con forjados unidireccionales sin capa de compresión, en los que los soportes se dimensionaban casi exclusivamente en base a las solicitaciones gravitacionales. Ya en los años 80 se generaliza el empleo de vigas planas y forjados con capa de compresión, ganando dichos forjados canto tratando de dar respuesta a los problemas de deformación que surgían como consecuencia del empleo de soluciones esbeltas. En esta época las fachadas comienzan a pasar por debajo de los frentes de forjado apoyándose en perfiles metálicos cuyo anclaje puede resultar cuestionable frente a acciones horizontales. El estado de los edificios previo a los terremotos del 11 de mayo dejaba entrever una serie de problemas previos, como era la corrosión de las armaduras atribuida tanto a la mala calidad del hormigón como a la deficiente ejecución (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)(p.a. y aa.).

Estructura metálica (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)

Tienen un buen comportamiento debido fundamentalmente a las propiedades del material. Su diagrama tensión-deformación tiene una gran rama plástica, guardando una directa relación con el concepto de ductilidad, definido

por la relación entre la deformación máxima y la deformación en el límite plástico. El concepto de ductilidad también está relacionado con la capacidad de generar rótulas plásticas que disipan la energía del impacto sísmico, siendo fundamental el control de en qué zonas se producen dichas rótulas. En función del tipo de pórticos en estas estructuras encontraremos un diferente comportamiento ante la acción sísmica. Los pórticos traslacionales de nudos rígidos son adecuados en zona sísmica, siempre que los muros, escaleras y otros elementos no sean continuos, de forma que su rigidez no altere su comportamiento. Lo ideal es conseguir que su comportamiento sea progresivamente plástico y que la sección en la que se produzca la plastificación pertenezca a una viga y no a un pilar, lo que haría colapsar la estructura.

Sin embargo en el caso de entramado de nudos concéntricos, llevados a cabo a base de pórticos arriostrados intranslacionalmente, son de menor ductilidad que los pórticos traslacionales de nudos rígidos. Cuando las diagonales son en V aportan menor ductilidad que cuando son en X. Las diagonales traen como consecuencia mayor axil sobre los pilares y por tanto mayor probabilidad de pandeo.

En este tipo de estructuras el diseño de uniones debe tener en cuenta que los pilares deben tener mayor margen que las vigas, lo que se consigue diseñando uniones a base de un pilar fuerte y una viga débil. Para ello se debe reducir la capacidad de las vigas y permitir a las diagonales plastificar previamente. En este tipo de uniones a base de un pilar fuerte y una viga débil, la relación entre la resistencia de extremos de las columnas y vigas debe ser tal que permita que el sumatorio de momentos en la columna sea mayor que el sumatorio de momentos en la viga.

La instrucción de estructuras de acero en edificación intenta proteger este tipo de estructuras del sismo, mediante la prevención de determinados fenómenos como el desgarro laminar, defectos de entalla, cruce de cordones de soldadura y forma de acometer elementos de gran espesor asociados a roturas frágiles.

### 2.3.5. El patrimonio histórico-artístico de Lorca

El patrimonio edificado del municipio de Lorca está estructurado en tres niveles o categorías (Salcedo Hernández, J.C., & Campesino Fernández, A.J., 2012):

- Edificios singulares, civiles y religiosos de mayor categoría patrimonial con grado I y II, con declaración o incoación como monumentos nacionales o bienes de interés cultural.
- Edificios con interés arquitectónico y carácter de vivienda tradicional de los siglos 19 y 20 con categoría grado III.
- La trama viaria y la zona urbana del centro histórico, que conforman el molde urbano característico de Lorca y supone el soporte de los elementos arquitectónicos.

El centro histórico de Lorca fue declarado conjunto histórico-artístico por Decreto 612/1964, de 5 de marzo. Posteriormente con la Ley 16/1985, de 25 junio del patrimonio histórico español, pasó a tener consideración de bien de interés cultural con categoría de conjunto histórico.

El Plan General de Ordenación Urbana de 2003 de Lorca recoge el perímetro del conjunto histórico y lo divide en los sectores I y II. Como figuras de protección puestas en marcha desde el año 2000 destacan para el sector I, el Plan Integral para Barrios Altos de Lorca, el Plan Especial de Protección de la Muralla de Lorca y para el sector II el Plan Especial de Protección de Rehabilitación Integrada del sector dos del conjunto histórico de Lorca (Salcedo Hernández, J.C., & Campesino Fernández, A.J., 2012).

La pérdida de enlaces, tan frecuente en las edificaciones históricas de Lorca a base de muros de carga de mampostería con forjados de poca rigidez llevados a cabo con viguetas de madera y revoltón pero con escasa traba con el muro que la soporta, está asociada a una vulnerabilidad tipo A según la escala macrosísmica EMS-98. Tras el sismo se suelen ocasionar grandes grietas verticales que suponen la pérdida de traba entre los testeros perpendiculares y las fachadas. Normalmente se trata de secciones llevadas a cabo a base de mampostería de piedra donde los mampuestos se ordenan en las caras exteriores del muro y el interior se rellena con material más deleznable, de manera que el muro finalmente tiende a comportarse como dos hojas independientes. En Lorca se dio el caso de



que en muros aparentemente muy sólidos realizados a base de sillería con un alma a base de relleno de mortero de cal y pequeños mampuestos, se produjo el desprendimiento de su cara exterior (Rodríguez-Pascua, M.A. et al., 2012).

### 2.3.6. Escenario de daño

Se analizan a continuación los daños directos ocasionados tras un evento sísmico, dejando de lado los indirectos que serían aquellos producidos o por fuego, liberación de materias peligrosas, inundaciones, etc., eventos todos ellos provocados por un terremoto. Hasta que se produzca el colapso total, el daño suele comenzar en un elemento crítico que provoca o intenta provocar una redistribución de esfuerzos, en función de la cual puede producirse el fallo en cadena (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015).

Los informes de daños del Ayuntamiento de Lorca<sup>15</sup> clasifican la intensidad máxima según la escala EMS-98 como de grado VII. Este grado se clasifica como dañino y se describe como una serie de efectos sobre las personas y elementos de la siguiente manera: la mayoría de las personas se asustan intenta correr fuera de los edificios, para muchos es difícil mantenerse de pie, especialmente en plantas superiores, se desplazan los muebles y pueden volcarse los que sean inestables, caída de gran número de objetos de las estanterías, salpica el agua de los recipientes, depósitos y estanques (Guevara, 2011).

Según el visor de daños del Ayuntamiento de Lorca, el jueves 26 de abril de 2012 se presenta una información a modo de resumen de datos que hacía referencia a la existencia de 6419 inspecciones, de las cuales 4044 eran catalogadas como verde, 1284 como amarillo, 725 como rojo y 329 como negro (Carreño Tibaduiza et al., 2013). En la Figura 10 se aprecia la distribución de edificios dañados según la catalogación mencionada (Navarro, M. et al., 2012).

De los datos recogidos en una serie de campañas realizadas in situ antes y después de la serie sísmica, se deduce que un 80% de los edificios resultaban afectados de los que 1164 tuvieron daños graves, 329 de los cuales tuvieron que demolerse finalmente.

---

<sup>15</sup> Feriche et al. (2011), Goula et al (2011), Martínez-Díaz et al. (2011), Murphy (2011).

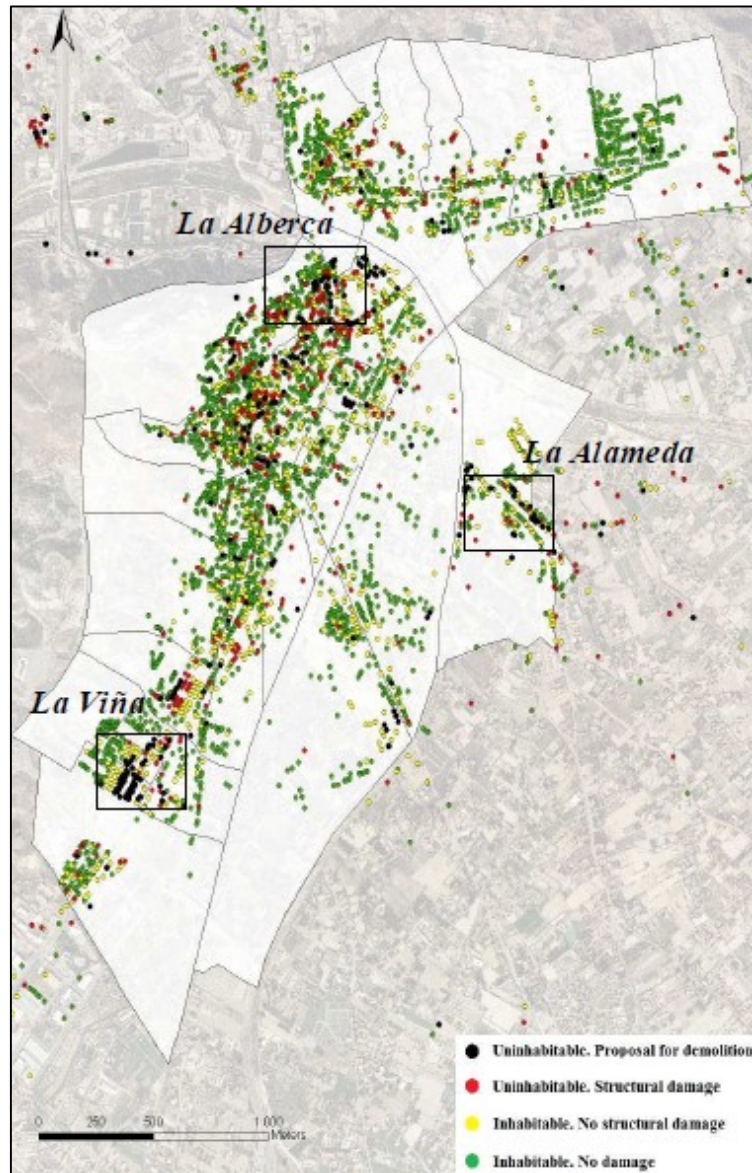


Figura 10 Distribución de daño en Lorca como consecuencia del terremoto del 11 de mayo de 2011 (Navarro, M. et al., 2012)

Factores influyentes en la tipología de los daños fueron los efectos de directividad, la relajación de la energía en dos segundos, el contenido en frecuencia de la respuesta del terreno, defectos estructurales y no estructurales, la existencia de un terremoto precursor que modificó la vulnerabilidad, así como la edad de los edificios. Se llegó a determinar que los edificios más dañados

pertenecen a una época constructiva anterior a 1961. Con respecto a los edificios de hormigón armado, han influido en su tipología de daño la existencia de plantas débiles y de pilares cortos. En las estructuras de muros y en edificación patrimonial influyen sobre los daños la excesiva rigidez, así como los cambios de esta, la falta de conexión entre elementos verticales y horizontales, así como su estado de conservación (Feriche et al., 2012).

En otros estudios (Guevara, 2011), además de relacionar los daños con la existencia de pilares cortos, secuestrados, plantas bajas débiles, hacen referencia a cambios bruscos de rigidez, deformaciones en plantas bajas y confinamiento insuficiente. Se menciona la existencia de fuertes deformaciones en plantas bajas, llegando incluso a expulsar el cerramiento. En elementos no estructurales los daños se han debido a un anclaje insuficiente, así como a una junta sísmica insuficiente. Las roturas en tabiquería han sido numerosas, así como lo de la caída de elementos colgados en la fachada, lo cual está relacionado con la principal causa de víctimas mortales.

Existen métodos de análisis de comportamiento de edificios durante un sismo (Gómez-Martínez et al., 2015), en los que en base al número de plantas y al año de construcción se realiza una clasificación de los daños en los edificios de hormigón armado en no estructural (ligero, moderado y grave) y estructural (moderado, grave y colapso). En ese estudio se comprueba que el daño típico provocado por el terremoto y consistente en la fisuración de la tabiquería representa casi el 50% del total analizado. El daño no estructural medio y alto aumenta claramente con la altura. Los mecanismos habituales de rotura de tabiquería dentro de su propio plano suele ser por fisuración diagonal, deslizamiento y aplastamiento de las esquinas contra el pórtico de hormigón. Se observa una reducción del 8.7 al 2.4% en el daño estructural severo como consecuencia de la aplicación de las últimas normas. Por el contrario, se observa que casi todos los daños estructurales están relacionados con el tipo contraindicado de mecanismos de planta baja débil o blanda y roturas frágiles. Prácticamente no existen daños en vigas ni forjados debido a la preeminencia de mecanismo de planta débil o blanda y de roturas frágiles que impiden la capacidad de desplazamiento. Se observan roturas frágiles de pilar a cortante debido a una falta de jerarquía en las resistencias a cortante y momento, así como una rotura del pilar a cortante por interacción local con la esquina de la

tabiquería. También son frecuentes los mecanismos de pilar corto a cortante, pilar cautivo por tabiquería a cortante y nudo a cortante por falta de jerarquía entre la resistencia de nudo y barra. Este último caso ha resultado menos frecuente en Lorca debido a que en primer lugar solía ocurrir la ruptura de las cabezas de los pilares. Como resultado de este estudio cabe señalar que la posible causa del reducido número de colapsos durante el terremoto de Lorca ha sido la existencia de la tabiquería, de modo que los análisis realizados mediante este método indican que las estructuras desnudas deberían haber colapsado, mientras que el aporte de la tabiquería supone que nivel medio de daños es coincidente con los daños observados.

Con respecto a la norma sísmica actual, la mayor vulnerabilidad de los edificios de hormigón armado respecto de los de fábrica puede guardar relación con el tipo de suelo que sustenta la construcción más reciente, pero también con las prácticas constructivas. Incluso teniendo en cuenta la mejora que supone la NCSE-02, se siguen produciendo roturas frágiles ya que se siguen permitiendo mecanismos de planta que serían inadmisibles en proyectos de ductilidad media y alta. Se llega incluso a defender por parte de algunos autores, respecto del mecanismo de planta baja débil o blanda, la opción del proyecto en baja ductilidad, por la mayor facilidad de reparación de los daños (Gómez-Martínez et al., 2015).

Otro estudio (Feriche et al., 2012) detalla que los edificios más afectados por los terremotos han sido los de 2 alturas. 1968 edificios han sufrido algún tipo de daño, 692 con grado superior a 2-3 (según la EMS-98), de los cuales se han demolido 140. De los construidos antes de 1925 y 1938 resultaron con grado de daño superior a 2-3, de los que se han demolido aproximadamente 100. Los edificios más antiguos han sido los más castigados. De aquellos construidos antes de 1961 unos 200 resultaron demolidos y otros 300 con daños graves. De los construidos entre 1977 y 1996, 62 resultaron demolidos y 51 con daño graves.

Las inspecciones de los edificios afectados en Lorca han puesto de manifiesto las deficiencias en los mecanismos de arriostramiento y atado, generando el fallo prematuro de las uniones entre las diferentes partes del edificio, provocando que cada una de esas partes tuviera una respuesta al sismo independiente del resto (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

Analizando los daños de los edificios en función del año de construcción, teniendo como perspectiva la normas tecnológicas en vigor obtenemos los siguientes datos (Feriche et al., 2012):

- Entre 2001-2009, con la EHE-98 y NCSE-02: 403 edificios construidos. Los daños se vieron sobre todo en los de plantas de uno a seis, resultando los de cinco alturas más afectados (61 edificios, 15%). Los de más de seis alturas apenas sufrieron daños.
- Entre 1991 y 2001 con la EH-91 y la NCSE-94 en vigor, se produjeron mayores daños en el caso anterior. 755 son los edificios construidos en este periodo, de los cuales 579 (76,7%) han sido afectados con grado superior a 2-3, sobre todo los de dos y cinco altura (193 y 172 respectivamente, 25,6% y 22,8%)
- Los edificios construidos antes de 1991 son los que mayores daños sufrieron por la escasez de normativas tecnológicas.

Por usos, se dio la circunstancia de que edificios relacionados con la gestión de la emergencia quedaron afectados por el sismo. La comisaría del Cuerpo Nacional de Policía resultó con daños no estructurales graves, dándose por inoperativa, y la casa cuartel de la Guardia Civil tuvo que ser demolida (Feriche et al., 2012).

El 80% de los inmuebles del casco urbano de Lorca presenta daños desde leves hasta el colapso total o parcial. La Tabla 6 hace referencia a la distribución de daños inmuebles y viviendas en función de la clasificación por código de color.

Color	Nº Inmuebles	Nº Viviendas
Negro	260	1.164
Rojo	664	1.973
Amarillo	1.569	4.594
Verde	5.383	16.124
<b>Total</b>	<b>7.876</b>	<b>23.855</b>

**Tabla 6 Estimación de distribución de daños en inmuebles y viviendas por el terremoto de Lorca de 2011 (González López S., 2017)**

Aproximadamente el 19.6% de los inmuebles requirieron algún tipo de intervención de emergencia para asegurar la habitabilidad y posteriormente

proceder a la reparación del daño. El resto, que equivale a 5380 inmuebles con 16124 viviendas, a pesar de no presentar daños estructurales sí requirieron de la reparación de daños no estructurales. El daño total en inmuebles de uso residencial se estima en unos 400 millones de euros.

966 establecimientos mercantiles, 4 industriales y 555 de servicios fueron afectados, con un montante total de daños globales que superaban los 69 millones de euros sin tener en cuenta el lucro cesante.

Los principales servicios públicos como educación, servicio social y sanitario se tuvieron que paralizar temporalmente. Todos los centros educativos cancelaron su actividad ante los primeros días hasta que las inspecciones garantizaron la habitabilidad de los centros. De los 23 centros, 18 reiniciaron su actividad normalmente en los días posteriores mientras que 5 tuvieron que proceder a la redistribución de sus alumnos en otros centros educativos. 3 de los 6 institutos de enseñanza secundaria resultaron seriamente dañados debiendo ser demolidos.

En los 3 centros de enseñanza se han producido daños estructurales y no estructurales de consideración. En edificios de hormigón armado se identifican daños graves en pilares y muros de fachada, así como en elementos divisorios. En los edificios de muros de fábrica aparecen daños importantes en muros perimetrales y en divisorios. Con respecto a los daños no estructurales, son frecuentes los daños fuertes y severos que limitan la habitabilidad del centro.

En cuanto a las instalaciones sanitarias, el centro de salud Lorca centro tuvo que ser demolido y posteriormente reconstruido. Sin embargo el centro de salud de San Diego y el hospital comarcal Rafael Méndez, que resultaron afectados de menor gravedad, viendo interrumpida su actividad durante los primeros días (González López S., 2017)(p.a. y aa.).

En la Tabla 7 se pueden observar los daños sufridos por los edificios de uso sanitario (Carreño Tibaduiza et al., 2013). 3 residencias de ancianos tuvieron que ser evacuadas y sus ocupantes trasladados a otros centros asistenciales. Los daños en infraestructuras se limitaron a la autovía A-7, en la que se produjeron grietas en un viaducto que ocasionó la interrupción de la circulación, así como una limitación de velocidad hasta que se procedió a la reparación definitiva. La carretera de la Parroquia RM-701 fue afectada por unos desprendimientos. En las infraestructuras ferroviarias se interrumpió el tráfico durante unos días. En la

estación Lorca-Sutullena se produjeron daños estructurales muy graves y colapso parcial de la planta superior.

Con respecto a los suministros, el de gas tuvo que ser interrumpido preventivamente tras el sismo, al igual que ocurrió con el suministro eléctrico. Después de que las compañías suministradoras procedieran a realizar las inspecciones, se restableció el suministro.

<b>Equipamiento</b>	<b>Resumen de daños</b>
Hospital Rafael Méndez	Sin daños estructurales. Daños en falsos techos y en algunos muros divisorios. Varios servicios quedaron inhabilitados.
Centro de Salud Lorca Centro	Sufrió importantes daños estructurales. Su actividad se trasladó a Santa Rosa de Lima*. Se resalta que estaba previsto demoler el edificio y reemplazarlo con una nueva construcción de 3000 m <sup>2</sup> , cuyo valor sería cercano a 4,8 millones de euros y cuyo equipamiento podría costar 500.000 € (La Verdad 2011b).
Centro de Salud Lorca San Diego	Presentó daños no estructurales. La reactivación de sus servicios se estimó que tardaría una semana*.
Centro de Salud Lorca Sur	Presentó daños no estructurales. Edificio con restricción de ocupación. La asistencia sanitaria se traslado al centro de Salud Mental*.

**Tabla 7 Resumen de daños de edificios sanitarios de Lorca  
(Carreño Tibaduiza et al., 2013)**

El terremoto también ha tenido importantes consecuencias sobre el patrimonio cultural de Lorca, llegándose a prever un total de 68 actuaciones de rehabilitación o reconstrucción según lo dispuesto en el plan director para la recuperación del patrimonio cultural, con un importe global de 51287076.93 € (González López S., 2017)(p.a. y aa.).

Semanas después del terremoto la Consejería Cultural de Lorca valoraba en torno a 50 millones de euros los daños producidos en el patrimonio histórico, resultando un total de 29 monumentos afectados. Entre los edificios dañados se encuentran numerosas iglesias, el museo arqueológico, la plaza de toros, el castillo de Lorca, el Palacio Guevara y el Monasterio de las Clarisas. En su mayor parte corresponden a edificios de las tipologías más vulnerables, de modo que después del terremoto, de las tres iglesias importantes solo dos pudieron seguir abiertas al público.

Los tipos de daños en el patrimonio cultural son básicamente rotura y colapso de cúpulas, torres o campanarios, agrietamiento desplazamiento de arcos, pilares, contrafuertes, agrietamiento y colapso de muros (Carreño Tibaduiza et al., 2013).

#### Estructuras de muros de carga y fábricas

Las condiciones básicas de las estructuras murarias son resistencia, rigidez, y estabilidad. Un concepto asociado con la posibilidad de colapso es el de los grados de libertad, de modo que cuando se limitan en una estructura se previene el colapso ante determinadas acciones.

En edificios históricos los grados de libertad suelen estar limitados debido a la existencia de muros, bóvedas con contrarrestos, forjados con entrevigados de fábrica, etc. También es frecuente el hecho de que unos edificios se acodalen contra otros, produciéndose transmisión de esfuerzos en la medianera (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015).

En estructura murarias son básicamente dos los tipos de daños visibles: las lesiones y la deformación. Las lesiones suponen la pérdida de la continuidad de la estructura muraria con separación entre diferentes zonas. Van desde la desconexión hasta el colapso. Se distinguen dos tipos de colapso en estructuras murarias: vuelco del muro por la componente ortogonal al mismo<sup>16</sup>, y fractura del muro según su plano, en el caso en que las acciones sísmicas son paralelas al mismo<sup>17</sup> (Rodríguez-Pascua, M.A. et al., 2012).

Los tipos de daños derivados del terremoto de Lorca en estructuras de muros de carga están asociados a los esfuerzos cortantes con grietas en forma de X, pérdida de conexión de elementos verticales y horizontales, empuje de la cubierta sobre los muros y excesiva rigidez en este tipo de edificaciones (Feriche et al., 2012). Los daños consistían en separación de los muros en sus encuentros, llegando a producir la caída de forjados cargaban sobre ellos. También se observaron fisuras o grietas de trazado inclinado y de apertura variable. Frecuentes también era la apertura de juntas en los solados. La aceleración

---

<sup>16</sup> El colapso no depende de la resistencia del muro sino de su condición de equilibrio en función de la existencia de arriostramientos o de otros elementos de empuje como la cubierta.

<sup>17</sup> La tendencia al colapso está definida por la fuerza mecánica de la pared, siendo poco frecuente que esté directamente relacionado con el colapso del edificio.



sísmica daña la unión de los elementos de fábrica que forman los muros y la conexión entre los propios muros. Todo ello se traduce principalmente en el agrietamiento local, acompañado de daños en cornisas y dinteles (Carreño Tibaduiza et al., 2013).

Derivadas de las inspecciones en este tipo de estructuras se llega a la conclusión de que el comportamiento de los paños de fábrica puede ser como placas frente a acciones perpendiculares a su plano, que inducen solicitaciones de flexión que los hace muy vulnerables, y también pueden comportarse como membrana frente a acciones en su propio plano, resultando rígidos y resistentes. Es en este caso cuando contribuyen de manera importante a la rigidez y resistencia de la globalidad del edificio (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)(p.a. y ss.).

Considerando las acciones perpendiculares a su plano, y dado que el periodo fundamental de este tipo de fábricas es muy bajo, se da el hecho de que el movimiento provocado por la acción sísmica es semejante al de un cuerpo anclado al suelo en el que todos sus puntos se mueven de forma casi idéntica a como lo hace el suelo, sin que exista amplificación que provocaría la deformación del paño de fábrica. En este caso, el valor de la carga horizontal equivale al producto de la masa por la aceleración del suelo. Sin amplificación, para una fábrica dispuesta sobre el suelo el efecto máximo del terremoto sería una fuerza lateral equivalente al 36% de su peso. Pero en estas condiciones solo serían estables los paños de fábrica de una esbeltez muy reducida, de modo que la resultante del peso y la aceleración lateral quede contenida en la sección. Se debe dar por tanto la condición de estabilidad en la que la relación entre la altura y la base del paño de fábrica en sección, es menor o igual que la relación entre el peso y la aceleración lateral. Esto se debe a que a cierta altura el momento en la base supera la capacidad de flexión.

Según el Código Técnico de la Edificación la resistencia a la flexión debida a los tendeles no está considerada en el cálculo sísmico, es decir, se considera que están apoyadas a hueso y que solo serán estables si la esbeltez cumple el límite descrito anteriormente y marcado por la relación entre la altura y la base de la sección de la fábrica, con respecto a la relación entre el peso y la aceleración lateral (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

### Hormigón armado

Los daños ocasionados en este tipo de estructura van desde muy leves hasta el colapso. A pesar de que la aceleración pico ha superado en tres veces la básica del proyecto, su duración ha sido muy corta, con lo que el número de ciclos ha sido bajo con pocas incursiones en el ámbito inelástico.

Los edificios más dañados han sido aquellos de menor calidad sísmica, es decir, aquellos de elevada vulnerabilidad por su naturaleza constructiva.

Otro factor importante relacionado con los daños y su variabilidad en diferentes edificios de la misma zona, es el ángulo de incidencia de la aceleración sísmica y su onda sobre los edificios. Esto es patente en el barrio de San Fernando en el que edificios con igual configuración estructural pero diferente orientación registran diferentes niveles de daño (Carreño Tibaduiza et al., 2013)(p.a. y aa.).

Eran frecuentes los daños relacionados con la existencia de pilares cortos. También eran frecuentes los daños existentes en los pilares de planta baja debidos a la interacción entre la estructura y los paños de fábrica, así como el golpeteo de estructuras colindantes, especialmente cuando no se da la coincidencia de forjados. La inspección ocasionó el descubrimiento del fallo de algunas pantallas, relacionado con un armado inadecuado. Muy frecuentes eran también los problemas en cajas y losas de escalera.

El esquema básico de comportamiento sismorresistente en el caso de las estructuras de pórticos, es la formación de una rótula plástica en la base de los pilares, donde se introducen mayores solicitaciones. El mantenimiento y la posible existencia de lesiones previas como es el caso humedades, y corrosiones, tienen un efecto difícilmente previsible en conjunción con la acción sísmica. Otros problemas que pueden guardar relación con el alejamiento de las estructuras con respecto al comportamiento óptimo en caso de sismo, puede ser la subordinación de la estructura a exigencias funcionales a través de cambios en la distribución no respetuosos con la estructura (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)(p.a. y a.).

Lo más frecuente y apreciable tras un evento sísmico es la aparición de fisuras, resultando de nuestro interés las fisuras estructurales, es decir, las debidas al alargamiento de las armaduras asociado a excesivas tensiones. Debemos recordar en este punto, que la forma de trabajo entre el acero y el hormigón es por adherencia y que la existencia de fisuras está asociada a la pérdida de la adherencia (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)(p.a. y ss.).

Los daños más frecuentes en pilares sometidos a la acción sísmica son agrietamiento inclinado por tensión diagonal en una dirección o en dos, siendo posible encontrarlo en el centro del tramo o en la cabeza del pilar. Suelen tener aberturas superiores a 1 mm y están asociados a una inadecuada cuantía y colocación de cercos transversales. También pueden aparecer fisuras horizontales en la cabeza del pilar con aberturas considerables.

La existencia de pilares cortos puede deberse o bien a su diseño como elemento de baja longitud o bien debido a su interacción con otros elementos como pueden ser forjados o losas de escalera, de modo que su unión a media altura implica directamente su consideración como pilar corto. También suele ser habitual que la interacción con muros o paredes adosados a los pilares hasta cierta altura de los mismos, cambie su comportamiento en caso de acción sísmica, pudiendo considerarlos como pilares cortos o confinados. Esto se debe a que las columnas cortas o confinadas tienen mucha más rigidez que el resto, generando elevados esfuerzos de cortante con elevada probabilidad de fallo frágil.

En pilares también es frecuente que se produzcan roturas que provoquen el desprendimiento del recubrimiento de hormigón, llegando incluso a pandear las armaduras longitudinales.

Existe también la posibilidad de que se produzcan daños por punzonamiento en forjados reticulares, debido al aumento de los momentos flectores del pilar al ábaco debido a la acción sísmica, sobre todo en casos en los que la armadura de puzonamiento es escasa o inexistente.

Es preferible que aparezcan daños en vigas antes que en pilares, según lo descrito al analizar el sistema pilar fuerte-viga débil. Se trata de evitar que la absorción de energía del impacto sísmico se concentre en unas pocas plantas de la estructura, garantizando que el total de las plantas colabora en dicha absorción. Los daños más frecuentes en vigas son la aparición de fisuras inclinadas con ángulo de  $45^\circ$  y ancho variable debido al esfuerzo cortante por compresión diagonal. El momento flector alternativo puede provocar la aparición de fisuras verticales cercanas al nudo, que normalmente afectan a la totalidad de la sección.

Otra posibilidad es que como consecuencia del aumento de los esfuerzos cortantes se produzca un fallo de anclaje de la armadura de momentos negativos, provocando una fisura que será paralela y superpuesta a la armadura.

A las vigas planas se les suele asociar un mal comportamiento por el hecho de que su anchura es superior al ancho del pilar, provocando una mala transmisión de momentos entre la viga y el pilar. En esta transmisión de esfuerzos suelen aparecer torsiones en la zona de la viga que se queda sin acometer directamente al pilar y conocida como viga transversal. Además, su reducida rigidez lateral suele provocar grandes deformaciones ante acciones horizontales. El uso de la viga plana viene limitado en nuestro país por la NCSE-02.

Por otra parte, existe la posibilidad de que la acción sísmica produzca el descenso y elevación de los cimientos, provocando asentamientos diferenciales en los pilares de planta baja, ya sean intermedios o de fachada y provocando similares consecuencias sobre las vigas asociadas a los daños por asiento diferencial, es decir, se producen fisuras en la cara inferior de la viga junto al pilar que asienta y en la cara superior de la misma junto al pilar que no asienta. Cuando en lugar de sufrir un asiento el pilar se eleva, se produce el efecto contrario.

Como consecuencia de los fenómenos de flexión en los nudos suelen aparecer varias fisuras paralelas en caras opuestas a cada lado del nudo, acompañadas por fisuración fina o laminación (roturas por compresión) en caras contrarias de las vigas que llegan al nudo.

También pueden aparecer en la dirección de las diagonales y en el interior del nudo una serie de fisuras producidas por la acción sísmica, asociada a una cuantía de cercos insuficiente. Por último también pueden presentarse en los nudos fisuras paralelas a la dirección del pilar con anchos de importancia (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015).

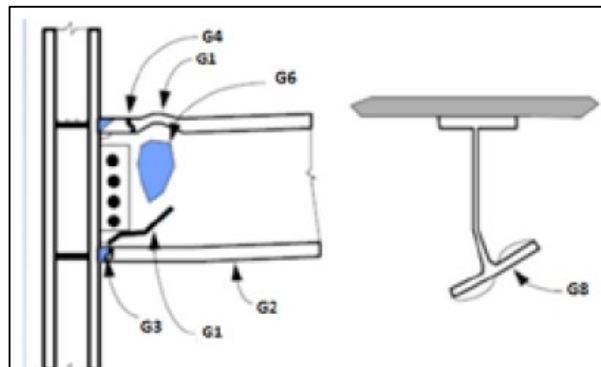
Estructura metálica (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015).

Como daños principales en estructuras metálicas suele aparecer mayor fisuración en cerramiento y mayores desprendimientos en fachadas, debido a la mayor elasticidad del acero. También aparecen fisuras en la conexión de los pilares con placa base, fallos en la parte baja de uniones entre el pilar y la viga con mayor frecuencia que en la parte superior, daños en cartelas de unión entre el nudo y la diagonal debidas fundamentalmente a tensiones perpendiculares a su dirección de trabajo.

Con respecto a los daños en uniones durante la existencia de terremotos, se ha comprobado la existencia de roturas frágiles en uniones soldadas rígidas.

La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de Estados Unidos<sup>18</sup> elaboró una serie de recomendaciones de diseño para mejorar el comportamiento de estructuras soldadas ante aceleraciones sísmicas. Esta información también contenía las principales causas relacionadas con la ocurrencia de fallos durante el terremoto, asociando las más importantes al uso de prácticas constructivas no recomendadas, demostrando que los fallos más importantes en estructuras metálicas son los que afectan precisamente a las conexiones viga-pilar.

En la Figura 11 aparecen los daños más típicos en vigas.



Tipo	Descripción
G1	Protuberancia (superior o inferior)
G2	Reborde producido (superior o inferior)
G3	Fractura del perfil en la zona afectada térmicamente (ZAT) (superior o inferior)
G4	Fractura del perfil fuera de la zona afectada térmicamente (ZAT) (superior o inferior)
G5	Fractura superior e inferior de la pestaña (no utilizado)
G6	pandeo de la viga
G7	Fractura de la viga
G8	Pandeo lateral de la sección

Figura 11 Tipos de daños en vigas (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)

Entre los más significativos están las protuberancias tanto superior como inferior, fractura de perfil, pandeo de la viga (conocido también como abollamiento del alma) y pandeo lateral. También aparece una serie de esquemas relativos a daños en placa metálica de respaldo de columnas, daños en soldadura, defectos y discontinuidades, daños por cortante, y daños en nudo.

<sup>18</sup> FEMA

Otros usos de la estructura metálica hacen referencia al refuerzo de estructuras, siendo importante en este caso el hecho de asegurar la transmisión y la continuidad de los esfuerzos. También se pueden llevar a cabo operaciones de mejora del comportamiento sísmico de estructuras existentes, a base de refuerzos de acero. En este caso son de especial relevancia tanto los arriostramientos de acero como la instalación de dispositivos de absorción de energía.

#### Fábricas en edificios (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)

En esta situación, las solicitaciones que reciben este tipo de elementos son muy superiores a las que reciben si estuvieran situadas en el terreno. Se ha modelizado el comportamiento de un edificio de forma que su modo de vibración es  $T_F$  igual a 0.09 por N, siendo N el número de plantas. Se trata de una estructura porticada de hormigón armado sin pantallas con 5 alturas y con un periodo de vibración de 0.45 segundos. Aplicando en la base de movimiento correspondiente al terremoto de Lorca y mediante un algoritmo simple de integración por pasos se tiene el resultado de que en la cubierta se alcanzan valores de aceleración claramente superiores a los de la gravedad. En teoría las aceleraciones perpendiculares a los paños de fábrica se producen en las partes más bajas, con lo que se produce un efecto amplificación de las plantas altas con respecto a las bajas. De este modo los esfuerzos en los paños altos serían asimilables a los que sufren los petos, mientras que a nivel del terreno en plantas bajas serían muy inferiores. En realidad la deformación de muchos edificios, siguen el conocido patrón de deformación de planta blanda caracterizado por concentrar los desplazamientos en la planta baja. La rotura generalizada de la fábrica en las plantas bajas es la que induce este efecto cuya consecuencia es igualar los desplazamientos de todas las plantas. Por otra parte cuando en lugar de petos se trata de otros elementos como casetones o cerramiento de cubierta, las acciones a que sean sometidas son muy superiores al producto de la masa por aceleración. Se produce así una amplificación cuyo valor estará en función del periodo del elemento, así como del periodo del propio edificio.

Las solicitaciones en los petos son semejantes a las existentes en los paños, pero el comportamiento es diferente. Esto es posible debido a que las cargas verticales, es decir, el peso propio más las que gravitan en los forjados, traen como consecuencia una compresión de la sección y una reducción de las tensiones

en la cara traccionada. También se considera el efecto de retracción del marco de hormigón y expansión por humedad de los paños de fábrica.

También se menciona el efecto arco que ocurre cuando el paño del cerramiento queda confinado entre forjado suficientemente rígidos como para absorber las acciones en los bordes de unión entre ambos (forjados y paño de cerramiento). En realidad este efecto no es tan favorable debido a que el apoyo de la fábrica no suele ser completo sobre el forjado, pero tampoco la rigidez de los forjados permite absorber las reacciones relacionadas con ese efecto arco.

Por otra parte, las fábricas también han contribuido a evitar el colapso ante la rotura de los soportes, en un esquema que explica la redistribución de esfuerzos mediante la formación de bielas comprimidas, que transfieren la carga desde la vertical de los pilares dañados a los pilares contiguos que permanecen indemnes.

Petos y paños de cerramiento resultaron ser los elementos que más problemas causaron a consecuencia del terremoto. En el caso de petos de cubierta y de paños de cerramiento situados en plantas altas, parece que colapsaron por solicitaciones normales a su plano. Sin embargo el fallo de los cerramientos en plantas bajas no seguía el mismo patrón, sino que seguían esquemas de colapso por acciones dentro de su propio plano ejercidas desde el contorno, provocando la típica grieta en aspa tan frecuente a lo largo de la ciudad de Lorca. Dicho patrón también se observó en las tabiquerías interiores, aunque en este caso no era tan evidente en la totalidad de los casos, ya que las fracturas se desviaban para seguir la traza de las rozas existentes en los propios tabiques Y que permitían albergar las instalaciones. También son frecuentes las roturas en paños de fachada debidas al golpeteo de edificios colindantes, así como el desprendimiento de aplacados de fachada que descubren sistemas de anclaje de dudosa calidad (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

### **2.3.7. Análisis de causas**

Se refleja en este punto el estado del conocimiento respecto al análisis de posibles causas de los daños ocurridos como consecuencia de la serie sísmica de mayo de 2011 en Lorca, clasificándolas previamente.

Prácticas constructivas inadecuadas (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)

Se observa una falta de cuidado en el detalle de ciertos elementos constructivos como son la falta de junta entre el solado de cubierta y la fábrica que constituye el peto, impidiendo así la libre dilatación y produciendo un empuje que acaba rompiendo la base del peto, desplazándolo hacia el exterior. Otros aspectos relacionados con estas causas son la ausencia de juntas para absorber las deformaciones de fábricas que provocan la fisuración del paño, así como la introducción de la lámina de impermeabilización en el borde del tendel rompiendo la continuidad de la sección y el apoyo parcial e insuficiente de paños sobre el forjado, apoyo que también se lleva a cabo con perfiles metálicos sobre el borde del forjado.

Otra práctica constructiva inadecuada está relacionada con la falta de estribos. En el mecanismo de formación de la rótula, la armadura de una cara se alarga mucho más allá del límite elástico. Posteriormente las barras traccionadas pasan a estar comprimidas y acortarse en una longitud menor que la inicial. En esta situación los cercos transversales condicionan el confinamiento del hormigón y por tanto su deformación en compresión. En el caso de Lorca han sido frecuentes las separaciones muy superiores a la distancia máxima entre cercos permitida por la normativa<sup>19</sup>.

También se ha comprobado caso en los que el anclaje de los estribos era inadecuado<sup>20</sup>, siendo frecuentes los casos en los que se ha comprobado la separación de los cercos y la pérdida de confinamiento del hormigón, así como el pandeo de las armaduras .

Caída de paños por impacto entre edificios.

Los impactos provocan tanto fuerzas en el plano como fuerzas perpendiculares al plano del paño, en función de la disposición de la medianera.

La existencia de juntas viene regulada tanto por el Eurocódigo como por la norma de construcción sísmica española que determina su anchura, de forma que

---

<sup>19</sup> Que no supere la tercera parte del canto y 10 cm si el diámetro de la barra principal es <16, o 15 cm en caso contrario.

<sup>20</sup> En zonas sísmicas los cercos deben anclarse con ganchos doblados a 135° y una longitud mínima de 10 diámetros



el desplazamiento ante la aceleración sísmica se produzca dentro del propio lindero (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

Interacción fábrica-estructura en edificios convencionales (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)

En todo análisis estructural de un edificio se deja de lado el efecto de los cerramientos y tabiquería. Esto se justifica con que es suficiente con considerar las acciones y dejar de lado la posible aportación de la resistencia. Pero parece un error que se dejen de lado los cambios en la rigidez global del edificio que estos elementos introducen a la estructura, modificando la distribución de esfuerzos sobre la misma.

La rigidez y resistencia de un paño de fábrica en muchas ocasiones supera las de la estructura en la que se sitúa. Además hay que tener en cuenta el comportamiento de la fábrica cuando se sitúa en el interior de un marco estructural.

El efecto de un paño de fábrica en un pórtico ante una carga sísmica es tal que ante la deformación del pórtico lo primero que se produce es la separación del paño. Dos de sus esquinas pasan a trabajar como un puntal comprimido. Esto hace que los cortantes se transmitan a los pilares, aunque no en su totalidad ya que también aparecen tensiones tangenciales. A pesar de esto se suele adoptar la hipótesis conservadora de que toda la carga se transmite como esfuerzo cortante al pilar.

Las vigas también reciben tensiones normales en sus extremos, que incrementan los esfuerzos cortantes en las secciones. Por tanto será necesario suponer tanto la rotura de las fábricas, al menos en plantas inferiores, como la transmisión íntegra del cortante al pilar, debiendo comprobar a cortante los pilares para la máxima resistencia de las fábricas con las que está en contacto. Esto se llevó a cabo en el Eurocódigo de sismo a través de un apartado denominado efectos locales de relleno de fábrica hormigón en el que se consideran diferentes esquemas de fallo de los pilares: mediante fisura inclinada, deslizamiento de junta constructiva y formación de rótulas plásticas, menos peligrosa ya que se formula en flexión ofreciendo alguna capacidad de deformación.

#### Incremento de las cargas (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)

La existencia de fábricas supone un efecto amplificador, ya que la ejecución de un paño en planta baja reduce el periodo de vibración del edificio. Esto supone una multiplicación del valor de la aceleración y por tanto un aumento del valor máximo del cortante en planta baja. En estas condiciones la tensión tangencial de la fábrica es muy superior al límite de rotura.

Todos los autores coinciden en la importancia de considerar el efecto de elementos no estructurales como cerramientos y particiones en la respuesta frente al sismo del edificio. Lo que no parece existir es un acuerdo en cómo hacerlo, ya que algunos autores resaltan los aspectos positivos de las fábricas en su capacidad para limitar desplazamientos y aumentar amortiguamiento, pero otros autores destacan la incertidumbre que estos elementos introducen sobre la respuesta.

#### Introducción de irregularidades en alzado y en planta (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)

Cuando se produce el fallo de la fábrica en planta baja, en función de la forma de rotura, el periodo se incrementa y el cortante en la base se reduce ligeramente. Este cortante se debe repartir entre los pilares de planta baja. Esto supone la posibilidad de formación de un mecanismo de planta flexible que puede resultar muy desfavorable.

Existen ocasiones en que dicho mecanismo de planta flexible se forma, no por el fallo de las fábricas en planta baja, sino porque esa planta estuviera exenta.

Realizando análisis numéricos se obtiene que el hecho de considerar las fábricas en planta baja supondría que el efecto del terremoto sería superior, dado que la rigidez real del edificio sería muy próxima a la del modelo rígido.

La distribución irregular de paños, como es el caso de edificios entre medianeras en los que los paños de fábrica se disponen en los lados de esas medianeras, introducen una asimetría en planta.

#### Pilares cortos<sup>21</sup>

A igualdad de sección, un pilar de mitad de longitud que otro será ocho veces más rígido. Esto afecta el reparto del cortante en una línea de pilares que

---

<sup>21</sup> Un pilar se comienza a considerar como corto cuando su longitud es menor que la relación 2 veces la resistencia flexión partido por el cortante.

será semejante si su rigidez también lo es. Si el pilar es más corto cogerá más carga hasta la rotura, momento a partir del cual el resto de pilares comenzarán a entrar en carga. La rotura por cortante es frágil y no permite redistribución de esfuerzos ni la consideración de ningún valor residual, sin embargo la fisuración asociada a la formación de rótulas plásticas permite la formación de un mecanismo plástico al que se le asocia cierta ductilidad (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

En estructuras de hormigón armado los daños sufridos como consecuencia del terremoto están relacionadas con la existencia de pilares cortos y la irregularidad en altura, más concretamente a la existencia del piso débil o blando o planta diáfana. El pilar corto consiste en la existencia de un pilar de longitud más corta o rigidizado mediante elementos como muros de hormigón o cerramientos que se unen al mismo, de tal forma que se concentra toda la deformación en una porción de su longitud total. La irregularidad en altura o piso débil ocurre cuando alguna de las plantas tiene una altura o una distribución interior diferente del resto (Feriche et al., 2012)(p.a. y s.).

El plan general de ordenación urbana de Lorca obliga a plantas bajas con altura libre mínima superior a las plantas de vivienda, de tal modo que se alcance un mínimo de 3 m en locales comerciales, de 3.2 en hostelería y de 2.5 en vivienda.

#### Atado horizontal (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)

Evita el desplazamiento diferencial de las cabezas de los pilares. Los forjados que más frecuentemente se llevan a cabo en Lorca son unidireccionales a base de viguetas de hormigón armado apoyada directamente sobre las vigas o muros resistentes, siendo poco frecuente encontrar zunchos resistentes perimetrales. Como elementos de entrevigado se solían utilizar bloques huecos cerámicos o de mortero, bovedilla o roscas de rasilla. Se llegaron a emplear con frecuencia viguetas centrifugadas típicas de los postes de conducción eléctrica. También es frecuente encontrar forjados sin capa de compresión. Como se puede imaginar las características descritas hacen que nos alejemos de la idea de monolitismo y de la consideración del forjado como diafragma rígido y solidario con la estructura. A mediados de siglo aparecen ya las semiviguetas y el pretensado. En 1973 aparece la primera instrucción de hormigón armado que ya

obligaba a disponer de una capa de compresión, así como a disponer zunchados perimetrales, llegando concretar la necesidad de conectar las viguetas a la estructura

Los daños encontrados en los forjados han sido fundamentalmente separación de la vigueta y el relleno del elemento de entrevigado<sup>22</sup> (no vinculado con sismo), pérdida de entrega de viguetas así como desplazamiento relativo entre ellas (frecuente en configuraciones pobres) y desplazamiento conjunto del forjado sobre viga metálica que denota la carencia de la conexión entre los elementos.

#### Organización resistente.

Se hace referencia a continuación a aspectos relevantes de la disposición de los elementos estructurales con función resistente, con implicaciones en el comportamiento ante la acción sísmica (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)(p.a. y ss.):

- Ausencia de estructura: se refiere a la existencia de nudos sin rigidez en edificios realizados a base de pórticos planos, entre los que se dispone el forjado unidireccional sobre vigas metálicas simplemente apoyadas en las cabezas de pilares. Frente a cargas laterales, estas disposiciones estructurales trabajan de forma semejante a como lo haría una serie de pilares en voladizo.
- Disposición inadecuada de masas, como la que supone la existencia de depósitos de agua o combustible en las cubiertas, aumento de solados<sup>23</sup>, etc.
- Roturas contrarias a la jerarquía normativa: la ductilidad de la estructura está basada en la formación de rótulas plásticas en determinadas zonas, evitando otras, como base del cálculo sísmico. Dicha formación de rótulas debe seguir una jerarquía que garantice que los nudos resisten más que los elementos que llegan a ellos, los pilares resisten más que las vigas y la resistencia sea mayor a cortante que la flexión. En Lorca no siempre se ha seguido la jerarquía mencionada durante la formación de rótulas plásticas. En los textos analizados se hace alusión a que no habido ni un solo caso en

---

<sup>22</sup> No vinculado con el sismo.

<sup>23</sup> Sobre los anteriores sin retirarlos previamente.

el que se haya encontrado una rótula en vigas, y sí decenas de pilares en los que se ha producido el fallo por cortante.

- Disposición inadecuada de pantallas: la disposición de pantallas es una solución frecuente frente a las acciones horizontales, aportando la rigidez necesaria y evitando desplazamientos entre plantas. Se debe proyectar adecuadamente la canalización de esfuerzos hacia el punto duro, debiendo considerar lo que ocurre en el resto de la estructura alrededor de dicho punto. En Lorca se observó cómo determinadas pantallas cortaban el forjado, ya que este no tenía la capacidad suficiente frente a las acciones de diafragma. En este caso lo ideal hubiera sido disponer una viga corrida en prolongación del plano de arriostramiento. Con respecto a las pantallas, su armado debe ser tal que evite las roturas frágiles, para lo que hubiera sido necesario contar con armaduras horizontales y verticales muy superiores a las observadas en Lorca. También hubiera sido necesario dotar a las pantallas de cimentaciones muy potentes con gran rigidez, con el problema de que en terrenos no suficientemente rígidos<sup>24</sup> se produciría el giro de la cimentación y por tanto de la pantalla.
- Juntas entre estructuras de los edificios: su inexistencia es práctica habitual, pudiendo observar únicamente placas de poliestireno entre los edificios colindantes. Si los forjados no coinciden en altura se llega a observar una penetración de la nueva construcción sobre el anterior, de manera que el forjado llega abrazar los pilares del existente. Como resultado de todo ello resalta el hecho de que en Lorca ha sido frecuente encontrar edificios en los que el choque entre ellos es patente ya desde la primera planta, mientras que lo lógico y lo esperable cuando los edificios se mueven conforme al patrón habitual, es que este choque se produjera en las plantas elevadas.
- Plantas blandas (o flexibles): se trata de la planta<sup>25</sup> con mucho menor rigidez que el resto. En principio se podría pensar que era una situación favorable, ya que al aportar menos rigidez se eleva el periodo del edificio reduciendo las cargas equivalentes. Posteriormente se entendió que lo que

---

<sup>24</sup> Lo que es difícil de determinar ya que el suelo presenta un comportamiento no lineal, dependiendo la rigidez de la sollicitación.

<sup>25</sup> Normalmente la planta baja.

al principio parecía una ventaja, en definitiva se trataba de poner de manifiesto las carencias de un método de comprobación basado en cargas equivalentes que no representaba en su totalidad el fenómeno sísmico. Esto era debido a que aunque las cargas sísmicas eran inferiores, los desplazamientos aumentaban concentrando las deformaciones en determinados puntos críticos como eran los extremos de los pilares de la planta blanda. Además, la mayor altura de planta y la tabiquería provisional y poco resistente colaboraban en ello. La forma de trabajo ideal hace que la rótulas se concentren en los extremos de las vigas, permitiendo grandes rotaciones plásticas, asociado a fallos en extremo de viga, de carácter menos peligroso que cuando ocurren en el extremo de un pilar.

Hay autores que argumentan que los fallos asociados a plastificación en cabeza de pilar se pueden controlar y que desde el punto de vista de la viabilidad de la reparación del edificio, es más asumible tener localizados los daños en los pilares en planta baja, que tenerlos dispersos en todas las vigas del edificio.

En Lorca se han observado estas situaciones asociadas al resultado de una ordenación urbana que exigía mayor altura de las plantas comerciales, y que en muchos casos disponían de cerramientos provisionales poco resistentes o cristaleras.

Otros daños asociados al comportamiento de la planta débil son el pandeo de las armaduras en los extremos de algunos pilares, causados según el autor por el exceso de demanda de ductilidad en la sección, así como y principalmente por un armado inadecuado y una falta de recubrimiento asociado a la corrosión.

La existencia de plantas blandas y de su problemática asociada, guarda relación con las características del sismo de Lorca: las plantas blandas son más peligrosas frente a sismos menos próximos<sup>26</sup>. La menor duración del terremoto está relacionada con la mayor estabilidad de los edificios que soportan una sola sacudida.

- Escaleras: según la norma de construcción sísmica española, deben estar dotadas de resistencia y ductilidad adicional aún en sismos importantes.

---

<sup>26</sup> Con mayor duración y espectro menos concentrado en rango bajo de periodos.

Parece un incumplimiento a dicha disposición el hecho de confiar su apoyo a las fábricas de la caja de escalera, así como disponer las losas unidas a un pilar, provocándole a este el efecto de pilar corto. Se trata también de elementos que modifican la rigidez y la resistencia de la estructura, que junto con los cerramientos de la caja interactúan con la losa formando un conjunto más rígido. En el caso de las escaleras se observa el fallo por empuje al vacío de la armadura de tracción en la losa, resultando recomendable prolongar la armadura hasta anclar en la cabeza comprimida (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

Otras causas que relacionadas con el daño sísmico son la heterogeneidad de materiales, el estado de degradación debido a la edad, la falta de uniones adecuadas entre muros y entre los muros y otros elementos como los forjados y finalmente la baja ductilidad, es decir la baja capacidad para deformarse que tienen las fábricas.

La mencionada heterogeneidad de las fábricas hace que ante la carga sísmica estas se descompongan generando una serie de huecos o cavidades en su interior<sup>27</sup>. Una estructura es estable y está en equilibrio cuando sometidas a fuerza no experimenta ninguna deformación, ni tampoco deslizamiento alguno (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, Alhama, Autónoma), & Emergencias, 2015).

## 2.4. PARÁMETROS URBANÍSTICOS

### 2.4.1. Descripción del entorno urbano

El desarrollo de la ciudad se produce desde los pies del castillo hacia la vega en diferentes fases. Como consecuencia el trazado urbano de los barrios más antiguos es claramente irregular, con edificios de menor altura y de menor volumen. Las construcciones más modernas y de trazado más regular disponen de mayor volumen. La vega está ocupada por viviendas unifamiliares aisladas. La parte más antigua del casco urbano está ocupada por construcciones realizadas a base de muro de carga, de no más de 3 alturas y no más de 2 o 3 crujías. Por otra parte, la parte más extensa de la ciudad viene siendo ocupada por edificios

---

<sup>27</sup> Tras el sismo es importante rehacer las cadenas de resistencia mediante la inyección de los muros para reforzarlos.

construidos en la década de los 70, con una configuración asimilable a la de muchas otras ciudades con calles de mayores dimensiones y de trazado regular, formando manzanas con edificios de cierta altura junto a otros más bajos entre los que no hay separación. Es frecuente el hecho de que no exista continuidad en los niveles de las plantas, de modo que los forjados de los edificios colindantes se sitúan a distinta altura. En general, estos edificios están formados por pórticos de hormigón armado, metálicos o mixtos. La configuración urbana más reciente sigue manteniendo esta última tipología descrita, aunque en este caso en zonas periféricas de nuevo trazado en las que el volumen de la edificación es muy superior. También son recientes gran cantidad de edificios exentos con configuración de torre de cierta altura realizado a base de pórticos y pantallas de hormigón armado. La mayor parte de los edificios inspeccionados se sitúan entre medianeras o en esquina, no apreciándose una junta real entre estos edificios, disponiéndose en la mayoría de los casos una simple plancha de poliestireno como elemento, que en los edificios más modernos se cierra mediante un cordón de silicona. Incluso en las cubiertas esta junta se cierran con mortero para evitar la entrada de agua (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

#### 2.4.2. Normativa urbanística

El marco de la directiva europea en relación al planeamiento urbanístico en zonas de riesgo, llevado a cabo a través de la directiva 985/337/CE<sup>28</sup> para la evaluación de efectos medioambientales en ciertos proyectos, requiere la inclusión de una evaluación de impacto ambiental en esos proyectos como herramienta para prevenir defectos indeseables sobre el medio ambiente. La directiva 2001/42/CE<sup>29</sup> se refiere a los efectos medioambientales del planeamiento urbanístico, requiriendo la inclusión en los planes urbanos de una evaluación de estrategia medioambiental. Este informe de sostenibilidad ambiental permite el análisis de efectos acumulativos, directos e indirectos, de las diferentes alternativas de desarrollo urbano. A este respecto la TRLS/2007 hace referencia a que la evaluación debe incluir un mapa de riesgos naturales del área, sin llegar a

---

<sup>28</sup> Implementada a la legislación española por Real Decreto 1302/1986.

<sup>29</sup> Implementada mediante la Ley 9/2006.



detallar qué riesgos naturales deben ser considerados (Aretxabala Díez, A. & Sanz Larrea, C., 2012).

Con respecto a la actividad de la falla de Alhama de Murcia<sup>30</sup> que causó el terremoto de Lorca, las únicas referencias en el Plan General de Ordenación Urbana de Lorca se encuentran en el volumen 14 sobre impacto ambiental, citado en la lista de puntos de interés geológico y en el volumen 1 donde se clasifica como área de elevado significado medioambiental. Esto tiene un impacto directo sobre los trabajos llevados a cabo cerca del plano de falla, como roturas que se pueden ver en el cercano canal del trasvase Tajo Segura.

Teniendo en cuenta los parámetros urbanísticos se puede hacer un análisis de las consecuencias del terremoto de Lorca. Dependiendo de su sistema estructural, encontramos edificios de estructura de muros portantes, de los que los más antiguos incluyen edificios de patrimonio histórico, así como la mayoría de los edificios residenciales del centro histórico y viviendas con alto nivel de autoconstrucción localizadas en las cercanías del castillo y en el norte de Lorca. Por otro lado se encuentran los edificios de hormigón armado en edificios residenciales del norte, este y oeste y la mayoría de los edificios de uso público. El número de estructuras de acero es insignificante. El daño a los primeros mencionados es consecuencia directa de su tipología estructural, con una deficiente respuesta ante la acción sísmica.

Las restauraciones de edificios patrimoniales llevadas a cabo en los años 70 y 80, no solo no mejoraron su respuesta estructural, sino que la empeoraron significativamente debido a la incorporación de elementos de hormigón armado de elevada rigidez.

En vivienda con elevado nivel de autoconstrucción, el mayor daño se localizaba en las ampliaciones en planta o en altura con respecto al volumen de la edificación principal.

La guía para la reconstrucción de edificios demolidos en Lorca determina que se debe tener especial cuidado en relación a los informes del suelo, así como las recomendaciones constructivas del Plan General de Ordenación Urbana de Lorca que hace referencia al contenido del informe geotécnico.

---

<sup>30</sup> Se clasifica como una de las fallas más activas de la península ibérica, con constantes movimientos sísmicos.

Todas las víctimas de Lorca fueron la consecuencia del colapso de elementos no estructurales. En septiembre de 2011 un grupo de nuevas regulaciones complementarias de planeamiento urbano se aprobaron por el Ayuntamiento de Lorca, con recomendaciones sobre diseño sismorresistente de cajas de escalera, estructura de apoyo de forjado evitando el empleo de pilares cortos, alféizares y parapetos, y recomendando el apoyo mínimo de las fachadas sobre los cantos de forjado al menos en 2/3 de su grosor, así como particiones o fachadas de albañilería en plantas blandas y elementos verticales apeados. También se hace alusión a la necesidad de evitar los efectos de pilar cautivo mediante juntas en muros de fachada (Aretxabala Díez, A. & Sanz Larrea, C., 2012)(p.a. y aa.).

Analizando el impacto del planeamiento urbanístico sobre la distribución del daño en Lorca, se llega a la conclusión de que no es una distribución homogénea y que es paradójico que el epicentro de los dos sismos no son puntos de daños importantes. En realidad el barrio de la Viña es uno de los más distantes puntos del epicentro y resultó considerada como la zona cero del terremoto. Todo ello nos hace pensar en una naturaleza geotécnica que dé respuesta a este fenómeno. El factor de amplificación C de la NCSE-02 explicaría la localización de los daños en Lorca. Como ejemplo, se menciona el barrio de San Fernando<sup>31</sup>. Ello unido a la existencia de edificios de planta blanda, causarían el daño forzando varios edificios del barrio a ser demolidos (García-Ayllón & Tomás, 2014)(p.a. y ss.).

Una variable que debería implementarse en el análisis del daño global de una ciudad, es la incidencia de un inadecuado planeamiento urbanístico sobre sus edificios. En Lorca se concentraba el daño en edificios pero no en infraestructuras. Se podría ver como el planeamiento urbanístico de la ciudad no tenía en cuenta el riesgo sísmico. Por ejemplo, el único edificio que colapso durante el terremoto, con solo 8 años de edad y en teoría adaptado al último código sísmico, se ha atribuido la causa del colapso a la existencia de pilares cortos. Sin embargo ello sería el resultado de un diseño urbano forzado por las características de las calles en una expansión reciente de la ciudad. El diseño en pendiente y la existencia de

---

<sup>31</sup> Con rellenos de terreno compuestos por depósitos sedimentarios del río Guadalentín con un factor de amplificación de 1.98.

garajes generaron columnas de diferentes alturas, creando un espacio de debilidad en la planta baja.

Otro aspecto de importancia es la interacción entre edificios a causa de diferentes frecuencias de resonancia asociadas a sus diferentes alturas (García-Ayllón & Tomás, 2014).

Se deberían respetar las reglas básicas del proyecto sismorresistente como son (Álvarez Cabal, R., et al., 2013):

- El entramado urbano debería permitir precisar los límites del edificio sin que existieran irregularidades en el trazado. Se considera que la unidad básica de comportamiento sísmico es la manzana y habría que considerar las acciones ejercidas por los colindantes.
- Configuraciones simples, regulares y simétricas de los edificios.
- Evitar modificaciones durante la construcción que introducen incertidumbres con respecto a los cálculos que figuran en el proyecto, así como soluciones constructivas totalmente alejadas de la buena práctica constructiva asociada al sismo, como podrían ser los problemas de fijación de fachadas a la estructura.

El análisis del comportamiento de los edificios y de la ciudad como un todo, ayudaría a controlar el comportamiento y los posibles daños, alcanzando un riesgo sísmico aceptable. Se trata de entender los efectos de los sismos en las ciudades y despertar la inquietud de aquellos involucrados en el diseño, construcción y mantenimiento de los edificios. No se puede considerar la ciudad como sumatorio de edificaciones en la determinación de la vulnerabilidad sísmica, sino como un sistema de componentes estrechamente vinculados (Martínez Cuevas, 2014a)(p.a. y ss.).

Algunos aspectos recogidos en la bibliografía sísmica aluden a determinados principios urbanísticos respetuosos con la realidad sísmica, como la no realización de modificaciones importantes en la topografía original, debiendo evitar rellenos importantes y artificiales. Recomienda que se considere la edificabilidad de los solares en función del tipo de subsuelo que podemos encontrar, no resultando edificables aquellos de carácter heterogéneo susceptibles de sufrir aceleraciones diferenciales entre los distintos puntos de la cimentación del edificio. Tampoco serían adecuados aquellos situados próximos a grandes

fallas naturales, incluso aquellos situados en la proximidad de grandes taludes naturales o artificiales. En estas zonas sísmicas sería deseable que la densidad de población fuera lo más baja posible. Con respecto a la forma y estructura del edificio a construir, tradicionalmente se ha recomendado que la rigidez del edificio sea lo más alejada posible de la rigidez del suelo, es decir, sobre suelos deformables serían adecuados edificios bajos y rígidos, mientras que sobre suelos duros serían edificios altos y flexibles los que mejor absorberían la energía del impacto sísmico.

El desarrollo de núcleos urbanos en medianería debería ser a partir de construcciones homogéneas desde el punto de vista del sistema constructivo, de la altura de la edificación y de su uso. Fuera de esta homogeneidad, solo habría cabida para edificaciones aisladas o dotadas de suficientes juntas estructurales que garanticen la inexistencia de impactos ante aceleraciones sísmicas.

Edificios aislados o en régimen de medianería con longitud superior a los 60 m no resultan convenientes, ya que ante heterogeneidades de suelo o vibraciones sísmicas se pueden ocasionar movimientos diferenciales considerables. La regularidad en alzado se conseguiría a través de una distribución de masas uniforme, así como dotando a las diferentes plantas de una organización y usos semejantes que deberán evitar la acumulación de masas en la parte superior del edificio, así como plantas inferiores diáfanas.

Las instalaciones urbanas y sus acometidas en los edificios deberán prever la necesaria absorción de aceleraciones sísmicas mediante la previsión de empalmes adecuados (Martínez Cuevas, 2014a).

La ordenación territorial y urbanística a través del planeamiento debe seguir unos principios de desarrollo sostenible, de función social de la propiedad alejado de la especulación, de protección del medio ambiente y de protección, rehabilitación y mejora del medio urbano.

Se deben diferenciar los términos de ordenación y urbanismo. Ordenación del territorio es la expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica de toda la sociedad. Sin embargo urbanismo se puede definir como el arte de proyectar ciudades y se puede considerar como la disciplina que se ocupa de ordenar la ciudad (Martínez Cuevas, 2014a).

Los planes urbanísticos son en realidad normas jurídicas que concretan la ley urbanística para cada punto del territorio sobre el que se disponen. Tienen

carácter reglamentario y son fundamentales para el desarrollo urbanístico. Dado que la ley no puede regular cada una de las parcelas en que se divide el territorio, se requiere de una herramienta que suponga la aplicación concreta y puntual de lo indicado en la ley.

Son varios los instrumentos del planeamiento y funcionan de manera jerárquica, figurando en lo alto de la pirámide el Plan Nacional de Urbanismo. Por debajo se sitúan los Planes Estratégicos Territoriales de las comunidades autónomas y después los Planes Municipales, constituidos fundamentalmente por los Planes Generales de Ordenación Urbana y normas subsidiarias de planeamiento municipal. La Figura 12 hace referencia al plan general como elemento que define los tipos de suelo en urbano, urbanizable programado y no programado, y el no urbanizable, con las siguientes características (Martínez Cuevas, 2014a):

- Suelo urbano: sometido a determinaciones que completan su ordenación detallando el uso de los terrenos y la edificación. Señala las reformas necesarias en el suelo. Se desarrollan mediante estudio de detalle y proyectos de urbanización.
- Suelo urbanizable programado: sometido a determinaciones que definen los elementos fundamentales de la estructura general de la ordenación urbanística del territorio. Establece usos globales y niveles de intensidad en el desarrollo de este suelo y fija los programas de desarrollo corto y medio plazo. Se desarrollan mediante planes parciales y proyectos de urbanización y cuando sea preciso los planes parciales se desarrollan con estudios de detalle.
- Suelo urbanizable no programado: las determinaciones a que están sometidos tratan de regular la forma y condiciones con que podrá ingresarse al desarrollo urbano, mediante los obligados programas de actuación urbanística que les convierten en programados. Se desarrolla mediante programas de actuación urbanística y posteriores planes parciales.
- Suelo no urbanizable: Se preserva este suelo del proceso de desarrollo urbano y establece medidas de protección del territorio y el paisaje.



**Figura 12 Tipos de planes (Martínez Cuevas, 2014a)**

Uno de los aspectos más relevantes de la propuesta de ordenación del Plan General de Ordenación Urbana de Lorca<sup>32</sup> es que no se hace referencia al riesgo sísmico, ni se condiciona la ordenación y planificación por el hecho de que exista una falla que atraviesa la ciudad.

En dicho plan aparece la clasificación de usos en los siguientes grupos: residencial vivienda, residencia comunitaria, garaje-aparcamiento, servicios terciarios: (comercial, oficinas, hotelero, hostelero, servicios recreativos, estaciones de suministro de combustibles, otros servicios terciarios), industrial (industria general, almacenaje), agropecuario, dotacional (deportivo, equipamientos, servicio de la ministración pública, servicios urbanos, servicios infraestructurales básicos), espacios libres y zonas verdes.

Las normas urbanísticas determinan condiciones para cada uso, de forma que para el uso residencial se definen los siguientes tipos de edificación (Martínez Cuevas, 2014a):

- Residencial multifamiliar en manzana cerrada con patio central.
- Residencial multifamiliar en manzana cerrada densa.
- Residencial multifamiliar abierta.
- Residencial unifamiliar: aislada, adosado pareada, agrupada, entre medianeras.

<sup>32</sup> Se puede encontrar en su capítulo VIII.

Dentro de esta normativa podemos encontrar las normas de edificación y ordenanzas propiamente dichas, que regulan la edificación independientemente de la clase del suelo sobre la que se disponga. Se indican los parámetros urbanísticos que deben aplicarse, siguiendo determinado esquema: zona de ordenanza, tipología de usos, parcelación, volumen, condiciones de parcelación, condiciones de volumen y condiciones estéticas.

Por otra parte podemos encontrar determinadas normas complementarias<sup>33</sup> para facilitar el realojo, reconstrucción y reparación de inmuebles afectados por acciones sísmicas y catastróficas. Fueron aprobadas con fecha 28 de noviembre de 2011 con el objeto de establecer las condiciones de todas las actuaciones urbanísticas para permitir y facilitar la reconstrucción y reparación de los inmuebles demolidos y dañados, así como facilitar el realojo como consecuencia de los terremotos sufridos el 11 de mayo de 2011.

Tras analizar los daños más comunes como consecuencia del terremoto y sus causas<sup>34</sup>, se trataron de evitar éstas en el Plan General Municipal de Ordenación Urbana, mediante la aplicación de alturas mínimas de 3 m en locales comerciales, 3,20 m en locales de hostelería y 2,50 m en viviendas.

En la aprobación inicial de las normas complementarias de dicho plan se llega incluso a establecer que "se debería utilizar fabrica armada o similar con un sistema de cerramiento ligero con perfilera metálica y placa de yeso, hasta una altura equivalente a la de la planta baja del edificio del que forma parte, hasta tanto no se obtenga la necesaria licencia de apertura o actividad".

También se trata de actuar sobre el caso contrario en el que nos encontramos con elementos de gran rigidez debido a la presencia de soportes cortos sobre muros de sótano. La aprobación inicial de normas complementarias del mencionado plan establece que "se deberían evitar los pilares cortos (enanos) en planta semisótano, recomendando prolongar los muros de sótano hasta su unión con el forjado de suelo de planta baja, y en caso de la necesidad de abrir huecos en los alzados del muro para ventilación hacerlo con un máximo de 1/3 de su longitud"(Martínez Cuevas, 2014a)(p.a. y aa.).

---

<sup>33</sup> Su finalidad era regular aspectos no previstos o insuficientemente desarrollados por el plan general.

<sup>34</sup> Pilares cortos, planta baja diáfana, antepechos, voladizo, etc., asociados al cambio de rigidez en plantas bajas diáfanas en edificios de plantas superiores compartimentadas.

El análisis de los parámetros urbanísticos puede mostrar de manera muy gráfica su efecto sobre la vulnerabilidad. Existen determinados estudios (Ayala García, 2017) que muestran el efecto beneficioso o perjudicial de los factores analizados sobre la vulnerabilidad. En la Figura 13 se muestra las zonas de mayor sensibilidad ante un sismo, pudiendo observar cómo la mayor pendiente del terreno<sup>35</sup> supone un efecto perjudicial, así como el peor tipo de terreno<sup>36</sup> y la mayor proximidad a la falla.

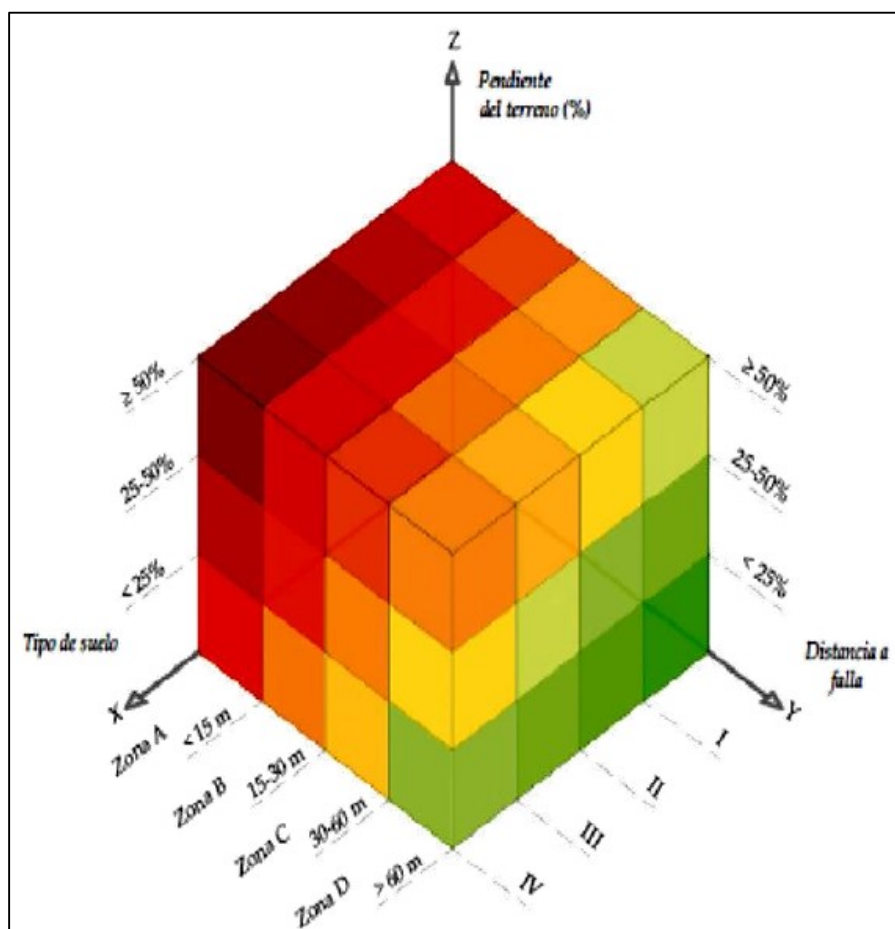


Figura 13 Representación tridimensional de la influencia de factores sobre la vulnerabilidad (Ayala García, 2017)

<sup>35</sup> De  $< 25\%$  a  $\geq 50\%$ .

<sup>36</sup> Recordamos que según la NCSE-02, el peor tipo de terreno está clasificado como IV, mientras que el I.



## 2.5. ANÁLISIS DE LAS EVALUACIONES LLEVADAS A CABO TRAS EL SISMO

La diversidad de actores que intervienen en el proceso de gestión de una emergencia asociada al fenómeno sísmico, hace que sea imprescindible un lenguaje común en la descripción de la realidad para que el proceso de toma de decisiones no se desvirtúe.

Analizando con detenimiento la gran cantidad de informes, tanto municipales como de parte que aparecen en los expedientes de ruina existentes en dependencias municipales, se llega a la conclusión de la gran variedad de términos que se emplean, no siempre de la manera más acertada, para dar cuenta de una misma realidad.

Tras el primer terremoto, se activó el plan especial de protección civil ante el riesgo sísmico en situación 1. En principio se consideró que la emergencia podía ser atendida adecuadamente por los recursos del propio municipio y de la comunidad autónoma, con lo que la dirección de las actuaciones correspondía al consejero de justicia de seguridad ciudadana. Con la activación del Plan SISMIMUR se produjo el desplazamiento de los servicios de emergencia de ámbito regional junto con los municipales. En este momento se desarrollaron tareas de evaluación de los inmuebles, procediendo a asegurar elementos en riesgo.

Con el terremoto principal se declaró la situación 2 del plan, lo que conllevó la asignación de medios y recursos de titularidad estatal no asignados al plan. En este caso la dirección pasó a llevarse a través de un comité de dirección formado por el responsable del órgano competente de la comunidad autónoma<sup>37</sup>, junto con un representante del Ministerio del Interior<sup>38</sup> (González López S., 2017).

El Plan SISMIMUR de la CARM no dispone de la posibilidad de realizar un seguimiento y control de la calidad del propio plan, quedándose en la identificación del riesgo y en la gestión inmediata de la emergencia. Existe un índice de gestión de riesgos que permite que los planes sean globales al incluir un “inventario sistemático de desastres y pérdidas, monitoreo, pronóstico y evaluación de amenazas, evaluación de vulnerabilidad y riesgo, información pública y participación comunitaria, capacitación y educación en gestión de

---

<sup>37</sup> Consejero de Justicia y Seguridad Ciudadana.

<sup>38</sup> Delegado del Gobierno de Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

riesgos, consideración del riesgo en usos del suelo y planificación urbana, ordenación territorial y protección ambiental, implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos, mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos de áreas propensas, actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción, refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados, organización y coordinación de operaciones de emergencia, planificación de la respuesta en caso de emergencia y sistema de alerta, dotación de equipos, herramientas e infraestructura, simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional, preparación y capacitación de la comunidad, planificación para la rehabilitación y reconstrucción, organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada, fondo de reservas para el fortalecimiento institucional, localización y movilización de recursos de presupuesto, implementación de redes y fondos de seguridad social, cobertura de seguros y estrategias de transferencia de pérdidas de activos públicos, cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado” (Guevara, 2011)

### **2.5.1. Triage técnico**

En aquellas zonas de terremotos frecuentes ha sido necesario el desarrollo de métodos de evaluación del daño de los edificios con el objetivo de determinar rápidamente su nivel de seguridad, así como adoptar las primeras medidas necesarias. Posteriormente será necesaria la evaluación detallada que describirá el nivel de daño estructural, permitiendo también evaluar los efectos locales de los suelos, el impacto económico y social, así como orientar en la toma de decisiones (Martínez Cuevas, 2014a).

Son varias las evaluaciones necesarias después de un sismo, con diferentes niveles de detalle. La primera, desarrollada y coordinada por equipos técnicos desde la administración y basándose en la inspección visual, trata de determinar los niveles de riesgo asociados a los daños sufridos por las edificaciones y a la toma de medidas urgentes para atenuar dichos riesgos. Posteriormente, y según lo dispuesto en la norma de construcción sísmica española del 2002, será necesaria una evaluación técnica de un profesional contratado por el propietario del edificio que plasmará en un informe los efectos del sismo así como las medidas correctoras a adoptar (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

Una de las lecciones aprendidas es la importancia de gestionar los primeros momentos después del terremoto. En estos momentos una de las principales acciones es acometer un correcto diagnóstico, teniendo en cuenta que los problemas siempre superarán a los recursos. En las primeras 24-48 horas, la intervención técnica será necesaria para un diagnóstico a escala global que debe garantizar con rapidez la seguridad de los propietarios.

En el caso de Lorca se requirió la participación de un numeroso grupo de técnicos cuya heterogeneidad en sus niveles de conocimiento, junto con la falta de un entrenamiento específico eran patentes. Además, los diagnósticos se limitaban a inspecciones visuales dada la imposibilidad de realizar otras verificaciones. El problema fue que no existían protocolos estandarizados ni clasificaciones determinadas previamente que permitirán la homogeneidad y seguridad en el diagnóstico. La existencia de un protocolo estandarizado de evaluación post-sismo habría garantizado una mejor diagnosis. La Universidad Politécnica de Cartagena trabajó en un formulario de evaluación que aparece en la Figura 14.

El formulario presenta una serie de ítems para determinar la prohibición de acceso o la necesidad de demolición (García-Ayllón & Tomás, 2014).

Los procedimientos o protocolos analizados y puestos en práctica reducen la incertidumbre e improvisación en la fase de reconstrucción tras sismo. Con respecto a la intervención técnica estos procedimientos se desarrollaron en el ámbito del grupo de evaluación, que se integró junto con el resto de grupos de acción y bajo la coordinación del puesto de mando avanzado según el esquema de la estructura y organización general del Plan SISMIMUR. Las funciones de este grupo se vieron respaldadas por el procedimiento de actuación global (Roldán Ruiz, J., Pérez Millán, I., & Soriano García, D., 2015) (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015) mediante el que decenas de edificios se repararon, dotando las intervenciones practicadas de orden, rigor y registro. El procedimiento de actuación global tras terremoto sigue un esquema con las siguientes fases:

- Fase 0: evaluación de emergencia e inmediata,
- Fase 1: apuntalamientos: aseguramiento y verificación.
- Fase 2: intervenciones urgentes.

- Fase 3: evaluación pormenorizada<sup>39</sup>.
- Fase 4: intervenciones finales: proyecto, ejecución y dirección de obra.

Formulario de Evaluación Urgente Post-sismo de Edificios		Universidad Politécnica de Cartagena																									
<b>SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN EDIFICIO Y HABITABILIDAD</b> Zona / Barrio: _____ Nombre edificio: _____ Calle / Avda.: _____ Nº _____ <b>Resumen clasificación de la habitabilidad</b> (copia de la Sección 5 al finalizar) VERDE (habitable) <input type="checkbox"/> AMARILLO (uso restringido) <input type="checkbox"/> ROJO (no habitable) <input type="checkbox"/> NEGRO (peligro de colapso) <input checked="" type="checkbox"/>																											
<b>SECCIÓN 2. INSPECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO</b> Exterior <input type="checkbox"/> Interior <input checked="" type="checkbox"/> Sólo exterior <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Fecha: _____ Hora: _____ Señalar uso predominante del edificio: (Residencial) <input checked="" type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Docente <input type="checkbox"/> Sanitario <input type="checkbox"/> Hotelero <input type="checkbox"/> Administrativo <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Aparcamiento <input type="checkbox"/> Otro _____ Señalar uso predominante planta baja: (Residencial) <input checked="" type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Docente <input type="checkbox"/> Sanitario <input type="checkbox"/> Hotelero <input type="checkbox"/> Administrativo <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Aparcamiento <input type="checkbox"/> Otro _____ Superficie (aprox.): _____ X _____ Nº de plantas sobre el terreno: 5 Nº «órganos»: 1 Estructura (tipos de hormigón, de acero, etc.): Estructura apartada de hormigón armado Forjado (viguetas de hormigón, acero, madera, rotular, etc.): Unidireccional de viguetas prefabricadas Señalar año de construcción: 1. Anterior a 1963 2. 1963 a 1968 3. 1969 a 1974 (si se conoce) 4. 1975 a 1994 5. 1995 a 2002 6. Posterior a 2002																											
<b>SECCIÓN 3. DAÑO Y RIESGO ESTRUCTURAL</b> <b>RIESGO estimado de pérdida de ESTABILIDAD GLOBAL del edificio:</b> NIVEL 1: BAJO <input type="checkbox"/> NIVEL 2: BAJO TRAS REFORZAR <input type="checkbox"/> NIVEL 3: ALTO <input type="checkbox"/> NIVEL 4: MUY ALTO <input checked="" type="checkbox"/> No existen colapsos, desplomes ni asentamientos en cimentación. No precisa reforzar. No existen colapsos, desplomes ni asentamientos en cimentación. Precisa reforzar (separamientos, apses, etc.) Colapso parcial (< 30%) sin evidencias de desplomes en el resto. Colapso generalizado (> 50%) con evidencias de desplomes en el resto. <b>DAÑO observado en PILARES y VIGAS (planta más dañada):</b> NIVEL 1: LEVE <input type="checkbox"/> NIVEL 2: MODERADO <input type="checkbox"/> NIVEL 3: FUERTE <input type="checkbox"/> NIVEL 4: SEVERO <input type="checkbox"/> No se aprecia daño o existe fracturación leve (ancho < 1 mm). Agratamiento leve (ancho entre 1-2 mm) en al menos el 40% de pilares o vigas. Agratamiento notable (ancho > 2 mm) y barras expuestas en al menos el 20% de pilares o vigas. Daños graves (agrietamientos del hormigón, agratamiento del núcleo de las secciones, barras penderosas, inclinaciones excesivas, etc.) en al menos el 10% de pilares o vigas.																											
<b>SECCIÓN 4. DAÑO Y RIESGO NO ESTRUCTURAL</b> <b>DAÑO observado en elementos no estructurales:</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NIVEL 1: LEVE</th> <th>NIVEL 2: MODERADO</th> <th>NIVEL 3: FUERTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Elementos en cubierta (entrepisos, parapetos, cornisas, chimeneas, etc.)</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Elementos de fachada (carramientos, revestimientos, carpinterías exteriores, etc.)</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Tabiquerías y particiones interiores</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Falsos techos</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Escaleras</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table> <b>RIESGO estimado no estructural (función del daño observado):</b> NIVEL 1: LEVE <input type="checkbox"/> NIVEL 2: MODERADO <input checked="" type="checkbox"/> NIVEL 3: FUERTE <input type="checkbox"/> No existen caídas o hay daños leves. No hay peligro para las personas. Daños generalizados que implican peligro para las personas. Adoptar medidas (restringir paso, demoler, reforzar, reparar, etc.) Daños generalizados que implican peligro para las personas.					NIVEL 1: LEVE	NIVEL 2: MODERADO	NIVEL 3: FUERTE	Elementos en cubierta (entrepisos, parapetos, cornisas, chimeneas, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elementos de fachada (carramientos, revestimientos, carpinterías exteriores, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tabiquerías y particiones interiores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Falsos techos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Escaleras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	NIVEL 1: LEVE	NIVEL 2: MODERADO	NIVEL 3: FUERTE																								
Elementos en cubierta (entrepisos, parapetos, cornisas, chimeneas, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
Elementos de fachada (carramientos, revestimientos, carpinterías exteriores, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
Tabiquerías y particiones interiores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
Falsos techos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
Escaleras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
<b>SECCIÓN 5. CLASIFICACIÓN DE LA HABITABILIDAD</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Riesgo de estabilidad global (copiar nivel de riesgo de Secc. 3)</th> <th>Daño en pilares y vigas (escoger el mayor daño de Secc. 3)</th> <th>Riesgo no estructural (copiar nivel de riesgo de Secc. 4)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nivel 1: Bajo <input type="checkbox"/></td> <td>Nivel 1: Leve <input type="checkbox"/></td> <td>Nivel 1: Leve <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Nivel 2: Bajo tras reforzar <input type="checkbox"/></td> <td>Nivel 2: Moderado <input type="checkbox"/></td> <td>Nivel 2: Moderado <input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Nivel 3: Alto <input type="checkbox"/></td> <td>Nivel 3: Fuerte <input type="checkbox"/></td> <td>Nivel 3: Fuerte <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Nivel 4: Muy alto <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Nivel 4: Severo <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <b>Clasificación de la HABITABILIDAD</b> (señalar la más restrictiva y copiarla después en la Sección 1): VERDE (habitable) <input type="checkbox"/> AMARILLO (uso restringido) <input type="checkbox"/> ROJO (no habitable) <input type="checkbox"/> NEGRO (peligro de colapso) <input checked="" type="checkbox"/> Si las tres clasificaciones anteriores son Nivel 1 Si existe al menos una de Nivel 2 Si existe al menos una de Nivel 3 Si existe al menos una de Nivel 4 o más de una de Nivel 3				Riesgo de estabilidad global (copiar nivel de riesgo de Secc. 3)	Daño en pilares y vigas (escoger el mayor daño de Secc. 3)	Riesgo no estructural (copiar nivel de riesgo de Secc. 4)	Nivel 1: Bajo <input type="checkbox"/>	Nivel 1: Leve <input type="checkbox"/>	Nivel 1: Leve <input type="checkbox"/>	Nivel 2: Bajo tras reforzar <input type="checkbox"/>	Nivel 2: Moderado <input type="checkbox"/>	Nivel 2: Moderado <input checked="" type="checkbox"/>	Nivel 3: Alto <input type="checkbox"/>	Nivel 3: Fuerte <input type="checkbox"/>	Nivel 3: Fuerte <input type="checkbox"/>	Nivel 4: Muy alto <input checked="" type="checkbox"/>	Nivel 4: Severo <input type="checkbox"/>										
Riesgo de estabilidad global (copiar nivel de riesgo de Secc. 3)	Daño en pilares y vigas (escoger el mayor daño de Secc. 3)	Riesgo no estructural (copiar nivel de riesgo de Secc. 4)																									
Nivel 1: Bajo <input type="checkbox"/>	Nivel 1: Leve <input type="checkbox"/>	Nivel 1: Leve <input type="checkbox"/>																									
Nivel 2: Bajo tras reforzar <input type="checkbox"/>	Nivel 2: Moderado <input type="checkbox"/>	Nivel 2: Moderado <input checked="" type="checkbox"/>																									
Nivel 3: Alto <input type="checkbox"/>	Nivel 3: Fuerte <input type="checkbox"/>	Nivel 3: Fuerte <input type="checkbox"/>																									
Nivel 4: Muy alto <input checked="" type="checkbox"/>	Nivel 4: Severo <input type="checkbox"/>																										
<b>SECCIÓN 6. DATOS DE CONTACTO Y COMENTARIOS</b> Persona de contacto del edificio: _____ Tlf.: _____ Coordinador/a del equipo evaluador: _____ Tlf.: _____ Comentarios: _____																											

Figura 14 Formulario de Evaluación Post-sismo (García-Ayllón & Tomás, 2014)

La evaluación de emergencia e inmediata correspondiente a la Fase 0, se basaba en un organigrama básico de organización y contaba como herramienta básica de trabajo con un formulario de toma de datos y decisiones con un formato específico y diseñado expresamente para este terremoto.

Se llevó a cabo por los técnicos del ayuntamiento de Lorca y de la Comunidad Autónoma de Murcia, junto con un número de técnicos voluntarios de hasta 200. A las 8:00 de la mañana del día 12 de mayo se establecía en la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Lorca, el centro de evaluación de daños y análisis de necesidades que coordinaría las tareas de evaluación. La

<sup>39</sup> Según lo dispuesto en el artículo 1.3.3 de la NCSE-02, relativo al informe de consecuencias y medidas adoptadas tras el sismo.

ciudad fue dividida en 29 secciones y a cada una se le asignó un total de cinco técnicos coordinados por un jefe de equipo (González López S., 2017).

La Figura 15 muestra el organigrama básico del flujo de información, canalizado a través de la coordinación general que estaba en permanente contacto con la autoridad responsable y que comunicaba los equipos de evaluación de daños y los grupos de intervención. La coordinación general también daba respuesta a los aspectos legales relativos al acceso a propiedades privadas. Los equipos de evaluación de daños, pertenecientes e integrados en los grupos de evaluación sísmica, estuvieron formados por técnicos de la administración, tanto local como autonómica, y voluntarios con diferente nivel de experiencia en tareas de evaluación de daños, acompañados por técnicos que conocían la ciudad. Cada equipo de evaluación de daños tenía entre dos y tres miembros. Para la resolución de situaciones especialmente críticas se creó un equipo de mayor especialización conocido como equipo o grupo cero, integrado por miembros de reconocida solvencia en situaciones de evaluación extrema. Su objetivo era dar respuesta a la evaluación de edificios de especial complejidad, así como para zanjar determinadas disparidades que podrían surgir en las evaluaciones. El equipo cero estaba integrado por siete miembros.

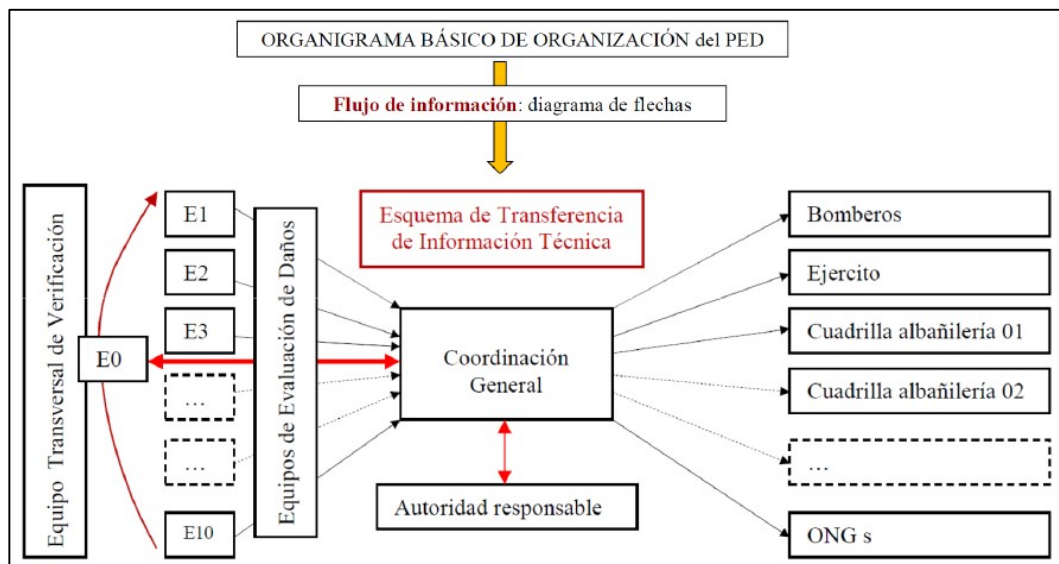


Figura 15 Organigrama del flujo de información (Roldán Ruiz, J. et al., 2015)

Se llevó a cabo una señalización de los edificios según los tipos de daños estructurales, recomendando unas intervenciones para atenuar los riesgos y estableciendo unas limitaciones de acceso en base a las fichas de que disponían los equipos de evaluadores y que se describen a continuación.

La ficha estaba dividida en tres bloques: encabezamiento, que identificaba el inmueble y el grupo de evaluación; el cuerpo de la evaluación, donde se optaba por una de las tres situaciones asociadas a un código de color; y la parte inferior en la que existía la posibilidad de realizar observaciones y se reproducía el esquema de los tipos de daños más frecuentes. Esta ficha no pretendía obtener todos los datos necesarios para realizar una evaluación detallada, sino aportar a la autoridad responsable los datos mínimos esenciales para facilitar el proceso de toma de decisiones.

La semana después del terremoto un total de 7839 edificios habían sido analizados y clasificados en código de colores según el grado de daño como sigue a continuación (Benito Oterino, Rivas Medina, Gaspar Escribano, & Murphy, 2012) (González López S., 2017):

- Etiqueta verde: seguridad de uso, aunque podría presentar daños ligeros como fisuras, grietas o pequeños desprendimientos, clasificándose como daño no estructural leve o moderado.
- Etiqueta amarilla: edificio con daños y acceso condicionado a la eliminación del riesgo como derribo de techos o parapetos dañados, o bien permitiendo uso con precaución. Estaba relacionado con la existencia de daño estructural ligero o moderado y daño no estructural severo o moderado.
- Etiqueta roja: edificio con daño estructural severo con prohibición de acceso.

Determinados autores (Guevara, 2011) incorporan a esta clasificación la etiqueta negra para referirse a edificaciones demolidas o con decreto de ruina inminente. El mismo autor hace referencia a que la etiqueta con color negro aparece en el 5.14% de los edificios inspeccionados y se concentran en el barrio de la Viña y en el casco histórico. Los marcados en rojo representan un 10.85%, los que no tienen defectos significativos y clasificados como amarillo representan el

20.97% de los edificios inspeccionados y los habitables marcados como verdes corresponden al 62.49% de las inspecciones realizadas.

Otros autores (Carreño Tibaduiza et al., 2013) estiman que del total de visitas de inspección realizadas, aproximadamente en 300 habían aparecido daños estructurales graves y en 465 daños moderados. En ambos casos aparecían daños no estructurales que podían poner en peligro la seguridad de las personas.

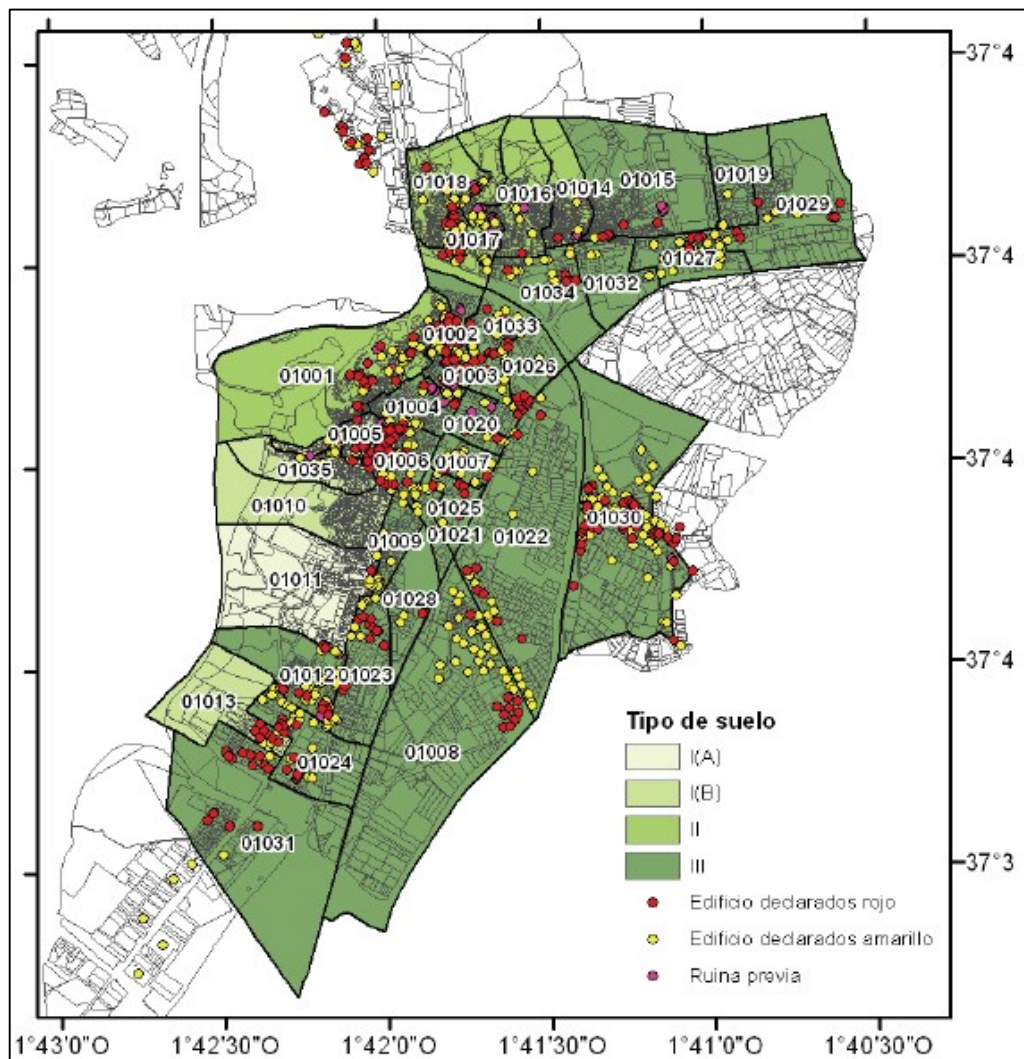


Figura 16 Daños en Lorca<sup>40</sup> por distrito censal y tipo de suelo (Benito Oterino et al., 2012)

<sup>40</sup> Con indicación de edificios con etiqueta amarilla (daños moderados) y roja (daños graves).

En el área municipal de Lorca se analizaron 5155 edificios de los cuales 889 (13% del total) obtuvieron la calificación de daño amarillo o rojo. En el barrio de la Viña resultaron dañados en torno al 41% del total de los edificios. En el casco histórico los edificios con clasificación roja o amarilla suponen un 16% del total. El barrio de la avenida de las Fuerzas Armadas tiene un 40 % de edificios dañados. El proyecto SISMOZON (Navarro et al., 2008) superpone el mapa de daños con las características del suelo que aparece en la Figura 16 (Benito Oterino et al., 2012).

Es a partir del tercer día cuando se cometen una serie de intervenciones con el objeto de asegurar la vía pública, contando para ello con equipos especializados de bomberos, Ume y brigadas de obra que procedían a retirar todo aquello que podía suponer un riesgo de caída. Esta actuación conllevó una reclasificación de los inmuebles en función de su código de color.

Lo complicado de la situación unido a la falta de formación específica y de entrenamiento de los técnicos voluntarios, así como la ausencia de protocolos previos, trajo como consecuencia cierta disparidad en los criterios que ocasionó cierta desconfianza y alarma social.

Al margen de lo anterior destacan los trabajos realizados por los expertos del IGN y del IGME que monitorizaron la zona y generaron una serie de informes sísmicos.

La Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales del Ministerio de Cultura procedía hacer una estimación del daño en el patrimonio cultural, así como determinar las actuaciones necesarias (González López S., 2017)(p.a. y aa.).

Para terminar se aportan algunas ideas sobre las implicaciones que tuvo la evaluación de los daños (Álvarez Cabal, R., et al., 2013):

- Identificación: muchos informes analizados justificaban la demolición con la simple existencia de fisuras, llegando a identificar los términos fisura y daño. Existen diferentes publicaciones como las normas Fema 274, en la que se hace alusión a determinadas aberturas mínimas a partir de las cuales se considera el daño como insignificante.
- Origen: es importante que se trate de discernir si el síntoma del daño analizado es previo o posterior al terremoto.
- Trascendencia: se debe distinguir si los daños se consideran importantes por reducir la capacidad de la estructura o su durabilidad. En el primer



caso los umbrales de ancho de fisura considerados es del orden de milímetros, mientras que en el caso de la durabilidad las aberturas admisibles son del orden de 1/10 de milímetro, fijándose por la instrucción española de hormigón estructural en tres décimas de milímetro para los entornos de agresividad habitual.

- Demolición frente recuperación<sup>41</sup>: existen diversos criterios (técnicos, económicos, jurídicos) bajo los que establecer la decisión, así como diversos agentes implicados (propietarios, administración, seguros), lo que hace que algunas argumentaciones sean en ocasiones subjetivas.
- Criterio de ruina: independientemente del tipo de ruina que se pueda establecer legalmente (técnica, económica y urbanística) se considera que casi cualquier tipo de daño puede ser reparable bajo un criterio técnico.
- Gravedad o extensión de los daños: el hecho de que determinados elementos actúen como concentrador del daño<sup>42</sup> tiene una influencia positiva en cuanto a posibilidades de recuperación del edificio se refiere.
- Reparación frente refuerzo: algunas de las soluciones de reparación adoptadas tras el sismo simplemente vuelven a repetir los errores constructivos que ocasionaron en el daño. Éste planteamiento solo es entendible desde el punto de vista económico, con lo que parece que se llega a la conclusión de que los seguros se hacen cargo de la reparación del daño, pero no del refuerzo o de la sustitución de configuraciones previas inadecuadas.

### **2.5.2. Lenguaje empleado en la interpretación de estructuras. Criterios para clasificación de edificaciones tras la evaluación**

A raíz del terremoto de Lorca y con el empeño de analizar lo ocurrido desde todos los puntos de vista posibles, ha ido surgiendo paulatinamente una gran cantidad de publicaciones que finalmente ha servido como base para unificar criterios. Todo el conocimiento generado ha servido como punto de partida para el establecimiento de planes formativos de los futuros evaluadores, consiguiendo un lenguaje común que permita la correcta evaluación de la gravedad de los

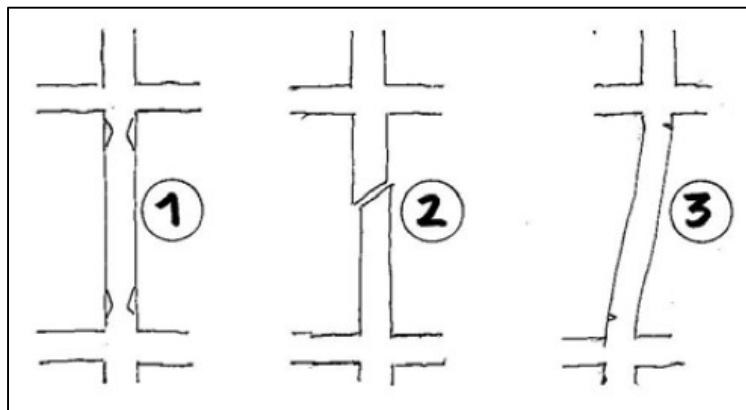
---

<sup>41</sup> Entendiendo por recuperación tanto la reparación como el refuerzo de la estructura.

<sup>42</sup> Como pueden ser los pilares cortos.

daños y la implantación de las acciones más adecuadas. Para llegar a determinar si las edificaciones tienen daños estructurales nulos, moderados o graves se analizan los siguientes elementos estructurales en función de los daños aparentes que presenten:

- Pilares: la Figura 17 presenta daños en pilares asociados a los movimientos sísmicos. La primera figura corresponde a un exceso de flexión acumulada en los extremos que origina roturas, grietas y aplastamientos en esa zona. La segunda figura alude al exceso de cortadura, que aunque está representada en el centro del soporte también puede estar en la zona superior o inferior<sup>43</sup>. El tercer esquema corresponde a un desplazamiento no recuperado que origina fisuras o grietas horizontales en caras opuestas en la zona superior y en la inferior.

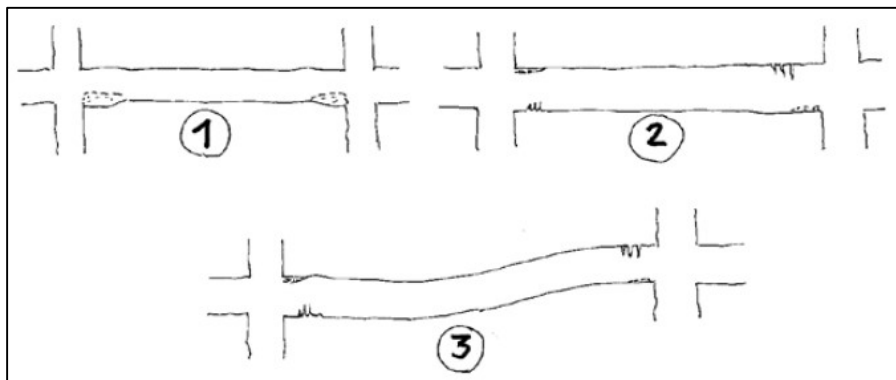


**Figura 17 Daños en pilares por movimientos sísmicos**  
(Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)

- Vigas: los daños presentados en la Figura 18 que guardan relación con los mencionados anteriormente al hablar de los pilares, se pueden agrupar en tres tipos. El primer esquema corresponde a una viga que sufre plastificación en las secciones extremas en su cara inferior, debido al aumento del momento flector ocasionado por el desplazamiento horizontal asociado a la aceleración sísmica. El esquema 2 alude a una viga en la que se produce un incremento considerable del momento flector ocasionando un incremento considerable del mismo en un extremo y una

<sup>43</sup> En Lorca se presentó fundamentalmente en la zona superior de los pilares.

inversión en el otro, originando que en la cara en la zona más solicitada quede sometido a tracción provocando el alargamiento de su armadura superior y en el extremo opuesto en la cara inferior. En este caso en las caras opuestas a las mencionadas, estarían sometidas a esfuerzos de compresión con lo que podrían aparecer aplastamientos en dicha zona. El esquema 3 corresponde a una viga en la que la aceleración vertical asociada a la acción sísmica puede provocar descensos en el apoyo de las vigas asociados con la transmisión de cargas añadidas a cimentación provocando su asiento. En este caso la cara inferior de la viga en la zona de unión con el pilar que asienta sufriría la fisuración por tracción, al igual que la cara superior de la viga en su unión con el pilar que no asienta. En las caras opuestas a las mencionadas se podrían acumular esfuerzos de compresión asociados al aplastamiento de esa zona.



**Figura 18 Daños en vigas por movimientos sísmicos**  
(Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)

En el caso de las edificaciones con estructuras murarias también se analizan los siguientes daños de origen sísmico, con el objetivo de clasificar las edificaciones en códigos de color.

- Daños en elementos estructurales verticales: vuelcos totales o parciales, fracturas en diagonal o cruzadas, fracturas por golpeo, fracturas en esquinas, abombamientos, separación de hojas en muros y deslizamientos.
- Daños en elementos estructurales horizontales: agrietamiento longitudinal en dirección de los nervios, agrietamiento transversal, etc.
- Daños en escaleras y en cubiertas: grietas transversales en la unión con la meseta, grietas longitudinales en el encuentro con los muros, etc.


- Daños en cubiertas: derrumbes parciales, deslizamientos y desprendimiento de aleros.

Como se ha comentado anteriormente los aspectos más relevantes para poder llegar a clasificar las edificaciones en función de su estado, se recogían en unas fichas que además permitían determinar las intervenciones necesarias del modo más efectivo y rápido, optimizando los recursos disponibles a la emergencia. En la Figura 19 y en la Figura 20 aparece la ficha empleada en estructuras porticadas. El primer bloque de información contiene número de expediente y referencia catastral, identificación del equipo evaluador, sector y datos de localización de la edificación. También incluye algunos datos sobre la configuración de la edificación como son el número de plantas sobre y bajo rasante y su uso predominante, así como el año de construcción. El segundo bloque contiene datos referentes a la situación de colapso, inclinación y asiento general, y una aportación sobre el tipo de daño estructural predominante según las opciones correspondientes con los colores del triaje de la edificación (verde, amarillo y rojo) en función de los criterios contenidos en la propia ficha. Al dorso aparece el tercer bloque reservado a recomendaciones, medidas de seguridad, así como descripciones relativas a las edificaciones vecinas, número de viviendas, estimación de personas desalojadas, acciones de apuntalamiento, etc. Finalmente aparece la fecha de evaluación y la firma de los evaluadores. No se trata de obtener completas evaluaciones de daños sino una primera aproximación a la realidad del edificio tras el sismo, con implicaciones directas en la seguridad (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)(p.a. y aa.).

Con la misma filosofía descrita en el apartado anterior para las estructuras de entramados, la Figura 21 y la Figura 22 presentan la ficha de evaluación en estructuras a base de muros. Igualmente dispone de tres bloques. El primer bloque que conforma el encabezamiento de la ficha, contiene el número de expediente y referencia catastral, identificación del equipo evaluador y del sector en el que se desarrolla la evaluación, así como datos de localización de la edificación y datos correspondientes a su configuración, el número de plantas sobre bajo rasante y su uso predominante. A diferencia de lo descrito en el punto anterior, se hace referencia a la posible denominación del edificio, a su posible ubicación en catálogo de edificaciones históricas, bienes de interés cultural

y similares. El segundo bloque dispone la evaluación definitiva de la edificación, con indicación del código de color correspondiente. Como en el caso anterior el tercer bloque se reserva para la recomendaciones y medidas de seguridad, así como alusiones al número de viviendas afectadas y personas desalojadas. También dispone de información relativa a los apuntalamientos, conteniendo incluso croquis aclaratorios (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015).

Para el estudio de edificaciones históricas se ha recurrido a las técnicas de análisis estructural geológico y su aplicación al arqueosismología. La arqueosismología se encarga de determinar los daños en terremotos históricos de enclaves arqueológicos. Aportan información sobre grandes eventos sísmicos de los que no hay registro histórico, aportando datos esenciales sobre peligrosidad y riesgo sísmico. El estudio arqueosísmico permite relacionar el daño con parámetros sísmicos como intensidad, magnitud, profundidad y geometría de la falla. Hay una clasificación de los aspectos arquitectónicos de los terremotos de Lorca, llevada cabo por los investigadores del IGME sobre muros de mampostería, sillería, ladrillo, bóvedas, arcos, forjados y cubiertas de madera sometidos a la acción sísmica (Rodríguez-Pascua, M.A. et al., 2012). Dicha clasificación arroja un inventario de daños empleado en el análisis estructural, según lo reflejado en la Tabla 8, con tipos como fracturas conjugadas, esquinas fracturadas, arcos desplazados, bloques desplazados, giros en bloques de sillería y columnas, muros colapsados, bóvedas colapsadas, columnas caídas, fracturas penetrativas en bloque de sillería y marcas de impacto.



Región de Murcia

**ESTRUCTURAS PORTICADAS**

---

**EVALUACIÓN RÁPIDA DE DAÑOS**

**EXPEDIENTE N°**

Ref Catastral  Evaluador/es  Sector

**IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

Dirección: Calle  Avda.  Carretera  Camino

Nombre de la vía:  Número

Nombre del edificio:

N° Plantas sobre rasante  N° Plantas Sótano

<b>Uso Edificio</b>	Residencial <input type="checkbox"/>	Salud Hotelero <input type="checkbox"/>	Deportivo Industrial <input type="checkbox"/>	Comercial Educación <input type="checkbox"/>	Otros indicar <input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------------------	---	---	--	--

**Uso Planta Baja**

Residencial  Comercial  Garaje  Oficinas

Otros indicar:

**DAÑOS OBSERVADOS EN LA EDIFICACIÓN:**

Existe colapso:	No <input type="checkbox"/>	<b>ROJO</b>	Parcial <input type="checkbox"/>	Total <input type="checkbox"/>
Asiento de cimentación	No <input type="checkbox"/>		Si <input type="checkbox"/>	
No se pudo determinar	<input type="checkbox"/>			
Inclinación aparente	No <input type="checkbox"/>		Todo el edificio <input type="checkbox"/>	A partir del piso n° <input style="width: 50px;" type="text"/>

**Daños estructurales nulos o irrelevantes**

**VERDE**

Cuando no se den daños estructurales tipo 1, 2 ó 3, ni daños de riesgo en albañilería: accesos y cajas de escalera accesibles, fachadas sin riesgo inminente, etc.

**Intervención:** sólo tareas de adecuación de elementos con riesgo de caída: escayolas, molduras, revestimientos, etc.

**Acceso:** se permite el acceso general con la prudencia personal de los usuarios en cuanto a caída de escayolas, revestimientos, etc.

**Daños estructurales moderados**

**AMARILLO**

Cuando se den daños en pilares o vigas del tipo 1, 2 ó 3 con un agrietamiento leve (ancho entre 1-2 mm) en menos del 40% de estos elementos.

**Intervención:** apuntalamientos parciales y desmontaje de elementos de albañilería con riesgo: petos, cornisas, etc. Acordonamiento de accesos y zonas de riesgo especial.

**Acceso:** desalojo en general y sólo, tras la intervención anterior, acceso puntual y en periodos cortos, a usuarios para retirada de enseres, pertenencias básicas, etc. hasta la reparación estructural.

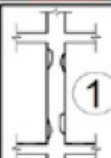
**Daños estructurales graves**

**ROJO**

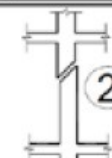
Cuando se den daños en pilares o vigas del tipo 1, 2 ó 3 con un agrietamiento leve (ancho entre 1-2 mm) en el 40% o mas de estos elementos y/o agrietamiento fuerte (ancho > 2 mm) y barras expuestas en mas del 20 % de estos elementos, o existan zonas con riesgo de colapso inminente.

**Intervención:** apuntalamientos y acordonamiento general de la edificación con distancia de seguridad. Solo en casos extremos de riesgo inminente: demolición de partes de edificación, elementos con riesgo, cajas de escalera, fachadas etc., previo *informe técnico municipal y autorización administrativa*.


**Acceso:** desalojo general y pendiente de informe técnico para reparación y/o demolición total o parcial



1

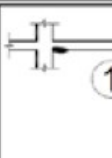


2

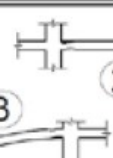


3


**PILARES**



1



2



3


**VIGAS**

(Marcar con aspa sobre el nombre del color que proceda tras la inspección)

Figura 19 Página 1 de la ficha de evaluación de estructuras porticadas (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015)

<b>RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE SEGURIDAD</b>					
<b>Evacuar edificación vecina</b>		Izquierda <input type="checkbox"/>	Derecha <input type="checkbox"/>	Frontal <input type="checkbox"/>	Trasera <input type="checkbox"/>
Requiere segunda evaluación (indicar): _____					
Acceso parcial o zonal (indicar): _____					
Prohibido el acceso <input type="checkbox"/>					
Nº Viviendas desalojadas <input style="width: 100px;" type="text"/>		Estimación personas desalojadas <input style="width: 100px;" type="text"/>			
		(3 personas/vivienda)			
<b>Apuntalamiento:</b>				En el exterior <input type="checkbox"/>	En el interior <input type="checkbox"/>
Indicar/Croquis: <div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>					
<b>Demolición de elementos con peligro de caída/vuelco:</b>				Exteriores <input type="checkbox"/>	Interiores <input type="checkbox"/>
<div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>					
<b>Otras medidas a adoptar (acordonar, cortar calles)/Croquis/Situación/Otros:</b>					
Indicar: <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>					
<b>Fecha de evaluación</b>				E/Los Evaluador/es	
Día	Mes	Año	Hora	Firma	

**Figura 20** Página 2 de la ficha de evaluación de estructuras porticadas  
(Frías Díaz de la Cruz et al., 2015)



Región de Murcia

**ESTRUCTURAS MURARIAS**

---

**EVALUACIÓN RÁPIDA DE DANOS**
**EXPEDIENTE N°**

Ref Catastral  Evaluador/es  Sector

**IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

Dirección: Calle  Avenida  Carretera  Camino

Nombre de la vía:  Número

Nombre del edificio:

N° Plantas sobre rasante  N° Plantas Sótano

Uso Edificio	Residencial <input type="checkbox"/>	Salud Hotelero <input type="checkbox"/>	Deportivo Industrial <input type="checkbox"/>	Comercial Educación <input type="checkbox"/>	Otros indicar <input type="checkbox"/>
Uso Planta Baja	Residencial <input type="checkbox"/>		Comercial <input type="checkbox"/>	Garaje <input type="checkbox"/>	Oficinas <input type="checkbox"/>

**RESULTADO FINAL DE LA EVALUACIÓN**

**VERDE**


**AMARILLO**

**ROJO**

**DAÑOS OBSERVADOS EN LA EDIFICACIÓN:**

Existe colapso:	No <input type="checkbox"/>	<b>ROJO</b>	Parcial <input type="checkbox"/>	Total <input type="checkbox"/>
Asiento de cimentación	No <input type="checkbox"/>		Si <input type="checkbox"/>	
No se pudo determinar <input type="checkbox"/>			Todo el edificio <input type="checkbox"/> A partir del piso n° <input type="text"/>	
Inclinación aparente	No <input type="checkbox"/>			

**En elementos estructurales verticales:**

Muros																					
<b>MV</b>	Vuelco parcial o total																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red															
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
<b>MFD/MFc</b>	Fractura Diagonal / Fractura Cruzada																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table> </td> <td style="text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table> </td> </tr> </table>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red								
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
<b>MFG/</b>	Fractura por Golpeo /																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red								
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
<b>MEF</b>	Esquina Fracturada																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red								
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
<b>MA</b>	Abombamiento																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red								
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
<b>MSH</b>	Separación de sus Hojas																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red								
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
<b>MDE/MD</b>	DEslizamiento / DIslocación																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">V</td><td style="text-align: center;">Green</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">Yellow</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">R</td><td style="text-align: center;">Red</td></tr> </table>	V	Green	A	Yellow	R	Red								
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				
V	Green																				
A	Yellow																				
R	Red																				

**Apuntalamiento / Demolición / Otros:**  
Indicar/Croquis:

Figura 21 Página 1 de la ficha de evaluación de estructuras murarias (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015)



En elementos estructurales horizontales:			
<b>Forjados de viguetas y revoltón</b>			
<b>FGL</b>	Grieta Longitudinal por arrastre de fachada	<b>FGT/</b>	Grieta Transversal /
<input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <span style="color: green;">■</span> <input type="checkbox"/> <span style="color: yellow;">■</span> <input type="checkbox"/> <span style="color: red;">■</span> 	<input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <span style="color: green;">■</span> <input type="checkbox"/> <span style="color: yellow;">■</span> <input type="checkbox"/> <span style="color: red;">■</span> 
<b>Apuntalamiento / Demolición / Otros:</b> Indicar/Croquis:			
<b>Escaleras</b>			
<b>EMZ</b>	Grietas en Unión de Mesetas y Zancas	<b>EAM/EL</b>	Arraste parcial por Muro soporte/Grieta Longitudinal
<input type="checkbox"/> <span style="color: green;">■</span> <input type="checkbox"/> <span style="color: yellow;">■</span> <input type="checkbox"/> <span style="color: red;">■</span>		<input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> R	
<b>Apuntalamiento / Demolición / Otros:</b> Indicar/Croquis:			
<b>Cubiertas</b>			
<b>CDP</b>	Derrumbe Parcial	<b>CDES</b>	DESlizamiento
<input type="checkbox"/> <span style="color: green;">■</span> <input type="checkbox"/> <span style="color: yellow;">■</span> <input type="checkbox"/> <span style="color: red;">■</span>		<input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> R	
<b>CDA</b>	Desprendimiento de Aleros	<input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> R	
<input type="checkbox"/> <span style="color: green;">■</span> <input type="checkbox"/> <span style="color: yellow;">■</span> <input type="checkbox"/> <span style="color: red;">■</span>			
<b>Apuntalamiento / Demolición / Otros:</b> Indicar/Croquis:			
Fecha de evaluación			El/Los Evaluador/es
Día	Mes	Año	Hora
Firma			

Figura 22 Página 2 de la ficha de evaluación de estructuras murarias (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015)

Los daños más comunes en elementos de fábrica producidos por un terremoto se manifiestan a través de síntomas que se exponen a continuación (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015):

- Grieta: según la RAE es una hendidura alargada que se hace en cualquier cuerpo sólido. Según Vera Boti en el 2003, se trata de un instrumento mecánico que transforma la energía de deformación del cuerpo traccionado en energía de fractura. Este concepto va asociado al término fisura, que suele entenderse como una grieta de menor importancia con una abertura máxima de 1 mm y que no llega a seccionar completamente el elemento afectado. La grieta se define aportando datos relativos a su abertura, espesor, inclinación, desarrollo coplanario, existencia de grietas en forma de aspas y actividad.
- Giro: la RAE define el giro como el movimiento de una figura o un objeto alrededor de un punto de un eje. Para completar su definición habría que aportar datos sobre su sentido y su actividad.
- Vuelco vs. Desplome vs. Giro: se define volcar como torcer algo hacia un lado totalmente y se define desplome como hacer que una pared edificio u otra cosa pierda la posición vertical. La diferencia entre un giro y un vuelco está en que el giro hace referencia al desplazamiento de la totalidad del elemento afectado, mientras que un vuelco afecta solo a una parte de un elemento. También habría que definir tanto el sentido, como el eje o charnela sobre el que se produce el vuelco.
- Pandeo: según la RAE está asociado y ocurre cuando un elemento se tuerce o encorva, sobre todo en su zona central. Suele estar asociado a abombamientos en la zona central del elemento comprimido, pudiendo llegar a aparecer grietas en la zona fraccionada. Está relacionada con los conceptos de esbeltez y arriostamiento. Afecta a elementos que trabajan a compresión y uno de sus factores principales es la esbeltez, de tal forma que a igualdad de carga y arriostamiento, un elemento con mayor esbeltez presentará pandeo antes.
- Colapso: según la RAE es la destrucción o ruina de una estructura.
- Abombamiento: se trata de la deformación de la distribución vertical del muro, pudiendo llevar aparejada cierta desagregación interna.

- Derrumbe total o parcial: según la RAE está asociado a los conceptos de arruinar, demoler, echar a tierra muros o edificios. Es sinónimo de colapso.
- Deslizamiento: es un desplazamiento parcial o total sin llegar a perder verticalidad. Se puede producir como consecuencia del desplazamiento del cimiento con implicación sobre el muro.

<b>EFFECTOS EN LA FÁBRICA DE LOS EDIFICIOS</b>	<i>Estructuras de deformación generadas por deformación permanente del sustrato</i>	- Impactos entre el enlosado	
		- Muros basculados	
		- Muros Plegados	
	<i>Estructuras de deformación generadas por deformación transitoria del sustrato</i>	- Fracturas penetrativas en bloques de sillaría	
		- Fracturas conjugadas en muros de estuco o ladrillo	
		- Columnas caídas y orientadas	
		- Giros en bloques de sillaría y columnas	
		- Bloques de sillares desplazados	
		- Claves de arco desplazadas	
		- Escalones y líneas de bordillo plegadas	
		- Muros colapsados	
		- Bóvedas colapsadas	
		- Marcas de Impacto	
		- Esquinas fracturadas	

Tabla 8 Clasificación de efectos arquitectónicos de terremotos inventariados en construcciones del patrimonio cultural de la Ciudad de Lorca (Rodríguez-Pascua, M.A. et al., 2012)

- Dislocación: se trata del desplazamiento total o parcial del muro sin llegar a perder la verticalidad y se produce por el empuje horizontal con rotura por cortante en el muro, desplazándose únicamente la parte superior del mismo.
- Esquina fracturada: es un agrietamiento de la esquina con expulsión hacia el exterior, asociada a la oscilación sísmica en dos direcciones perpendiculares simultáneamente.
- Fracturas cruzadas: están relacionadas con la tensión alternativa durante las oscilaciones sísmicas del terreno, generando grietas en forma de aspa.
- Fracturas por golpeo: el choque entre elementos constructivos provoca el agrietamiento de los muros.
- Separación por el eje central de la fachada: se refiere a la grieta que corta la fachada por su eje central, produciendo el vuelco de los muros laterales de apoyo de la cubierta.
- Separación de hojas: se trata de la desagregación interna de los componentes de una fábrica, con separación de sus hojas por diferente comportamiento. Puede estar asociada a desprendimientos.
- Vuelco de muro de fachada: cuando tienen insuficiente traba con los muros perpendiculares, se generan grietas verticales en dichos muros perpendiculares y se puede producir el desplome por empuje hacia el exterior de la fachada. Puede darse el caso de que la charnela del vuelco esté a ras de suelo, con lo cual implicará la totalidad de la fachada o que la charnela esté en un nivel superior coincidente con una línea débil, afectando parcialmente a la fachada. Puede estar asociado al arrastre de la estructura interior en ese vuelco.

En estructuras tradicionales las escaleras suelen estar realizadas mediante bóvedas tabicadas, pudiendo encontrar los siguientes daños (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015):

- Arrastre por muro soporte: en aquellos tramos de escalera perpendiculares a la dirección de la aceleración sísmica, se puede provocar que el muro arrastre parte de la escalera.

- Unión de mesetas y zancas: en estas zonas se producen fracturas coincidentes con la unión de la escalera con elementos de mayor inercia. Se produce en tramos cuya dirección es paralela a la aceleración sísmica.

Las torres presentan problemas asociados a la construcción debido a la altura, así como la debilidad que supone la presencia de huecos en determinadas zonas como los campanarios. Presentan los siguientes daños:

- Desprendimiento de elementos de remate.
- Esquina fracturada.
- Fractura cruzada.
- Fractura vertical: suelen estar asociadas a zonas débiles como los huecos y a la falta de atado frente a empujes horizontales.
- Giro de Torre.
- Deslizamiento.
- Esquina fracturada por rotación y deslizamiento, asociado al giro sobre el eje vertical.

Con respecto a las cubiertas, en la edificación tradicional se suelen resolver mediante cerchas, vigas de madera conocidas también como pares y que transmiten las cargas a los muros de fachada. La transmisión de cargas suele ser puntual desde éstas a los muros de carga, existiendo en el mejor de los casos una viga carrera sobre el muro para la recepción de las mismas. Presentan los siguientes daños consecuencia del sismo (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015):

- Deslizamiento de losa sobre tablero: sobre todo relacionado con intervenciones para subsanar filtraciones, creando losas de hormigón sobre el tablero original. Cuando estas losas no están confinadas entre muros pueden generar empujes con efectos demoledores.
- Desprendimiento de alero por empuje de los elementos estructurales de la cubierta.
- Derrumbe parcial por impacto de elementos situados en niveles superiores y que caen durante el terremoto.
- Giro de elementos de remate, como pináculos colocados simplemente por gravedad.

Suele ser recomendable incluir la gravedad de los daños definiendo su estado óptimo, bueno, medio, malo, pésimo o destruido, de modo que cada uno de esos estados hace referencia a su conservación y a la necesidad de intervención a corto plazo o de modo urgente, así como su posibilidad de recuperación (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015).

En las estructuras de entramados de hormigón armado construidos desde los años 70 hasta nuestros días, destacan los siguientes daños:

- Pilares: sobre todo si están situados en planta baja, podemos encontrar de mayor a menor gravedad, rotura y desplazamiento de las cabezas con respecto a las bases que llegan incluso hasta los 15 o 20 cm, grieta o fisura del tercio superior o inferior sin que existan desplazamientos, ligero desprendimiento en el cuarto superior sobre todo en esquinas. En la mayoría de los casos los daños se presentan en la zona superior y consisten en grietas o fisuras inclinadas entre 30 y 60° con la horizontal. También son graves y muy extendidos los daños en pilares cortos.
- Losas de escalera: sobre todo aparecen daños en cambios de plano en los que se dan armaduras traccionadas, con posibilidad de expulsión al vacío. También ocurren desgarres en la zona de unión con los pilares, en cuyo caso suelen resultar más afectados los pilares.
- En vigas, zunchos y nervios de forjados suelen aparecer daños muy localizados, siendo más generalizados en vigas planas que en vigas de cuelgue. Estos daños suelen ser fisuraciones y desprendimientos en los extremos de la viga, sin llegar a ser tan graves como en el caso de los pilares. Sobre todo en planta baja con espacios compartimentados con cerramiento de ladrillo tradicional, dejan la estructura parcialmente confinada entre los cerramientos modificando la rigidez global del edificio. La rigidez en estas tabiquerías o cerramientos permiten que las acciones pasen bruscamente a la estructura cuando estos elementos se rompen.

Son muy habituales los daños en elementos constructivos como caja de escalera, zaguanes, núcleo de ascensores, paños de fachada sobre todo en planta baja, pretilas de cubierta, cornisas, elementos todos ellos con implicación en espacios de recepción, estancia y paso. Con respecto a las instalaciones se

producen algunos daños como disloques en acometidas, cuadros, redes generales, llaves de corte. Otros daños menores pueden afectar a carpinterías impidiendo el paso a su través.

En la zona privativa de la viviendas los daños se suelen limitar a roturas, grietas y fisuras en las tabiquerías, daños que variaban desde la rotura completa quedando inservibles, hasta la aparición de fisuras leves y sin importancia. Los mayores daños se localizan en las plantas baja y primera y van perdiendo intensidad al aumentar la altura.

Finalmente en el orden de importancia también encontramos daños en los acabados en forma de grietas y dislocaciones de pavimentos peldaños de escaleras, y revestimientos como placas de escayola de falsos techos desprendidas.

En la Tabla 9 se define la importancia de los daños en función de la zona o elemento en que se encuentren, calificándolos de muy intensos si se trata de pilares cortos en planta baja, pilares en planta baja, losas de escalera en planta baja, zaguanes, caja de ascensor en planta baja, fachadas en planta baja, locales en planta baja divididos. Como daños intensos se describen los correspondientes a fachadas en planta primera, viviendas en planta primera y peto de cubierta. Como daños moderados se describen aquellos que afectan a pilares en planta primera, rellanos en plantas altas, viviendas en planta segunda, y otros elementos de cubierta. Como daños leves se describen los que afectan a pilares de sótano, pilares de plantas altas, forjado del suelo de planta baja, forjado en suelo de planta primera, locales en planta baja diáfanos y viviendas en planta tercera y como daños muy leves aquellos que afectan a fachadas en plantas altas, instalaciones, forjados en otros niveles, y viviendas en planta superiores (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015)(p.a. y aa.).

Los daños más importantes se suelen encontrar en los pilares de planta baja, centrándose fundamentalmente en la parte superior de los mismos. Esto puede ser debido al efecto conjunto del momento flector y del esfuerzo cortante en dichas zonas, a la plastificación del hormigón a cada lado de la sección por debajo del forjado de techo y al agotamiento a corte. La planta baja suele acumular el cortante que recoge de las plantas superiores, con lo que los pilares en planta baja tienen un mayor daño esperable. Se puede dar una explicación a que la mayor frecuencia de daños en pilares de planta baja se produzca en la zona superior de

los mismos. Es lo que se conoce con el como efecto mantel (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015). En contra de lo que se puede pensar<sup>44</sup>, hay determinadas condiciones que pueden justificar este hecho, como es la mejora del material en la zona inferior, mayores confinamientos por los cerramientos en la parte superior, así como zona de solape de armaduras en la parte baja de los pilares. Además, la hipótesis de acciones equivalentes<sup>45</sup> debería ser cuestionada frente a una aproximación a la realidad, en la que es la zona inferior la que se mueve mientras que la superior está inmóvil durante unos segundos, generando mayor empotramiento en las cabezas que en las bases, con lo que la capacidad de giro de las bases es mayor.

Zona o elemento	Magnitud de los daños				
	Muy Leves	Leves	Moderados	Intensos	Muy Intensos
Pilares cortos en PB					Muy Intensos
Pilares planta baja					
Losas de escalera en PB					
Zaguanes					
Caja ascensor en PB					
Fachadas en planta baja					
Locales PB divididos					
Fachadas en planta 1ª				Intensos	
Viviendas planta 1º					
Petos de cubierta					
Pilares planta 1ª			Moderados		
Rellanos plantas altas					
Viviendas planta 2ª					
Otros elem. cubierta					
Pilares sótano		Leves			
Pilares plantas altas					
Forjado suelo planta baja					
Forjado suelo planta 1ª					
Locales PB diáfanos					
Viviendas planta 3ª					
Fachadas plantas altas	Muy Leves				
Instalaciones					
Forjados otros niveles					
Viv. plantas superiores					

Tabla 9 Magnitud esperada de daños en función de los elementos analizados (Roldán Ruiz, 2012)

<sup>44</sup> Ya que teóricamente el reparto de esfuerzo cortante en el fuste es constante y el mayor momento flector se da en el extremo inferior y no en el superior.

<sup>45</sup> Analiza el movimiento de la parte superior mientras queda impedida la parte inferior.



El hecho de que en plantas altas las tabiquerías aporten más rigidez frente a las plantas más flexibles y no retacadas a los techos de los locales comerciales, hace que los pilares más cercanos a zonas más rígidas en planta baja reciban mayores acciones sísmicas<sup>46</sup>. Si en planta baja existe una gran compartimentación se puede producir el hecho de que se acumulen daños muy importantes en una poca cantidad de pilares y por el contrario, una baja compartimentación en planta baja está asociada a que la mayoría de los pilares queden afectados sin llegar a sufrir grandes daños que puedan provocar su colapso. Por lo tanto, se asocia una mayor importancia de los daños en unos pocos pilares a una elevada compartimentación (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015).

### 2.5.3. Demoliciones

El procedimiento administrativo seguido para llevar a cabo las demoliciones, exigía un análisis previo de los motivos para proceder a dicha demolición. Los criterios contemplados en la definición de cada uno de los tipos de ruina son:

- Ruina económica: cuando el coste de las obras necesarias sea superior al 50% del valor actual del edificio o plantas afectadas, excluido el valor del terreno. Queda definido por el texto refundido de la ley del suelo en su artículo 247.2.
- Ruina urbanística: cuando se requiera la realización de obras que no pudieran ser autorizadas por encontrarse el edificio en situación de fuera de ordenación, supuesto regulado en el artículo 247 del texto refundido de la ley del suelo del 92.
- Ruina técnica: por agotamiento generalizado de elementos estructurales o fundamentales, definido por el texto refundido de la ley del suelo en su artículo 247.2, que hace referencia al daño no reparable técnicamente por medios normales.
- Ruina inminente: cuando existe urgencia y peligro por la demora en la demolición como consecuencia de una ruina técnica que conlleve cierto riesgo de colapso de la estructura.

---

<sup>46</sup> Como puede ser el caso de pilares embebidos en zaguanes, caja de escalera o de ascensor, etc.

Otras causas de demolición analizadas son la reivindicación de valores históricos (Frías Díaz de la Cruz et al., 2015).

#### 2.5.4. El inicio de la fase de reconstrucción

Casi paralelamente a la fase de emergencia comenzaron las tareas de reconstrucción con la promulgación del Real Decreto Ley 6/2011 del 13 de mayo, sobre medidas urgentes para la reparación de los daños por los movimientos sísmicos del 11 de mayo de 2011. Ciertas carencias que habían sido detectadas en el anterior, se trataron de solucionar con la promulgación del Real Decreto Ley 17/2011 de 31 de octubre sobre medidas complementarias, completando así una serie de medidas excepcionales y reparadoras que tenían como objeto restablecer la normalidad en la zona, y que quedan reflejadas en la Tabla 10.

Una de las características de lo excepcional de esta situación era que por primera vez en el ordenamiento jurídico, para acceder a la condición de beneficiario no se tenían en cuenta el nivel de renta de la unidad familiar, bastando con acreditar la propiedad del elemento dañado, usufructo o incluso arrendamiento. La normativa de las ayudas hacía referencia un sistema compartido entre las diferentes administraciones, debiéndose establecer pautas de coordinación entre la Administración General del Estado y la Comunidad Autónoma.

Tpo de ayudas	RDL 6/2011 y 17/2011 (Medidas Lorca)
Alquileres	Reconstrucción.- 24 meses prorrogables Reparación.- 12 meses prorrogables ≤74,13€/m <sup>2</sup> /mes y < 6.671 €/año = 555,9€/mes
Enseres 1ª necesidad	2.580€
Reconstrucción Total	Valor de la reconstrucción ≤80 % valor vivienda VPO en Lorca súp. Útil ≤ 90 m <sup>2</sup> Centro de Lorca 106.000€ Resto de Lorca 80.000€
Reparación	Daño tasado ≤ 24.000€
Daños en elementos comunes	3.000€ x vivienda o elemento privativo del edificio
Daños en locales comerciales	8.000€

Tabla 10 RDL 6/2011 y 17/2011 sobre medidas extraordinarias Lorca  
(González López S., 2017)

Estas ayudas son complementarias a las que pudieran haber percibido procedentes de la póliza de seguros que tuvieran contratada en el momento del terremoto, con la única salvedad de que la ayuda no podía nunca superar la diferencia entre el valor del daño tasado por la administración y el importe de la indemnización de seguros.

El Consorcio de compensación de seguros en el momento de la redacción del artículo consultado (González López S., 2017), había recibido un total de 27282 solicitudes de indemnización de las que se habían gestionado 27015, con un total de 413887832,61 €. Otros autores (Álvarez Cabal, R., et al., 2013) hacen referencia a que tras el terremoto de Lorca, el Consorcio de Compensación de Seguros desplazó más de 200 peritos, así como una oficina de atención directa a los afectados, llegando a emitir más de 32500 reclamaciones con el resultado de más de 462 millones de euros indemnizados.

El sistema de aseguramiento español de catástrofes naturales se lleva a cabo a través del seguro de riesgos extraordinarios gestionado por el Consorcio de Compensación de Seguros, entidad pública del Ministerio de Economía y Competitividad. Este seguro cubre los daños producidos por eventos de la naturaleza o por actos de carácter violento. Entre los primeros quedan comprendidos la inundación, terremoto y maremoto, y tempestad ciclónica atípica con vientos superiores a 120 km/h, erupción volcánica y caída de cuerpos siderales y aerolito. Se trata de una cobertura incluida en pólizas de la mayoría de los daños en bienes, accidentes y vida, de modo que si la compañía no los asume, los asumiría directamente el propio Consorcio de compensación de Seguros.

Para ello el CCS tras la comunicación de daños, valora las pérdidas y procede a la indemnización, para lo cual será necesario que los afectados dispongan de un seguro en los citados ramos, utilizando el consorcio como base las pólizas emitidas por la compañía privada que además de sus primas cobran un recargo para el propio consorcio.

También es reseñable el hecho de que en el caso de daños directos en los bienes, excepto lo que atañe a automóviles, viviendas y comunidades de propietarios de viviendas, del importe de la indemnización se deberá deducir una franquicia del 7%. Dicha franquicia no será aplicable en los seguros de personas, y en el caso de pérdida de beneficio se estará a lo dispuesto en la propia póliza (Álvarez Cabal, R., et al., 2013)(p.a. y aa.).

Con respecto a las ayudas públicas llegadas a través de los Reales Decretos Ley mencionados, se han generado 16.371 solicitudes, de las que 1140 corresponden a reconstrucción y 12812 reparación, 1563 alquiler, 590 reposición de enseres de primera necesidad y 276 a locales y establecimientos mercantiles industriales y de servicios.

También se dispuso dentro del sistema de ayudas públicas, una subvención directa del ayuntamiento de Lorca correspondiente a actuaciones de emergencia tendentes a garantizar la seguridad de las personas y el funcionamiento de los servicios públicos. Entre otros hacía referencia a la retirada de escombros, apuntalamiento, derribo de edificios que pusieran en riesgo la seguridad de las personas, de forma de forma que aludía exclusivamente a la ruinas inminentes declaradas mediante decreto de la alcaldía, que en el momento de redacción de este artículo resultaron ser 264 inmuebles con un total de 1264 viviendas.

El Real Decreto Ley 17/2011 amplió el anterior, de forma que incluyó ayudas al patrimonio para garantizar la protección de los bienes de patrimonio cultural de la ciudad de fenómenos meteorológicos susceptibles de aumentar el daño que ya ocasionara el terremoto (González López S., 2017)(p.a. y aa.).

El plan Lorca, elaborado por la Región de Murcia y el Ayuntamiento de Lorca, estima que el costo de las medidas para paliar los efectos del terremoto (sin sumar el coste de medidas fiscales, financieras y otras inversiones aún sin cuantificar), de alrededor de 1650 millones de euros. A estos se le añadieron finalmente 350 millones de euros más para compensar el lucro cesante generado por el terremoto, con lo que el coste total del plan asciende a 2000 millones de euros. El Consorcio de compensación de seguros tiene 29936 solicitudes de indemnización, 24754 corresponden a viviendas y el resto de comercios y oficinas. De ellos 21210 están abonadas por un valor de 163.8 millones de euros (Guevara, 2011).

#### **2.5.5. El nuevo plan Sismimur**

Tras el terremoto de Lorca, la Región de Murcia decidió establecer un nuevo plan sísmico estratégico como herramienta de gestión territorial. El nuevo Sismimur trata de evitar la vulnerabilidad sísmica en el medio ambiente de las ciudades del territorio y además, trata de formar técnicos y profesionales que

traten con las emergencias con protocolos claros y simples para la evaluación de daños (García-Ayllón & Tomás, 2014).

## 2.6. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A ACCIONES NATURALES CON EFECTOS URBANÍSTICOS

Los sistemas de información geográfica son una potente herramienta que permiten plasmar en un mapa datos concretos, así como rescatar información para su incorporación a la base de datos que se haya diseñado con determinado fin.

Uno de los pilares de la presente investigación es el aprovechamiento de los datos referentes al comportamiento sísmico del suelo y su clasificación según la NCSE-02, procedente de un sistema de información geográfica y su incorporación a la base de datos creada durante la investigación.

Finalmente se plantea reflejar el catálogo de edificios demolidos y toda la información que resulte de interés para futuros estudios en un sistema de información geográfica interactivo.

El empleo de técnicas de información geográfica es de amplia aplicación a diferentes campos, que abarcan desde el medio ambiente y demografía, hasta la gestión de servicios públicos, urbanismo y ordenación del territorio (Nieto Masot, 2016). La gestión de riesgos naturales se apoya en este tipo de técnicas y sistemas, tanto para la creación de mapas de riesgo, como para analizar las consecuencias de determinados eventos destructores como puede ser el sismo.

La información disponible en estos sistemas se elabora previamente como base de datos, a los que se deben incorporar las coordenadas para su localización. Una de las herramientas empleadas para ello es el empleo del visor Iberpix del IGN, que aporta las coordenadas en el sistema de proyección ETRS 1989. Con los SIG se pueden también obtener datos procedentes de SIGPAC, oficina virtual del catastro y Google Earth (Nieto Masot, 2016).

Por otra parte los SIG también permiten la realización de estudios de correlación, ya que al representar los datos en una escala gráfica permite entender el comportamiento de las variables (Nieto Masot, 2016).

El proyecto Cartociudad del IGN ofrece la información sobre manzanas, viales y portales, permitiendo cargar información sobre capas simplemente añadiendo la URL del servicio WMS<sup>47</sup> o WMTS<sup>48</sup>.

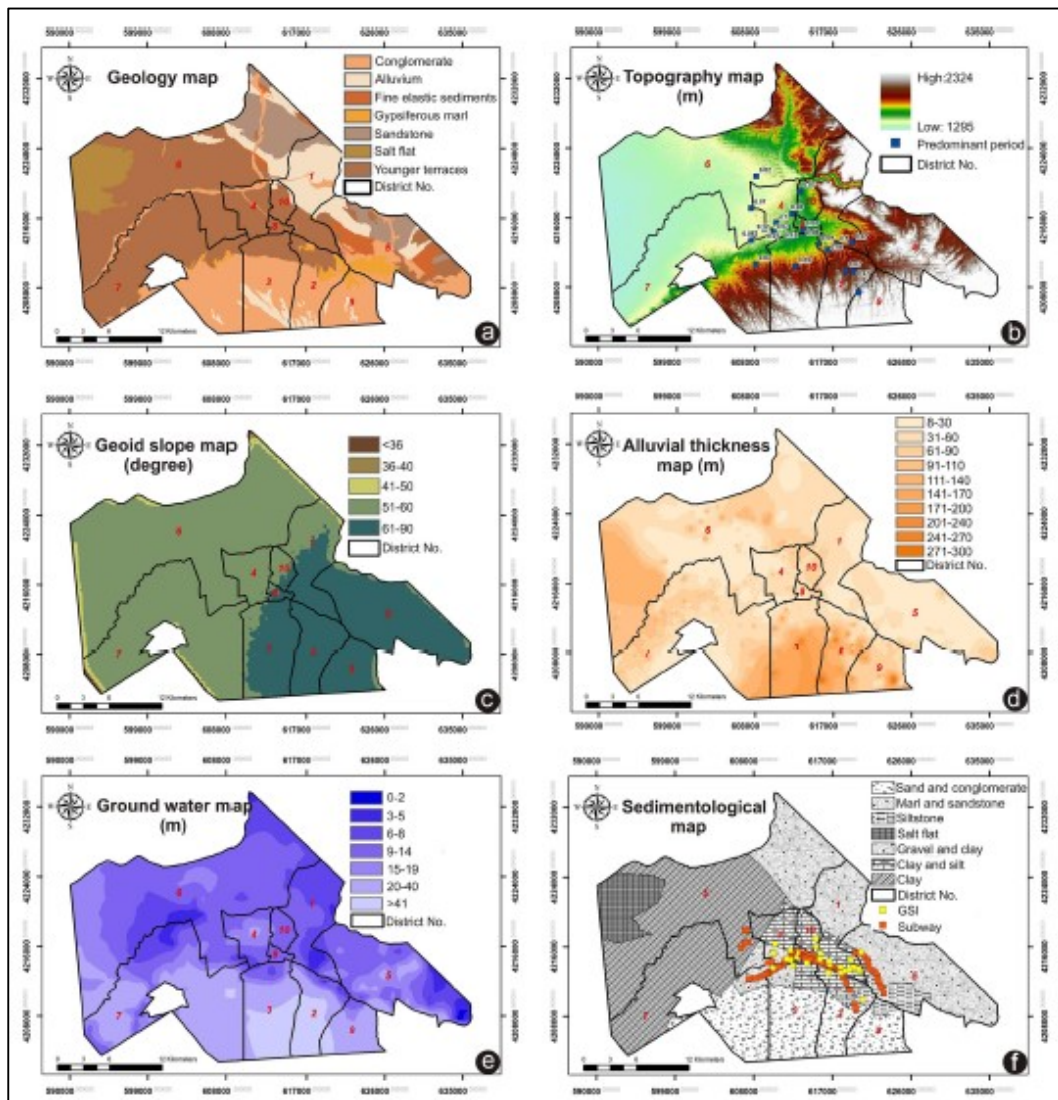


Figura 23 Tipos de mapas obtenidos mediante ArcGis empleados en el estudio analizado (Karimzadeh, Miyajima, Hassanzadeh, Amiraslanzadeh, & Kamel, 2014)

<sup>47</sup> Servicio web mapas.

<sup>48</sup> Servicio web de tesela de mapas.

El estudio del riesgo sísmico y de vulnerabilidad en Tabriz (Irán), basado en los sistemas de información geográfica (Karimzadeh et al., 2014), simula los efectos de un terremoto próximo de magnitud 7 y determina la vulnerabilidad mediante funciones de daño y análisis de relaciones entre factores. La geodatabase es el elemento que aporta la información<sup>49</sup> para predecir y diseñar estrategias, que deriven en la obtención de mapas de microzonación sísmica y de movimientos de suelo, para finalmente obtener el mapa de daños de edificios y de vulnerabilidad poblacional.

Aporta una diversidad de mapas, dando idea del contenido mínimo para optimizar la información requerida en este tipo de estudios, mostrando los factores que considera fundamentales como mapas de densidad (Figura 23), obtenidas mediante el empleo de herramientas de interpolación disponibles en ArcGis. Empleando la misma herramienta, se desarrolla el análisis de la influencia del planeamiento urbanístico en las consecuencias del impacto sísmico (Bostenaru Dan, Armas, & Goretti, 2014). La disponibilidad de diferentes tipos de datos permite que se pueda analizar un estudio de correlación cruzando datos como daños y costes, duración y tipología de los trabajos de reparación, etc. Estos análisis se llevan a cabo con una herramienta informática<sup>50</sup> cuyos resultados se exportan a ArcGis.

## 2.7. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICOS

El riesgo es el enfoque moderno de la previsión y control de consecuencias futuras de una acción y se puede definir como la “probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas debidas a un terremoto, iguallen o excedan valores predeterminados para una localización dada”. Riesgo sísmico es igual al producto de la peligrosidad por la vulnerabilidad y por el costo.

La peligrosidad es la probabilidad de que los parámetros que miden el movimiento del suelo (aceleración, intensidad) sean superados en un determinado tiempo. Depende de la localización geográfica. Su estudio tiene en cuenta el ámbito geodinámico y sismotectónico de la región, la actividad de las fallas, las sismicidad histórica e instrumental, las fuentes sismogénicas. Se

---

<sup>49</sup> Catálogo de terremotos, censo poblacional, mapas topográficos y geológicos, etc.

<sup>50</sup> Rough Set Data Explorer.

puede calcular a través de los conceptos de aceleración pico<sup>51</sup> y aceleración espectral<sup>52</sup>.

Se puede definir la vulnerabilidad como el grado de fragilidad de una construcción frente a la acción sísmica, de modo que a mayor vulnerabilidad la tendencia a sufrir daños será mayor. Las características constructivas y socioeconómicas de la zona están relacionadas con las pérdidas y por tanto con la vulnerabilidad (Guevara, 2011).

De este modo el riesgo puede ser elevado en zonas de sismicidad moderada, cuando la vulnerabilidad sea alta. Éste sería el caso de lo acontecido en Lorca y que se correspondería con construcciones de baja calidad y un insuficiente mantenimiento. Esto también podría explicar el elevado número de demoliciones llevadas a cabo como consecuencia y durante la gestión posterior del terremoto del 11 de mayo (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

### **2.7.1. Vulnerabilidad y riesgo sísmicos en Lorca**

La peligrosidad sísmica en Lorca se puede clasificar como alta en el ámbito de la península ibérica y como moderada en el contexto mundial. Ello se debe a la localización en el ámbito del sistema de fallas activas de Alhama de Murcia, con terremotos históricos de importancia. Está asociada también a series sísmicas cercanas en el tiempo: Mula 1999, Bullas 2002, la Paca 2005 y Lorca 2011. La existencia de terremotos de baja magnitud colabora también en la relevancia del riesgo sísmico de la zona.

Diversos estudios de peligrosidad arrojan datos de aceleración pico PGA en roca, con probabilidad de excedencia del 10% en 50 años y empleada en el diseño de viviendas convencionales, con un rango entre 0.12 g y 0.24 g (Bufort et al., 2005; García Mayordomo, 2005; Benito et al., 2006). El mapa de aceleraciones básicas que aparece en la norma de construcción sísmica española representa la asignación de la aceleración básica correspondiente a la aceleración pico horizontal PGA en el suelo para probabilidades de excedencia del 10% en 50 años. La mencionada norma asigna el valor de aceleración básica a Lorca de 0.12 g. Este valor fue excedido en la componente N30W por un factor de 3 en el terremoto

---

<sup>51</sup> PGA.

<sup>52</sup> SA.



principal, ya que se alcanzó un valor de 0.37 g. Aun así, la aceleración pico horizontal en su media geométrica alcanzó el valor de 0.21 (Benito Oterino et al., 2012). Éste valor de 0.37 g, muestra la necesidad de aumentar el factor local y de tener en cuenta nuevos parámetros como el planeamiento urbanístico o el estado del parque inmobiliario en el modelo. Estos nuevos métodos se están implementando en el estudio de microzonación sísmica de Lorca. Los daños estructurales más comunes normalmente no están relacionados con un mal cálculo o una pobre ejecución de la estructura, sino que responden a diseños inadecuados de edificios con la falta de implementación de algunas recomendaciones constructivas de la normativa sísmica. Además la normativa urbanística no tiene en cuenta la vulnerabilidad de la ciudad de Lorca, permitiendo localizar edificios en terrenos inadecuados, en zonas complejas geológicamente o con distancias inadecuadas entre edificios (García-Ayllón & Tomás, 2014).

Una cuestión relevante que se generó a raíz del terremoto fue si la peligrosidad de Lorca está infraestimada en el mapa de la norma de construcción sísmica española de 2002, o lo que sucede es que estos valores elevados de aceleración en el terremoto de 2011 corresponden al 10% de probabilidad de excedencia en 50 años admitido por la normativa. Para aclarar esta cuestión se acudió al proyecto RISMUR que evalúa el riesgo sísmico en la región y supone la base del plan de emergencias SISMIMUR. Se obtuvo como resultado que la aceleración horizontal PGA en roca para un periodo de retorno de 475 años, equivalente al 10% de excedencia de 50 años, era de 0.11 g en Lorca, con un coeficiente de variación elevado lo que lleva a pensar en la gran incertidumbre asociada, sobre todo en base a las diferentes significaciones, generando resultados muy variables.

En dicho proyecto RISMUR se tienen en cuenta también los factores de amplificación del suelo, considerando para Lorca a escala regional un solo tipo II según la NCSE-02 y obteniendo una aceleración de entre 0.13 g y 0.16 g, inferior a la componente horizontal registrada en el terremoto de 2011 (Benito Oterino et al., 2012).

Como se ha comentado anteriormente, el registro del sismógrafo triplica los valores previstos por la normativa vigente. Teniendo en cuenta que la ubicación en roca del sismógrafo que presenta este registro, deben existir zonas con

registros bastante superiores. Según el informe del IGN sobre el terremoto, la elevada aceleración registrada no es coherente con los modelos habituales de atenuación. Se corresponde con las características de lo que habitualmente se conoce como terremoto próximo. Sin embargo la componente vertical no es demasiado importante en el caso de Lorca, como cabría esperar en un terremoto próximo.

Si en lugar de representar la aceleración se representa el desplazamiento del terreno, la gráfica obtenida muestra un pulso de poco más de 1 segundo de duración y 3 cm en cada sentido. Sin embargo la experiencia de muchos de los que sufrieron directamente el terremoto, hacía referencia a duración y amplitud muy superiores. Comparando el registro del terremoto de Lorca con otros registros de terremotos estudiados, como es el caso El Centro en California, que tuvo lugar en 1940, aunque las aceleraciones máximas son semejantes, es evidente que la duración de ambos terremotos es diferente (Álvarez Cabal, R., et al., 2013).

En otros estudios (Guevara, 2011) se hace referencia al proyecto RISMUR en el sentido de que aporta valores de PGA de entre 0.07 y 0.14 g para periodos de retorno de 475 años. Estos valores son compatibles con los indicados en la norma de construcción sísmica española del 2002 para un periodo de retorno de 500 años y un tipo de suelo I. Se han llegado a obtener valores de PGA para periodos de retorno de 975 años de entre 0.09 y 0.18 g.

Teniendo en cuenta los mapas probabilistas, en los que no se aporta la aceleración para un terremoto particular sino para eventuales sismos futuros en toda la región durante un tiempo de 50 años, se obtuvo el resultado de que para la aceleración obtenida, el terremoto de mayor contribución en Lorca era un sismo de entre 4.5 y 5 Mw, a una distancia entre cero y 10 km, correspondiendo con el ocurrido en 2011.

Por tanto, se concluye que, a pesar de que cabe esperar terremotos de hasta magnitud 6.5-7, son los terremotos próximos y moderados los que mayor contribución en el movimiento de viviendas convencionales tiene para un periodo de retorno de 475 años.

El análisis de la sismicidad histórica instrumental apunta un patrón de sismicidad formado por sismos relativamente frecuentes y con magnitudes en torno a 5, que llegan a intensidades máximas de VIII en la escala macro sísmica, ocasionando importantes daños. Temporalmente se alternan periodos en los que

se agrupan esos sismos en plazos de uno a tres años, con periodos más amplios (Benito Oterino et al., 2012).

El proyecto RISMUR aporta una estimación de daños para un periodo de retorno de 475 años. Se obtiene finalmente una estimación del grado de daño en función de los tipos edificatorios teniendo en cuenta las diferentes clases de vulnerabilidad. También se obtienen conclusiones sobre la evaluación de la peligrosidad sísmica, geotecnia y efecto sísmico local, vulnerabilidad de edificaciones, acumulación de esfuerzos y evaluación del riesgo sísmico. En su volumen III se analiza la vulnerabilidad de la edificación, realizando una valoración del parque inmobiliario en su totalidad, considerando tanto la edificación tradicional como la actual (Martínez Cuevas, 2014a).

Los resultados confirman que Lorca sería una de las poblaciones con mayor daño medio esperado de la región y la octava con mayor daño neto, resultando 663 edificios inhabitables por el movimiento sísmico esperado, con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años. Esto posiciona a Lorca como una población con prioridad de actuación, cuya determinación se llevó a cabo función del riesgo sísmico, del daño esperado, de la cercanía a una falla activa y del estado de esfuerzos en la corteza a partir de la transferencia de esfuerzos estáticos de Coulomb por los terremotos ocurridos en el pasado que aparecen en la Figura 24, que muestra la zona de máxima incremento de esfuerzos y la localización de las principales fallas activas, en base a lo cual Lorca se sitúa en prioridad de actuación máxima valorada como 1.

Por otra parte, el proyecto SISMOZON presenta una distribución de daños por distrito censal con un resultado muy similar en cuanto al total de edificios dañados, pero no en cuanto a su distribución geográfica. Ello es debido a que el estudio previo no detectó la elevada vulnerabilidad de los distritos fuertemente dañados como la avenida de las Fuerzas Armadas y el barrio de la viña (Benito Oterino et al., 2012)(p.a. y a.).

Otros estudios (Salgado-Gálvez, Carreño, Barbat, & Cardona, 2016) cuantifican el riesgo sísmico, no en forma de proporción media de daño, sino partir de la curva de excedencia de pérdidas obtenida tras la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, a partir de lo cual se derivan medidas probabilistas como la pérdida anual esperada y la pérdida máxima probable que caracterizan más detalladamente la amenaza sísmica. Para

llegar a esto se parte de una evaluación tanto probabilista como espectral de la amenaza sísmica que considera fuentes sismogénicas en la península Ibérica y en zonas aledañas. Partiendo del estudio de Navarro et al. sobre microzonificación sísmica del casco urbano de Lorca, esta información se incluye tanto en la evaluación de la amenaza como la del riesgo sísmico. La base de datos de partida para la evaluación de riesgo sísmico de mayor detalle es la que tiene como nivel de resolución el análisis edificio por edificio. La información de partida no solo se encuentra disponible en una fuente y requiere la relación entre la información con su ubicación geográfica y otras características estructurales como edad, material, sistema estructural, número de plantas y tipología estructural, en un proceso que partiendo de la información catastral disponible, permitió la inclusión de un total de 17.064 elementos.

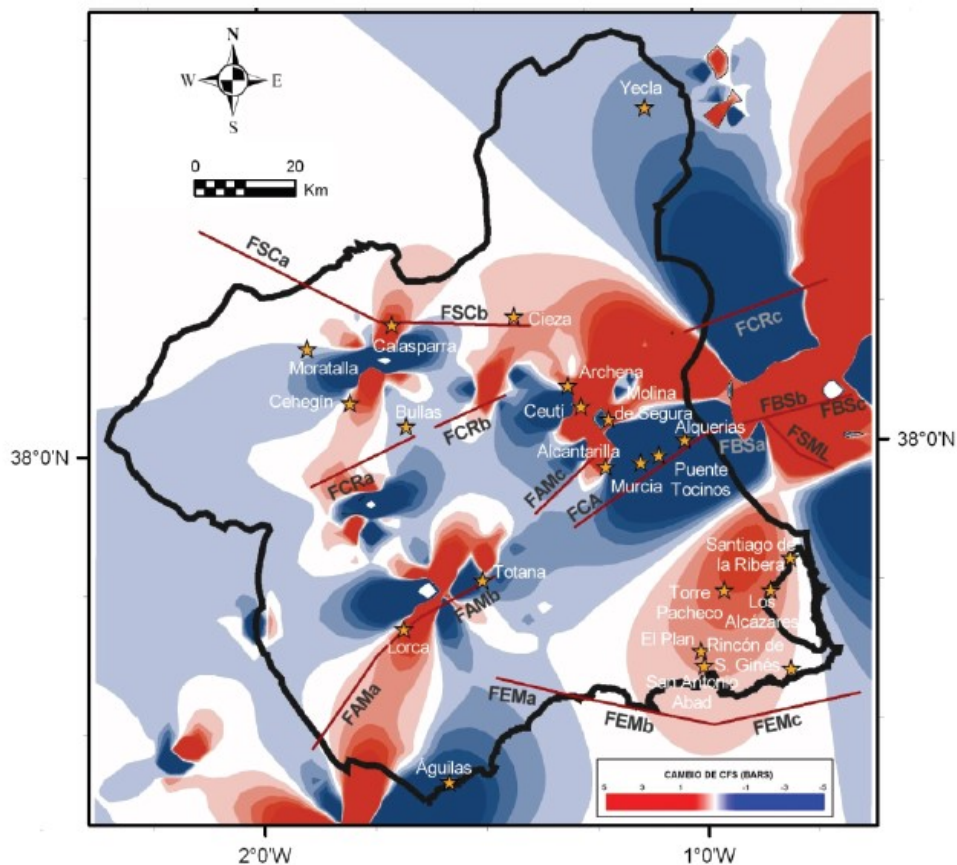


Figura 24 Zonas de máximo incremento de esfuerzos, principales fallas activas y poblaciones con mayor daño neto esperado (Benito Oterino et al., 2012)

Partiendo del censo de población y de vivienda más reciente se definieron las edades de las edificaciones en Lorca. Apoyándose en estudios anteriores y con la información de la edad se llegó a definir la vulnerabilidad según la escala macrosísmica MSK-98.

A pesar de no contar con el valor catastral de las edificaciones se llegó a desarrollar un índice para inferir el valor de reposición de cada elemento, llegando a establecer un orden de magnitud del conjunto de las edificaciones. Posteriormente se identificaron las tipologías estructurales a partir de trabajos previos, asignando las clases de vulnerabilidad mencionadas. Las edificaciones en Lorca básicamente se llevan a cabo a base de diferentes tipos de mampostería para edificaciones de baja altura, mientras que para edificios de mayor número de plantas son comunes y frecuentes los forjados de hormigón armado. A las zonas de ámbito industrial se relacionan estructuras de acero y prefabricadas de hormigón. El análisis contempla finalmente 10 tipologías estructurales.

### **2.7.2. Métodos de determinación de la vulnerabilidad**

Uno de los procedimientos de estimación de la vulnerabilidad para edificios a base de pórticos de hormigón armado con tabiquería de fábrica es el conocido como FAST. Se trata de una estimación simplificada a gran escala, que tiene en cuenta la contribución estructural de la tabiquería en términos de resistencia y rigidez. Aporta una clasificación de edificios en función del número de plantas y de la norma vigente en el momento de su construcción, prediciendo de manera aproximada el nivel medio de daños esperados según la acción sísmica considerada. A ello se lleva a través de la definición simplificada de la curva de capacidad para pórticos de hormigón armado tabicados, así como por la interpretación de los niveles de daño según la escala EMS-98 en términos de desplazamiento (Gómez-Martínez et al., 2015).

En otro estudio (Barbat, Alejandro, Yépez Moya, Torres, & Antonio, 2009) se ha desarrollado un método para evaluar el daño de edificios de mampostería no reforzada en zona urbana céntrica de Barcelona, a partir de la simulación del comportamiento de miles de edificios hipotéticos y un análisis probabilista de los resultados. En este estudio se considera una definición de riesgo sísmico basada

en el efecto conjunto de la peligrosidad sísmica<sup>53</sup>, la vulnerabilidad sísmica<sup>54</sup> y para una intensidad dada, teniendo en cuenta el coste de las estructuras. El objeto de determinar el riesgo sísmico es que mediante su mitigación se consiga reducir la vulnerabilidad.

En este caso se evalúa la vulnerabilidad mediante el índice de vulnerabilidad basándose en parámetros relativos a la configuración en planta y en alzado, tipo y calidad de los materiales, posición y cimentación del edificio, disposición de elementos estructurales y no estructurales y el grado de conservación. Este índice permite identificar edificios sísmicamente peligrosos y también definir funciones de vulnerabilidad que relacionan el propio índice con el índice de daño del edificio, en función de la intensidad.

El índice de daño asigna valores a los elementos estructurales analizados (verticales, horizontales, particiones y elementos no estructurales), obteniendo un valor entre 0 y 100 expresado en porcentaje.

Con respecto a la aplicabilidad de estudios de vulnerabilidad realizados en otros lugares del mundo, diversos estudios concluyen que no es totalmente fiable el empleo de estas funciones de vulnerabilidad en lugares alejados de su origen (Barbat et al., 2009)(p.a. y aa.).

Existen varios procedimientos de análisis de la vulnerabilidad sísmica, pero todos ellos dan como resultado la descripción global del daño de una estructura ante un sismo caracterizado con diferentes parámetros. Cada metodología parte de unos objetivos, hipótesis e información necesaria. Tradicionalmente la ordenación y el planeamiento urbanístico han sido parámetros ciertamente olvidados en los análisis de vulnerabilidad. La mayoría de los métodos se centran en el análisis del comportamiento estructural como si un elemento individual de la ciudad se tratase. El índice de vulnerabilidad italiano, la EMS-98 y el proyecto Risk-UE introducen los parámetros urbanísticos.

---

<sup>53</sup> Probabilidad de ocurrencia dentro de un periodo de tiempo y de una zona dada de un movimiento sísmico con una intensidad determinada.

<sup>54</sup> Representada por el grado de daño que ocasiona ese movimiento en un terreno determinado.

Algunas de estas metodologías que parten de iniciativa de ámbito internacional son las siguientes:

- ATC: Incluye 78 matrices de probabilidad de daño de diferentes instalaciones y servicios. .
- Índice de vulnerabilidad italiano: primer índice empleado en las edificaciones. Parte de la información de daños por terremotos desde 1976. Se elaboró una base de datos con el índice de vulnerabilidad de cada tipo de edificio y el daño sufrido por terremotos de determinada intensidad. Comienzan a emplearse formularios de inspección de daños. Este método emplea los datos obtenidos en la inspección, calificando la calidad del diseño y construcción mediante un coeficiente conocido como índice de vulnerabilidad, valorando 11 parámetros estructurales.
- EMS-98: actualización de la MSK-64 aportando mayor número de tipologías constructivas. Esta escala, que inicialmente constaba de 10 grados, fue posteriormente aumentada a 12. En esta escala la vulnerabilidad se define como las diferentes formas en que los edificios responden a las vibraciones provocadas por los terremotos. La EMS dispone de 6 clases de vulnerabilidad decreciente (A-F) en función del tipo de construcción. También incluye siete factores relacionados con la vulnerabilidad en cuanto a su calidad, estado de preservación, regularidad, ductilidad, localización, refuerzo y diseño sismo resistente.
- HAZUS: método empleado para determinar la vulnerabilidad de las ciudades empleando el conocido método del espectro de capacidad. Se basa en el uso de desplazamientos y aceleraciones en lugar de la intensidad sísmica. Existen 36 tipos de estructuras, estimándose el daño en función de la opinión de expertos como leve, moderado, severo y colapso. No tienen cuenta los daños no estructurales debiendo considerarlos aparte.
- Risk-UE: el objetivo inicial era incorporar características de los edificios, patrimonio cultural, y características de la sociedad urbana en el cálculo de la vulnerabilidad. Emplea las metodologías del método del índice de vulnerabilidad, y de los espectros de capacidad y curvas de fragilidad. La primera, conocida como de nivel I, clasifica la ciudad en clases de vulnerabilidad para posteriormente pasar a analizar edificios. Analiza

gran número de parámetros de carácter urbanístico, como la regularidad en planta y la posición del edificio en la parcela. Se considera la acción sísmica mediante la intensidad macrosísmica y el tipo edificio mediante un índice. El segundo método, del espectro de capacidad y curvas de fragilidad, se conoce también como de nivel II y se centra en cada uno de los edificios, considerando la acción sísmica en términos de espectros de respuesta. Caracterizan cada uno de los edificios en función de su espectro de capacidad expresado por el punto de excedencia y por el punto de capacidad última (Martínez Cuevas, 2014a)(p.a. y aa.).

### 2.7.3. Factores con implicación en vulnerabilidad

Algunos factores con implicaciones sobre la vulnerabilidad son (Martínez Cuevas, 2014a):

- Aspectos histórico-urbanísticos: normalmente las normativas urbanísticas en sus disposiciones crean un borde urbano continuo constituido por bloques de edificios colindantes que forma una volumetría que trata de mantener una altura constante en las vías sobre las que están construidos. Esto se conoce como muro urbano (Guevara Pérez, 2012) (Martínez Cuevas, 2014a). Con ello se generan volúmenes homogéneos alineados ambos lados de la calle. Como consecuencia de la especulación, a finales del siglo XX se rompe la regularidad del muro urbano con lo que edificaciones tradicionales comienzan a convivir con edificaciones modernas. Nuevas edificaciones entran a formar parte del mundo urbano, pero diseñados y calculadas como unidades independientes. Estas irregularidades aumentan la vulnerabilidad sísmica asociada a configuraciones irregulares como los efectos de golpeteo por la diferencia de alturas de los forjados entre dos edificios colindantes, la diferencia de altura de los edificios colindantes, las alineaciones de los edificios y la posición del edificio dentro de la manzana.

Los edificios modernos presentan un comportamiento muy diferente a los construidos en centros históricos, de manera que produce un funcionamiento independiente con respecto a los colindantes, a diferencia de los tradicionales en los que se producía un efecto en bloque con el resto de los edificios de la manzana. Esto tiene especial importancia ante la



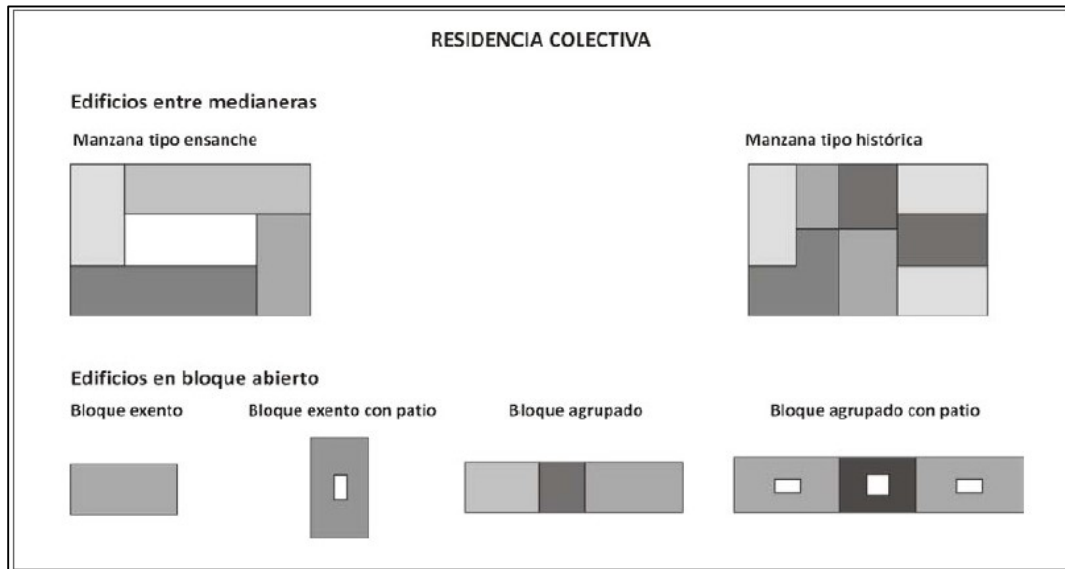
decisión de demoler una edificación en un centro histórico para proceder a construir nuevamente junto a las existentes. Esto se solía producir porque era frecuente compartir medianería entre edificios colindantes. Generalmente se trataba de una tapia estructural sobre la que se apoyaban tanto forjados como techos de madera.

- Diferencia de altura de los edificios colindantes: Se produce un efecto de inmovilización parcial de edificaciones altas por las colindantes de menor altura, de manera que ante un sismo los primeros pisos de la edificación de mayor altura quedan confinados entre las bajas colindantes, quedando es un movimiento restringido mientras que los pisos superiores, más flexibles, se mueven libremente. Es frecuente en estos casos comprobar la existencia de daños importantes en el nivel de transición entre pisos libres.
- Posición del edificio en manzana: los edificios se clasifican en edificio terminal, intermedio, en esquina y aislado. Aquellos ubicados en esquina o terminales pueden presentar mayores problemas que los situados entre otros edificios. Ello se puede deber a no considerar los desplazamientos que pueden generar en las plantas de los edificios, así como a las rotaciones de los forjados posibles en edificios en esquina, sobre todo si existe irregularidad torsional. En esta situación de edificio en esquina, con dos de las fachadas constituidas por paredes sin aberturas en su plano y las otras dos fachadas exteriores con ventanas, se produce un efecto de rigidez en las fachadas junto a edificios colindantes.
- Piso blando y débil: en ambos casos la irregularidad está introducida por la diferencia existente entre la rigidez o resistencia de uno de los pisos con respecto al resto. En ambos casos la irregularidad se conoce cómo planta libre. La diferencia entre ambos conceptos, blando y débil, hace referencia a una irregularidad en cuanto a rigidez en el primer caso, y a una irregularidad en cuanto a resistencia lateral en el caso del piso débil. El piso débil se genera cuando en alguno de los pisos se produce bien la eliminación o debilitación de componentes de resistencia sísmica en planta baja, bien la interrupción de los muros en la planta baja en sistemas mixtos, de pórticos y muros estructurales. Los cambios de rigidez asociados al piso blando se pueden deber a la existencia de paredes rígidas no estructurales adosadas a componentes estructurales flexibles en

los pisos superiores, de modo que en planta baja no existe esa rigidización de la estructura flexible. También se puede producir cuando en la planta baja se disponen aberturas más numerosas y de mayor tamaño en comparación con el resto del edificio, así como cuando se disponen menos paredes interiores o de menor tamaño que en pisos superiores.

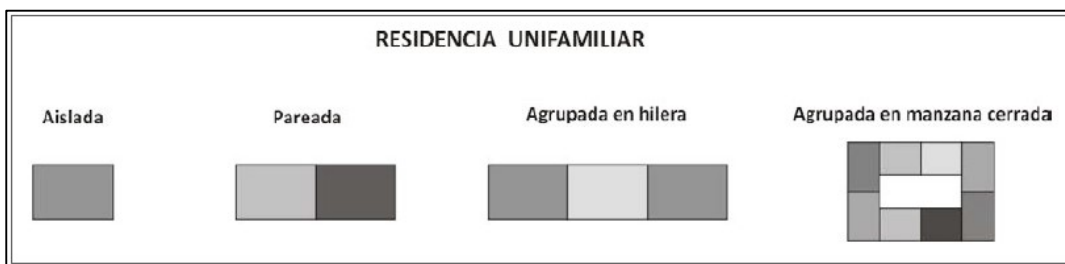
- Efecto columna corta y cautiva: el efecto se conoce como de columna corta, pero puede ser provocado tanto por una columna corta como por una cautiva. La columna cautiva o pilar secuestrado se debe a una modificación en la configuración estructural de la columna, debido a que queda inmovilizada por elementos constructivos rígidos, cerramientos, muros de contención o partes asociadas a la losa de escalera. En este caso la absorción de la energía del impacto sísmico se centra sobre todo en la parte que quede libre en la configuración de los huecos de los cerramientos adheridos a la estructura. La columna corta sin embargo se genera tanto por el diseño original del edificio, como por la adaptación al terreno. Se asocia frecuentemente a terrenos inclinados, así como edificios con altura de la columna de un piso más corta que la del resto.
- Tipología edificatoria: se considera un parámetro urbanístico que puede tener influencia en el aumento de la vulnerabilidad. Se divide en dos grupos fundamentalmente residencial colectiva e individual. En el caso residencial colectiva, se hace una diferencia entre edificios dispuestos entre medianeras y bloques abiertos. Entre medianeras, se agrupan en manzanas y se clasifican en tipo ensanche o con patio central en manzana cerrada, y manzana cerrada densa tipo histórica.

Con respecto a los edificios en bloque abierto, se clasifican en este grupo aquellos que están aislados o los que se agrupan sin llegar a formar una manzana, existiendo de bloque exento, bloque exento con patio, bloque agrupado, y bloque agrupado con patio. La Figura 25 aporta los esquemas relativos a los edificios en residencia colectiva.



**Figura 25 Tipologías de las edificaciones residenciales colectivas  
(Martínez Cuevas, 2014a)**

Los edificios residenciales unifamiliares se clasifican en vivienda aislada, pareada, agrupadas en hilera y agrupadas en manzana cerrada, según la Figura 26.



**Figura 26 Tipología de las edificaciones residenciales unifamiliares  
(Martínez Cuevas, 2014a)**

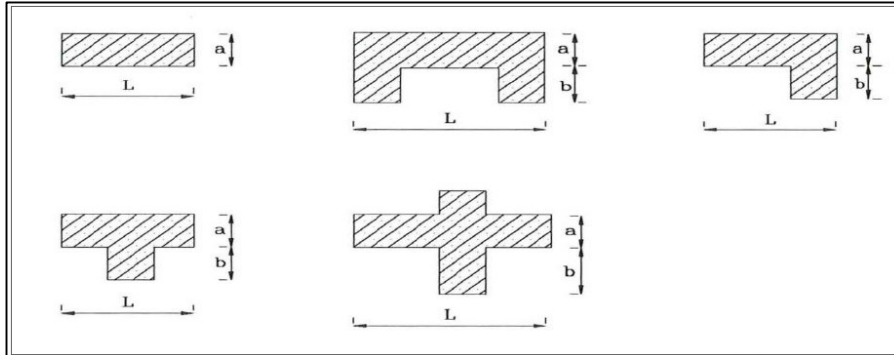
En el terremoto de Lorca apenas se han producido desplomes en edificios antiguos, y sin embargo muchas plantas bajas de edificios modernos han quedado afectadas debido a la inexistencia de tabiques que rigidicen dichas plantas, de modo que los grados de libertad de los elementos resistentes son mayores.

Los elementos que más daño han sufrido han sido los antepechos, elementos con mayores grados de libertad y sin ninguna limitación para moverse.

Se concluye que en muchas ocasiones la condición a asegurar durante un terremoto no es la resistencia, sino la estabilidad, y se asocia también el concepto de vulnerabilidad con el de resistencia, estabilidad y grado de libertad, de modo que una estructura poco resistente puede ser también poco vulnerable si dispone de pocos grados de libertad en sus movimientos, si está rodeada por otras construcciones más resistentes. Por el contrario un edificio muy resistente podría ser muy vulnerable si alguno de sus elementos tiene muchos grados de libertad (por ejemplo una fachada). Esto ocurre al analizar elementos como hastiales y testeros, de modo que si no están íntimamente unidos ni a cubierta, ni a forjados, ni a muros perpendiculares, aumentan su grado de libertad y por tanto su vulnerabilidad frente a la acción sísmica (Frías Díaz de la Cruz, et al., 2015)(p.a. y aa.)

Con respecto al uso de parámetros urbanísticos en la caracterización de la vulnerabilidad sísmica es diferente según el método empleado (Martínez Cuevas, 2014a):

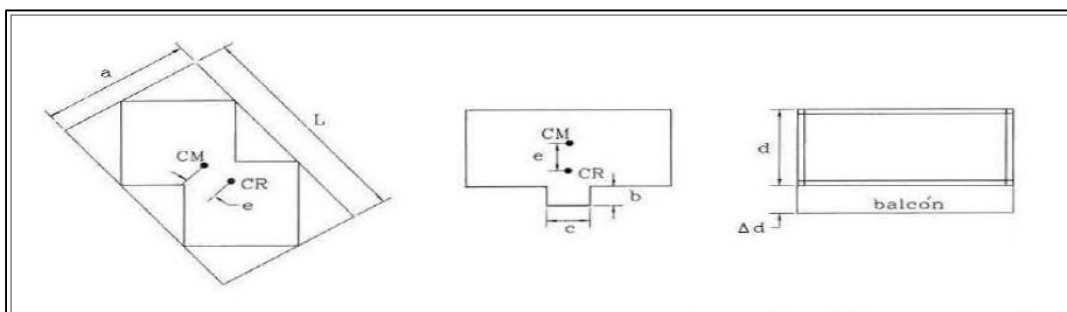
- Método del índice de vulnerabilidad: analiza parámetros relacionados con aspectos que pueden considerarse en normas urbanas. Para cada una de las tipologías consideradas, distinguiendo básicamente la mampostería no reforzada de las estructuras de hormigón armado, el índice de vulnerabilidad identifica aquellos parámetros que controlan el daño asociado al terremoto. Trata de distinguir las diferencias en un mismo tipo de construcción. Se aleja de lo considerado en la escala de intensidad EMS-98, en la que se clasifica la construcción por tipo de material o año de construcción. Considera factores como la configuración en planta y altura, cimentación, estado de conservación y calidad de los materiales.
  - o Configuración en planta: la disposición en planta es determinante en el comportamiento en caso de sismo. La Figura 27 establece distintas configuraciones en planta consideradas en el método del índice de vulnerabilidad para edificios de mampostería no reforzada.



**Figura 27 Configuración en planta empleada en el método del índice de vulnerabilidad en edificios de mampostería no reforzada (Martínez Cuevas, 2014a)**

En el caso de los edificios de hormigón armado, en función de determinadas dimensiones especificadas en la Figura 28, se establecen las calificaciones basándose en la distancia existente entre el centro de masas y el centro de rigidez de la configuración en planta del edificio. Esta distancia se conoce como excentricidad. Se concluye afirmando que las edificaciones con mayor irregularidad resultan más vulnerables.

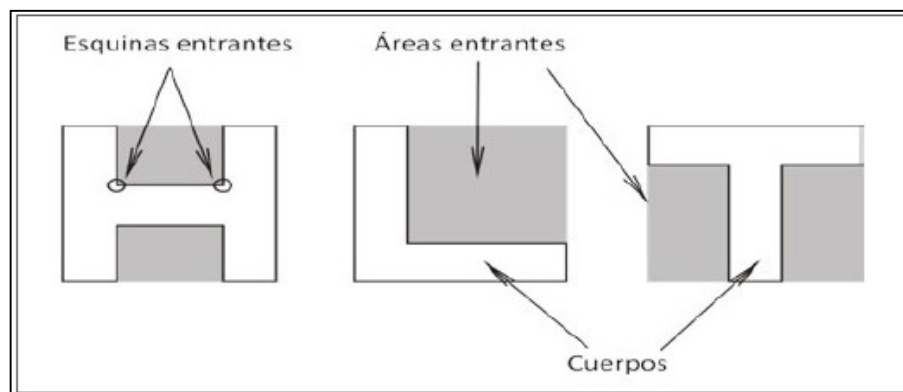
Desde el inicio del siglo XX se ha considerado que los edificios con plantas irregulares en los que aparecen áreas entrantes de dimensiones significativas, influyen aumentando la vulnerabilidad de las edificaciones. Cuando dichos edificios sufrían un sismo presentaban más daño aquellos con una forma irregular y con dimensiones y proporciones en determinado rango.



**Figura 28 Configuración en planta empleada en el método del índice de vulnerabilidad en edificios de hormigón armado (Martínez Cuevas, 2014a)**

En este punto se consideran propiedades geométricas como la convexidad, entendida como la existencia de áreas entrantes o retranqueos que generan varios volúmenes o cuerpos rectangulares en direcciones diferentes y que conforman una sola unidad. Se entiende por geometría rectangular aquella en la que los entrantes se formen perpendicularmente en forma de cruz, H, T, L y U y que a su vez pueden ser simétricas o no. Se considera que un polígono es convexo cuando todos los segmentos que unen un par de sus puntos quedan en el interior de su perímetro.

En la Figura 29 se representan unidades constructivas con áreas entrantes en los que los puntos de unión de los diferentes cuerpos suponen zonas de concentración de esfuerzos ante aceleraciones sísmicas.



**Figura 29** Unidades constructivas con áreas entrantes (Configuraciones urbanas contemporáneas en zonas sísmicas, Guevara Pérez, 2012) (Martínez Cuevas, 2014a)

Las plantas triangulares son sistemas con direcciones de acción horizontal no paralelas. Cuando se disponen en colindancia tiene como consecuencia una distribución irregular de rigidez y resistencia. Aunque el triángulo se puede considerar como una figura regular, la ingeniería sísmica no considera la planta triangular con una solución compatible.

La propiedad geométrica de simetría está asociada al comportamiento sísmico adecuado definido por el hecho de que la masa, la rigidez y la resistencia sean simétricas y concéntricas. Lo

contrario generaría una excentricidad en el desplazamiento del centro de rigidez con relación al centro de masa, asociado a fenómenos de torsión.

A pesar de que la forma de la edificación sea regular, determinadas situaciones en las que una de las dimensiones en planta es significativamente mayor que la otra, están asociadas a la posibilidad de que en los extremos se apliquen movimientos sísmicos diferentes, originando grandes deformaciones en la estructura (Martínez Cuevas, 2014a)

- Configuración en elevación: para los edificios de mampostería no reforzada dicha irregularidad suele estar debida a la existencia de torretas o torreones y porches. En la Figura 30 se establecen unos esquemas en los que en función de las dimensiones se analiza la vulnerabilidad. Para edificios de hormigón armado sin embargo, se tienen cuenta las irregularidades en elevación, variación de masa o de superficies entre pisos consecutivos, así como la variación con la altura de la rigidez lateral según lo dispuesto en la Figura 31. Las variaciones de rigidez pueden venir dadas por un cambio de material empleado, así como por una reducción de las divisiones interiores en plantas bajas para ganar espacio, y que traen como consecuencia una variación de la masa entre pisos consecutivos.

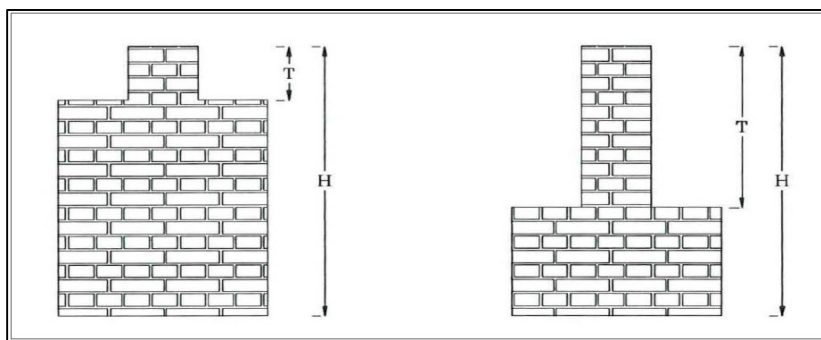
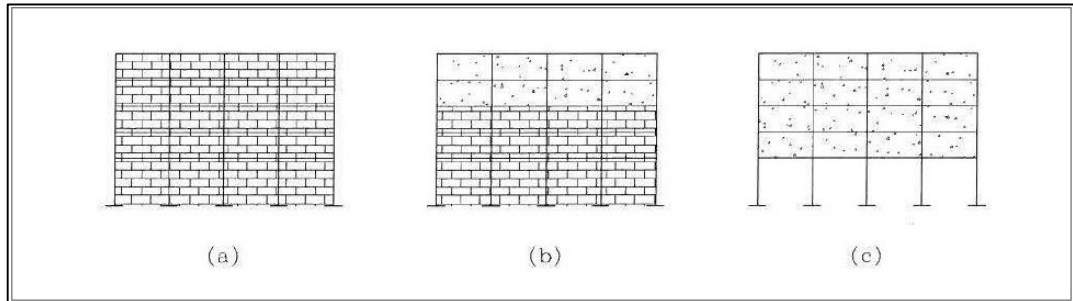


Figura 30 Configuración en elevación según el índice de vulnerabilidad en los edificios de mampostería no reforzada (Martínez Cuevas, 2014a)



**Figura 31 Variación de la rigidez lateral de un edificio (Martínez Cuevas, 2014a)**

Se considera la existencia de retranqueos como desplazamientos de varias porciones de fachada del edificio, con relación a los límites en los planos verticales de la envolvente o pared de fachada de otra porción superior o inferior. Esto traería como consecuencia la discontinuidad irregularidad de la distribución de elementos resistentes, con cambios en la masa reactiva, la resistencia y la rigidez en diferentes partes del edificio, provocando concentraciones de daños en dichos puntos.

Escalonamientos en la parte superior del edificio, voladizos, torres, cuerpos entrantes y salientes, péndulos invertidos, edificaciones piramidales y la falsa regularidad volumétrica con vacíos interiores, son los tipos de retranqueos posibles (Martínez Cuevas, 2014a).

- Método de la EMS-98: en este método de cálculo de la vulnerabilidad los siguientes parámetros relacionados con las características urbanísticas tienen implicaciones en el resultado final de la valoración:
  - Regularidad: simetría y regularidad están asociadas al buen comportamiento sísmico. La regularidad es mucho más que la simetría externa en plano y elevación, ya que incluye características naturales del edificio que aseguran el comportamiento controlado en caso de terremoto, siempre dentro de las consideraciones del diseño sismorresistente.
  - Localización con respecto a las colindancias: el peor comportamiento en caso de terremoto suele estar vinculado aquellos edificios situados en los extremos de fila o esquinas. Ello



es debido a que cuando dos edificios de distintos periodos son colindantes se producen golpeteo entre ambos, que suele afectar directamente a los soportes

			$I_V^{min}$	$I_V^-$	$I_V^*$	$I_V^+$	$I_V^{max}$
MAMPOSTERÍA	M1.1	Muros de carga con mampostería de piedra y cascotes	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M1.2	Muros de carga con roca simple	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M1.3	Muros de carga con roca masiva	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
	M2	Adobe	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	M 3.1	Muros de carga de fábrica y forjados de madera	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M3.2	Muros de carga de fábrica y bóvedas de mampostería	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
	M3.3	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados mixtos de acero y cerámica	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
	M3.4	Muros de carga de mampostería no reforzada y forjados de losas de HA	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
	M4	Muros de carga de mampostería confinados y reforzados	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
HORMIGÓN	RC1	Estructuras de hormigón resistentes al momento	-0.02	0.047	0.442	0.8	1.02
	RC2	Estructuras de hormigón resistentes al cortante	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC3.1	Estructuras de hormigón con tabiquería regular	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98
	RC3.2	Estructuras de hormigón armado irregulares tabicadas	0.06	0.127	0.522	0.88	1.02
	RC4	Sistemas duales de muros y pórticos de HA	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC5	Prefabricados de hormigón	0.14	0.207	0.384	0.51	0.7
	RC6	Prefabricados de hormigón resistentes al cortante	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
ACERO	S1	Estructuras metálicas resistentes al momento	-0.02	0.467	0.363	0.64	0.86
	S2	Estructuras metálicas arriostradas	-0.02	0.467	0.287	0.48	0.7
	S3	Metálicas con muros de relleno de fábrica	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	S4	Metálicas con muros de corte	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
	S5	Sistemas compuestos de acero y HA	-0.02	0.257	0.402	0.72	1.02
MADE RA	W	Estructuras de madera	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

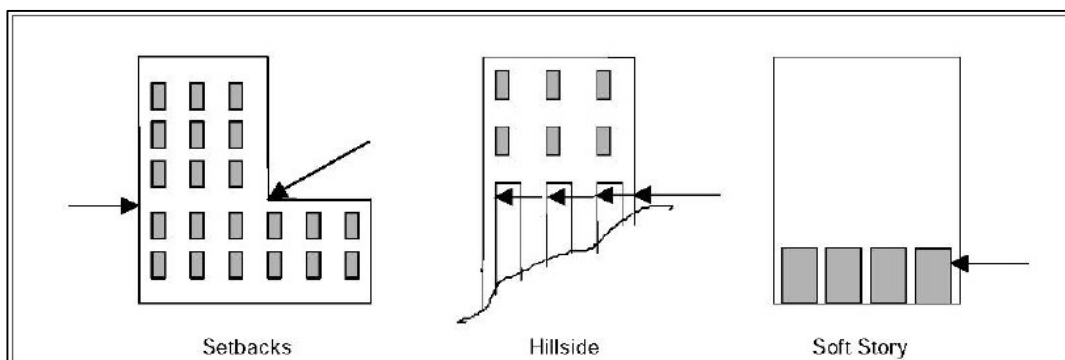
**Tabla 11 Índices de vulnerabilidad para las diferentes tipologías estructurales según Risk-UE (Martínez Cuevas, 2014a)**

- Proyecto Risk-UE: la Tabla 11 hace referencia a las 23 clases de edificios procedentes de las características del inventario de edificios de los países europeos participantes en el mencionado proyecto. Entre ellos encontramos edificios de mampostería, hormigón armado, estructura metálica y estructura de madera. Para cada tipo de edificio propone

índices de vulnerabilidad específicos con hasta 4 índices con funciones de pertenencia, indicando si ésta es probable, posible o menos probable. Entre los tipos de edificios, además de la clasificación mencionada, los subtipos hacen referencia tanto a la estructura portante vertical y sus características más relevantes, como a los elementos horizontales como los forjados. El método analizado y de acuerdo con la EMS-98, considera 6 grados de daño, de forma que conocido su índice de vulnerabilidad así como la intensidad esperada según su emplazamiento, se establece el daño probable a partir de un parámetro que define la función de probabilidad de daño para este edificio en su emplazamiento y para la intensidad considerada. La relación entre intensidad, vulnerabilidad y daño determina el daño probable y los escenarios de daño y riesgo sísmico. Las modificaciones del comportamiento considerados son el estado de conservación, altura o número de plantas, sistema estructural, piso blando, irregularidad en planta, irregularidad vertical, plantas superpuestas, cubierta, intervenciones, elementos artísticos, posición en planta, posición en elevación, cimientos y morfología del terreno.

Para cada uno de esos modificadores se van asignando determinadas puntuaciones en función del nivel de diseño sismorresistente, de modo que los valores positivos aumentan la vulnerabilidad del edificio, mientras que los negativos la reducen.

La Figura 32 muestra el modificador de irregularidad vertical así como esquemas de aplicación. La Figura 33 hace referencia a las plantas retranqueadas.



**Figura 32 Modificador de irregularidad vertical (Martínez Cuevas, 2014a)**

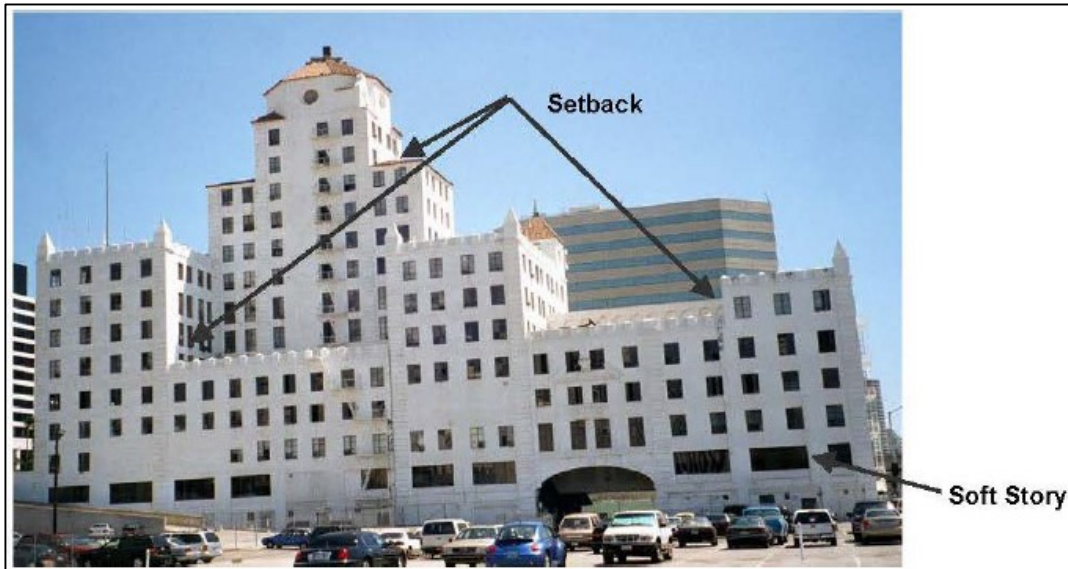


Figura 33 Retranqueos y piso blando según FEMA 154 (Martínez Cuevas, 2014a)

La Figura 34 hace referencia a las diferentes formas irregulares de las plantas, incluyendo los lugares donde se producirían los daños en caso de movimiento sísmico.

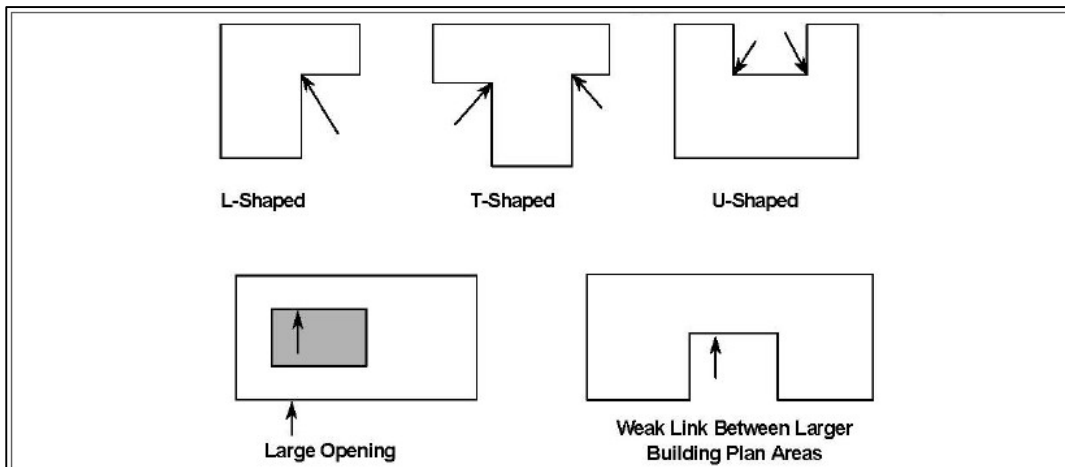


Figura 34 Plantas irregulares con indicación del punto en el que se produce el daño (Martínez Cuevas, 2014a)

Posteriormente en 2007 Nieves Lantada, en su tesis doctoral evaluando el riesgo sísmico de la ciudad de Barcelona, introduce una nueva clasificación y cuantificación de los modificadores por comportamiento entre los que introduce algunas modificaciones respecto a las consideraciones realizadas hasta el momento, haciendo una clasificación diferente para edificios de hormigón armado y de mampostería. Con respecto a la irregularidad en altura realiza el estudio determinando el número de alturas de cada parte del edificio dentro de las subparcelas en que pueda dividirse la parcela principal. Para la irregularidad en planta, incorpora una función en la que relaciona la distancia entre los puntos de su perímetro y el punto que puede ser considerado como centro de masas. Considera también la diferencia entre el número de plantas del edificio analizado y los colindantes, llegando incluso a esquematizar los modificadores de la función de vulnerabilidad. Considera como situación que más aumenta la vulnerabilidad frente al riesgo sísmico, aquella en la que el edificio considerado está entre colindantes de menor altura. La siguiente situación que aumenta la vulnerabilidad, aunque en menor medida que la anterior, es aquella en la que el edificio considerado está entre dos edificios colindantes uno de menor altura y otro de igual altura. La situación en la que los edificios colindantes son de igual altura no introduce ningún modificador de la vulnerabilidad, y aquellas situaciones en las que el edificio considerado es de menor altura que los colindantes, introduce el modificador más favorable desde el punto de vista de la vulnerabilidad. Cuando el edificio está entre dos colindantes y uno de ellos es de mayor altura, mientras que el otro es igual que el considerado, introduce un modificador favorable aunque no tanto como el mencionado anteriormente (Martínez Cuevas, 2014a).

Con respecto a la posición del edificio manzana, y según se menciona anteriormente, los situados en esquina y los finales de agrupaciones suelen estar asociados a mayores daños que aquellos que se sitúan en posiciones centrales. Se consideran las situaciones de terminal, en esquina, e intermedio, siendo este último el único que introduce modificadores favorables (Martínez Cuevas, 2014a).

Posteriormente Feriche en 2012, realiza su tesis sobre escenario de daños sísmicos en la ciudad de Granada. Emplea prácticamente los mismos modificadores por comportamiento mencionados anteriormente, adaptándose a las tipologías constructivas de Granada. Con respecto a la irregularidad en altura,

introduce este modificador de incremento de daño asociado a problemas de pilar corto y piso débil, piso blando o planta diáfana. Hace una consideración importante tras el estudio de los daños provocados por el terremoto de Lorca, llegando a afirmar que la mayoría de edificaciones de hormigón armado con más de tres plantas tienen problemas asociados al piso blando, y que aquellos de hormigón armado con semisótano tienen el problema de pilar corto. También considera la influencia de la pendiente del terreno tras el terremoto de Lorca de 2011, incrementando el valor del modificador (Martínez Cuevas, 2014a).

## 2.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y DE TRABAJOS SIMILARES REALIZADOS SOBRE TERRITORIOS AFECTADOS POR TERREMOTOS

En este punto la revisión bibliográfica se centra en el análisis de publicaciones relativas a estudios semejantes así como en el tratamiento estadístico que suelen llevar asociado, que posibilita el establecimiento de conclusiones derivadas de la relación entre los factores analizados y las consecuencias sufridas.

### 2.8.1. Análisis estadístico

El objetivo perseguido por el análisis estadístico en algunos estudios (Martínez Cuevas, 2014a) se centra en buscar la relación que puede existir entre parámetros urbanísticos y los daños ocurridos en los terremotos. En el proceso de selección de la muestra se busca que las zonas representativas a estudiar cumplan determinadas condiciones:

- Todos los parámetros urbanísticos están representados en una cantidad mínima.
- En la muestra existen edificios con la clasificación completa del daño.
- Existen distintos tipos de suelo según su clasificación de valores  $V_s$  30.

En este documento se analizan las sismicidad en la zona, y parámetros relacionados con el efecto sitio como los tipos de suelo.

Del mismo modo en otro artículo (Martínez Cuevas et al., 2015) se representa el modo en que los modificadores por comportamiento<sup>55</sup> inciden sobre los índices de vulnerabilidad, llevando a cabo un comparativo de distintos valores para factores modificadores e incluso de la relación entre la norma de edificación y ordenanza urbanística con los modificadores por comportamiento urbano. El análisis se realiza planteando el número de casos de edificios dañados frente a edificios no dañados para cada uno de los factores analizados.

En Lorca se ha llevado a cabo la clasificación del suelo según el EC-8 (Navarro et al., 2012), determinando la estructura del terreno según la velocidad de ondas de corte  $V_{s30}$  en 11 lugares de la ciudad mediante las curvas de dispersión de ondas Rayleigh a partir de registros de ruido ambiental. Se concreta en este estudio que el tipo de suelo más extendido de la ciudad de Lorca corresponden al tipo B según la mencionada norma (Martínez Cuevas, 2014a).

El empleo más habitual de la estadística en estudios relacionados con los efectos de los terremotos es fundamentalmente a nivel descriptivo, tanto si el objeto de los mismos es la evaluación de los daños provocados (Elwood, K. J., Marquis, F., & Kim, J. H., 2015) (De Martino et al., 2017), como si se trata de estudios de vulnerabilidad. En el primer caso y tras la organización de los equipos de evaluadores y la definición del formato del formulario de inspección, se suelen analizar aspectos relacionados con la evolución en el tiempo de las inspecciones llevadas a cabo, llegando a estudiar la correlación entre el número de inspecciones diarias y el número de equipos diarios, la evolución del número de edificios inspeccionados en función del tiempo desde el momento del terremoto y el tiempo requerido para completar las inspecciones, como medida de la productividad de los equipos<sup>56</sup>. Se analiza también la evolución desde el momento del terremoto del resultado de las inspecciones según la distribución de su uso posible (usable, restringido y no usable). Otros aspectos sobre los que se aportan datos son la distribución de edificios por tipo de estructura (desconocido,

---

<sup>55</sup> Factores no estructurales o urbanísticos como el piso blando, la irregularidad en alzado y en planta, etc.

<sup>56</sup> Para ello se emplean los factores T50% y T75% que representan respectivamente el tiempo en días para realizar el 50 y 75% del número final de inspecciones realizadas. Se aporta también la distribución de las inspecciones diarias por cada equipo, aportando la moda y la media.

muraria, acero/hormigón y mixta), clasificación de vulnerabilidad, año de construcción, número de plantas y grados de daño<sup>57</sup>, distribución de edificios por intensidad macrosísmica a nivel de distrito, y la distribución de edificios colapsados en función del tipo de estructura y de la intensidad EMS. En todos los casos a nivel de estadística descriptiva.

Otros estudios (Dolce, M., Masi, A, & Marino, M., 2003) definen clases de vulnerabilidad en base a las matrices de probabilidad de daño basadas en datos de daños sufridos tras un terremoto y que asimilan probabilidad de daño y porcentaje de daño.

En el estudio sobre el terremoto de Saguenay (Canadá) de 1988 (Paultre, Lefebvre, Devic, & Côté, 1993) se analiza la correlación entre el daño y determinados factores como la distribución geográfica, características del terremoto, efecto del suelo y tipos de estructura afectadas. En este caso el índice de daño se define mediante la relación entre los costes de reparación y el valor del edificio. El análisis de la relación entre el daño y la distribución geográfica requiere la previa división administrativa y la definición de la densidad de casas dañadas, el índice de daño medio y la intensidad de daño medio, analizando la distribución de reclamaciones en función del uso, distancia al epicentro y el índice de daño. El análisis estadístico se muestra a nivel descriptivo, aportando número de casos y porcentaje de las relaciones mencionadas.

El análisis de la evaluación de edificios tras la secuencia sísmica de Canterbury en Christchurch (Nueva Zelanda) (Elwood, K. J. et al., 2015) se centra en un bajo número de casos, de forma que plantea en una tabla todos los factores de interés como año de construcción, número de plantas, sistema estructural, ductilidad de diseño, llegando a extraer conclusiones sobre la correlación entre el nivel de daño y factores como el sistema estructural mediante el análisis del número de casos y del porcentaje de los factores analizados.

Una opción que puede resultar relevante en todo análisis territorial es la posibilidad de comprobar la existencia de significación estadística en la distribución territorial de edificios dañados por el sismo. Este análisis se llevó a

---

<sup>57</sup> La clasificación del daño (ligero, medio-pesado, muy pesado-colapso) se analiza sobre los diferentes elementos estructurales y constructivos en base al porcentaje de elementos afectados en el edificio. Se define el índice de daño en función de la frecuencia de daño y ponderándose el peso del nivel de daño.

cabo tras el terremoto de septiembre de 2017 en Ciudad de México (Garrocho, Campos-Alanís, & Chávez-Soto, 2018) con el objetivo de permitir centrar los esfuerzos de atención hacia zonas prioritarias en base a su ubicación. Para ello se emplea el índice de autocorrelación espacial de Morán<sup>58</sup>, capaz de descubrir patrones en la distribución de casos en el área de estudio. En dicho estudio se considera que el valor del índice de autocorrelación espacial de 0.536 es elevado y positivo, lo que indica la tendencia de los edificios dañados a concentrarse.

También se ha tenido en cuenta en este análisis la distancia estándar, que se puede asimilar a un círculo alrededor de la media espacial y da idea de la dispersión de la variable. En el caso de Ciudad de México, la dispersión da un radio de 7.7 Km que genera un área de 188 Km<sup>2</sup> donde se localiza el 68.7% de los edificios dañados.

Otra opción en la medida de dispersión es aportar la distancia estándar elíptica, que informa además de la tendencia espacial del fenómeno analizado, donde el eje mayor da idea de la máxima dispersión y el menor, de la mínima dispersión. Una de las recomendaciones que se hacen en la publicación es suponer que las unidades territoriales no son homogéneas, para lo cual será necesario el empleo de las dimensiones mínimas en su definición.

### 2.8.2. Territorios de la Comunidad de Murcia

El análisis del comportamiento de edificios de albañilería llevado a cabo sobre los edificios del centro de la ciudad de Lorca<sup>59</sup> (Basset-Salom, L. & Guardiola-Víllora, A., 2014), parte de una descripción del ámbito de estudio y del estado de sus edificios en base a la información aportada por el Ayuntamiento de Lorca a través de la plataforma municipal diseñada expresamente a raíz del terremoto (Figura 35 sobre localización y clasificación de daños tras el terremoto de Lorca). El estudio comienza con la inspección de 65 fachadas, como elemento más vulnerable de las estructuras murarias. Se adopta como método para cuantificar la vulnerabilidad e identificar mecanismos de fallo, el conocido como

---

<sup>58</sup> Su interpretación es semejante a la del coeficiente de correlación de Pearson, en la que los valores van de -1 a +1 (perfecta autocorrelación negativa y positiva respectivamente).

<sup>59</sup> Los edificios estudiados pertenecen al ámbito del PEPRI (sector II) y son de carácter residencial.



FaMIVE, desarrollado para determinar la vulnerabilidad de edificios existentes en centros históricos europeos, y que identifica los mecanismos de fallo posibles en este tipo de estructuras.

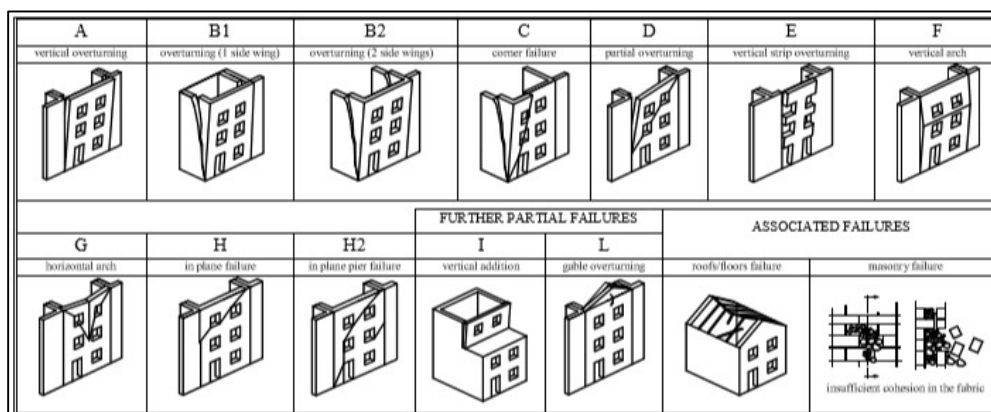


**Figura 35 Localización y clasificación de daños tras el terremoto de Lorca (Basset-Salom, L. & Guardiola-Víllora, A., 2014)**

El estudio muestra, a nivel descriptivo<sup>60</sup>, información relativa a antigüedad, número de plantas, aspectos constructivos y descripción de los daños observados. Con respecto a los daños los autores distinguen mecanismos fuera de plano y dentro de plano (Figura 36 sobre mecanismos de fallo existentes), de modo que cuando los muros son sometidos a acciones horizontales perpendiculares a su plano, suelen ocurrir los mecanismos fuera de plano.

En el artículo mencionado se hace referencia a un formulario de inspección en formato electrónico (Figura 37), en el que se incluye información sobre identificación y características del edificio, ubicación en el entorno urbano, descripción de los patrones de rotura, mecanismos de colapso y nivel de daño, completándolo con información gráfica.

<sup>60</sup> Número y porcentaje con respecto al total.



**Figura 36** Esquemas de mecanismos de fallo existentes en FaMIVE  
(Basset-Salom, L. & Guardiola-Víllora, A., 2014)

Finalmente muestra a nivel de estadística descriptiva el peso de cada factor en la correlación analizada, llegando a indicar cuál de los mecanismos de daño tiene mayor porcentaje de ocurrencia.

En determinados estudios de la vulnerabilidad urbana de Lorca (Martínez Cuevas, 2014a) la obtención y tratamiento de datos llevado a cabo en la investigación realizada, se basa en el diseño una ficha previa para obtener la base de datos de los edificios analizados, recogiendo tanto parámetros estructurales y urbanísticos como aquellos que pueden ayudar categorizar el riesgo sísmico, ocupación tipo de suelo etc.

La ficha dispone de tres partes:

- Datos: información básica de la edificación, referencia catastral, año de construcción, número de viviendas y de plantas, uso actual, dirección postal, estado de conservación y tipo de suelo.
- Características constructivas de la edificación: descripción de la estructura, distinguiendo si se trata de mampostería, muro de carga, hormigón armado con o sin diseño sismorresistente, tipo de cubierta, tipología constructiva según los parámetros de la Risk-UE, y tipología constructiva según la EMS-98.
- Características urbanísticas: tipología edificatoria, forma geométrica en planta, forma geométrica en alzado, efecto golpeteo, posición del edificio en la manzana, piso blando, columna corta o cautiva, posición respecto a las alineaciones y diferencia de altura con los colindantes y pendiente.

The image shows a complex digital form for inspecting historic buildings. It is organized into several numbered sections, each with a 'RELIABILITY' indicator. Section 1 (Urban Data) includes fields for town, block, and building information. Section 2 (Geometric Characteristics of the Facade) covers orientation, height, and gables. Section 3 (Geometric Characteristics of Openings) details the number and layout of windows and doors. Section 4 (Plan Geometric Characteristics) focuses on wall thickness and structural details. Section 5 (Structural Characteristics) addresses masonry, roof, and floor types. Section 6 (Further Vulnerability Elements) includes vertical additions and chimney flues. Section 7 (Damage Level and Mechanisms Identifications) features a list of damage types (e.g., cracks, masonry failure) and a photo of a building facade. A small graph in the bottom right of the form shows a scale from -2 to 12, with data points for different elements.

Figura 37 Formulario electrónico de inspección FaMIVE (Basset-Salom, L. & Guardiola-Víllora, A., 2014)

Previa a los de disposición de los datos recogidos en el trabajo de campo en un sistema de información geográfica se siguen una serie de pasos con respecto a la obtención de los datos:

- Datos de catastro: a través de la sede electrónica de la dirección general del catastro se descargan tanto la cartografía vectorial, constituida por un conjunto de tablas con sistema de referencia ETRS 89 con proyección UTM. También se dispone de información alfanumérica que requiere un tratamiento determinado para poder trabajar en Arcgis.
- Ortofotos del Instituto Geográfico Nacional.

En otras publicaciones (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015) se hace referencia a listados de chequeo sobre factores influyentes en el comportamiento de estructuras de hormigón con el objetivo de crear un debate

sobre la inspección de edificios reales tendente a prever el comportamiento frente al sismo, con determinados ítems sobre los siguientes aspectos:

- Ductilidad y capacidad disipativa: confinamiento de nudos, grandes esfuerzos axiales, disminución de las cuantías de armaduras activas de tracción.
- Regularidad geométrica y mecánica: planta irregular, simetría geométrica, simetría mecánica, edificio en pendiente.
- Nivel de diseño sísmico y prescripciones constructivas: existencia de plantas blandas, existencia de pilares cortos, existencia de grandes voladizos, cambio de rigidez entre plantas continuas, grandes masas en pisos superiores, estructuras a distinto nivel, etc.
- Calidad de los materiales y constructiva: nivel de conservación y mantenimiento de la estructura, exposición a ambientes agresivos, calidad de ejecución, edad del edificio (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)

### 2.8.3. Otros territorios de España

No se han encontrado estudios semejantes en otros territorios de la geografía nacional que traten las consecuencias del sismo. Sin embargo, existe una publicación (González Martín, 2014) en la que se hace referencia al catálogo patológico de edificios en el casco histórico de Burgos con el objetivo último de la gestión del patrimonio. El estudio analiza una amplia población del inmueble y obtiene conclusiones estadísticas de las lesiones localizadas.

El procedimiento analítico que sigue, parte de la definición de la propia lesión, tratando de buscar posibles causas para culminar con el proceso de reparación actuando sobre el origen. El método se basa exclusivamente en inspecciones visuales externas (sin acceso al interior de los edificios), sin tener opción de realizar catas o ensayos.

Como herramienta se diseña la ficha analítica (Figura 38), que permite la recopilación de datos del inmueble en cuanto a su tipología edificatoria, año de construcción, acabados, orientación, etc. Los datos de contiene son:

- Datos del inmueble (Figura 39).
- Descripción del inmueble acompañada de fotografía (Figura 40).

- Estudio de las lesiones (Figura 41), que sigue un patrón común en el que tras la identificación se intenta llegar a las causas y determinar los procedimientos de reparación.

<b>DATOS DEL INMUEBLE</b> SECTOR / BARRIO / DISTRITO P.E.C.H. / ZONA PLAZA MAYOR DIRECCIÓN PLAZA MAYOR Nº 1 USO CASA CONSISTORIAL ALTURAS III AÑO DE CONSTRUCCIÓN 1784 SUPERFICIE DEL SOLAR (m²) 511 SUPERFICIE CONSTRUIDA (m²) 2.608 REFERENCIA CATASTRAL 2280026VM48 REHABILITADO SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> AÑO <input type="text"/>			<b>ESTUDIO LESIÓN 1</b> 	<b>ESTUDIO LESIÓN 2</b> 
			<b>DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE</b> ESTRUCTURA Muros de carga de piedra y estructura de madera. En soporte entramado de cúpulas que reparten las cargas a los pilares de sillares de piedra caliza. FACCHADA Fachada de sillera. Primer cuerpo columnado con balaustrada de piedra, dos pisos de balcones y dos volúmenes sobresalientes en laterales de sillera de piedra caliza, con aleros de piedra con esféculas. Frente en centro escudo y escudo ADMCCCLXXXIII. CUBIERTA Cobertura de tes curva sobre arco volado de piedra con molduras. Balconada elevada de sillera de piedra. Ca. CARPINTERÍA EXTERIOR Pinturas: color verde oscuro, cerrajerías en balcones con barandillas de hierro pintado. En huecos de acceso carpintería de madera encastada y labrada con elementos metálicos. CONDICIONES ESTÉTICAS / GRADO DE PROTECCIÓN Grado de protección ESTRUCTURAL. Edificio construido en 1784 por Fernando González de Lara, sometido a la aprobación de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.	<b>DESCRIPCIÓN</b> Filtraciones de aguas de lluvia a través de las juntas de los sillares de piedra labrada en balcones. <b>CAUSAS PROBABLES</b> Desajuste de mortero entre sillares de balcones o su resistencia, que hace que el agua de lluvia se filtre a través de estas juntas, favoreciendo la aparición de colonias de líquenes, mohos y hongos sobre la superficie de la fachada. <b>POSIBLES REPARACIONES</b> Firmemente se limpiarán las juntas con chorro de aire a presión, y otra pesada herramienta de precisión. Sellado de las juntas con morteros de restauración anti-retención y propiedades hidrofugantes. Dada la poca anchura de las juntas su colocación deberá ser fluida, encofrando el nivel inferior con algún tipo de silicona neutra o encofrado que permita su retirada posterior una vez fraguado el mortero. Aplicación de lixivia para eliminar cualquier tipo de vida de origen vegetal adherida en la superficie de la piedra y posterior limpieza mecánica con máquinas hidropulsadoras a presión, con elementos abrasivos como arena sílica, polvo de vidrio, y aguas a temperatura entre 50 y 100°C.

Figura 38 Ficha analítica del catálogo patológico de edificaciones en el casco histórico de Burgos (González Martín, 2014)


<b>DATOS DEL INMUEBLE</b> SECTOR / BARRIO / DISTRITO P.E.C.H. / ZONA PLAZA MAYOR DIRECCIÓN PLAZA MAYOR Nº 1 USO CASA CONSISTORIAL ALTURAS III AÑO DE CONSTRUCCIÓN 1784 SUPERFICIE DEL SOLAR (m²) 511 SUPERFICIE CONSTRUIDA (m²) 2.608 REFERENCIA CATASTRAL 2280026VM48 REHABILITADO SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> AÑO <input type="text"/>	
---	--

Figura 39 Datos del inmueble en la ficha analítica del catálogo patológico de edificaciones en el casco histórico de Burgos (González Martín, 2014)





Figura 40 Descripción del inmueble (González Martín, 2014)

El proceso de trabajo seguido, parte de un análisis previo de las zonas de estudio para precisar el número de inmuebles sobre el que se realizará el análisis posterior. Este análisis aporta el contexto del estudio en cuanto a la antigüedad, tipología edificatoria y antecedentes históricos que puedan guardar relación con la existencia de determinadas lesiones. Se lleva a cabo una sectorización de la zona objeto de estudio para sistematizar el proceso de toma de datos.

El trabajo de campo se realiza mediante un recorrido ordenado por las calles en estudio, de modo que para cada edificio a analizar la observación sigue siempre las mismas pautas:

- Análisis visual exterior centrado en la existencia de lesiones y en base a la que se selecciona o descarta para el estudio.
- En los que se localizan lesiones se obtienen los datos referentes a la tipología edificatoria, tipo de estructura, características de fachada, cubierta, carpinterías, etc. y en definitiva todos los datos que puedan guardar relación con las lesiones existentes.
- Toma de los datos existentes en la ficha.
- Estudio pormenorizado de cada una de las lesiones con un análisis preliminar de causas posibles.

Tras lo anterior, en el trabajo de gabinete se selecciona definitivamente los edificios que formarán parte del catálogo sobre los que se redacta una ficha técnica en la que figuran los datos estadísticos como dirección, uso, número de alturas, año de construcción, superficie del solar, superficie construida, referencia catastral y existencia de actuaciones previas de rehabilitación.

Finalmente y tras la realización de reuniones sistemáticas de los integrantes del equipo para consensuar criterios de trabajo y puntos de vista en cuanto a las causas probables y reparaciones posibles, se analizan globalmente los resultados obtenidos.

Los edificios quedan clasificados según los siguientes criterios:

- Número de ficha: asignación correlativa tras el ordenamiento alfabético de las direcciones.
- Dirección en la que se encuentra y su número catastral.
- Zona del plan especial en la que se encuentra.
- Fecha de construcción, empleando unos intervalos de año en función del rango de años de los edificios existentes en el catálogo. Debido a que la mayoría de los inmuebles tienen una fecha de construcción entre la segunda mitad del s. XIX y la primera del XX, los intervalos propuestos permiten que los edificios se encuentren en su ámbito central.
- Tipología de la estructura, existiendo como opciones hormigón, piedra, y madera y fábrica.
- Acabado predominante, pudiendo ser aplacado, ladrillo cara vista, mampostería, revoco y sillería.
- Rehabilitado y fecha de rehabilitación.
- Clasificación de las lesiones en cuanto al elemento al que afectan y afección sobre estética, salubridad o seguridad.

El análisis estadístico general se limita a aportar números de casos y porcentajes sobre los aspectos relevantes, como los relativos a las diferentes épocas constructivas, tipología de lesiones destacando las que afectan a edificios situados en zonas emblemáticas de la ciudad, distribución de lesiones por elementos constructivos y estructurales afectados o por año de construcción.



ESTUDIO LESIÓN 1	ESTUDIO LESIÓN 2
	
<p><b>DESCRIPCIÓN</b> Filtraciones de aguas de lluvias a través de las juntas de los sillares de piedra labrados en balcones.</p>	<p><b>DESCRIPCIÓN</b> Fisura vertical en pilar de piedra de soportal en cuerpo inferior.</p>
<p><b>CAUSAS PROBABLES</b> Desaparición de mortero entre sillares de balcones o su inexistencia, que hace que el agua de lluvia se filtre a través de estas juntas, favoreciendo la aparición de colonias de líquenes, mohos y hongos sobre la superficie de la fachada.</p>	<p><b>CAUSAS PROBABLES</b> El pilar está fallando por rotura a compresión debido probablemente a algún problema de debilidad de alguna beta en la piedra caliza de menor resistencia. Insuficiencia de la sección del pilar para transmitir la carga hasta el terreno sin romperse. Existencia de un collarín metálico en cabeza, que da idea de la detección de este problema desde hace algún tiempo.</p>
<p><b>POSIBLES REPARACIONES</b> Primeramente se limpiarán las juntas con chorro de aire a presión, y otra pequeña herramienta de precisión. Sellado de las juntas con morteros de restauración anti-retracción y propiedades hidrofugantes. Dada la poca anchura de las juntas su consistencia deberá ser fluida, encontrando el nivel inferior con algún tipo de silicona neutra o encintado que permita su retirada posterior una vez fraguado el mortero. Aplicación de biocida para eliminar cualquier tipo de vida de origen vegetal afincada en la superficie de la piedra y posterior limpieza mecánica con máquinas hidrolimpiadoras a presión, con elementos abrasivos como arena sílicea, polvo de vidrio, y aguas a temperatura entre 30 y 100°C.</p>	<p><b>POSIBLES REPARACIONES</b> Realización de nuevo pilar de piedra similar a la existente ( caliza de Hortaña) y sustitución mediante apeado de la zona y eliminación del pilar existente. Al recibir únicamente el peso de la balconada corrida del primer cuerpo no será necesario apeaar en todos los forjados.</p>

Figura 41 Estudio de las lesiones en la ficha analítica del catálogo patológico de edificaciones en el casco histórico de Burgos (González Martín, 2014)

#### 2.8.4. Territorios de la Unión Europea

Los escenarios de daño por terremotos se refieren a distintos tipos de daño y pérdidas, empleando conceptos de sismología, geología así como de ingeniería geotécnica y estructural y de planeamiento urbanístico. Cada país tiene sus propias especificaciones para todos los aspectos relativos y relacionados con los



problemas sísmicos, por ello es difícil encontrar un lenguaje común entre los investigadores de diferentes países para intercambiar información que permita finalmente una aproximación común a la mitigación de riesgos (Dolce, Kappos, Masi, Penelis, & Vona, 2006).

Se desarrollaron escenarios de daño relevantes para los edificios de la ciudad de Potenza en el sur de Italia. En su preparación se sigue una serie de pasos: encuesta de localización y caracterización de edificios; evaluación de vulnerabilidad absoluta; selección de terremotos de referencia incluyendo efectos de amplificación, de modo que dos eventos sísmicos de 50 y 475 años del periodo de retorno se eligen como representativos. Los escenarios de daño preparados se vuelcan en un sistema de información geográfica.

En los últimos años muchos estudios y proyectos tanto de ámbito nacional como internacional se han desarrollado sobre los escenarios sísmicos. Risk-UE, Enservy y Radius son algunos ejemplos.

Los escenarios de daño hacen referencia a diferentes clases de daños y pérdidas, como los daños en las construcciones, fallecimientos ocasionados o pérdidas económicas debidas a la interrupción de actividades. La preparación del escenario del daño para edificios requiere de un inventario de edificios de interés, vulnerabilidad absoluta de dichos edificios y las características del movimiento del suelo, incluyendo posibles efectos de sitio.

El inventario de los edificios puede incluir información sobre la localización, características cualitativas y geométricas así como características mecánicas o cuantitativas. Se puede basar en varias fuentes de información como análisis históricos, censos de población, fotogrametría aérea, inspecciones de campo, entrevistas con expertos locales y documentación técnica.

La vulnerabilidad entendida como la propensión a sufrir daños debidos a un terremoto se puede evaluar mediante diferentes técnicas<sup>61</sup>. La técnica directa recopila datos durante la inspección de campo, que se pueden emplear para determinar la vulnerabilidad de los edificios. Tras un evento sísmico el escenario del terremoto se convierte en un laboratorio a escala real con muchas posibilidades como observatorio de edificios dañados, en el que comparar los estudios teóricos con el comportamiento real. Sin embargo los datos de una inspección difícilmente podrán proveer un completo conjunto de datos para el

---

<sup>61</sup> Directa, indirecta y convencional.

estudio de la vulnerabilidad. Esto es principalmente debido al limitado número de terremotos dañinos y el elevado número de tipologías estructurales. Por otra parte las técnicas directas basadas en simulaciones numéricas están condicionadas fuertemente por las características de las estructuras examinadas y de los sismos de partida. Además existen otros problemas como la conexión incierta entre daños mecánicos parametrizados y daños reales (Dolce et al., 2006).

Con respecto a la evaluación del movimiento del suelo hay que tener en cuenta aspectos fundamentales como la selección del terremoto de referencia y el análisis de los posibles efectos de sitio (Dolce, M. et al., 2003).

En la preparación de escenarios de daño, debido a la especial característica de los datos disponibles así como de la falta de alguna información, se desarrolló un procedimiento cuyos principales pasos son los siguientes:

- Inventario de edificios: con frecuencia se basa en datos del censo o en rápidas inspecciones visuales. En el presente estudio el escenario de daños se basa en un amplio inventario de edificios obtenidos mediante una encuesta desarrollada tras el terremoto de 1990 sobre Potenza. Los evaluadores usaron un formulario de inspección para el primer nivel, mediante el que se evaluaron aproximadamente 50000 edificios. El análisis mostró una pobre correlación entre las tipologías estructurales y el daño, principalmente a causa de la baja intensidad y la poca fiabilidad de la evaluación del daño.
- Tipos de edificios: incluye características cualitativas y geométricas como altura, configuración en planta y alzado, edad, tipo de estructura vertical y horizontal, tipo de cimentación y de tejado y estado de conservación. Tienen cuenta también las actividades llevadas a cabo en los edificios distinguiendo usos vivienda, producción, uso mixto y servicios públicos. Con todo ello se tienen gráficos del número edificios y el porcentaje de edificios y del volumen construido que representa en función del número de plantas y del tipo de estructura (estructura de muro de carga y estructura de hormigón armado).
- Matrices de probabilidad de daños: aporta el porcentaje de daño en función de la intensidad y del grado de daño para cada una de las clases de vulnerabilidad.

- Reconocimiento de clases de vulnerabilidad: en primer lugar aparece la clasificación de daño según la EMS-98, donde se definen los grados de daño en función de los síntomas que presenta cada edificio, para estructuras de muro de carga y de hormigón armado, según la Tabla 12.
- Evaluación de efectos de sitio: se parte de un mapa de incremento de intensidad en función de la localización.
- Selección del terremoto de estudio<sup>62</sup>.
- Escenarios de daño: tienen en cuenta la amplificación por el efecto de sitio (Dolce, M. et al., 2003).

Damage grade	Definition	Notes	
		Masonry buildings	RC buildings
0	No damage	–	–
1	Negligible to slight damage (No SD, slight N-SD)	Hair-line cracks in very few walls, fall of small pieces of plaster only, fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.	Fine cracks in plaster over frame members or in walls at the base, fine cracks in partition and infills.
2	Moderate damage (Slight SD, moderate N-SD)	Cracks in many walls, fall of fairly large pieces of plaster, partial collapse of chimneys.	Cracks in columns and beams of frames and in structural walls, cracks in partitions and infill walls, fall of brittle cladding and plaster, falling mortar from the joints of wall panels.
3	Substantial to heavy damage (Moderate SD, heavy N-SD)	Large and extensive cracks in many walls, roof tiles detach, chimneys fracture at the roof line, failure of individual non-structural elements (partitions, gable walls).	Cracks in columns and beam joints of frames at the base and at joints of coupled walls, spalling of concrete cover, buckling of reinforced rods, large cracks in partition and infill walls, failure of individual infill panels.
4	Very heavy damage (Heavy SD, very heavy N-SD)	Serious failure of walls, partial structural failure of roofs and floors.	Large cracks in structural elements with compression failure of concrete and fracture of rebars, bond failure of beam reinforced bars, tilting of columns, collapse of a few columns or of a single upper floor.
5	Destruction (Very heavy SD)	Total or near total collapse	Collapse of ground floors or parts of buildings.

**Tabla 12 Clasificación de daño según la EMS-98 (Dolce, M. et al., 2003)**

Otro estudio (Gizzi & Masini, 2009) desvela los tipos de acciones institucionales tomadas tras sismo de Melfi (Italia) en 1930, como cambios parciales de áreas urbanas y construcciones a prueba de sismo. También identifica

<sup>62</sup> Se seleccionan eventos sísmicos de 50 y 475 años de periodo de retorno.

el patrón de daño sobre 2400 archivos, de tal forma que revela el probable fenómeno de la amplificación debido a características litológicas y geomorfológicas del sitio. También revela que aproximadamente el 90% de las edificaciones de la ciudad fueron reparadas o reconstruidas dentro de los 5 años tras la ocurrencia del sismo. Los datos han sido obtenidos a través de informes técnicos, comunicación entre administraciones y el fondo de ingenieros civiles.

La evolución histórica y la historia sísmica de Melfi, pone de manifiesto que las intervenciones tras el sismo marcaron la evolución de la ciudad. El fondo de los ingenieros civiles proporcionó la documentación sobre intervenciones, estadística de daños, reglas de evaluación de daños, geología del terreno y construcción sismorresistente.

“Los límites no están relacionados con la falta de información sino con las dificultades para rastrear esa información. En algunos casos, esto se debe a la dispersión de los datos causada por numerosos pasos burocráticos y también a la falta de un inventario de los archivos de las instituciones públicas. En este caso el problema era la falta de un inventario que no permitía la investigación secuencial y jerárquicamente estructurada, como suele ocurrir con el análisis de información existente en archivos” (Gizzi & Masini, 2009). Por ello el estudio se hizo en dos fases: en la primera se realizó un inventario de los documentos, mientras que en la segunda se abordó un estudio más profundo de los mismos.

La ficha de toma de datos que aparecen en la Figura 42 contiene los siguientes:

- Datos generales e informe técnico: contiene información sobre el propietario, información catastral, dirección, carácter del edificio público, existencia de planos de planta y sección, número de plantas, así como detalle de los trabajos realizados y su valoración.
- Tipología arquitectónica, técnica constructiva y daños: información sobre edificios y plantas, técnicas constructivas, análisis del daño estructural, niveles de daño.

Se hace referencia en el artículo a la existencia de problemas con la interpretación de los daños. Para dicha interpretación se emplearon las tarjetas de evaluación de daños del Grupo Nacional de Defensa de Terremotos, que dispone de unas clases de daño con una descripción que permite clasificar los efectos en los edificios (Tabla 13).

Figura 42 Fichas usadas para recopilar datos (Gizzi & Masini, 2009)

Damage classes	Sub classes	Description
Heavy	Collapse	Total and partial collapse of one or more structural components such as walls or roofs.
	Kinematic mechanism	Macroscopic dislocations («strapiombo») of one or more structural components.
	Declared destroyed	Particular case of post-seismic history of Melfi. This sublevel refers to some housing units (about 11% of the total) «declared destroyed» which needed to be rebuilt in other areas because of the geological instability of the site. For most of these (about 85%) no damage description can be found while for the others the heavy damage level was always inferred by technical reports.
Serious	-	Evidence of cracks across the walls with ejection of parts of masonry and important detachment between walls and roofs and between orthogonal walls.
Slight	-	An evident separation between plaster and walls or capillary cracks.

Tabla 13 Clases y descripciones de daños empleados para clasificar los efectos sobre los edificios (Gizzi & Masini, 2009)

La respuesta institucional dada como consecuencia del terremoto vino a través de determinados Decretos Ley<sup>63</sup>, en los que se hacía referencia a construcciones de edificios a prueba de terremoto así como autorizaciones para pagar los créditos a ciudadanos privados y entidades públicas con el objeto de proceder a las reparaciones de los edificios. En dicha respuesta se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Intervenciones llevadas a cabo: urbanismo procedió a seleccionar la localización de los nuevos edificios de cara a la expansión de los centros urbanos teniendo en cuenta las características geotécnicas.
- Daños por terremoto.
- Características de los edificios: el nivel de daño no sólo está relacionado con el riesgo sísmico y el efecto sitio, sino también con la vulnerabilidad del edificio<sup>64</sup>. Da un aspecto y punto de vista tangible de las tipologías constructivas más usadas en el momento del terremoto (1930).
- Unidad de daño como unidad básica elemental usada en estadística.
- Análisis estadístico a nivel territorial del daño, procediendo a una clasificación en fuerte, serio y ligero.
- Escenario urbano de daño: con el objetivo de determinar los puntos en los que se han producido concentración y amplificación de daños a través del efecto sitio.
- Reconstrucción tras sismo: haciendo referencia a las necesidades de trámites burocráticos como formularios y evaluaciones de daño (Gizzi & Masini, 2009).

Derivado de un estudio sobre la sismicidad en Rumanía y más concretamente en la región Vrancea<sup>65</sup> (Dragomir, C. S., Georgescu, E. S., & Borcia, I. S., 2012), se llega a la conclusión de que la investigación sobre terremotos requiere un gran esfuerzo y preparación, ya que la pérdida de datos sobre terremotos y sus efectos es irre recuperable. Para evitar dicha pérdida se sugiere un sistema de evaluación cuya estructura se adapte a la elevada amplitud del área

---

<sup>63</sup> Normalmente asociados a urgente necesidad.

<sup>64</sup> Relacionada con la calidad de materiales y técnicas, así como la forma arquitectónica y la historia de restauración y mantenimiento del edificio.

<sup>65</sup> Distrito de Rumanía emplazado en la región de Moldavia.

afectada por un posible terremoto, que estaría basada en centros regionales donde los especialistas deberán estar entrenados y dirigir la investigación tras el sismo. Por otra parte, la regulación, organización, coordinación e implementación y el control legal y administrativo de las medidas tomadas tras el terremoto y su investigación deberá ser de ámbito central.

Para desarrollar la investigación postsismo de los edificios se deben tomar ciertas medidas como asegurar redes y sistemas informáticos con los necesarios sistemas periféricos en todos los centros regionales, así como preparar e implementar en dichos centros, los sistemas informáticos y la base de datos para un almacenaje primario de los datos de la investigación temprana llevada cabo por investigadores e ingenieros.

Los temas a evaluar son principalmente relativos a aspectos relacionados con la emergencia y su operativa, como alojamiento, daño en edificios públicos e infraestructuras, efectos en la población y operaciones de búsqueda y rescate en estructuras colapsadas. También se evalúan aspectos relacionados con el desarrollo sostenible como efectos geológico-geotécnico, interacción entre el suelo y la estructura, registros sísmicos, etc.

Como observación cabe destacar que en las investigaciones relacionadas con elementos de riesgo deben de clasificarse los criterios de toma de datos en función del análisis estadístico posterior.

Los métodos de evaluación y técnicas de campo sobre los efectos de los terremotos se llevan a cabo mediante el empleo de imágenes satélite, tecnología GIS y comparación de imágenes aéreas antes y después del terremoto. También se emplean las técnicas de investigación de edificios dañados tras terremoto indicadas en el proyecto europeo STEP<sup>66</sup>. Ello permite la cooperación internacional en aquellos lugares en los que tras terremotos destructivos se necesita la opinión de expertos.

Con respecto a la correlación y síntesis de datos instrumentales y de daños de edificios, se parte de datos pre-sismo sobre el estado inicial de los sistemas constructivos con el objetivo de poder comparar con la situación tras el impacto sísmico. La acumulación de datos sobre características dinámicas de diferentes tipos de edificios ofrece la posibilidad de una interpretación estadística de los

---

<sup>66</sup> Integra dos tipos de formularios (junto con el de Step se utiliza el formulario italiano).

resultados. Los datos obtenidos tras los terremotos de 1977 y 1986 muestran una correlación entre el grado de daño y el aumento de sus periodos.

Se obtienen medidas dinámicas en edificios para correlacionar los resultados de la inspección de campo y de la instrumentación de los edificios, obteniendo el grado de daño mediante la comparación de estos valores con las características grabadas en una base de datos. Todo ello con el objetivo de la reducción de riesgo sísmico en Rumanía.

Se produce la recuperación de los datos recogidos por los equipos de evaluación de campo en una base de datos pública online a través de un software creado expresamente, que permite obtener valores y gráficos para los edificios investigados mediante tablas de Excel y base de datos en Access.

Los datos contenidos en esas bases de datos hacen referencia a edificios con estructura de hormigón armado declarados como edificios seguros, edificios con estructura de hormigón armado declarados como edificios inseguros, edificios de muro de carga declarados como edificios seguros, edificios de muros de carga declarados como edificios inseguros, viviendas individuales declaradas como inseguras y edificios públicos (Dragomir, C. S. et al., 2012).

#### **2.8.5. Territorios en otras partes del Mundo**

Un estudio realizado sobre 1927 archivos de reclamación por el terremoto de Saguenay<sup>67</sup> el 25 de Noviembre de 1988 presenta los resultados en términos de correlación entre el daño y distribución geográfica, características del movimiento sísmico, condiciones del suelo y tipo de estructura (Paultre et al., 1993). Los efectos de sitio se señalan como una de las principales causas de daño a edificios incluso a largas distancias del epicentro.

De las características del movimiento sísmico se deduce la amplificación producida en depósitos aluviales con respecto a la aceleración existente sobre roca, así como la reducción de la aceleración pico del suelo más allá de un radio de 110 km desde el epicentro.

El análisis de los daños parte de la creación de una base de datos de los edificios dañados para realizar su análisis desde un punto de vista geográfico. Como características de esta base de datos, están el uso de una escala subjetiva

---

<sup>67</sup> Ciudad canadiense perteneciente a la provincia de Quebec.



para evaluar el grado de destrucción basado en los tipos de daños observados, asociando un coeficiente de gravedad con cada tipo de daño y obteniendo un índice de daño total que es la suma de todos los coeficientes. El cálculo del porcentaje de daño se basa en los costos de reparación, de manera que el grado de daño está medido por un ratio de daño definido por la relación entre el coste de reparación y el valor del edificio. Esta base de datos se creó apoyándose en diferentes fuentes.

Existen algunas reservas en cuanto al uso de los datos recopilados, como el hecho de que no todos los daños fueron informados, además de que sólo el 25 % de los ficheros de daño estaban completamente investigados y bien documentados. Además, el coste de los daños estaba estimado por el propietario (salvo en edificios públicos y en casas privadas con importantes daños). La evaluación municipal normalizada empleada en el estudio para determinar el nivel de daño no siempre reflejaba de la mejor manera el valor estimado de los daños, sobre todo en caso de edificios de servicio público.

De este modo de 1927 archivos, 75 de los cuales fueron rechazados, hicieron posible la creación de una ficha identificación indicando localización, descripción de los edificios<sup>68</sup>, y daños<sup>69</sup>().

El análisis de distribución geográfica de los daños requiere una subdivisión del territorio y una selección de parámetros de daño representativos, intentando que esta división sea acorde con las divisiones administrativas existentes. Las tablas que analizan los daños indican la distribución de reclamaciones y cantidades según el uso, la distancia al epicentro y el ratio de daño medio.

Los parámetros usados para evaluar la distribución geográfica del daño son la densidad de casas dañadas<sup>70</sup>, el ratio de daño promedio y la intensidad de daño medio, parámetro que integra la densidad y la intensidad y es más representativo de la severidad del terremoto que los dos anteriores.

Con respecto al daño y el movimiento del suelo hay dos formas de considerarlo: cualitativamente con la intensidad sísmica<sup>71</sup> y cuantitativamente con

---

<sup>68</sup> Edad, número de plantas, tipo de cimientos y estructura, evaluación municipal.

<sup>69</sup> Costes de reparación, elementos estructurales dañados.

<sup>70</sup> Relaciona el número de casas dañadas de un municipio con el número total de casas de ese municipio, de acuerdo a los datos del censo de 1986.

<sup>71</sup> Refleja cómo la gente sintió el terremoto.

parámetros que definen el nivel de movimiento como la aceleración pico del suelo velocidad, desplazamiento, frecuencia o intensidad de daño.

Con respecto al daño y al tipo de suelo, se tienen en cuenta mediante la distribución de la intensidad promedio de daños superpuesta sobre el mapa de depósitos superficiales, llegando a la conclusión de que la mayor parte de las áreas afectadas estaban compuestas fundamentalmente por arcillas. Se observó también que pocos daños estaban asociados a estructuras apoyadas sobre estratos rocosos, que edificios dañados con cimentaciones sobre arcilla se pueden encontrar bastante lejos del epicentro y que el grosor de los depósitos de suelo donde ocurrieron la mayoría de los años oscilaban entre 5 y 30 m.

El estudio tiene en cuenta también la relación entre los daños y los tipos de edificios, encontrando principalmente los siguientes: roturas o empujes de los muros de bloque de hormigón en sótanos, roturas de muros de albañilería no reforzada, roturas en esquina o en huecos, así como en la unión de dos muros o de un muro y un forjado, daños concentrados en partes libres de la chimenea o causados por la caída de trozos de chimenea, separación de chapados de albañilería que no estaban anclados o anclados inadecuadamente a muros exteriores o estructuras en las que huecos de varias pulgadas se observaron entre ambos.

Con respecto a los tipos de edificios, los pequeños tienen hormigón o bloques de hormigón en sus cimentaciones y un marco de madera recubierto con piedra o ladrillo. Este tipo de estructuras se comportó bien durante el terremoto debido a un elevado nivel de amortiguamiento y una baja degradación de su resistencia y rigidez durante los ciclos de carga. El daño se concentró en las secciones rígidas.

También ocurrieron ciertos daños a las cimentaciones con resultado de un asiento excesivo. En determinadas áreas se pudo encontrar licuefacción del terreno, cerca del epicentro que también causó daños a las cimentaciones.

La Tabla 14 clasifica el número de reclamaciones según el tipo de daño y el tipo de edificio, distinguiendo los daños estructurales y no estructurales y a qué elementos afecta cada uno de esos daños. Entre los daños estructurales analiza la estructura, cimentación, tejado y chimenea, mientras que en los daños no estructurales analiza muros exteriores, particiones interiores, huecos, escaleras y fontanería (Paultre et al., 1993).

Type of damage	Component	Small buildings (%)	Large buildings (%)
Structural	Structure	4	7
	Foundation	59	12
	Roof	3	10
	Chimney	38	4
Nonstructural	Exterior walls	23	67
	Interior finish	18	45
	Openings, panes	14	19
	Staircase, steps	2	11
	Plumbing	4	4

Tabla 14 Proporción del número de reclamaciones según el tipo de daño y el tipo de edificio (Paultre et al., 1993)

Por otra parte, los grandes edificios tienen mayores daños en muros interiores y exteriores pero menos en chimeneas y cimentaciones. Los edificios simétricos sufrieron menores daños y en otros, la orientación de los muros dañados pone de manifiesto una elevada direccionalidad en el movimiento del suelo. La edad de los edificios no parece haber jugado un papel importante. Parece que el porcentaje de daño está principalmente influenciado por el tipo de cimentación, calidad de la construcción, fachada exterior y su sujeción a la estructura (Paultre et al., 1993).

En otro artículo (Leite, Lourenco, & Ingham, 2013) se analiza la evaluación estructural de las iglesias de la región de Canterbury en Nueva Zelanda durante un terremoto cuya secuencia se situó temporalmente entre 2010 y 2011. Se compara el comportamiento de las iglesias mediante la clasificación estructural desarrollada en Italia, donde hay un formulario específico para iglesias con la asignación de daño por la autoridad local.

Los objetivos de la evaluación de edificios tras sismo son en primer lugar la protección de la vida y de la propiedad, tratando a continuación de minimizar el número de gente sin hogar mediante la rápida evaluación y clasificación de los edificios en seguro y no seguro, así como el empleo de esos datos para promover políticas de mitigación de desastres basadas en datos reales. La identificación de las causas del daño enfocadas a los planes de rehabilitación, teniendo en cuenta los riesgos es un objetivo secundario de este estudio.

La clasificación del daño está asociada al concepto de macroelemento, donde los mecanismos de colapso de las iglesias se distinguen según el fallo en estructuras o elementos estructurales individuales como fachadas, campanarios y presbiterios, de los que se asume su forma de trabajo independiente.

Los inspectores deben de identificar los posibles mecanismos de daño de una lista existente en el formulario, y graduar su escala<sup>72</sup> (Grunthal et al., 1998). La primera versión del formulario tenía 18 posibles mecanismos de colapso.

La legislación de Nueva Zelanda requiere la evaluación de seguridad de los edificios después de la declaración del estado de emergencia. En un margen de horas después de cada evento defensa civil desarrolla una evaluación de daños con el objetivo de priorizar las áreas de intervención y analizar los recursos técnicos y humanos. Se desarrollan dos niveles de evaluación: un primer nivel, llevado a cabo por ingenieros civiles y estructurales, así como expertos y personal de la industria de la edificación, sobre todos los edificios salvo las instalaciones críticas y los edificios multiplantas. Este estudio requiere la evaluación del sistema estructural, tipo de ocupación y el daño estructural observado exteriormente, asignando una tarjeta<sup>73</sup> en función del nivel de daño y de las restricciones de uso. Un segundo nivel de evaluación con más detalle, se llevó a cabo desarrollado por ingenieros estructurales y geotécnicos con experiencia sobre instalaciones críticas y edificios de varias plantas, así como aquellos que habían recibido identificación amarilla o roja durante el primer nivel de evaluación. En este caso la evaluación se desarrollaba sobre elementos estructurales, no estructurales y geotécnicos.

Se desarrolló también un formulario específico para las iglesias usado por primera vez en Italia en 1997. Este formulario no disponía de directrices ni procedimientos pudiéndose clasificar sus decisiones como ambiguas. Los objetivos del estudio eran restringir o permitir el uso completo del edificio o solo

---

<sup>72</sup> 1-daño ligero; 2-daño moderado; 3-daño fuerte; 4-daño muy fuerte; 5-destrucción.

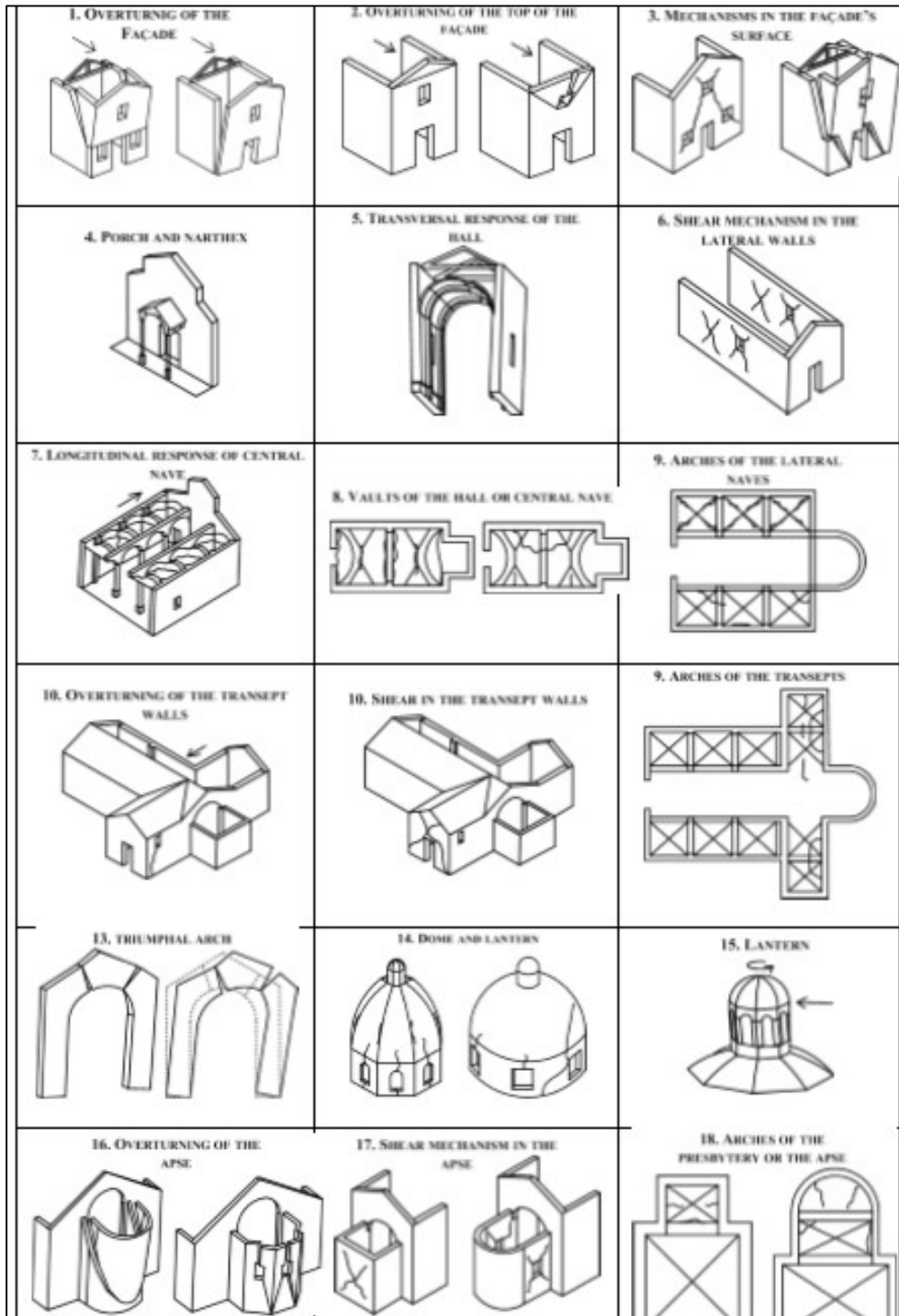
<sup>73</sup> Verde si no había restricciones al uso del edificio, amarillo si había preocupación sobre la seguridad y se restringía el uso del edificio durante cortos periodos de tiempo y rojo si el edificio era claramente inseguro y por lo tanto la entrada estaba prohibida.

de una parte, priorizar las intervenciones en las iglesias incluso con medidas temporales y estimar el coste de las intervenciones requeridas.

La jerarquía de intervención a aplicar sobre los edificios evaluados se conseguía a través de un índice de daño aplicado sobre los macroelementos que, como mencionamos anteriormente, son subdivisiones estructurales de la iglesia basados en elementos estructurales de los que se sabe que tienen un comportamiento prácticamente independiente ante la aceleración sísmica, con el objetivo de simplificar las complejas estructuras de la mayoría de las iglesias. Con ello se simplificaba la tarea de los inspectores tratando de generar evaluaciones y resultados homogéneos que les ayudaban a identificar los macroelementos activados durante el terremoto, de una lista de 28 posibilidades y a evaluar la cantidad de daño de cada macro elemento apoyándose en la clasificación de daño de la MSK-98. Ese índice de daño es la relación entre la suma del número de daños y el número de posibles macroelementos existentes en la estructura analizada.

El análisis estadístico aporta un dato importante y es que todas las evaluaciones se han realizado sólo con dos personas, lo que significa que se mantuvo el mismo criterio en todos los edificios inspeccionados.

Por otra parte, la evaluación de los edificios únicamente desde el exterior cuando el interior era inseguro, no generó información no fidedigna debido a que la arquitectura de las iglesias había seguido el mismo patrón en toda la región, y al hecho de que los macroelementos con daños existentes en el interior eran claramente visibles desde el exterior. En la Figura 43 aparecen los mecanismos de colapso que figuran en la encuesta italiana para las iglesias (Leite et al., 2013).



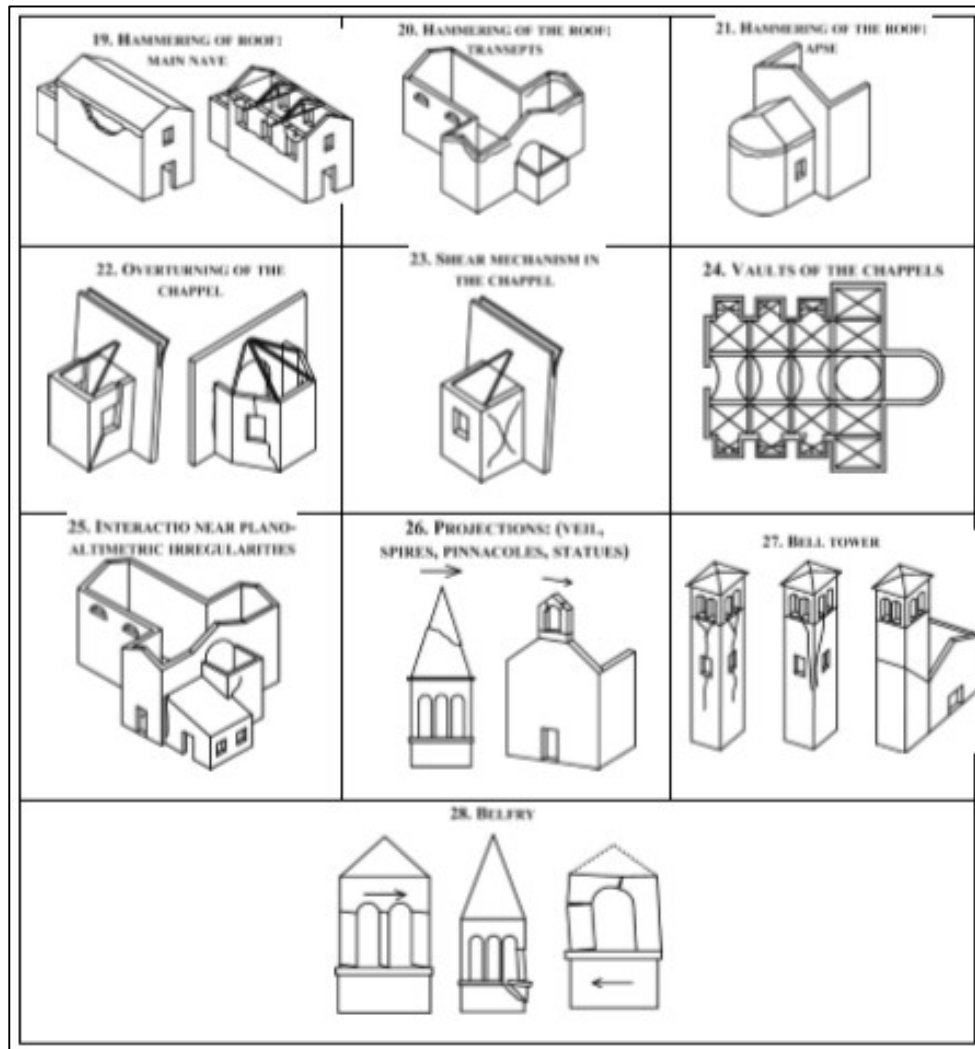


Figura 43 Mecanismos de colapso de iglesias contemplada en los formularios italianos de daños (Leite et al., 2013).

Otro estudio (Elwood, K. J. et al., 2015) en la misma región de Canterbury y relativa a la misma serie sísmica comentada anteriormente, describe como una de las conclusiones el potencial de llevar a cabo demoliciones generalizadas de edificios que han tenido un buen comportamiento ante los sismos. Ello ha dado lugar a una transformación en el medio ambiente urbano resultado de la demolición de aproximadamente el 60% de los edificios de hormigón, cuestión que suscitado la aceptabilidad de estos resultados y de las razones de las demoliciones. En ausencia de directrices de reparación en la decisión de

demolición frente a reparación, variables como compañía de seguros y cambios en la regulación del proceso edificatorio han influenciado significativamente en la decisión en determinado número de edificios. En este caso las demoliciones prevalecen sobre edificios con mayores niveles de daño aunque un número significativo de edificios con bajo nivel de daños también fue demolido. El nivel de daño está relacionado con el ratio o relación entre el coste de reparación y el coste de reposición. Más del 50% de los edificios con un índice de ratio entre el 2 y el 10% fueron demolidos.

Entre demoler y reparar, el nivel de daño no es el único criterio en la decisión. Consideraciones económicas, estrategias comerciales y regulaciones gubernamentales también marcan la pauta a seguir.

El estudio determina que no hay una correlación entre el tipo de sistema estructural lateral (y ductilidad de diseño) y el nivel de daño y en consecuencia con la decisión de demoler o reparar.

El índice denominado New Building Standard (NBS) aparece como un fuerte indicador de la decisión de modo que edificios que consiguen una capacidad menor del 67% NBS fueron demolidos mientras que por encima del 67% han sido reparados.

Los cambios en la legislación local que siguieron a los terremotos también contribuyeron a que predominaran las demoliciones. La evaluación después del sismo y el hecho de que las directrices en las reparaciones debían cumplir con la condición "When New"<sup>74</sup>, suponía una nueva perspectiva para la mayoría de los ingenieros para la que no había una guía de aplicación ni experiencia previa. Ello llevó a una gran variabilidad en la evaluación estructural y los costes de reparación, existiendo sobre todo diferencias entre las compañías de seguros y los informes de parte. La falta de conocimiento y de guía sobre la evaluación de la capacidad residual de edificio llevaba normalmente a una evaluación de daños conservadora, que traía como consecuencia la demolición de edificios reparables y una pérdida sustancial del medio ambiente urbano. Era necesario el desarrollo de unos documentos que sirvieran como guía, con métricas apropiadas para evaluar el comportamiento de las estructuras dañadas. Una aproximación podría ser el comportamiento relativo de los edificios no dañados. En este sentido se sugerían dos tipos de métricas: la reducción de la resistencia y la reducción de la

---

<sup>74</sup> Acercándose lo más posible a las condiciones de un edificio nuevo.



capacidad de deformarse. Por tanto la métrica crítica para evaluar edificios dañados por terremoto podría ser el aumento de las demandas de deformación debidas a la reducción de la rigidez, relativas a la capacidad de deformación evaluada de modelos calibrados.

Como alternativa se plantea la determinación del número de ciclos hasta que se produzca el fallo, estableciendo un modelo de riesgo que estima el número de ciclos para diferentes localizaciones (Elwood, K. J. et al., 2015).

Otros estudios (Carreño, Cardona, & Barbat, 2010) tienen como punto de partida uno de los principales problemas en la fase de inspección y evaluación de los edificios afectados, como es el carácter de la información subjetiva e incompleta sobre el estado del edificio obtenida por inspectores que posiblemente no sean expertos profesionales del campo de la seguridad en la edificación.

La innovación que aportan con respecto a las evaluaciones tradicionales es que los niveles de daño estructural normalmente están descritos en un lenguaje que puede ser adecuadamente procesado por técnica de inteligencia artificial, que simplifiquen las urgentes tareas de ingeniería para llegar a la decisión sobre la habitabilidad del edificio tras un impacto sísmico. El sistema descrito se basa en una red neuronal artificial que toma decisiones sobre la seguridad, habitabilidad y reparabilidad de los edificios.

Cuando el daño sísmico debe ser evaluado en una extensa área urbana afectada por un terremoto severo, el número de profesionales requeridos con la necesaria experiencia para actuar como evaluadores del daño siempre es insuficiente. Cuando el personal que tiene que tomar la decisión y evaluar el daño carece de experiencia, existe la tendencia a sobreestimar o infraestimar el daño. Además, la información obtenida mediante todos los métodos de evaluación es altamente subjetiva, ya que los niveles de daño se definen mediante calificaciones lingüísticas como ligero, menor, moderado, medio, severo etc., con una alta variación en su significado en función de quien emplea el término.

En consecuencia, se han aunado esfuerzos para desarrollar metodologías y directrices en la evaluación de daños que tratan de definir y concretar la medida de reparación, evitando demoliciones innecesarias. Éstas directrices permiten decidir con rapidez si un edificio puede continuar siendo usado. Aún con la creación de estas directrices, el proceso sigue siendo subjetivo ya que la baja

calidad de los datos y la falta de sistematización contribuyen a la confusión del retraso de las decisiones relevantes.

Existen varios ejemplos de directrices sistemáticas y procedimientos para evaluar los daños en los edificios:

- La antigua República Yugoslava de Macedonia (IZIIS 1984)
- California: se basa en la observación visual del daño con tres niveles de evaluación. El primer nivel es una rápida evaluación en la que se decide si el edificio suficientemente seguro para ocuparlo inmediatamente después del terremoto. El segundo nivel es una evaluación detallada por un ingeniero estructural. El tercer nivel es la evaluación desde el punto de vista de la ingeniería, que se aplica cuando a estructura no permite ser evaluada por técnicas visuales
- Japón: se desarrolla en dos pasos, evaluación visual inmediata del nivel de daño y de la habitabilidad y posteriormente evaluación del grado de daño estructural.
- México: con niveles de evaluación rápida, detallada, y especializada.
- Italia: se desarrollaron unas directrices y formularios en el año 2000. Más recientemente se publicó una propuesta basada en una investigación que comenzó en 1995. Además hay una herramienta multimedia conocida como MEDEA que dispone de un catálogo de daños estructurales y no estructurales en estructuras de albañilería
- Colombia: dispone de una metodología para la evaluación de la habitabilidad y la reparabilidad de edificios, basada en el sistema neuro-fuzzy desarrollado por Carreño en 2001.

El modelo de evaluación de daño basado en redes neuronales artificiales usa una lógica difusa para procesar la subjetiva e incompleta información disponible, de modo que el sistema pueda ser usado incluso por personal no experto unas veces que haya sido calibrado.

La Figura 44 muestra la estructura de la red neuronal, con tres niveles: un nivel de entrada en el que se analizan elementos concretos perteneciente al segundo nivel o nivel oculto, que se clasifica en elementos estructurales, elementos no estructurales, condiciones del suelo y condiciones preexistentes. El tercer nivel o nivel de salida es el resultado de aplicar el modelo de evaluación de

tal forma que para cada uno de los niveles ocultos, se obtiene un índice: índice estructural, índice no estructural, índice de condiciones del suelo e índice de condiciones preexistentes. Con todos esos índices se determina objetivamente la habitabilidad y la reparabilidad.

El número de factores de entrada usados para analizar el estado de la estructura está en función de la clase de edificio. Los elementos estructurales analizados en función de los sistemas estructurales, son básicamente muros o columnas, vigas, viguetas y forjados en estructura de hormigón y de acero y muros de carga y forjados en estructuras no reforzadas, reforzadas y confinadas.

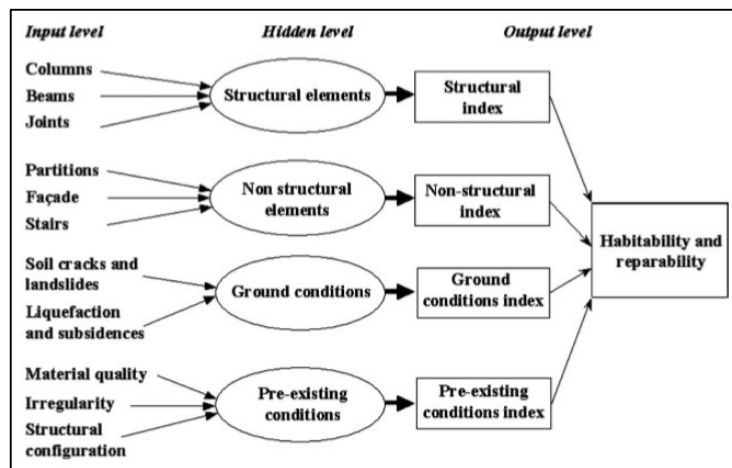


Figura 44 Estructura de la red neuronal (Carreño et al., 2010)

La habitabilidad y reparabilidad de los edificios se evalúa basándose en los resultados obtenidos del nivel de daño de los elementos estructurales y no estructurales, el tipo de suelo y de las condiciones preexistentes. La Figura 45 muestra las reglas en las que se basa la estimación de habitabilidad y reparabilidad. La calificación lingüística para la habitabilidad tiene cuatro posibilidades: habitable inmediatamente, uso restringido que solo será permitido tras una reparación, peligroso que solo podrá ser usado tras un refuerzo estructural y prohibido que nunca será usable. Cuando se añade el factor de las condiciones preexistentes, la reparabilidad dispone de 4 posibilidades: ningún o menor tratamiento, reparación, refuerzo y posible demolición (Carreño et al., 2010).

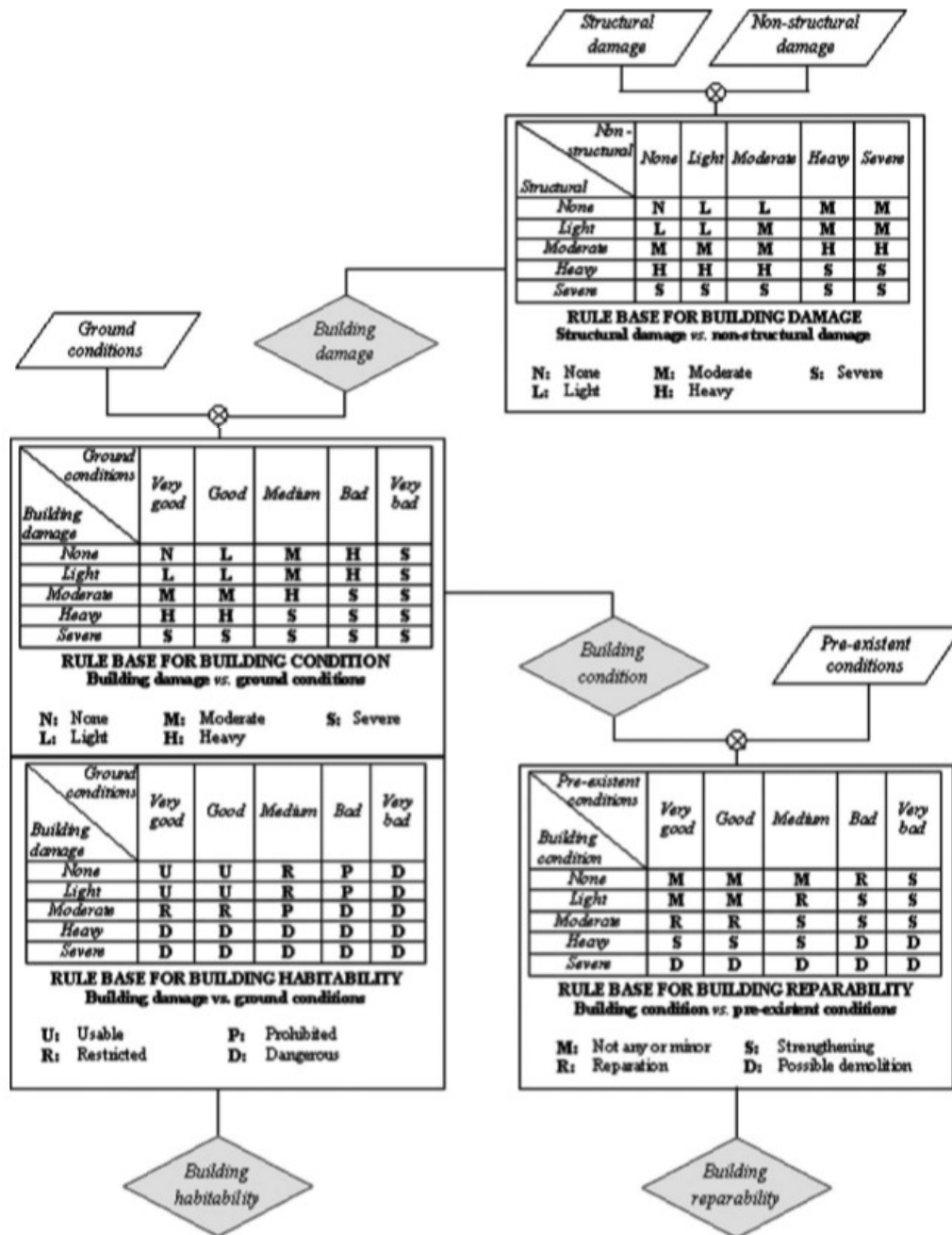


Figura 45 Método de evaluación de habitabilidad y reparabilidad (Carreño et al., 2010)

## **3. PLAN DE INVESTIGACIÓN**



## CAPÍTULO 3. PLAN DE INVESTIGACIÓN

### 3.1. INTRODUCCIÓN

La fase de diseño inicial del plan de investigación comienza en el ámbito del grupo de investigación Tecnos de la UCAM, que durante el año 2012 y contando con el apoyo de diversas instituciones como el Excmo. Ayto. de Lorca, Consejería de Presidencia de la Región de Murcia, así como del Colegio Oficial de Arquitectos de Murcia, lanza el proyecto denominado inicialmente “Catálogo de edificaciones demolidas en Lorca como consecuencia de los terremotos del 11 de mayo de 2011”. Posteriormente se adapta a los criterios reguladores del programa de doctorado en “Tecnologías de la Computación e Ingeniería Ambiental”, de modo que se consiguiera su aprobación.

La investigación pretende mostrar la realidad de las consecuencias de los terremotos sobre los edificios afectados, aportando datos objetivos basados en la información extraída de los expedientes de ruina existentes en el Excmo. Ayto. de Lorca vinculados con el terremoto de 11 de mayo de 2011.

### 3.2. PROCEDIMIENTO

El método de trabajo se estructura en diferentes fases, cada una de ellas con las siguientes características:

- Trabajo de campo: se trata de la recogida de información<sup>75</sup> existente en los expedientes de ruina inminente, técnica y económica. En fases posteriores también se comprueba en el terreno que la demolición indicada en algunos expedientes, efectivamente se ha llevado a cabo.
- Elaboración de la base de datos: se diseña la ficha en formato Access<sup>76</sup>, dándole el contenido necesario para la incorporación de la información obtenida en la fase anterior.
- Clasificación y sistematización de la información: mientras se continuaba con el análisis bibliográfico, y en función de la información que iba

---

<sup>75</sup> Planimetría, ensayos de laboratorio, fotografías, informes municipales y de parte, etc.

<sup>76</sup> Microsoft Access, 2010.

apareciendo en los expedientes, se incorporan los conceptos fundamentales a una base de datos tan ambiciosa como flexible, que permitiera el agrupamiento de los datos y el tratamiento estadístico. La base de datos se va completando no sólo con la información obtenida del estudio de los expedientes y del análisis de la bibliografía, ya que también procedía de la consulta de sistemas de información geográfica e información catastral.

- Análisis de las causas que motivan el decreto de demolición: se realiza el estudio de los daños estructurales y constructivos asociados al sismo, investigando sobre el origen del colapso en función de la acción directa del terremoto y de los posibles daños previos de la edificación.
- Establecimiento de patrones: mediante el análisis estadístico se buscan asociaciones entre las características de los edificios obtenidas del estudio de los expedientes y las consecuencias de los sismos. Se realiza para ello la selección y agrupación de las variables que van a formar parte de dicho análisis de entre todas las que aparecen en la base de datos. Posteriormente se procede al tratamiento estadístico de la información en su ámbito meramente descriptivo, aportando datos objetivos asociados al fenómeno estudiado y que supongan la base para cumplir el objetivo de catalogar los edificios demolidos. Una segunda fase del estudio estadístico<sup>77</sup> permite analizar qué características de los edificios existentes en los expedientes presentan una asociación con los daños observados.
- Sistema de información geográfica: se desarrolla el SIG, plasmando toda la información analizada.
- Revisión final de los datos: la fase final de comprobación consistió en comparar la base de datos creada con el listado de expedientes existente en el ayuntamiento y dar explicación a los posibles descuadres entre ambos. Por otra parte, con el apoyo del sistema de información geográfica se ha comprobado que no hubieran errores en cuanto a las ubicaciones de los edificios.

---

<sup>77</sup> Regresión logística a nivel univariante.



### 3.3. DATOS EXISTENTES EN LOS EXPEDIENTES MUNICIPALES DE DEMOLICIÓN

La fase de recopilación de datos comenzó durante el mes de junio de 2015 en el Ayuntamiento de Lorca tras la obtención de la autorización pertinente.

El estudio se ha centrado en los expedientes de ruina<sup>78</sup> tramitados en el Ayuntamiento de Lorca, de modo que las demoliciones de edificios que no eran objeto de su competencia, como los Institutos de Enseñanza Secundaria, eran gestionadas por el organismo público competente y no aparecen en el presente estudio.

La primera tarea que se realiza es el escaneo de la documentación considerada como fundamental de cara a la investigación, con un saldo de más de 7000 documentos correspondientes a ruina inminente y casi 11000 de ruina técnica y económica, así como la anotación de información que pudiera resultar relevante. El análisis de la información y su incorporación a la base de datos se ha llevado a cabo con posterioridad y fuera de las instalaciones del Ayuntamiento de Lorca, de manera que el proceso interfiriese durante el menor tiempo posible con el funcionamiento normal de la administración local mencionada.

En los expedientes básicamente se ha encontrado la siguiente información:

- Documentos relativos a las fases del procedimiento administrativo como medio de comunicación de la administración con los interesados: inicio, propuesta de resolución en base a los informes técnico y jurídico, resolución y notificación. La resolución del procedimiento, posterior a la fase de iniciación del expediente y al informe técnico municipal y basado en éste, indica la necesaria celeridad del proceso de demolición para garantizar la seguridad, y si los trabajos previstos se encuentran contemplados entre los gastos de emergencia en los que debía incurrir el Ayuntamiento de Lorca en el ámbito del Real Decreto-Ley 6/2011, de 13 de mayo, por el que se adoptan medidas urgentes para reparar los daños causados por los movimientos sísmicos acaecidos el 11 de mayo de 2011 en Lorca. En el mismo documento figuraba la empresa adjudicataria de los trabajos de demolición y el presupuesto.

---

<sup>78</sup> Inminente, técnica y económica vinculados con el terremoto de mayo de 2011.

- Informe técnico municipal sobre el estado del inmueble, que tras aportar información sobre la localización del edificio y de su propietario, describe los elementos estructurales y constructivos, así como los daños encontrados en la inspección y las medidas adoptadas previas a la demolición para atenuar los riesgos que pudieran existir. La fecha de este informe suele estar muy próxima a la de iniciación del procedimiento administrativo que conlleva.
- Informe jurídico que analiza la normativa de aplicación al expediente de ruina, estudiando si concurren las circunstancias para poder aplicar las condiciones de ruina.
- Autorizaciones de la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales de la Región de Murcia, cuando los expedientes aludían a inmuebles de su ámbito de competencia y normalmente asociados al PEPRI.
- Memoria descriptiva de los trabajos de demolición con indicación de su cronología y valoración, así como de la empresa que lleva a cabo los trabajos. Este documento está firmado por el técnico municipal y por el alcalde del municipio. Existen expedientes en los que además figura la factura de los trabajos de demolición y certificado final de obra.
- Informes de parte sobre el estado del inmueble.
- Información catastral, acompañada en determinados expedientes por solicitudes de rectificación de ubicación.
- Información gráfica como fotografías, croquis y planos obtenidos de los diferentes informes.
- Fichas PEPRI que contienen información urbanística y posibilidades de actuación en la finca.
- Ficha de inspección tras sismo (Roldán Ruiz, J. et al., 2015), que clasifican las edificaciones en código de color en función de los daños que presentan, definiendo el riesgo que suponen y las actuaciones posibles para reducirlo.
- Proyecto de demolición en algunos expedientes de ruina técnica y económica en los que aparece la descripción de los edificios a demoler y se realizan indicaciones sobre su ejecución.
- Informe del jefe de la Policía Local sobre la existencia de moradores en expedientes de ruina técnica y económica.

### 3.4. ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS

El primer paso en la elaboración de la base de datos es definir la plataforma informática a emplear. Esto ha venido dado por los requisitos del estudio, como son la versatilidad y la flexibilidad al definir los campos e incorporar información predeterminada, permitiendo los cambios que fuesen necesarios tanto en el fondo como en la forma, así como la posibilidad de exportar los datos introducidos a otros entornos<sup>79</sup> como ArcGis, Excel y SPSS<sup>80</sup>. Con todos estos requisitos el entorno elegido para desarrollar la base de datos resultó ser Access.

Tras un periodo inicial de familiarización con el programa y la forma más adecuada de introducir los campos, y de modo paralelo al análisis bibliográfico y de la documentación existente en los expedientes municipales, aparece un primer formulario que cumple todos los objetivos mencionados.

Posteriormente se han venido haciendo correcciones en función de la evolución del análisis bibliográfico y de la información de los expedientes, llegando a desarrollar hasta 10 versiones hasta la definitiva que se describe en los apartados siguientes.

Para proceder a la cumplimentación de la ficha se ha seguido una secuencia en la consulta de documentos, estableciendo una pauta de actuación que permitiera obtener la máxima cantidad de datos posibles, discerniendo los datos importantes de los superfluos.

Cada uno de los expedientes se ha analizado íntegramente en dos ocasiones por la misma persona<sup>81</sup>: en la primera ocasión se analiza la documentación y se extrae la información para cumplimentar la base de datos; la segunda ocasión se centra en cada una de las casillas de la base de datos, buscando la información en los expedientes. Posteriormente se han llevado a cabo hasta tres revisiones parciales de todos los expedientes que se han centrado en aspectos concretos de la información<sup>82</sup>, así como en la incorporación de información gráfica.

---

<sup>79</sup> Para la presentación en tablas y gráficos, realización de análisis estadísticos y creación de sistemas de información geográfica.

<sup>80</sup> (*ArcGis Desktop 10.5*, s. f.; *Excel*, 2010; *SPSS Statistics*, s. f.).

<sup>81</sup> Se pretende evitar las diferentes interpretaciones sobre una misma realidad, siguiendo los criterios que se especifican a lo largo del presente documento. Sin su observancia sería muy difícil que incluso una misma persona mantuviera el mismo modo de proceder durante todo el tiempo.

<sup>82</sup> Configuración del edificio y tipos de daños.

En primer lugar se ha buscado la correcta ubicación de cada edificación. Para ello se ha partido de dos datos fundamentalmente: la dirección y la referencia catastral. Tal y como se menciona en el apartado correspondiente, en primer lugar se localiza con la referencia catastral para posteriormente acudir a la plataforma Google Earth y comprobar que se trataba de la misma construcción en base a su dirección y a la configuración en planta del propio edificio y de los colindantes. Cuando no ha sido posible con la referencia catastral, se ha buscado con la dirección, en cuyo caso se trataba de localizar empleando primero la plataforma Google Earth y posteriormente acudiendo al catastro para confirmar. Cuando no era posible con la dirección, y en el expediente existía algún mapa catastral con coordenadas UTM, se traducían esas coordenadas a decimales mediante la plataforma pixelis y se introducían en Google Earth, siguiendo entonces el proceso mencionado anteriormente.

Una vez localizada la construcción ya se disponía de la imagen satélite del entorno. Esa imagen es comparable con la imagen de la misma localización en función del tiempo, con lo que es posible determinar tanto el estado actual del edificio como el estado antes del terremoto. De este modo es posible comprobar si la demolición se ha realizado según lo dispuesto en el expediente, así como la configuración del edificio en cuestión y de los edificios colindantes (Figura 46).

En la información catastral existente en los expedientes se puede comprobar cuál era la configuración del edificio en estudio en cuanto a las alturas de los diferentes volúmenes que lo pudiesen constituir, llegando a definir la existencia de varios volúmenes o de plantas retranqueadas, así como la configuración de los edificios colindantes y el emplazamiento y tipo de manzana en el que se encuadra.

Posteriormente, se han introducido las coordenadas en la plataforma Sitmurcia obteniendo la clase de suelo desde el punto de vista urbanístico y si el edificio analizado dispone de algún tipo de catalogación.

En busca de información constructivo-estructural y del estado patológico se analizan los diferentes informes técnicos, tanto de ámbito municipal como los posibles informes de parte que puedan existir en el expediente así como la memoria de trabajos realizados por la empresa de demolición, de la que además se obtienen datos como la duración, fecha y coste total de la demolición.

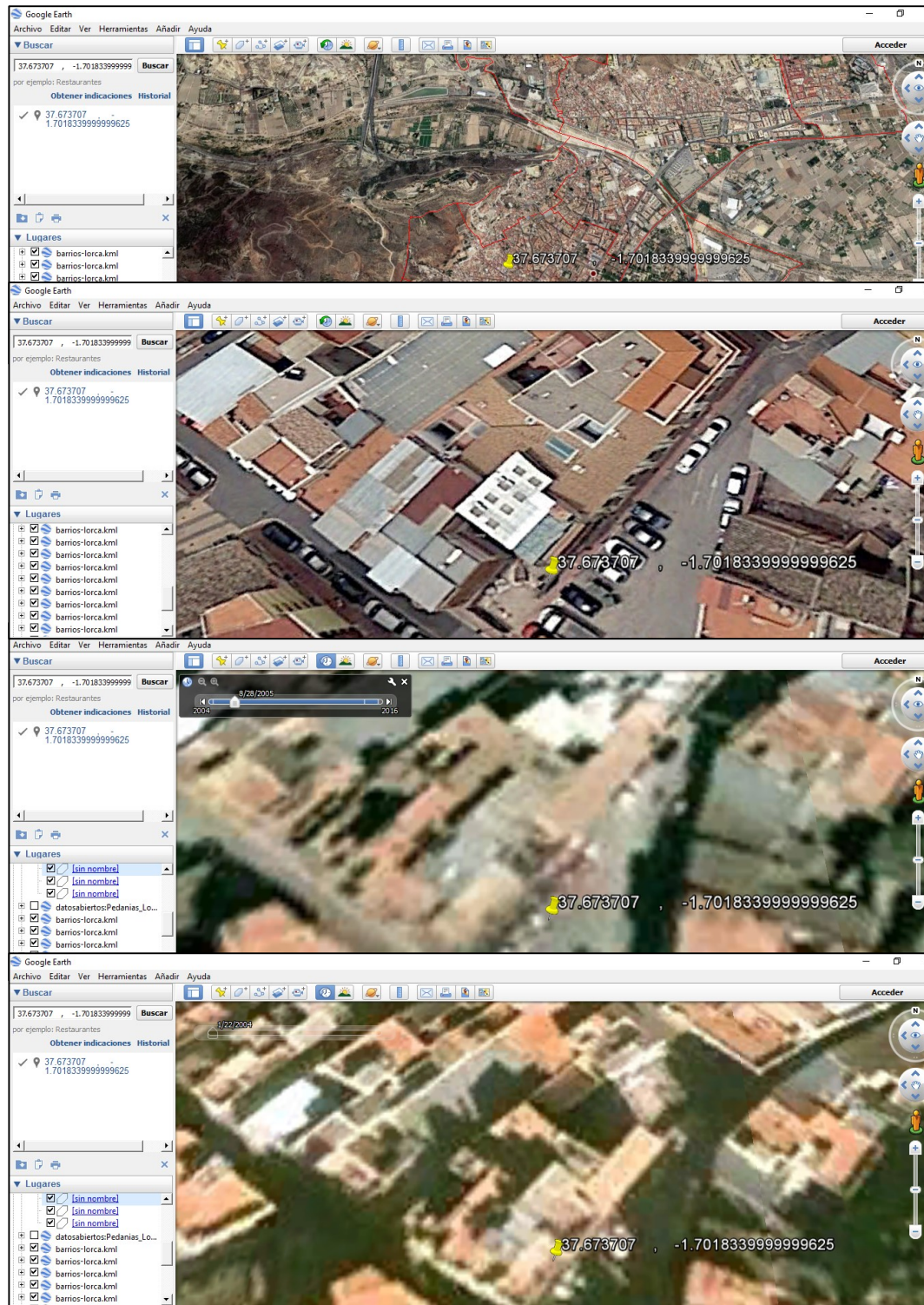


Figura 46 Imágenes Google Earth de la misma ubicación en épocas diferentes

Posteriormente, se introducen las coordenadas de todos los expedientes en el sistema de información geográfica y se superpone sobre la información del tipo de terreno según la NCSE-02, incorporando dicha información a la base de datos.

El diseño definitivo de la ficha de contenido en Access (Microsoft, s. f.), se divide en ocho apartados: encabezado, descripción general, descripción estructural y constructiva, características de la acción sísmica, caracterización geotécnica, daños estructurales y constructivos, intervenciones llevadas a cabo tras sismo y datos referentes a las demoliciones.

### 3.4.1. Encabezado: datos genéricos

En el primer apartado de la ficha se introducen los datos genéricos relativos a su ubicación y configuración en edificios, portales de acceso y viviendas (Figura 47):

Catálogo de edificios demolidos en Lorca como consecuencia de los sismos de 2011		UCAM  UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MURCIA	
Nº de Ficha:	<input type="text" value="01"/>	Situación:	<input type="text" value="c/ Alameda Virgen de las Huertas, nº 14"/>
Expte:	<input type="text" value="RI"/>	Barrio:	<input type="text" value="Virgen de las H"/>
Nº exp:	<input type="text" value="01/2011"/>	Nº edificios:	<input type="text" value="1"/>
		Nº portales:	<input type="text" value="1"/>
		Nº viviendas:	<input type="text" value="1"/>
		Ruina:	<input type="text" value="Inminente"/>
		Coord UTM X:	<input type="text" value="615561,56"/>
		Coord UTM Y:	<input type="text" value="4170172,46"/>
		Pedanía:	<input type="text" value="Lorca"/>

Figura 47 Apartado de la base de datos relativa a los datos genéricos del encabezamiento

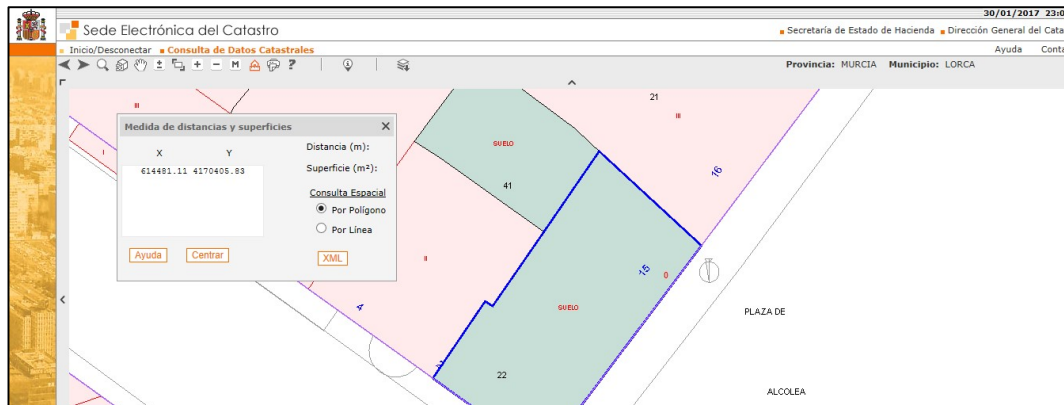
Este primer apartado consta de la siguiente información:

- Número de ficha: número correlativo correspondiente a cada uno de los expedientes. Durante el diseño de la base de datos se planteó la posibilidad de realizar una ficha para cada edificio demolido, de manera que aquellos expedientes en los que existiesen varios bloques de edificios independientes requerirían varias fichas. Finalmente se optó por mantener la relación directa entre el número de fichas y el número de expedientes, incorporando la información del número de edificios. Ello se debió a que, cuando el expediente contemplaba varios bloques, su configuración era prácticamente idéntica, lo que unido al hecho de que se compartían condiciones locales (efecto sitio)(Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015), no suponía un aporte extra de información.

- Situación: dirección que aparece en el expediente, con la aclaración entre paréntesis de posibles incongruencias con la información existente en el catastro (Dirección General del Catastro, s. f.), teniendo en cuenta que los números del catastro correspondientes a algunas parcelas han podido sufrir cambios después del proceso de demolición y posterior reconstrucción. También se suelen indicar entre paréntesis datos aclaratorios como el nombre concreto que el edificio pudiera tener, así como cualquier circunstancia excepcional con respecto a la construcción del expediente considerado, como puede ser el hecho de que se trate de la demolición de un muro de contención, como elemento sujeto al control administrativo mediante un expediente.
- Barrio: se utiliza en su determinación la información gráfica aportada en formato Google Earth, superponiendo la ubicación del edificio estudiado con la capa de información correspondiente a los barrios de Lorca (Ayuntamiento de Lorca, 2017).
- Expediente: se determina si el expediente fue tramitado como RI (Ruina Inminente) o RT (Ruina Técnica o Económica), según la nomenclatura empleada en el propio Ayuntamiento de Lorca.
- Número de expediente municipal: el asignado por el Ayuntamiento.
- Número de edificios: se indica el número de bloques o edificios que se tienen en cuenta en cada expediente, entendiendo por tales aquellos que tengan una independencia estructural en todos sus elementos. Cuando tal independencia no se podía acreditar se ha clasificado como si de un solo bloque se tratase, incorporando la información sobre la mayor entidad del edificio mediante el concepto siguiente.
- Número de portales: hace referencia al número de accesos a cada bloque o edificio, dando una idea de su mayor o menor entidad.
- Número de viviendas afectadas por la demolición: dato obtenido de la información catastral, contrastado con la información de los diferentes informes y fotografías.
- Tipo de ruina: este punto cobra especial importancia en los expedientes RT (Ruina Técnica), para diferenciar entre los dos que aglutina y que son Ruina Técnica y Económica.



- Coordenadas UTM (Vara Moral, 2010): la proyección UTM<sup>83</sup> es el sistema de representación oficial para toda la cartografía que se edita en España. Las coordenadas se han obtenido en la mayoría de los casos localizando la parcela a través de su referencia catastral (Figura 48), para posteriormente mediante el empleo de la herramienta de medición de distancias, acceder a las coordenadas del punto de la alineación de fachada coincidente con el número de la calle indicado en el plano catastral. Cuando se trata de un edificio en esquina el punto elegido ha sido la propia esquina. En construcciones aisladas en las que no había una indicación de número, se ha comprobado cuál era la fachada de acceso y se han determinado las coordenadas de su punto medio.

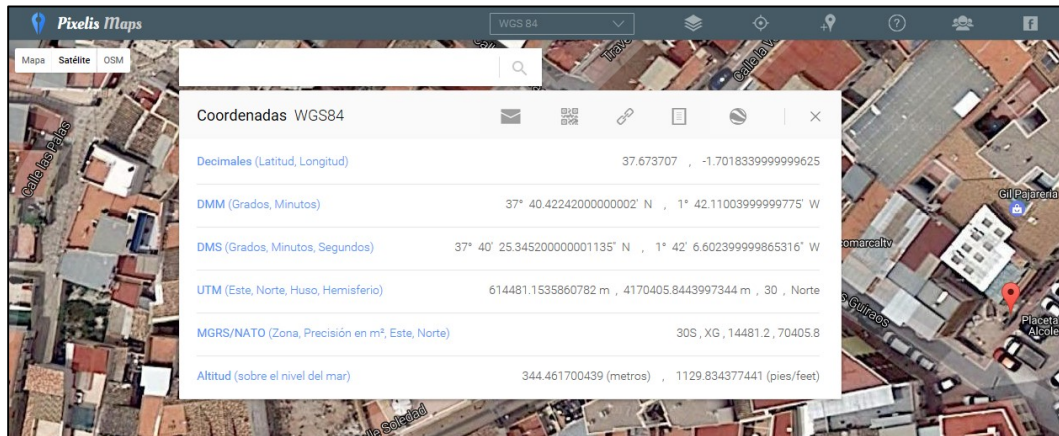


**Figura 48 Sede electrónica del catastro: procedimiento de obtención de coordenadas UTM**

Cuando no ha sido posible localizar la ubicación a través de datos catastrales, se ha localizado a través de la dirección que figura en el expediente mediante Google Earth. Una vez localizada, se procedía a la conversión de coordenadas decimales propia de dicha plataforma, en coordenadas UTM mediante la página web <http://www.maps.pixelis.es/> (Figura 49).

<sup>83</sup> Universal Transversa Mercator.





**Figura 49** Plataforma Pixelis Maps de conversión de coordenadas

- Pedanía: conocidas también como diputaciones, se localizan mediante la ubicación de la dirección o las coordenadas sobre la plataforma Google Earth. El término municipal se divide en 39 pedanías, incluyendo el casco urbano de Lorca.

### 3.4.2. Descripción general

El segundo apartado recoge la descripción general del edificio y del entorno en el que se encuentra (Figura 50).

A continuación se detalla cada uno de los contenidos de esta parte de la ficha:

- Emplazamiento: edificio entre medianeras, en esquina, aislado o terminal<sup>84</sup>-doble esquina (Ramón Álvarez Cabal, Eduardo, & Raúl, 2013).
- Residencial colectivo y residencial unifamiliar (Martínez Cuevas, 2014b): tipo de distribución de las edificaciones definiendo una serie de manzanas o la agrupación de bloques o viviendas. Viene a complementar la información del apartado correspondiente al emplazamiento, asignando de entre los dos tipos de clasificación la que mejor se adapte a la realidad del edificio en estudio, independientemente de que sea individual o colectivo (Figura 25 y Figura 26).

<sup>84</sup> Edificio final de una alineación y que dispone de una sola colindancia.

<b>Descripc general</b>	
<b>Emplazam:</b>	Terminal <input type="checkbox"/> Residenc colect: <input type="checkbox"/> Residenc unifam: Agrupada en <input type="checkbox"/>
<b>Entorno urbano PEPRI</b>	<input type="checkbox"/> Entorn proteg de edific declar BIC <input type="checkbox"/> Integrado en zona de reforma urbana
	<input type="checkbox"/> Zona de interés arqueol <input type="checkbox"/> Integr en zona de rehab integrada <input type="checkbox"/> Afectado por perspect urb catalog
<b>Actuación PEPRI</b>	<input type="checkbox"/> Conservac <input type="checkbox"/> Rehabilitac/Reform <input type="checkbox"/> Restaurac <input type="checkbox"/> Reestructurac <input type="checkbox"/> Consolida
	<input type="checkbox"/> Demolic <input type="checkbox"/> Obra nueva <input type="checkbox"/> Obligat inform arqueol prev <input type="checkbox"/> Obligat excavac arqueol prev
Fondo máximo permitido:	<input type="text"/> Plantas permitidas: <input type="text"/> Altura cornisa permitida: <input type="text"/>
<b>Estado PEPRI:</b>	<input type="checkbox"/> Inmueble catalogado/bic: No <input type="checkbox"/> Año de constr: 1950
<b>Ref catastr:</b>	5503301XG1750D <b>Clase:</b> Urbano <input type="checkbox"/> <b>Uso:</b> Residencial <input type="checkbox"/> <b>Dim X</b> 6,18
<b>Nº Plantas sobre rasante:</b>	2 <b>Nº Plantas bajo rasante:</b> <input type="text"/> <b>Altura total:</b> <input type="text"/> <b>Dim Y</b> 13,6
<b>Irregul en vol(alzado):</b>	<input type="checkbox"/> Plantas retranq <input checked="" type="checkbox"/> Varios vol en alzado <input checked="" type="checkbox"/> Loc com en PB <input type="checkbox"/> Almacén en PB
<b>Irregul en planta:</b>	Regular <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Distr no unif masas <input type="checkbox"/> Plant a distinto nivel <input type="checkbox"/> Plant de dif alt
<b>Sup parc:</b>	81 <b>Sc viv:</b> 79 <b>Sc local:</b> 67 <b>Sc garaje:</b> <input type="text"/> <b>Sc otros:</b> <input type="text"/> <b>Sc total:</b> 146

Figura 50 Apartado de la base de datos relativa a la descripción general

- Entorno urbano según PEPRI (Salcedo Hernández, J.C., & Campesino Fernández, A.J., 2012): el Plan Especial de Protección y Rehabilitación Integral dispone de una ficha tipo para todos los edificios en la que se determinan su descripción, su entorno urbano, las posibilidades de actuación en la parcela y su estado. Se incorporan a la ficha los conceptos que más relación guardan con la intervención posterior al terremoto.
- Inmueble catalogado/bic: indicación de si el edificio dispone de algún tipo de catalogación o se trata de un Bien de Interés Cultural (BIC). Obtenido para cada uno de los expedientes mediante introducción de las coordenadas en visor del geoportal de la región de Murcia (Figura 51) («Infraestructura de datos espaciales de la Región de Murcia», s. f.) que aporta la información del tipo de suelo en el vigente planeamiento urbanístico, así como si se trata de un bien catalogado, ya sea por sí mismo o por pertenecer a alguno de los numerosos entornos de protección como pudieran ser el Castillo de Lorca o la Colegiata de San Patricio. En la misma plataforma se informa de si el edificio está declarado como BIC.

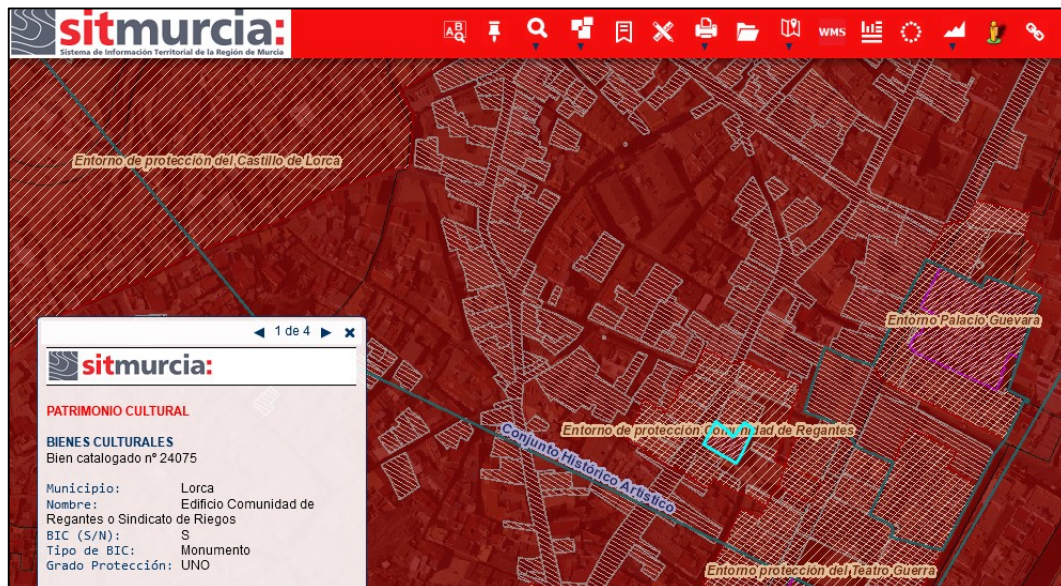


Figura 51 Plataforma sitmurcia de información geográfica

- Finca catastral: la correspondiente a la referencia catastral asignada por la administración. Un edificio está formado por tantas referencias catastrales como propietarios, formadas cada una de ellas por de una serie de dígitos con el siguiente formato “5110001XG1751A0002AL”, que el propio catastro simplifica a “5110001XG1751A” para referirse al edificio como ente que supone la agrupación de propiedades y al que denomina finca catastral.
- Clase de suelo: urbano, urbanizable, no urbanizable, sistema general, inadecuado desarrollo urbano e indeterminado. Se obtiene de la página del sistema de información territorial de la Región de Murcia («Infraestructura de datos espaciales de la Región de Murcia», s. f.) y se selecciona en función de la clasificación actual del suelo de la finca localizada mediante la introducción de coordenadas UTM en la mencionada página.
- Uso: residencial, industrial, administrativo, docente, hospital, pública concurrencia, religioso, agrario, comercial, garaje o almacén, según los usos que figuran en la información catastral del expediente (Dirección General del Catastro, s. f.).

- Número de plantas sobre rasante: número de plantas por encima de cota de nivel de calle, en la que se encuentra el acceso al edificio. Se ha considerado que determinadas configuraciones que contemplan la existencia de zonas bajo cubierta consideradas para determinar la superficie útil, computen como planta. Cuando en las terrazas aparecen torreones o casetones aislados que suponen la coronación superior de la envolvente, no se han considerado como plantas aunque tal elemento se ha señalado en el correspondiente apartado. La existencia de zonas aisladas de trasteros en las terrazas tampoco ha supuesto la consideración de planta.
- Número de plantas bajo rasante: número de plantas por debajo de la cota de nivel de calle.
- Envolvente planta X (m) e Y (m): dimensiones X (paralela a la fachada principal) e Y (perpendicular a la anterior) en las que se podría inscribir la planta del edificio, sin tener en cuenta patios interiores ni otras zonas no construidas.
- Altura total (m): altura del edificio medida desde la cota de calle hasta cota de cornisa. Es un dato disponible en muy pocas ocasiones y ha sido sustituido por el número de plantas sobre rasante para dar una idea de la altura del edificio.
- Superficie de parcela y superficie construida de vivienda, local, garaje y otros (m<sup>2</sup>): obtenida de la información catastral.
- Superficie construida total (m<sup>2</sup>): resultado de sumar las anteriores superficies construidas y que deberá ser igual a la superficie total que aparece en la información catastral.
- Irregularidad en planta y en volumen: se muestran configuraciones irregulares tanto en planta como en alzado (Figura 52) (Martínez Cuevas et al., 2015). Hay que hacer varias consideraciones respecto a las plantas retranqueadas y la existencia de varios volúmenes: se ha determinado su existencia en base a la planimetría que aparece en la información catastral<sup>85</sup> y en la documentación gráfica (fotografías y planos). Las plantas retranqueadas se diferencian de la existencia de varios volúmenes en

---

<sup>85</sup> En la planimetría catastral aparece indicado el número de plantas de cada uno de los volúmenes que se pueden identificar en el edificio.

alzado en que las primeras suponen un retranqueo efectivo de la planta superior con respecto a las inferiores con las que comparte una continuidad vertical de la estructura, mientras que las segundas están asociadas a cierta independencia volumétrica en alzado, definiendo volúmenes que pueden interaccionar negativamente ante la acción sísmica. Las masas no uniformes se limitan a la existencia de elementos en cubierta, como pueden ser los depósitos de agua, ajenos a la propia construcción. Por otra parte, hay casos en los que no resulta fácil diferenciar entre determinadas distribuciones irregulares en planta y la existencia de varios volúmenes. Se ha resuelto considerando la forma en planta de todos los volúmenes del edificio en su conjunto, e indicando la existencia de varios volúmenes en alzado cuando la información gráfica o catastral aportase evidencias suficientes de la independencia de la estructura.

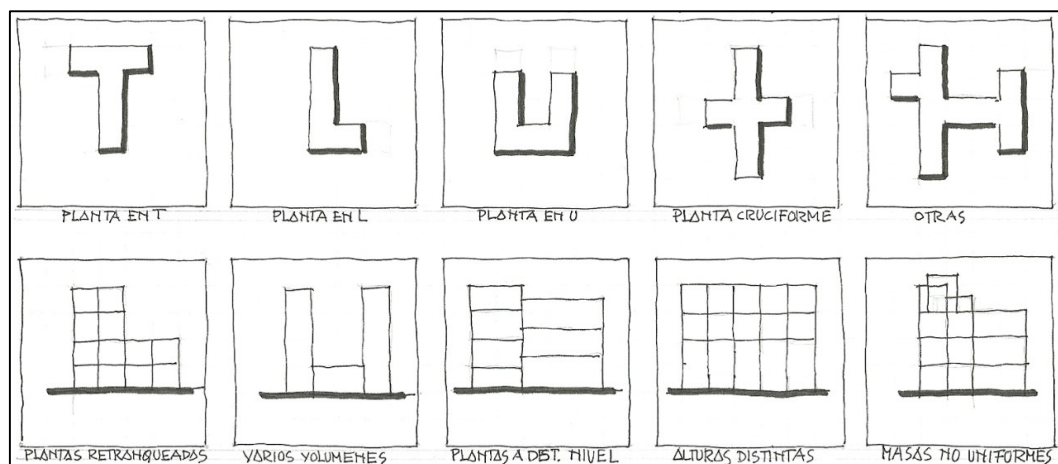


Figura 52 Irregularidad en planta y en volumen

### 3.4.3. Descripción estructural y constructiva

En la Figura 53 se puede ver en la ficha el contenido sobre la realidad estructural y constructiva, con los siguientes apartados:

- Cimentación: descripción del tipo de cimentación en cada caso se basa en la clasificación existente en el CTE («Documentos CTE», 2017), diferenciando las zapatas aisladas de las zapatas atadas, acercándose a lo dispuesto en la NCSE (España & Ministerio de Fomento, 2009).



<b>Descripc estruct-construct</b>			
<b>Cimentac:</b>	<input type="text"/>	<b>Estruct vert:</b>	Muros y machones <input type="text"/>
		<b>Estimac enlac</b>	Tend isostát <input type="text"/>
<b>Muros de sótano:</b>	<input type="text"/>	<b>Vigas/dinteles:</b>	Hormigón armado c <input type="text"/>
		<b>Forj unidir</b>	Sí <input type="text"/>
<b>Forjados:</b>	Vigueta hormigón prefabrica <input type="text"/>	<b>Cerramiento:</b>	<input type="text"/>
		<b>Estimac %huecos</b>	<input type="text"/>
<b>Escalera:</b>	<input type="text"/>	<b>Caja de escalera:</b>	<input type="text"/>
		<b>Caja ascensor</b>	<input type="text"/>
<b>Tipo de cubierta:</b>	Inclinada a dos aguas <input type="text"/>	<b>Estruct cubierta</b>	<input type="text"/>
<b>Element singul:</b>	<input type="checkbox"/> Petos <input type="checkbox"/> Elemen ornam <input type="checkbox"/> Chimen <input type="checkbox"/> Muros no confin sup <input type="checkbox"/> Cornisas <input type="checkbox"/> Torreón		
<b>Relación con colindantes</b>	<input type="checkbox"/> Coinc de forjados <input type="checkbox"/> Junta entre colind Alt colind: Mayor <input type="text"/>		
<b>Carácter de planta baja</b>	<b>Pilares cortos:</b>	<input type="text"/>	<b>Pilares cautivos:</b>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>
<b>Estimac compartiment pta baja:</b>	<input type="text"/>	<b>Retacado superior:</b>	<input type="text"/>

Figura 53 Apartado de la base de datos relativa a la descripción estructural y constructiva

- Estructura vertical: tipo de muro en función de su material constituyente<sup>86</sup>, muros mixtos<sup>87</sup>, pilares metálicos, pilares de hormigón armado, pies derechos de madera, machones de fábrica y especiales<sup>88</sup>. Se contempla también la existencia de muros de contención de fábrica y de hormigón armado.
- Muros de sótano: muro en todo el perímetro del edificio o parcial. Se distingue si se trata de un muro de sótano de hormigón armado tradicional o de un muro pantalla.
- Vigas: de madera, perfiles metálicos, de hormigón armado y de hormigón prefabricado, diferenciando si se trata de vigas planas o descolgadas (Domínguez, López-Almansa, & Benavent-Climent, 2014).
- Forjados: basados en el tipo de nervio (vigüeta) y su dirección (unidireccional o reticular), diferenciando entre "Vigüeta de madera", "Vigüeta metálica", "Nervio de hormigón in situ", "Vigüeta de hormigón prefabricada", "Reticular macizo" y "Reticular aligerado".
- Cerramiento: las opciones son "1 hoja pesada", "2 hojas independientes pesadas", "2 hojas solidarias pesadas", "Ligera" y "Sin datos".

<sup>86</sup> Tapial, mampostería o sillería, adobe y ladrillo.

<sup>87</sup> Formada por muros y pilares de hormigón armado, acero o machones de fábrica.

<sup>88</sup> Asociada a la existencia de varios tipos de estructura vertical en el mismo expediente.

- Estimación del porcentaje de huecos: relación de huecos en cerramientos o muros de carga con respecto a la superficie total del paño en el que se encuentran según la información gráfica considerada, y estimado de manera gráfica sobre el muro o cerramiento más representativo del que se dispusiera de información.
- Estimación de enlaces (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015): rigidez de las uniones de los elementos estructurales más importantes (Figura 54). Las opciones seleccionables en el menú desplegable de la ficha son:
  - Tendencia isostática: cuando la unión tenga una rigidez poco relevante, de manera que no transmitirá momentos entre los elementos pertenecientes al nudo, coaccionándose levemente el giro en dicha unión. Es el caso de apoyos simples de unos elementos en otros.
  - Tendencia semihiperestática: rigidez media de los nudos, transmitiendo momentos parcialmente.
  - Tendencia hiperestática: en el caso en que la rigidez de los nudos sea muy alta, transmitiéndose momentos entre los elementos y limitándose significativamente el giro de la unión.
- Escalera: losa de hormigón armado, zancas metálicas, de madera y bóveda tabicada.
- Caja de escalera y de ascensor: se contemplan cajas de muros de carga y de muros de hormigón armado, dado que su tipología puede influir en la rigidez global del edificio (Rueda & Rondón, 2005).
- Tipo de cubierta: planas e inclinadas con diferente número de faldones.
- Estructura de cubierta: forjado horizontal, forjado inclinado, estructura triangulada de madera o metálica, pares/molinera de madera, metálicos o vigueta prefabricada de hormigón, bóveda y cúpula.
- Elementos singulares: petos, elementos ornamentales, chimeneas, muros no confinados superiormente, cornisa y torreón, por su incidencia en el riesgo frente al fenómeno sísmico.
- Relación con colindantes: coincidencia de nivel de forjados de los dos edificios que forman la colindancia, junta y separación entre colindancias

y altura de los edificios colindantes, indicando la altura relativa de un edificio con respecto al otro<sup>89</sup>.

ENLACES			
TENDENCIA	ISOSTÁTICA	SEMIHIPERESTAT.	HIPERESTÁTICA
IDEALIZACIÓN APOYO			
FÁBRICA		 PILARILLOS EMBEBIDOS O ANCLAJES	
ACERO	 CERCHA O VIGA METAL.		
HORMIGÓN (ARMADO)	 VIGA HA METÁLICA	 VIGA METÁLICA	

Figura 54 Clasificación de enlaces en función de su rigidez

- Carácter de planta baja: existencia de pilares cortos (Ramón Álvarez Cabal et al., 2013), pilares cautivos, tipo compartimentación (diáfana, parcial y total) y retacado superior del cerramiento (Vila et al., 2012). La rigidez de un pilar es proporcional a la tercera potencia de su longitud, de manera que un pilar de longitud mitad que otro será 8 veces más rígido a igualdad

<sup>89</sup> La altura relativa con colindantes se obtiene de información gráfica existente en los expedientes y de la planimetría catastral, en la que se hace referencia al número de plantas de cada edificio.



de sección. El reparto de cortantes se realiza en función de la rigidez, de manera que si todos son de la misma rigidez se reparte por igual, pero si uno de ellos es más corto que los restantes, suponiendo que es la mitad le correspondería mucha más carga (8 veces más).

- Esquema estructural: clasificación cualitativa (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015) según su comportamiento frente a acciones horizontales y rigidez lateral, atendiendo a los esquemas recogidos en la Figura 55 (Murcia (Comunidad Autónoma) & Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio, 2012):
  - Cambios de capacidad resistente frente acciones horizontales.
  - Cambios de rigidez lateral.

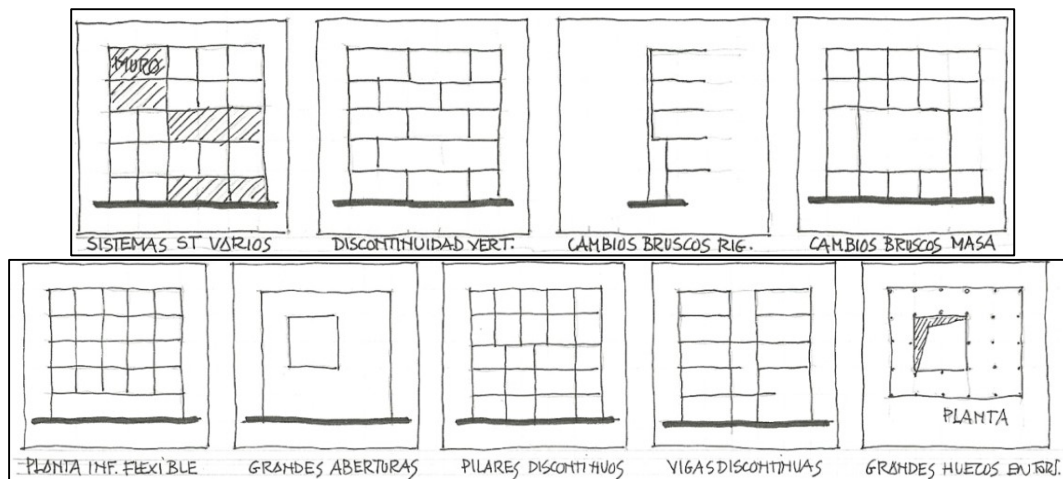


Figura 55 Opciones frente a acciones horizontales y rigidez lateral

#### 3.4.4. Características de la acción sísmica del 11 de mayo de 2011

Se analizan la aceleración básica y la de cálculo mediante el estudio de los factores contemplados en la NCSE-02 (Figura 56):

- Importancia de la edificación: moderada, normal o especial.
- Terreno: tipo I, II, III o IV. Se describen las características geotécnicas del terreno para analizar su influencia en el comportamiento del edificio. Esta información se obtiene superponiendo la ubicación de cada uno de los edificios analizados sobre el plano de microzonación sismo-geotécnica del casco urbano de Lorca (Cuevas, Pagán, Manteca, Cánovas, & Quiles,

2013)(Vila et al., 2012)(«Estudio de Microzonación Sísmica de Lorca - Destacados - SitMurcia», 2017)(Giner-Caturla, Jauregui-Eslava, Delgado-Marchal, Rosa-Herranz, & Soler-Llorens, 2017)(Vidal, Rodríguez, Suriñach, Camino, & Belvaux, 2012), empleando para ello el software del sistema de información geográfica (ArcGis Desktop 10.5, s. f.).

- Ductilidad: 4, 3, 2 o 1 según lo indicado en la NCSE-02.
- Tipo de estructura: muros de carga, entramados de acero u hormigón armado.
- Compartimentación: diáfana o compartimentada.

<b>Características de la Acción Sísmica (11 de mayo de 2011)</b> (Ab): 0.12    Ductil: 1 ▾			
Import de Edificac:	▾	Terreno según NCSE-02:	IV ▾    Coef de contribuc (K): 1
Tipo de estruct (NCSE-02):	Muros y tipos similares ▾	Compartiment(NCSE-02):	▾

Figura 56 Apartado de la base de datos relativa a la acción sísmica

### 3.4.5. Daños estructurales y constructivos

Mediante el análisis de la bibliografía consultada (García Sende, 2011) y de la información existente en los diferentes informes técnicos y archivos fotográficos de los expedientes, se ha incorporado en esta fase la siguiente clasificación de lesiones (Figura 57):

- Indicios patológicos previos: lesiones no vinculadas con los efectos del sismo. Se clasifican en función de los elementos estructurales o sistemas constructivos y estructurales descritos antes.
- Lesiones tras los sismos (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015)(Salcedo Hernández, J.C., & Campesino Fernández, A.J., 2012)(Roldán Ruiz, J. et al., 2015): en cimentación (asiento, giro y vuelco), en muros (grietas inclinadas, verticales, vuelcos, fracturas, abombamiento y separación de hojas), en pilares (grietas, fisuras, aplastamiento y desplazamientos, indicando la zona preferente de aparición: superior, media o inferior), en vigas (aplastamientos, fisuras y deformaciones), en forjados (pérdida de nivel, fisuras y , deformaciones, roturas de elementos complementarios), en escaleras (grietas, desgarres, expulsión al vacío de armaduras, y arrastre parcial por muro soporte), en cubierta (derrumbe,

deslizamiento, deformaciones, daños en los apoyos y desprendimiento aleros), en fachadas y particiones interiores (ídem muros de carga).

<b>Daños estructurales y constructivos</b>		<b>Daños importantes hasta planta:</b> <input type="text"/>	
<b>Indicios patológ previos</b>	<b>Ciment:</b> <input type="text"/>	<b>Elem vert:</b> <input type="text"/>	<b>Vigas:</b> <input type="text"/>
<b>Forjados:</b> <input type="text"/>	<b>Fachadas:</b> <input type="text"/>	<b>Cubierta:</b> <input type="text"/>	
<b>Lesiones tras los sismos</b>		<b>Cimentac</b> Asiento <input type="text"/>	Giro <input type="text"/>
		Vuelco global de edific <input type="text"/>	
<b>Element estruct vert</b>		<b>Muros</b> Vuelc/colap parc <input type="text"/>	Vuelc/colap tot <input type="text"/>
		Sin da <input type="text"/>	
		Fract diag <input type="text"/>	
		Fract cruz <input type="text"/>	
		Fract vert <input type="text"/>	
		Fract por golpeo <input type="text"/>	
		Esquina fractur <input type="text"/>	
		Abombam <input type="text"/>	
		Grieta vert separac cuerpos <input type="text"/>	
		Separac hojas <input type="text"/>	
		Deslizam <input type="text"/>	
		Dislocación <input type="text"/>	
		Grieta vert destraba arriostr <input type="text"/>	
		Grieta horiz muro <input type="text"/>	
<b>Pilares</b>		Grietas/fisuras incl con desplazam <input type="text"/>	
		Grietas/fisuras vert <input type="text"/>	
		Aplastam <input type="text"/>	
		Sin da <input type="text"/>	
		Desplaz con fis/griet en caras op sup e inf <input type="text"/>	
		<input checked="" type="checkbox"/> Rotura sup <input type="checkbox"/> Rotura infer <input type="checkbox"/> Rotura centr	
<b>Elementos estruct horiz</b>		<b>Vigas/dinteles</b>	
		Aplast cara inf apoyos <input type="text"/>	
		Fis inf centro vano <input type="text"/>	
		Fisura inf y sup apoyos sin asiento <input type="text"/>	
		Fisura inf y sup en apoyos con asiento <input type="text"/>	
		Daño encuentro con pilar <input type="text"/>	
		Deform exces flexión <input type="text"/>	
		Deform exces otras causas <input type="text"/>	
		Vigas voladiz deform exces <input type="text"/>	
		Vigas voladizo otras causas <input type="text"/>	
		Fisuras a 45 apoyos <input type="text"/>	
<b>Forjados</b>		Derrumbe <input type="text"/>	
		Pérdida de nivel <input type="text"/>	
		Deform exces viguetas flexión <input type="text"/>	
		Deform exces viguetas otras causas <input type="text"/>	
		Fisura inf marca viguetas <input type="text"/>	
		Rotura de elem aliger <input type="text"/>	
		Fisura sup rotura solado <input type="text"/>	
		Fisura inf centro viguetas <input type="text"/>	
		Daños en apoyos <input type="text"/>	
		Rotura/fisura vigueta en apoyos <input type="text"/>	
		Fisura inf perp viguetas <input type="text"/>	
		Daños en voladizo def. exces <input type="text"/>	
		Otros daños en voladizo <input type="text"/>	
<b>Escalera</b>		Grietas unión mesetas y zancas <input type="text"/>	
		Desgarres de losas unión con pilares <input type="text"/>	
		Expulsión al vacío armaduras en cambios de plano en losas <input type="text"/>	
		Grieta transv inf centro: <input type="text"/>	
		Arrastre parcial por muro soporte/Grieta longitud: <input type="text"/>	
		Derrumbe: <input type="text"/>	
<b>Cubierta</b>		Derrumbe <input type="text"/>	
		Deslizamiento <input type="text"/>	
		Deformac excesiva <input type="text"/>	
		Desprendimiento aleros: <input type="text"/>	
		Daños en apoyos: <input type="text"/>	
<b>Fachadas</b>		Vuelc parc <input type="text"/>	
		Vuelc tot <input type="text"/>	
		Fract diag <input type="text"/>	
		Fract cruz <input type="text"/>	
		Fract por golpeo <input type="text"/>	
		Esquina fractur <input type="text"/>	
		Abombam <input type="text"/>	
		Grieta vert <input type="text"/>	
		Grieta horiz <input type="text"/>	
		Separac hojas <input type="text"/>	
		Deslizam <input type="text"/>	
		Dislocac <input type="text"/>	
		Grieta vert destrab arriostr <input type="text"/>	
<b>Result evaluac postsismo</b> <input type="text"/>		<b>Evaluac inic postsismo</b> <input type="text"/>	
<b>Fecha evaluac</b> <input type="text"/>		<b>Vulnerabilidad EMS-98</b> C <input type="text"/>	
		<b>Daño EMS-98</b> <input type="text"/>	

Figura 57 Apartado de la base de datos relativa a los daños estructurales y constructivos

- Evaluación inicial postsismo: rojo, amarillo o verde, contrastándola con la clasificación definitiva reflejada en el apartado siguiente.
- Resultado de la evaluación postsismo: clasificación definitiva realizada por los técnicos evaluadores en los primeros momentos después de los sismos, y que en función de la gravedad se clasificaba en rojo, amarillo o verde.
- Fecha de evaluación: fecha en la que se determinó la clasificación definitiva en la evaluación inmediata al sismo.
- Grado de vulnerabilidad EMS-98: clase A, B, C, D, E o F, de más vulnerable a menos vulnerable (Figura 58).
- Grado de daño según EMS-98: 1, 2, 3, 4 ó 5 en función del daño y de si trata de edificios de fábrica o de hormigón armado (Figura 59).

Tipo de estructura	Clase de vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E	F
Fábrica	pedra suelta o canto rodado	○				
	adobe (ladrillos de tierra)	○	○			
	mampostería	○	○			
	sillería		○	○		
	sin armar, de ladrillos o bloques	○	○			
	sin armar, con forjados de HA		○	○		
	armada o confinada			○	○	
Hormigón Armado (HA)	estructura sin diseño sismorresistente (DSR)		○	○		
	estructura con nivel medio de DSR		○	○		
	estructura con nivel alto de DSR			○	○	
	muros sin DSR		○	○		
	muros con nivel medio de DSR			○	○	
	muros con nivel alto de DSR				○	○
Acero	estructuras de acero			○	○	
	estructuras de madera		○			

Figura 58 Clases de vulnerabilidad según EMS-98. (Feriche, 2008)








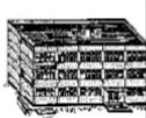




<p><b>Grado 1: Daños de despreciables a ligeros (ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)</b></p> <p>Algunas fisuras en muy pocos muros. Caída de pequeños trozos de revestimiento. Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.</p>		<p><b>Grado 1: Daños despreciables o ligeros (daño no estructural o daño ligero en elementos no estructurales)</b></p> <p>Fisuras en el revestimiento de pórticos o en la base de los muros. Fisuras en muros y particiones.</p>	
<p><b>Grado 2: Daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)</b></p> <p>Grietas en muchos muros. Caída de trozos bastante grandes de revestimiento. Colapso parcial de chimeneas.</p>		<p><b>Grado 2: Daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)</b></p> <p>Grietas en vigas y pilares de pórticos y en muros estructurales. Grietas en tabiques y particiones. Caída de enlucidos y revestimientos frágiles. Caída de mortero de las juntas de paneles prefabricados</p>	
<p><b>Grado 3: Daños graves (daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)</b></p> <p>Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros. Se sueltan tejas del tejado. Rotura de chimeneas por la línea del tejado. Se dañan elementos individuales no-estructurales (tabiques, hastiales y tejados).</p>		<p><b>Grado 3: Daños graves (daños estructurales moderados, daños no estructurales graves)</b></p> <p>Grietas en pilares y en juntas viga/pilar, en la base de los pórticos y en las juntas de los muros acoplados. Desprendimiento de revocos de hormigón, pandeo de la armadura de refuerzo. Grandes grietas en muros y particiones; se dañan tabiques aislado</p>	
<p><b>Grado 4: Daños muy graves (daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)</b></p> <p>Se dañan seriamente los muros. También se dañan parcialmente los tejados y forjados.</p>		<p><b>Grado 4: Daños muy graves (daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)</b></p> <p>Grandes grietas en elementos estructurales con daños en el hormigón por compresión y rotura de armaduras; fallos en la trabazón de la armadura de las vigas; inclinación de pilares. Colapso de algunos pilares o, incluso, de una planta alta.</p>	
<p><b>Grado 5: Destrucción (daños estructurales muy graves)</b></p> <p>Colapso total o casi total del edificio.</p>		<p><b>Grado 5: Destrucción (daños estructurales muy graves)</b></p> <p>Colapso de la planta baja o de partes (por ejemplo alas) del edificio.</p>	

Figura 59 Grados de daño según EMS-98. (Feriche, 2008)

### 3.4.6. Intervenciones llevadas a cabo tras los sismos

Se recaba en este punto la información correspondiente a las medidas inmediatas tomadas tras el terremoto para asegurar el edificio y su ámbito de influencia, de modo que se minimizase el riesgo de ocasionar daños a personas y bienes colindantes. También se toma información correspondiente al proceso administrativo que se inicia para la tramitación de los expedientes de ruina (Figura 60). Contiene los siguientes datos:

- Fecha de inicio (incoación) del expediente municipal. En los expedientes de ruina inminente se ha considerado la primera en el tiempo de entre las de notificación, iniciación o informe sobre el estado del inmueble. Sin embargo, en los expedientes de ruina técnica y económica se han incluido dos fechas: la que aparece como de incoación en el listado de expedientes y entre paréntesis la correspondiente al informe del estado del inmueble del servicio de intervención urbanística.

- Existencia de seguro de la edificación.
- Medidas inmediatas tras sismo: adecuación de elementos con riesgo, demolición parcial, apuntalamiento, desmontaje de albañilería, acordonamiento y desalojo, adoptadas para atenuar los riesgos existentes tras la evaluación postsismo (Frías Díaz de la Cruz, Guzmán Asensio, & Alhama, 2015).
- Gestión del Consorcio de Compensación de Seguros: se señala cuando hay participación de dicha entidad en el proceso del expediente en gestión.
- Informes de parte: aportados por los interesados analizando el estado de la edificación.

<b>Intervenciones llevadas a cabo tras sismos</b>		Fecha inicio expte municip	24/5/2011
<b>Medidas inmediatas tras sismo:</b>			
<input checked="" type="checkbox"/>	Adecuación de elementos con riesgo	<input type="checkbox"/>	Demolición parcial
<input type="checkbox"/>	Apuntalamiento	<input type="checkbox"/>	Desmontaje de albañilería
<input checked="" type="checkbox"/>	Acordonamiento	<input checked="" type="checkbox"/>	Desalojo
Gestión del CCS	<input type="text"/>	Existe seguro	<input type="text"/>
Informes de parte	<input type="text"/>		<input type="text"/>

Figura 60 Apartado de la base de datos relativa a las intervenciones llevadas a cabo tras los sismos

### 3.4.7. Demolición

En cuanto a la información relativa a la demolición llevada a cabo se recogen los siguientes datos de los expedientes estudiados (Figura 61):

<b>Demolición</b>	Demolido?	Sí <input type="text"/>	Fecha demolición	<input type="text"/>	Duración (días)	<input type="text"/>
Comprobac	Solar <input type="text"/>	Proyecto	<input type="text"/>	Coste de demolición	12800	<input type="text"/>

Figura 61 Apartado de la base de datos relativa a las intervenciones llevadas a cabo tras los sismos

- Edificio demolido: todos los expedientes analizados han concluido con la orden de demolición del inmueble, contemplándose la comprobación de si se ha llevado a cabo, analizando en qué estado queda el solar resultante (solar u obra nueva). Dicha comprobación se hace en primer lugar mediante los diferentes sistemas de información geográfica<sup>90</sup>, de modo que cuando la evidencia de su demolición no ha sido concluyente se ha

<sup>90</sup> Comparando imágenes u ortofotos de diferentes épocas.

procedido a su comprobación in situ. El proceso de comprobación in situ de los expedientes no demolidos finalizó el 21 de diciembre de 2018.

- Fecha demolición: fecha que aparece en el expediente relativa a la finalización de las obras de demolición<sup>91</sup>.
- Duración demolición (días): dato extraído de la memoria descriptiva de los trabajos de demolición.
- Proyecto demolición: se informa sobre su existencia.
- Coste demolición: se refiere al recogido en la factura presentada por la empresa, a lo indicado en el proyecto de demolición o en el informe técnico municipal.



**Figura 62 Apartado de la base de datos que contiene información gráfica**

<sup>91</sup> Certificado final de obra o fecha de factura de obras de demolición.

#### **3.4.8. Información gráfica**

Para cumplir con el objetivo de catalogación de los edificios demolidos, así como para que sirva como documento recuperador de su memoria, cada una de las fichas dispone de la información gráfica mínima que sirva para definir los aspectos estructurales y constructivos más relevantes, en función de la disponibilidad de información en los expedientes (Figura 62).

Se ha tratado de documentar la volumetría exterior a través de la fotografía de fachada, la distribución en planta normalmente a través de planos de planta y fotografía o plano catastral de la planta, los tipos de lesiones encontradas en el interior y las lesiones existentes en el exterior.

### **3.5. ANÁLISIS DE LOS DATOS**

#### **3.5.1. Introducción**

Una vez cumplimentada la base de datos en Access, la información se exporta a Excel (*Excel*, 2010) donde se podrá realizar un primer estudio. En este entorno se han llevado a cabo ciertas modificaciones<sup>92</sup> de la estructura de los datos, que permiten su estudio adecuado previo a su exportación al programa de análisis estadístico SPSS (*SPSS Statistics*, s. f.).

El objetivo es, no sólo aportar datos relacionados con la importancia de los efectos del sismo y las dimensiones de la gestión posterior, sino mostrar el posible patrón de comportamiento en la distribución de frecuencias de determinados hechos así como la posible asociación entre las diferentes variables.

#### **3.5.2. Selección de variables de estudio**

Los primero que se ha buscado son los datos objetivos sobre los efectos del terremoto en cuanto al número expedientes, edificios afectados, así como los usos principales. Después se ha determinado la distribución de frecuencias de todas las variables consideradas fundamentales en el estudio, tanto desde el punto de vista

---

<sup>92</sup> Básicamente han consistido en unificación de variables y de frecuencias en base a los criterios expuestos en este punto, para que los datos pudieran ser analizados adecuadamente.



de la configuración estructural de los edificios afectados, como de los daños que representan y de la gestión administrativa posterior.

Para ello, se ha partido de una matriz que dispone de todos los ítems existentes en la base de datos, dispuestos tanto en filas como en columnas, como paso previo a la selección de variables con algún tipo de implicación en el fenómeno en estudio. Tras una primera limpieza de variables<sup>93</sup> se obtiene una matriz formada por 189 filas y columnas, todas ellas relativas a la configuración de los edificios, descripción constructiva-estructural, daños que presentan y elementos relacionados con la vulnerabilidad de los mismos.

En la Figura 63 se observa el aspecto de la matriz de variables con indicación de los factores sobre los que se ha planteado inicialmente la relevancia estadística, así como su clasificación en relación a la materia con la que guarda relación, y sobre la que se indica el tipo de variable de que se trata desde el punto de vista estadístico<sup>94</sup>. Esta matriz ha servido como base para representar cada una de las variables indicadas y también para plantear el estudio de correlación entre las diversas variables.

Como simplificación se plantea la estrategia del estudio de en base a las materias o áreas temáticas en las que se han clasificado las variables según la Figura 64, planteando dos niveles en su estudio: un primer estudio a nivel descriptivo, buscando la información que permita llegar a conclusiones en cuanto a la distribución de variables sobre la realidad del territorio de Lorca sin tener en cuenta el sismo y sus consecuencias<sup>95</sup>, y otro nivel que busca relacionar las consecuencias del sismo con variables con las que puedan haber guardado relación<sup>96</sup>. Por lo tanto, además de mostrar la distribución de frecuencias de cada una de las variables individualmente, mostrando sus medidas de posición, dispersión y forma, se ha analizado la asociación entre las variables según lo dicho anteriormente.

---

<sup>93</sup> Simplemente aportan datos relativos a la ubicación de los expedientes analizados así como de aquellas que no contienen datos por no haberse encontrado información en los expedientes.

<sup>94</sup> Cualitativa, cuantitativa discreta y cuantitativa continua.

<sup>95</sup> D en Figura 64.

<sup>96</sup> S en Figura 64.

Factores con implicación estadística		Barrío	Pedanía	Clase	Uso	Emplazamiento	Residencia colectiva	Residencia unifamiliar	Inmueble catalogado b/c	Entorno protegido de edificio declarado BIC	Integrado en zona de reforma urbana	Integrado en zona de rehab
<b>Localización</b>	Barrío											
	Pedanía											
	Clase											
	Uso											
<b>Urbanismo</b>	Emplazamiento											
	Residencia colectiva											
	Residencia unifamiliar											
	Inmueble catalogado b/c											
<b>PEPRI</b>	Entorno protegido de edificio declarado BIC											
	Integrado en zona de reforma urbana											
	Integrado en zona de rehabilitación integrada											
	Afectado por perspectiva urbana catalogada nº28											
	Ubicación en zona de interés arqueológico											
	Conservación											
	Restauración											
	Consolidación											
	Rehabilitación/Reforma											
	Reestructuración											
	Demolición											
	Otra línea											
	Obligatorio informe arqueológico previo											
	Obligatoria excavación arqueológica previa											
<b>Configuración edificio</b>	Estado según PEPRI											
	Plantas permitidas											
	Algunas constr. permitidas											
	Fondo máximo permitido											
	Nº edificios											
	Nº portales											
	Nº viviendas											
	Año de construcción											
	Nº Plantas sobre rasante											
	Nº Plantas bajo rasante											
<b>Gestión</b>	Altura total											
	Dim. 1											
	Dim. 2											
	Tipo de Expte											
	Tipo de ruina											
	Result evaluac postismo											
	Evaluac inic postismo											
	Fecha evaluac fase emerg											
	Fecha inicio expte municip											
	Adecuación de elementos con riesgo											
	Demolicion parcial											
	Apuntalamiento											
	Desmontaje de albañilería											
	Acordonamiento											
Desalojo												
Gestión de CCS												
Indormes generados												
Demolido?												
Fecha demolición												
Comprobación demolic												
Duración demolición (días)												
Proyecto demolición												
Coste de demolición												
Variable cualitativa												
Variable cunantitativa discreta												
Variable cuantitativa continua												

Figura 63 Matriz de variables I

Materias a correlacionar	Localización	Urbanismo	PEPRI	Configuración edificio	Configurac relac con vulnerabilidad	NCSE	EMS	Cimentación	Estructura vertical	Estructura horizontal	Cerramiento	Escalera
Localización	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
Urbanismo	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
PEPRI	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
Configuración edificio	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
Configurac relac con vulnerabilidad	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
NCSE	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
EMS-98	D-S	D-S	D-S	D-S	D-S	D-S	D-S	D-S	D-S	D-S	D-S	D-S
Cimentación	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
Estructura vertical	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
Estructura horizontal	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
Cerramiento	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
Escalera	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
Cubierta	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
Lesiones previas	D	D	D	D	D	D	D-S	D	D	D	D	D
Daños cimentación	S	S	S	S	S	S	D-S	S	S	S	S	S
Daños estructura vertical muros	S	S	S	S	S	S	D-S	S	S	S	S	S
Daños estructura vertical pilares	S	S	S	S	S	S	D-S	S	S	S	S	S
Daños vigas	S	S	S	S	S	S	D-S	S	S	S	S	S
Daños forjados	S	S	S	S	S	S	D-S	S	S	S	S	S
Daños escaleras	S	S	S	S	S	S	D-S	S	S	S	S	S
Daños cubiertas	S	S	S	S	S	S	D-S	S	S	S	S	S
Daños fachadas	S	S	S	S	S	S	D-S	S	S	S	S	S
Daños particiones	S	S	S	S	S	S	D-S	S	S	S	S	S
Gestión	S	S	S	S	S	S	D-S	S	S	S	S	S

Figura 64 Matriz de variables II

Finalmente se seleccionan las variables sobre las que se realizará el análisis de regresión logística a nivel univariante según la Tabla 15, comprobando que efecto tienen sobre el número de daños observados en los diferentes elementos<sup>97</sup> estructurales y constructivos, así como sobre los diferentes tipos de expedientes de ruina y sobre el hecho de que la demolición se haya realizado o todavía esté pendiente.

Características del edificio		Sótano	No
Antigüedad	≤ 1963	Vulnerabilidad	1 sótano
	1964-94		≥ 2 sótanos
	≥ 1995		Baja: E-F
Localización	PEPRI	Terreno	Media: C-D
	Urbano restante		Alta: A-B
	Urbanizable		I Muy Bueno
Emplazamiento	No urbanizable	ST vertical	II Bueno
	Aislado		III Regular
	Medianeras		IV Malo
Uso principal	Esquina	ST horizontal	Muraria
	Residencial		Porticada HA
Nº plantas	Otros usos	Fachadas	Porticada metálica
	≤ 6 plantas		Forj. unidireccionales
	8-12	Forj. reticulares	
Nº viviendas	≥ 13 plantas	Cubierta	Pesadas
	≤ 4		Ligeras
	5-20		Inclinada
	≥ 20		Plana

Tabla 15 Variables utilizadas para realizar el análisis de regresión

### 3.5.3. Análisis estadístico realizado

Para el análisis estadístico descriptivo de la muestra se emplearon los métodos descriptivos básicos, de modo que, para las variables cualitativas, se obtuvo el número de casos presentes en cada categoría y el porcentaje correspondiente; y para las variables cuantitativas, los valores mínimo, máximo, media y desviación típica o mediana y rango intercuartílico.

El modelo de regresión logística se empleó para determinar el posible efecto de las variables relacionadas con las características de los edificios sobre los daños producidos en los distintos elementos estructurales.

<sup>97</sup> Cimentación, muros, pilares, forjados, fachadas y cubiertas.

El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS 25.0 para Windows (*SPSS Statistics*, s. f.). Las diferencias consideradas estadísticamente significativas son aquellas cuya  $p < 0.05$ . (Hair & Gómez Suárez, 2010).

#### 3.5.4. Análisis de agrupación de variables según su localización

La distribución espacial de los casos relativos a diferentes aspectos considerados en el análisis estadístico y en base a los cuales se pretenden establecer conclusiones, puede seguir determinados patrones que tiendan a la dispersión o a la concentración.

En este tipo de análisis se parte de la hipótesis nula asociada a la distribución aleatoria. El estudio realizado con el programa ArcMap (*ArcGis Desktop 10.5*, s. f.), aporta los valores  $z^{98}$  y  $p^{99}$  de los que depende la aceptación o rechazo de la hipótesis nula. Se aporta además el valor del índice de Morans, indicativo junto con los anteriores de la tendencia de una variable al agrupamiento, de modo que si es mayor que 0 significa que la distribución tiende a agruparse y viceversa.

Junto a los anteriores se aplica el Clustering Alto/Bajo (G general de Getis-Ord) que especifica la tendencia a la agregación alrededor de los valores altos o de los bajos.

---

<sup>98</sup> Si  $z$  (desviación estándar) es muy pequeño la hipótesis nula no se rechaza, con lo que se acepta la distribución aleatoria.

<sup>99</sup> Si  $p$  es muy pequeño implica que la probabilidad de hipótesis nula (distribución aleatoria) es muy baja, con lo que se rechaza dicha hipótesis nula y se asocia el resultado con la distribución concentrada.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan conjuntamente los resultados y la discusión, llevando a cabo el análisis en tres niveles según los factores sobre los que se realiza:

- Análisis de la frecuencia de las características y los daños en los edificios.
- Análisis de la relación entre las características de los edificios y los daños registrados.
- Análisis de la agrupación de los daños según su localización.

Se presentan en primer lugar los resultados de los estudios realizados según lo dispuesto en el apartado 3.5, planteando a continuación la discusión de los resultados como paso previo a la obtención de conclusiones.

### 4.1. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS Y LOS DAÑOS EN LOS EDIFICIOS

Las frecuencias aportadas a continuación se presentan como número de casos existentes y como porcentaje respecto del número de expedientes sobre los que se dispone de información sobre cada uno de los aspectos analizados. El estudio se lleva a cabo sobre 398 expedientes cuya antigüedad oscila entre los 3 y 141 años, con un promedio de 63.8 años (DT = 28.9) de los cuales un 59.2% (n = 222) fueron construidas hasta 1963, un 39.2% (n = 147) entre los años 1964 y 1994 y un 1.6% (n = 6) lo fueron a partir de 1995. En la Tabla 16 y en la Figura 65 se muestra la frecuencia de las diferentes características de los edificios, en la que se observa que el 75.1% (n = 299) de los expedientes corresponde a suelo de clase urbana. En este tipo de suelo se encuentran los expedientes que hacen referencia a edificios en entorno del PEPRI, que suponen el 18.1% (n = 72) del total. Un 39.9% (n = 157) se sitúan entre medianeras y el 92.3% (n = 361) son de uso residencial. Según el grado de vulnerabilidad EMS-98, el 73.4% (n = 279) son de grado B, a lo que corresponde una vulnerabilidad elevada, y un 68.2% (n = 227) están en terreno de clase II clasificado como bueno por la NCSE-02.

	<b>n</b>	<b>%</b>
<b>Clase</b>		
Inadecuado	3	0.8
No urbanizable	9	2.3
Sistema general	1	0.3
Urbanizable	86	21.6
Urbano	299	75.1
<b>Emplazamiento</b>		
Aislado	102	26
En esquina	73	18.6
Entre medianeras	157	39.9
Terminal	61	15.5
<b>Uso</b>		
Administrativo	2	0.5
Agrario	10	2.6
Almacén	7	1.8
Comercial	1	0.3
Docente	1	0.3
Garaje	3	0.7
Industrial	5	1.3
Religioso	1	0.2
Residencial	361	92.3
<b>Grado vulnerabilidad EMS-98</b>		
A	14	3.7
B	279	73.4
C	73	19.2
D	13	3.4
E	1	0.3
<b>Terreno s/NCSE-02</b>		
I	8	2.4
II	227	68.2
IV	98	29.4

**Tabla 16 Frecuencias de las características de los edificios**



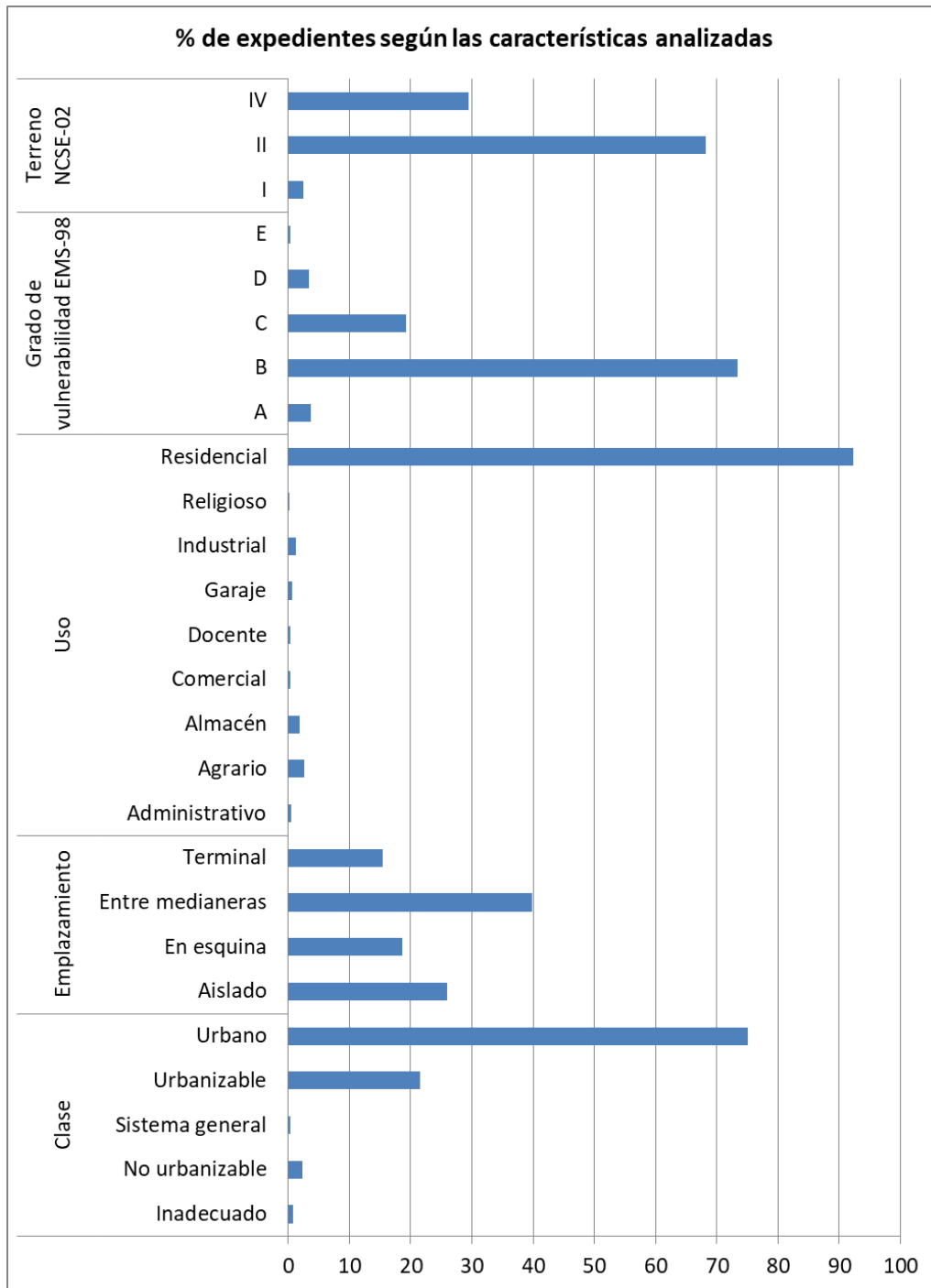


Figura 65 Porcentaje de expedientes según las características analizadas

Atendiendo al número de viviendas y plantas de los edificios afectados, según lo indicado en la Tabla 17, se observa que el número máximo de viviendas en cada uno de los expedientes es de 96, dándose el caso de que existen expedientes que informan sobre la ruina de edificios que no son viviendas, como pueden ser industriales o elementos de contención. El número medio de viviendas por expediente es de 4.2 con una desviación típica muy elevada (más del doble del valor medio), lo que nos lleva a fijarnos como valor más representativo en la mediana<sup>100</sup> de 1 y su rango intercuartílico de 1-2 como medida de dispersión. En este sentido cabe afirmar que en 223 expedientes (56.5%) se hace referencia a viviendas unifamiliares.

Con respecto al número de plantas sobre rasante, hay expedientes en los que figuran edificios de hasta 9 plantas, con una altura media de 2.5 plantas y una desviación típica de 1.3, mediana de 2 y rango intercuartílico de 2-3. Se da también la circunstancia de que 330 expedientes (83.5%) aluden a construcciones de hasta 3 plantas de altura. Por otra parte, hay 29 expedientes en los que se encuentran plantas bajo rasante, dándose en todos los casos la existencia de una única planta bajo cota cero.

	Mín.-Máx	Media (DT)	Mediana (RI)
Nº viviendas	0 - 96	4.2 (10.3)	1 (1 -2)
Nº plantas			
Sobre rasante	1 - 9	2.5 (1.3)	2 (2 -3)

**Tabla 17 Número de viviendas y de plantas de los edificios contenidos en cada uno de los expedientes**

<sup>100</sup> Valor que deja a cada lado del mismo el 50% de los casos en un conjunto de datos ordenado.

En la Tabla 18 sobre frecuencias de los tipos estructurales y constructivos, y en la Figura 66 sobre el porcentaje de expedientes según la tipología estructural, se puede comprobar cómo el 70.6% (n = 279) de los expedientes corresponde a inmuebles de estructura vertical a base de muros de carga<sup>101</sup>. En los edificios en los que existe forjado, lo que ocurre en el 79.4% (n = 316) del total de los expedientes<sup>102</sup>, el 100% de los casos resulta ser unidireccional, siendo en el 51% (n = 151) de los casos a base de viguetas de madera. Un 55.5% (n = 197) corresponde a edificios con cubierta inclinada. Con respecto a las fachadas no estructurales, el 100% corresponde a las pesadas.

	n	%
<b>Estructura vertical</b>		
Especiales <sup>103</sup>	9	2.3
Mixta <sup>104</sup>	30	7.6
Muraria	276	69.8
Muro contención de fábrica	2	0.5
Muros 2h ladrillo	1	0.3
Porticada H.A.	76	19.2
Porticada metálica	1	0.3
<b>Forjados</b>		
Madera	151	51
Hormigón in situ	4	1.4
Hormigón prefabricado	103	34.8
Metálica	1	0.3
Varios	37	12.5
<b>Tipo de cubierta</b>		
Inclinada	197	55.5
Plana	78	22
Varias	80	22.5

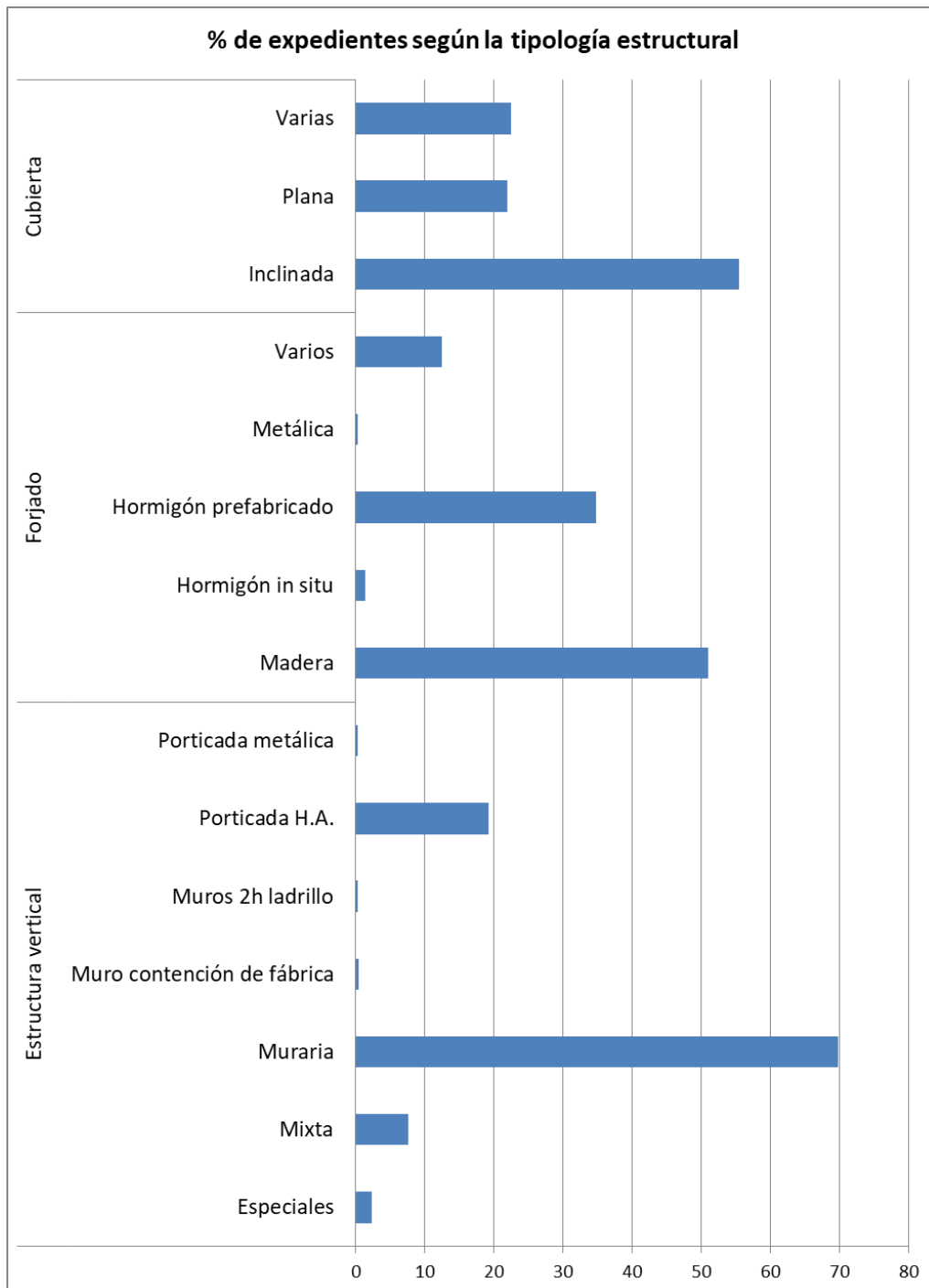
**Tabla 18 Frecuencia del tipo estructural y constructivo**

<sup>101</sup> Resultado de sumar todas las estructuras murarias existentes entre las tipologías propuestas (muraria, muros de contención y muros de dos hojas de ladrillo).

<sup>102</sup> Teniendo en cuenta aquellos expedientes que aluden a edificios que dispongan de más de una planta, así como aquellos con sótanos y una sola planta sobre rasante.

<sup>103</sup> Asociada a la existencia de varios tipos de estructura vertical en el mismo expediente.

<sup>104</sup> Formada por muros y pilares de hormigón armado, acero o machones de fábrica.



**Figura 66** Porcentaje de expedientes según la tipología estructural

Según la Tabla 19 y la Figura 67, que muestran el número de expedientes que presenta daños en cada uno de los elementos estructurales y constructivos analizados, el 13.1% (n = 52) de los expedientes de ruina están relacionados con algún tipo de daño en cimentación. El 79.4% (n = 316) del total de los expedientes hacen referencia a edificaciones que presentan daños en los muros. Este porcentaje pasa al 100% cuando para su obtención se tiene en cuenta el número de expedientes en los que aparecen muros.

En el caso de los pilares, aparece algún tipo de daño en el 22.4% (n = 89) del total los expedientes, porcentaje que asciende al 81.6% cuando se tiene en cuenta sólo los expedientes que contiene pilares.

El 72.6% (n = 289) de los expedientes acreditaban daños en forjados. Si se tienen en cuenta únicamente los expedientes en los que aparecen forjados<sup>105</sup>, el porcentaje de estos elementos que presenta algún tipo de daño asciende al 91.4% de los mismos.

El 17.6% (n = 70) de los expedientes presentan algún tipo de lesión en las fachadas<sup>106</sup>. Teniendo en cuenta exclusivamente los expedientes en los que la estructura se lleva a cabo con pórticos de hormigón armado, hecho relacionado con la existencia de fachadas no estructurales, el 64.2% de las mismas presenta algún tipo de daño.

Finalmente el 60.3% (n = 240) de las cubiertas presenta algún tipo de daño. Sólo hay dos expedientes que corresponden a muros de contención y que no disponen de cubierta, con lo que el porcentaje anterior asciende al 60.6%.

En la Figura 67 aparece el porcentaje de expedientes en los existen daños en cada uno de los elementos indicados, respecto al número de expedientes que disponen de cada uno de esos elementos<sup>107</sup>.

---

<sup>105</sup> Teniendo en cuenta aquellos expedientes que aludan a edificios que dispongan de más de una planta, así como aquellos con sótanos y una sola planta sobre rasante.

<sup>106</sup> Sin función estructural.

<sup>107</sup> Porcentaje parcial.

<b>Daños</b>	<b>n</b>	<b>% total<sup>108</sup></b>	<b>% parcial<sup>109</sup></b>
<b>Cimentación</b>			
No	346	86.9	86.9
Sí	52	13.1	13.1
<b>Muros</b>			
No	82	20.6	0
Sí	316	79.4	100 <sup>110</sup>
<b>Pilares</b>			
No	309	77.6	18.4
Sí	89	22.4	81.6 <sup>111</sup>
<b>Forjados</b>			
No	109	27.4	8.6
Sí	289	72.6	91.4
<b>Fachadas<sup>112</sup></b>			
No	328	82.4	35.8
Sí	70	17.6	64.2
<b>Cubiertas</b>			
No	158	39.7	39.4
Sí	240	60.3	60.6

**Tabla 19 Frecuencia de daños estructurales**

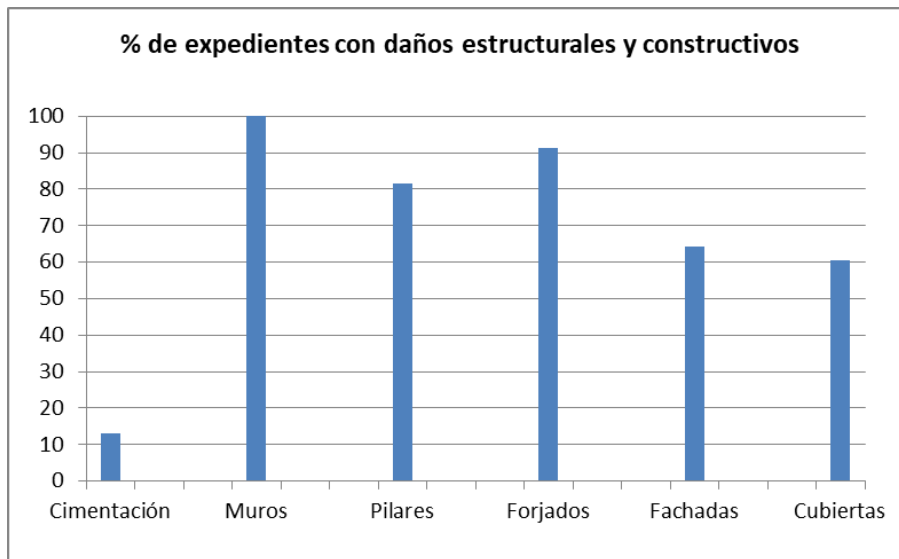
<sup>108</sup> Porcentaje respecto al total de los expedientes.

<sup>109</sup> Porcentaje respecto al número de expedientes que disponen de los elementos analizados.

<sup>110</sup> Para obtener el número de expedientes con muros en base al que obtener el porcentaje, se tienen en cuenta las estructuras murarias puras (n=279) y las que aparecen en las estructuras mixtas (n=30) y especiales (n=7).

<sup>111</sup> Para obtener el número de expedientes con pilares en base al que obtener el porcentaje, se tienen en cuenta las estructuras porticadas de hormigón armado puras (n=76) y las que aparecen en las estructuras mixtas (n=26) y especiales (n=7).

<sup>112</sup> Sin función estructural.



**Figura 67** Porcentaje parcial de expedientes según la tipología estructural

Según la Tabla 20 y la Figura 68 sobre frecuencia y porcentaje de expedientes por tipo de ruina, el 65.8% (n = 262) de los expedientes fueron clasificados como ruina inminente, lo que da una idea de la gravedad de las lesiones. De todos los expedientes analizados, el 94.0% (n = 374) de los casos resultó demolido.

En el lugar dejado por los edificios demolidos se ha podido acreditar que en 191 (51.1%) casos se ha llevado a cabo una obra nueva y en 178 (47.6%) permanece el solar sin construir.

	n	%
<b>Tipo de ruina</b>		
Económica	56	14.1
Inminente	262	65.8
Técnica	77	19.3
Técnica y económica	3	0.8
<b>Demolido</b>		
No	24	6.0
Sí	374	94.0

**Tabla 20** Frecuencia de tipología de expedientes

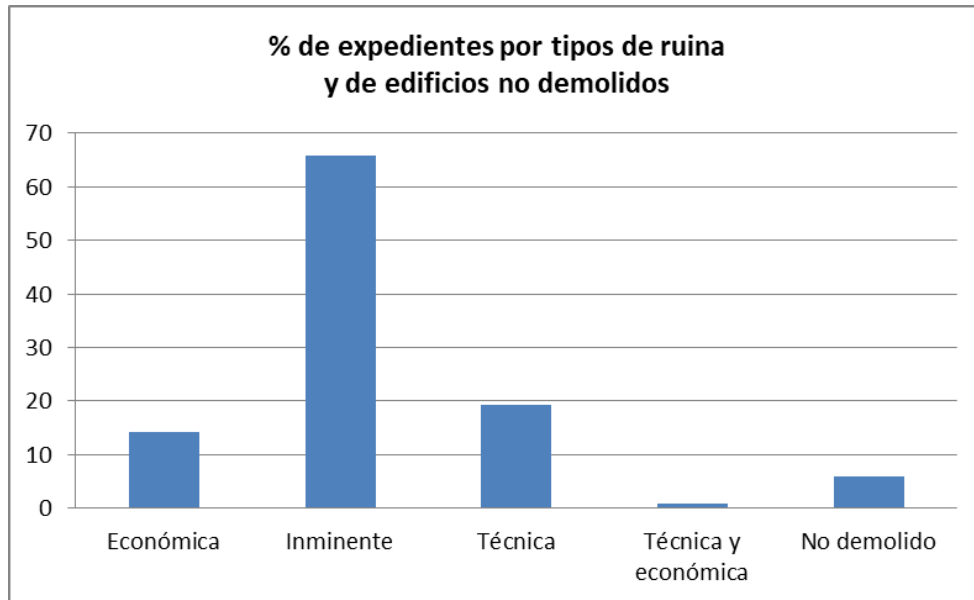


Figura 68 Porcentaje de expedientes por tipos de ruina y de edificios no demolidos

A continuación, se muestra el número de expedientes en los que aparece cada uno de los distintos tipos de daños observados en los elementos estructurales analizados. En los casos en los que el elemento analizado esté en la totalidad de los expedientes se refleja únicamente el porcentaje respecto al total (% total), pero cuando se trate de elementos que no aparezcan en todos los expedientes, se aportará junto al anterior el obtenido respecto al número de expedientes en los que dicho elemento aparezca (% parcial).

El daño más frecuente en las cimentaciones ha estado asociado al vuelco global de los edificios en el 9.5% (n = 38) de los casos según lo indicado en la Tabla 21 que muestra la frecuencia de los diferentes tipos de daño en cimentaciones.

Cimentación	Daño, (n) (%)			
	No		Sí	
Asiento	371	96	16	4
Giro	333	99.5	2	0.5
Vuelco global de edificio	360	90.5	38	9.5

Tabla 21 Frecuencia del tipo de daño en cimentación



El estudio de los expedientes de ruina ha puesto de manifiesto que en los muros de carga como elemento portante vertical, aparece como daño más frecuente la fractura diagonal en el 60.3% (75.9%<sup>113</sup>) de los expedientes, estando acompañada del vuelco total con el 56.5% (71.2%<sup>113</sup>) y del agrietamiento vertical asociado a la pérdida de traba entre los muros de carga y los de arriostamiento con el 55.3% (69.6%<sup>113</sup>), según la información que aparece en la Tabla 22 sobre frecuencia de tipos de daño en muros.

Muro	Daño, (n)(%total)(%parcial <sup>113</sup> )					
	No			Sí		
Abombamiento muros	389	97.7	97.2	9	2.3	2.8
Deslizamiento muros	389	97.7	97.2	9	2.3	2.8
Dislocación muros	390	98	97.5	8	2	2.5
Esquina fracturada muros	359	90.2	87.7	39	9.8	12.3
Fractura cruzada muros	366	92	89.9	32	8	10.1
Fractura diagonal muros	158	39.7	24.1	240	60.3	75.9
Fractura por golpeo muros	329	82.7	78.2	69	17.3	21.8
Fractura vertical muro	339	85.2	81.3	59	14.8	18.7
Grieta horiz muro	361	90.7	88.3	37	9.3	11.7
Grieta vert destraba arriostr muro	178	44.7	30.4	220	55.3	69.6
Grieta vertical muros separación cuerpos	371	93.2	91.5	27	6.8	8.5
Separación hojas muros	333	83.7	79.4	65	16.3	20.6
Vuelco parcial muros	337	84.7	80.7	61	15.3	19.3
Vuelco total de muros	173	43.5	28.8	225	56.5	71.2

**Tabla 22 Frecuencia del tipo de daño en muros**

<sup>113</sup> Porcentaje parcial se ha obtenido teniendo en cuenta los expedientes referidos a estructuras de muros de carga, considerando incluso los pertenecientes a estructuras mixtas y especiales (316 expedientes).

En los pilares como elemento estructural vertical asociado a las estructuras de hormigón armado, el principal daño asociado al terremoto es la aparición de grietas y fisuras inclinadas con desplazamiento, presentes en el 17.3% del total de los expedientes (63.3%<sup>114</sup>). En el 15.3% de los expedientes (56%<sup>114</sup>) aparecen también daños por aplastamiento según la información que aparece en la Tabla 23 sobre frecuencia de los diferentes tipos de daño en pilares.

Pilares	Daño, (n) (%total)(%parcial <sup>114</sup> )					
	No			Sí		
Aplastamiento	337	84.7	44	61	15.3	56
Desplaz con fis/griet en caras op sup e inf	392	98.5	94.5	6	1.5	5.5
Grietas/fisuras incl con desplazam	329	82.7	36.7	69	17.3	63.3
Grietas/fisuras vert	390	98	92.7	8	2	7.3

**Tabla 23 Frecuencia del tipo de daño en pilares**

<sup>114</sup> Porcentaje parcial obtenido teniendo en cuenta los expedientes referidos a estructuras a base de pórticos de hormigón armado, considerando incluso los pilares pertenecientes estructuras mixtas y especiales (109 expedientes).

El análisis de los expedientes de ruina muestra que en las vigas, los daños en los encuentros con pilares son la causa más frecuente, apareciendo en un 13.3% (50.5%<sup>115</sup>) de los expedientes, seguidas por las deformaciones excesivas en vigas por flexión con un 5.5% sobre el total (21%<sup>115</sup>) y las fisuras a 45° junto a los apoyos con un 4.5% (17.1%<sup>115</sup>), tal y como muestra la Tabla 24 sobre frecuencias de los tipos de daño en vigas.

Vigas	Daño, (n) (%total) (%parcial <sup>115</sup> )					
	No			Sí		
Aplastamiento en cara inf apoyos	394	99	96.2	4	1	3.8
Daño encuentro con pilar	345	86.7	49.5	53	13.3	50.5
Deformación excesiva vigas otras causas	396	99.5	98.1	2	0.5	1.9
Deformación excesiva vigas por flexión	376	94.5	79	22	5.5	21
Fisura inf y sup en apoyos sin asiento	395	99.2	97.2	3	0.8	2.8
Fisura inferior centro vano vigas	390	98	92.4	8	2	7.6
Fisuras inf y sup en apoyos con asiento	395	99.2	97.2	3	0.8	2.8
Vigas en voladizo def exces	396	99.5	98.1	2	0.5	1.9
Vigas en voladizo otras causas	398	100	100	0	0	0
Vigas Fisuras a 45 junto apoyos	380	95.5	82.9	18	4.5	17.1

**Tabla 24 Frecuencia del tipo de daño en vigas**

<sup>115</sup> Porcentaje parcial obtenido teniendo en cuenta los expedientes que contemplan estructuras porticadas de hormigón armado, así como mixtas y especiales. Además deben disponer de más de una planta sobre rasante (se consideran también las que teniendo plantas bajo rasante, tengan una sobre rasante) (105 expedientes).

En la Tabla 25 sobre tipos de daño en forjados, se aprecia cómo la pérdida de nivel de los forjados aparecía en el 42.2% de los expedientes (53.2%<sup>116</sup>) como síntoma asociado a los daños consecuencia de los terremotos, que a su vez estaba asociado a la deformación excesiva de viguetas por flexión que aparece con un 38.4% del total (48.4%<sup>116</sup>) y acompañado de fisuras, tanto superiores en el solado con un 25.4% (32%<sup>116</sup>), como inferiores marcando viguetas con un 21.9% (27.5%<sup>116</sup>). Los sismos provocaron en el 26.9% de los expedientes (33.9%<sup>116</sup>) daños en los apoyos del forjado sobre los elementos estructurales.

Forjado	Daño, (n) (%total)(%parcial <sup>116</sup> )					
	No			Sí		
Daños en apoyos forjado	291	73.1	66.1	107	26.9	33.9
Daños en voladizo deformación excesiva	369	92.7	90.8	29	7.3	9.2
Deformación excesiva viguetas otras causas	397	99.8	99.7	1	0.2	0.3
Deformación excesiva viguetas por flexión	245	61.6	51.6	153	38.4	48.4
Derrumbe forjado	312	78.4	72.8	86	21.6	27.2
Fisura inf centro viguetas	386	97	96.2	12	3	3.8
Fisura inf forjado marcando viguetas	311	78.1	72.5	87	21.9	27.5
Fisura inf perpend viguetas	395	99.2	99.1	3	0.8	0.9
Fisura superior rotura solado	297	74.6	68	101	25.4	32
Otros daños en voladizo	392	98.5	98.1	6	1.5	1.9
Pérdida de nivel de forjado	230	57.8	46.8	168	42.2	53.2
Rotura de elementos aligerantes en forjados	380	95.5	94.3	18	4.5	5.7
Rotura/fisura vigueta en apoyos	393	98.3	98.4	5	1.2	1.6

**Tabla 25 Frecuencia del tipo de daño en forjados**

<sup>116</sup> Porcentaje parcial obtenido teniendo en cuenta los expedientes con edificios de más de una planta sobre rasante y aquellos que teniendo plantas bajo rasante, tengan una sobre rasante (316 expedientes).

La aparición de grietas en la unión de mesetas y zancas está presente en el 17.8% (22.5%<sup>117</sup>) de los expedientes según la Tabla 26 que analiza los daños en escaleras. En segundo lugar de importancia aparece el arrastre parcial por muro soporte o grieta longitudinal con un 14.3% (18.0%<sup>117</sup>) del total de los expedientes.

Escalera	Daño, (n) (%total)(%parcial <sup>117</sup> )					
	No			Sí		
Arrastre parcial por muro soporte/Grieta longitud	341	85.7	82	57	14.3	18
Derrumbe escalera	386	97	96.2	12	3	3.8
Desgarres de losas en unión con pilares	398	100	100			
Expulsión al vacío de armaduras en cambios de plano en losas	391	98.2	97.8	7	1.8	2.2
Grieta transversal inferior centro escalera	380	95.5	94.3	18	4.5	5.7
Grietas en unión de mesetas y zancas	327	82.2	77.5	71	17.8	22.5

Tabla 26 Frecuencia del tipo de daño en escalera

<sup>117</sup> Porcentaje parcial obtenido teniendo en cuenta los expedientes con edificios de más de una planta sobre rasante y aquellos que teniendo plantas bajo rasante, tengan una sobre rasante (316 expedientes).

La fractura diagonal en fachadas no estructurales está presente en el 12.6% (45.9%<sup>118</sup>) del total de los expedientes, y junto con la fractura cruzada con el 8% (29.4%<sup>94</sup>), así como con el vuelco total de fachada con el 4.5% (16.5%<sup>94</sup>) conforman los daños más frecuentes según la Tabla 27 que presenta la frecuencia de los tipos de daños en fachadas.

Fachada	Daño, (n) (%total)(%parcial <sup>94</sup> )					
	No			Sí		
Abombamiento fachada	398	100	100			
Deslizamiento fachada	398	100	100			
Dislocación fachada	398	100	100			
Esquina fracturada fachada	394	99	96.3	4	1	3.7
Fractura cruzada fachada	366	92	70.6	32	8	29.4
Fractura diagonal fachada	348	87.4	54.1	50	12.6	45.9
Fractura por golpeo fachada	396	99.5	98.2	2	0.5	1.8
Grieta horiz fachada	395	99.2	97.2	3	0.8	2.8
Grieta vert destraba arriostr fachada	391	98.2	93.6	7	1.8	6.4
Grieta vertical fachada	394	99	96.3	4	1	3.7
Separación hojas fachada	397	99.7	99.1	1	0.3	0.9
Vuelco parcial fachada	394	99	96.3	4	1	3.7
Vuelco total fachada	380	95.5	83.5	18	4.5	16.5

**Tabla 27 Frecuencia del tipo de daño en fachadas no estructurales**

<sup>118</sup> Porcentaje parcial vinculado al número de expedientes con estructuras porticadas de hormigón armado (109 expedientes).

El derrumbe parcial de la cubierta está presente en el 40.9% de los expedientes según la Tabla 28 sobre tipos de daños en cubiertas. También son frecuentes los desprendimientos en aleros con un 24%, los daños en apoyos con un 21.5% y la deformación excesiva con un 20.7%. En el caso de las cubiertas todos los expedientes salvo 2, que hacen referencia a muros de contención, el porcentaje con respecto a los elementos que disponen de este elemento estructural total es muy semejante al porcentaje parcial.

Cubierta	Daño, (n) (%total)(%parcial)					
	No			Sí		
Daños en apoyos	313	78.6	78.5	85	21.4	21.5
Deformación excesiva	316	79.4	79.3	82	20.6	20.7
Derrumbe parcial	236	59.3	59.1	162	40.7	40.9
Deslizamiento	354	89	88.9	44	11	11.1
Desprendimiento aleros	303	76.1	76	95	23.9	24

**Tabla 28 Frecuencia del tipo de daño en cubierta**

En la Figura 69 aparece el porcentaje de expedientes en los existen cada uno de los tipos de daño en los elementos indicados, respecto al número de expedientes que disponen de cada uno de esos elementos<sup>119</sup>.

<sup>119</sup> Porcentaje parcial.



Figura 69 Porcentaje parcial de expedientes en los que aparece cada uno de los tipos de daño



Atendiendo a estos resultados sobre las características de la edificación y sus daños, se obtiene el perfil de edificación tipo de entre las afectadas por el terremoto y sometidas al control administrativo municipal a través de los 398 expedientes de ruina, indicando el porcentaje respecto a los expedientes que presentan cada una de las características y elementos referidos<sup>120</sup>.

Se trata de una construcción unifamiliar de uso residencial (92.3%), de dos plantas sobre rasante, con grado de vulnerabilidad B<sup>121</sup> (73.4%), de una edad media de 63.8 años, situada entre medianeras en suelo clasificado como urbano desde el punto de vista urbanístico y como bueno<sup>122</sup> (68.2%) desde el punto de vista de su comportamiento sísmico.

Su estructura se lleva a cabo mediante muros de carga (70.6%), con forjado unidireccional a base de viguetas de madera (51%) y cubierta inclinada (55.5%).

Como consecuencia de la serie sísmica de mayo de 2011 presenta daños en muros (100%), forjados (91.4%) y cubiertas (60.6%).

En los muros de carga aparece como daño más frecuente la fractura diagonal (75.9%), acompañada del vuelco total (71.2%) y del agrietamiento vertical asociado a la pérdida de traba entre los muros de carga y los de arriostramiento (69.6%).

En los forjados, la pérdida de nivel (53.2%) asociada a la deformación excesiva de viguetas por flexión (48.4%) y acompañado de fisuras, tanto superiores en el solado (32%) con como inferiores marcando viguetas (27.5%) son los síntomas más habituales.

El derrumbe parcial (40.9%), los desprendimientos en aleros (24%), los daños en apoyos (21.5%) y la deformación excesiva (20.7%) son los daños más frecuentes en las cubiertas.

---

<sup>120</sup> Porcentaje parcial, que coincidirá con el total en aquellos elementos presentes en todos los expedientes, como cubiertas o cimentación.

<sup>121</sup> Elevada según la EMS-98.

<sup>122</sup> Tipo II según la NCSE-02.

#### 4.2. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS Y LOS DAÑOS REGISTRADOS

A continuación, se muestran las asociaciones existentes entre las características de los edificios y los daños registrados en los distintos elementos estructurales en base a los resultados de los modelos de regresión logística realizados a nivel univariante. El diseño del análisis sigue lo reflejado en la Tabla 29 que refleja la asociación mencionada.

Características del edificio		Elemento dañado significativamente						Consecuencias							
		Cimentación	Muros	Pilares	Forjados	Fachadas	Cubiertas	Expediente de ruina				Exp. demolición			
								Inminente	Técnica	Económica	Total	Realizada	Pendiente	Total	
Antigüedad	≤ 1963														
	1964-94														
	≥ 1995														
Localización	PEPRI														
	Urbano restante														
	Urbanizable														
Emplazamiento	No urbanizable														
	Aislado														
	Medianeras														
Uso principal	Esquina														
	Residencial														
	Otros usos														
Nº plantas	≤ 6 plantas														
	8-12														
	≥ 13 plantas														
Nº viviendas	≤ 4														
	5-20														
	≥ 20														
Sótano	No														
	1 sótano														
	≥ 2 sótanos														
Vulnerabilidad	Baja: E-F														
	Media: C-D														
	Alta: A-B														
Terreno	I Muy Bueno														
	II Bueno														
	III Regular														
	IV Malo														
ST vertical	Muraria														
	Porticada HA														
	Porticada metálica														
ST horizontal	Forj. unidireccionales														
	Forj. reticulares														
Fachadas	Pesadas														
	Ligeras														
Cubierta	Inclinada														
	Plana														

**Tabla 29 Asociación entre las características de los edificios y los daños / consecuencias que sufrieron por los terremotos**

En cada una de las tablas aportadas como resultado del análisis aparece el valor "Odds" y su intervalo de confianza al 95%. En este tipo de análisis este valor se interpreta como el número de veces que es más probable que el factor contemplado provoque daños en el elemento analizado con respecto al factor que se toma como referencia y que se indica como "Ref.". Cuando este valor es menor que 1 se puede considerar como un factor protector, pues tiene menor

probabilidad de que ocurra que el factor tomado como referencia. Junto al anterior aparece el p-valor que nos indica que el análisis tiene significación estadística cuando su valor es inferior a 0.05, señalándose en ese caso en negrita.

En el estudio realizado y dado que únicamente se ha contado con datos de edificios sometidos a expedientes de ruina, no se ha pretendido extrapolar resultados al total de la población partiendo del estudio de una muestra. Por ello, la interpretación del resultado no puede hacerse en el sentido comentado anteriormente. En este caso el valor "Odds" significa el número de veces que es más probable encontrar en los expedientes el factor analizado con respecto al que se toma como referencia, sin tratar de hacer extensiva esa probabilidad al total de la población ni pensar en el comportamiento del parque inmobiliario respecto a posibles movimientos sísmicos que puedan producirse en el futuro. En definitiva, lo que este valor nos aporta en este estudio es la mayor o menor asociación entre las variables analizadas.

En la Tabla 30 aparece el análisis de todos los factores sobre los daños aparecidos en cimentaciones. Las variables con efectos significativos sobre los daños en muros aparecen en la Tabla 31. La Tabla 32 analiza la repercusión sobre los pilares de los factores considerados. La Tabla 33 muestra las variables que pueden tener una relación significativa con los daños en el forjado. Con respecto a los daños en las fachadas no estructurales aparecen en la Tabla 34 los factores analizados. En el caso de daños en la cubierta, la Tabla 35 describe las variables con efectos significativos en la aparición de este tipo de daños.

	Cimentación		Univariante	
	No	Sí	Odds (IC 95%)	<i>p</i> -valor
<b>Año</b>				
≤ 1963	210 (94.6)	12 (5.4)	Ref.	
> 1963	114 (74.5)	39 (25.5)	5.99 (3.02 - 11.89)	< 0.001
<b>Emplazamiento</b>				
Aislado	86 (84.3)	16 (15.7)	Ref.	
En esquina	60 (82.2)	13 (17.8)	1.17 (0.52 - 2.60)	0.71
Entre medianeras	140 (89.2)	17 (10.8)	0.65 (0.31 - 1.36)	0.254
Terminal	55 (90.2)	6 (9.8)	0.59 (0.22 - 1.59)	0.294
<b>Uso</b>				
Otros	28 (93.3)	2 (6.7)	Ref.	
Residencial	312 (86.4)	49 (13.6)	0.46 (0.11 - 1.97)	0.292
<b>Nº plantas</b>				
1	77 (95.1)	4 (4.9)	Ref.	
2	146 (94.8)	8 (5.2)	1.06 (0.31 - 3.61)	0.932
3	88 (92.6)	7 (7.4)	1.53 (0.43 - 5.43)	0.509
≥ 4	32 (49.2)	33 (50.8)	19.85 (6.50 - 25.63)	< 0.001
<b>Nº viviendas</b>				
≤ 1	247 (94.6)	14 (5.4)	Ref.	
>1	96 (71.6)	38 (28.4)	6.98 (3.62 - 13.47)	< 0.001
<b>Vulnerabilidad</b>				
Alta (A y B)	282 (96.2)	11 (3.8)	Ref.	
Media (C y D)	48 (55.8)	38 (44.2)	20.30 (9.71 - 42.43)	< 0.001
<b>Terreno s/NCSE-02</b>				
II	194 (85.5)	33 (14.5)	Ref.	
IV	79 (80.6)	19 (19.4)	1.41 (0.76 - 2.63)	0.275
<b>Tipo cubierta</b>				
Plana	46 (65.7)	24 (34.3)	Ref.	
Inclinada	199 (97.1)	6 (2.9)	0.06 (0.02 - 0.15)	< 0.001
<b>Estructura vertical</b>				
Muraria	270 (96.8)	9 (3.2)	Ref.	
Porticada HA	39 (51.3)	37 (48.7)	28.46 (12.76 - 63.48)	< 0.001

**Tabla 30 Asociación entre las características de los edificios y los daños en la cimentación**

	Muros		Univariante	
	No	Sí	Odds (IC 95%)	<i>p</i> -valor
<b>Año</b>				
≤ 1963	8 (3.6)	214 (96.4)	Ref.	
> 1963	73 (47.7)	80 (52.3)	0.04 (0.02 - 0.09)	< 0.001
<b>Emplazamiento</b>				
Aislado	18 (17.6)	84 (82.4)	Ref.	
En esquina	22 (30.1)	51 (69.9)	0.50 (0.24 - 1.01)	0.055
Entre medianeras	30 (19.1)	127 (80.9)	0.91 (0.48 - 1.73)	0.768
Terminal	12 (19.7)	49 (80.3)	0.88 (0.39 - 1.97)	0.747
<b>Uso</b>				
Otros	4 (13.3)	26 (86.7)	Ref.	
Residencial	78 (21.6)	283 (78.4)	0.56 (0.19 - 1.65)	0.291
<b>Nº plantas</b>				
1	4 (4.9)	77 (95.1)	Ref.	
2	10 (6.5)	144 (93.5)	0.75 (0.23 - 2.46)	0.633
3	13 (13.7)	82 (86.3)	0.33 (1.01 - 1.05)	0.048
≥ 4	54 (83.1)	11 (16.9)	0.01 (0.00 - 0.04)	< 0.001
<b>Nº viviendas</b>				
≤ 1	17 (6.5)	244 (93.5)	Ref.	
>1	65 (48.5)	69 (51.5)	0.07 (0.04 - 0.13)	< 0.001
<b>Vulnerabilidad</b>				
Media (C y D)	70 (81.4)	16 (18.6)	Ref.	
Alta (A y B)	4 (1.4)	289 (98.6)	36.09 (22.48 - 74.94)	< 0.001
<b>Terreno NCSE-02</b>				
IV	27 (27.6)	71 (72.4)	Ref.	
II	54 (23.8)	173 (76.2)	1.22 (0.71 - 2.09)	0.472
<b>Tipo cubierta</b>				
Plana	42 (60)	28 (40)	Ref.	
Inclinada	5 (2.4)	200 (97.6)	60.00 (21.90 - 76.42)	< 0.001
<b>Estructura vertical</b>				
Porticada HA	71 (93.4)	5 (6.6)	Ref.	
Muraria	4 (1.4)	275 (98.6)	76.25 (55.52 - 97.91)	< 0.001

Tabla 31 Asociación entre las características de los edificios y los daños en los muros

	Pilares		Univariante	
	No	Sí	Odds (IC 95%)	<i>p</i> -valor
<b>Año</b>				
≤ 1963	210 (94.6)	12 (5.4)	Ref.	
> 1963	78 (51)	75 (49)	16.83 (8.68 - 32.64)	< 0.001
<b>Emplazamiento</b>				
Aislado	82 (80.4)	20 (19.6)	Ref.	
En esquina	52 (71.2)	21 (28.8)	1.66 (0.82 - 3.35)	0.16
Entre medianeras	125 (79.6)	32 (20.4)	1.05 (0.56 - 1.96)	0.879
Terminal	45 (73.8)	16 (26.2)	1.46 (0.69 - 3.09)	0.325
<b>Uso</b>				
Otros	26 (86.7)	4 (13.3)	Ref.	
Residencial	276 (76.5)	85 (23.5)	2.00 (0.68 - 5.90)	0.208
<b>Nº plantas</b>				
1	78 (96.3)	3 (3.7)	Ref.	
2	136 (88.3)	18 (11.7)	3.44 (1.02 - 12.05)	0.047
3	80 (84.2)	15 (15.8)	4.88 (1.36 - 17.50)	0.015
≥ 4	13 (20)	52 (80)	24.00 (21.24 - 82.94)	< 0.001
<b>Nº viviendas</b>				
≤ 1	239 (91.6)	22 (8.4)	Ref.	
>1	67 (50)	67 (50)	10.86 (6.25 - 18.88)	< 0.001
<b>Vulnerabilidad</b>				
Alta (A y B)	283 (96.6)	10 (3.4)	Ref.	
Media (C y D)	10 (11.6)	76 (88.4)	25.08 (21.37 - 35.59)	< 0.001
<b>Terreno según NCSE-02</b>				
II	165 (72.7)	62 (27.3)	Ref.	
IV	73 (74.5)	25 (25.5)	0.91 (0.53 - 1.56)	0.736
<b>Tipo cubierta</b>				
Plana	23 (32.9)	47 (67.1)	Ref.	
Inclinada	195 (95.1)	10 (4.9)	0.03 (0.01 - 0.06)	< 0.001
<b>Estructura vertical</b>				
Muraria	274 (98.2)	5 (1.8)	Ref.	
Porticada HA	7 (9.2)	69 (90.8)	40.17 (26.38 - 53.72)	< 0.001

Tabla 32 Asociación entre las características de los edificios y los daños en los pilares

	Forjados		Univariante	
	No	Sí	Odds (IC 95%)	p-valor
<b>Año</b>				
≤ 1963	57 (25.7)	165 (74.3)	Ref.	
> 1963	37 (24.2)	116 (75.8)	1.08 (0.67 - 1.75)	0.743
<b>Emplazamiento</b>				
Aislado	43 (42.2)	59 (57.8)	Ref.	
En esquina	11 (15.1)	62 (84.9)	4.11 (1.94 - 8.71)	< 0.001
Entre medianeras	32 (20.4)	125 (79.6)	2.85 (1.64 - 4.95)	< 0.001
Terminal	19 (31.1)	42 (68.9)	1.61 (0.83 - 3.15)	0.163
<b>Uso</b>				
Otros	19 (63.3)	11 (36.7)	Ref.	
Residencial	85 (23.5)	276 (76.5)	5.61 (2.57 - 12.25)	< 0.001
<b>Nº plantas</b>				
1	56 (69.1)	25 (30.9)	Ref.	
2	33 (21.4)	121 (78.6)	8.21 (4.47 - 15.10)	< 0.001
3	9 (9.5)	86 (90.5)	21.40 (9.31 - 49.23)	< 0.001
≥ 4	9 (13.8)	56 (86.2)	13.94 (5.97 - 32.52)	< 0.001
<b>Nº viviendas</b>				
≤ 1	88 (33.7)	173 (66.3)		
>1	21 (15.7)	113 (84.3)	2.74 (1.61 - 4.66)	< 0.001
<b>Vulnerabilidad</b>				
Media (C y D)	16 (18.6)	70 (81.4)	Ref.	
Alta (A y B)	82 (28)	211 (72)	0.59 (0.32 - 1.07)	0.083
<b>Terreno s/NCSE-02</b>				
IV	34 (34.7)	64 (65.3)	Ref.	
II	46 (20.3)	181 (79.7)	2.09 (1.23 - 3.54)	0.047
<b>Tipo cubierta</b>				
Plana	8 (11.4)	62 (88.6)	Ref.	
Inclinada	74 (36.1)	131 (63.9)	0.23 (0.10 - 0.50)	< 0.001
<b>Estructura vertical</b>				
Porticada H.A.	12 (15.8)	64 (84.2)	Ref.	
Muraria	86 (30.8)	193 (69.2)	0.42 (0.22 - 0.82)	0.011

Tabla 33 Asociación entre las características de los edificios y los daños en el forjado

	Fachadas		Univariante	
	No	Sí	Odds (IC 95%)	p-valor
<b>Año</b>				
≤ 1963	208 (93.7)	14 (6.3)	Ref.	
> 1963	99 (64.7)	54 (35.3)	8.10 (4.30 - 15.29)	< 0.001
<b>Emplazamiento</b>				
Aislado	85 (83.3)	17 (16.7)	Ref.	
En esquina	57 (78.1)	16 (21.9)	1.40 (0.66 - 3.00)	0.382
Entre medianeras	133 (84.7)	24 (15.3)	0.90 (0.46 - 1.78)	0.766
Terminal	48 (78.7)	13 (21.3)	1.35 (0.61 - 3.03)	0.46
<b>Uso</b>				
Otros	25 (83.3)	5 (16.7)	Ref.	
Residencial	296 (82)	65 (18)	1.10 (0.41 - 2.98)	0.854
<b>Nº plantas</b>				
1	76 (93.8)	5 (6.2)	Ref.	
2	143 (92.9)	11 (7.1)	1.17 (0.39 - 3.49)	0.779
3	80 (84.2)	15 (15.8)	2.85 (1.03- 8.22)	0.046
≥ 4	27 (41.5)	38 (58.5)	21.39 (7.63 - 59.96)	< 0.001
<b>Nº viviendas</b>				
≤ 1	241 (92.3)	20 (7.7)	Ref.	
>1	84 (62.7)	50 (37.3)	7.17 (4.04 - 12.75)	< 0.001
<b>Vulnerabilidad</b>				
Alta (A y B)	284 (96.9)	9 (3.1)	Ref.	
Media (C y D)	29 (33.7)	57 (66.3)	62.02 (27.87 - 138.05)	< 0.001
<b>Terreno s/NCSE02</b>				
II	182 (80.2)	45 (19.8)	Ref.	
IV	78 (79.6)	20 (20.4)	1.04 (0.58 - 1.87)	0.904
<b>Tipo cubierta</b>				
Plana	32 (45.7)	38 (54.3)	Ref.	
Inclinada	191 (93.2)	14 (6.8)	0.062 (0.03 - 0.13)	< 0.001
<b>Estructura vertical</b>				
Muraria	271 (97.1)	8 (2.9)	Ref.	
Porticada HA	24 (31.6)	52 (68.4)	73.40 (31.26 - 172.31)	< 0.001

**Tabla 34 Asociación entre las características de los edificios y los daños en las fachadas**



	Cubiertas		Univariante	
	No	Sí	Odds (IC 95%)	p-valor
<b>Año</b>				
≤ 1963	53 (23.9)	169 (76.1)	Ref.	
> 1963	99 (64.7)	54 (35.3)	0.17 (0.11 - 0.27)	< 0.001
<b>Emplazamiento</b>				
Aislado	36 (35.3)	66 (64.7)	Ref.	
En esquina	37 (50.7)	36 (49.3)	0.53 (1.02 - 0.98)	0.043
Entre medianeras	56 (35.7)	101 (64.3)	0.98 (0.58 - 1.66)	0.951
Terminal	26 (42.6)	35 (57.4)	0.73 (0.38 - 1.41)	0.352
<b>Uso</b>				
Otros	11 (36.7)	19 (63.3)	Ref.	
Residencial	143 (39.6)	218 (60.4)	0.88 (0.41 - 1.91)	0.751
<b>Nº plantas</b>				
1	21 (25.9)	60 (74.1)	Ref.	
2	45 (29.2)	109 (70.8)	0.85 (0.46 - 1.55)	0.593
3	33 (34.7)	62 (65.3)	0.66 (0.34 - 1.26)	0.208
≥ 4	56 (86.2)	9 (13.8)	0.06 (0.02 - 0.13)	< 0.001
<b>Nº viviendas</b>				
≤ 1	77 (29.5)	184 (70.5)	Ref.	
>1	81 (60.4)	53 (39.6)	0.27 (0.18 - 0.42)	< 0.001
<b>Vulnerabilidad</b>				
Media (C y D)	80 (93)	6 (7)	Ref.	
Alta (A y B)	65 (22.2)	228 (77.8)	46.77 (19.51 - 112.10)	< 0.001
<b>Terreno s/NCSE-02</b>				
IV	42 (42.9)	56 (57.1)	Ref.	
II	102 (44.9)	125 (55.1)	0.92 (0.57 - 1.48)	0.729
<b>Tipo cubierta</b>				
Plana	62 (88.6)	8 (11.4)	Ref.	
Inclinada	30 (14.6)	175 (85.4)	45.21 (19.68 - 103.88)	< 0.001
<b>Estructura vertical</b>				
Porticada H.A.	72 (94.7)	4 (5.3)	Ref.	
Muraria	68 (24.4)	211 (75.6)	55.85 (19.68 - 158.54)	< 0.001

Tabla 35 Asociación entre las características de los edificios y los daños en la cubierta

Anteriormente se han aportado resultados respecto del total de los expedientes. No en todos los expedientes aparecen estructuras a base de muros de carga o a base de pórticos de hormigón armado. Lo mismo ocurre con los forjados, que sólo aparecen cuando hay más de una planta sobre rasante y siempre cuando hay plantas bajo rasante, así como en las fachadas no estructurales vinculadas a estructuras porticadas y no a las murarias.

A continuación se presentan los resultados del análisis de regresión logística de aquellos elementos con significación estadística en función de su número de casos, con respecto al número de expedientes en los que existe cada uno de los elementos considerados y no con respecto a la totalidad de los expedientes como se ha realizado hasta el momento.

En la Tabla 36 aparecen los resultados del análisis de regresión logística realizado sobre los pilares. Los resultados del análisis realizado sobre los forjados con respecto únicamente a los expedientes que incluyen este elemento estructural aparecen en la Tabla 37 y en la Tabla 38 los correspondientes a las fachadas no estructurales.

	Pilares		Univariante	
	No	Sí	Odds (IC 95%)	<i>p</i> -valor
<b>Año</b>				
≤1963	1 (20)	4 (80)	Ref.	
> 1963	5 (7.1)	65 (92.9)	3.25 (0.30 - 34.86)	0.33
<b>Emplazamiento</b>				
Aislado	3 (17.6)	14 (82.4)	Ref.	
En esquina	1 (4.8)	20 (95.2)	4.29 (0.40 - 45.57)	0.228
Entre medianeras	2 (7.4)	25 (92.6)	2.68 (0.40 - 18.00)	0.311
Terminal	1 (9.1)	10 (90.9)	2.14 (0.19 - 23.72)	0.534
<b>Uso</b>				
Otros	2 (100)			
Residencial	5 (6.8)	69 (93.2)		
<b>Nº plantas</b>				
2	3 (27.3)	8 (72.7)	Ref.	
3	1 (10)	9 (90)	3.38 (0.29 - 39.32)	0.332
≥4	2 (3.8)	51 (96.2)	9.56 (1.38 - 66.43)	<b>0.022</b>
<b>Nº viviendas</b>				
≤ 1	4 (30.8)	9 (69.2)	Ref.	
>1	3 (4.8)	60 (95.2)	8.89 (1.70 - 46.41)	<b>0.01</b>
<b>Vulnerabilidad</b>				
Alta				
Media	6 (8.3)	66 (91.7)		
<b>Terreno s/NCSE-02</b>				
II	4 (7.4)	50 (92.6)	Ref.	
IV	2 (9.5)	19 (90.5)	0.76 (0.13 - 4.50)	0.762
<b>Tipo de cubierta</b>				
Plana	2 (4.8)	40 (95.2)	Ref.	
Inclinada	3 (60)	2 (40)	0.03 (0.00 - 0.33)	<b>0.004</b>

**Tabla 36 Asociación entre las características de los edificios y los daños respecto a expedientes con pilares**

	Forjados		Univariante	
	No	Sí	Odds (IC 95%)	<i>p</i> -valor
<b>Año</b>				
≤1963	27 (15)	153 (85)	Ref.	
> 1963	22 (17.3)	105 (82.7)	0.84 (0.46 - 1.56)	0.584
<b>Emplazamiento</b>				
Aislado	16 (27.6)	42 (72.4)	Ref.	
En esquina	9 (12.9)	61 (87.1)	2.58 (1.04 - 6.39)	<b>0.04</b>
Entre medianeras	23 (16)	121 (84)	2.00 (0.97 - 4.15)	0.061
Terminal	4 (9.5)	38 (90.5)	3.62 (1.11 - 11.78)	<b>0.033</b>
<b>Uso_reco</b>				
Otros	3 (25)	9 (75)	Ref.	
Residencial	50 (16.5)	253 (83.5)	1.69 (0.44 - 6.45)	0.445
<b>N_viviendas_reco</b>				
≤ 1	32 (17.8)	148 (82.2)	Ref.	
>1	21 (15.8)	112 (84.2)	1.15 (0.63 - 2.11)	0.643
<b>Vulnerabilidad_reco</b>				
Media	15 (18.1)	68 (81.9)	Ref.	
Alta	32 (14.6)	187 (85.4)	1.29 (0.66 - 2.53)	0.46
<b>Terreno_según_NCSE03</b>				
IV	20 (24.1)	63 (75.9)	Ref.	
II	26 (13.6)	165 (86.4)	2.02 (1.05 - 3.86)	<b>0.035</b>
<b>Tipo_de_cubierta</b>				
Plana	8 (12.1)	58 (87.9)	Ref.	
Inclinada	29 (20)	116 (80)	0.55 (0.24 - 1.28)	0.167
<b>Estructura vertical</b>				
Porticada HA	12 (16)	63 (84)	Ref.	
Muraria	35 (16.7)	174 (83.3)	0.95 (0.46 - 1.94)	0.881

**Tabla 37 Asociación entre las características de los edificios y los daños respecto a expedientes con forjados**

	Fachadas		Univariante	
	No	Sí	Odds (IC 95%)	p-valor
<b>Año</b>				
≤1963		5 (100)		
> 1963	24 (34.3)	46 (65.7)		
<b>Emplazamiento</b>				
Aislado	5 (29.4)	12 (70.6)	Ref.	
En esquina	7 (33.3)	14 (66.7)	0.83 (0.21 - 3.32)	0.796
Entre medianeras	8 (29.6)	19 (70.4)	0.99 (0.26 - 3.74)	0.988
Terminal	4 (36.4)	7 (63.6)	0.73 (0.15 - 3.65)	0.701
<b>Uso</b>				
Otros	1 (50)	1 (50)	Ref.	
Residencial	23 (31.1)	51 (68.9)	2.22 (0.13 - 37.02)	0.579
<b>Nº plantas</b>				
2	4 (36.4)	7 (63.6)	Ref.	
3	2 (20)	8 (80)	2.29 (0.32 - 16.51)	0.413
≥4	17 (32.1)	36 (67.9)	1.21 (0.31 - 4.70)	0.783
<b>Nº viviendas</b>				
≤ 1	4 (30.8)	9 (69.2)	Ref.	
>1	20 (31.7)	43 (68.3)	0.96 (0.26 - 3.48)	0.945
<b>Vulnerabilidad</b>				
Alta				
Media	21 (29.2)	51 (70.8)		
<b>Terreno s/NCSE-02</b>				
II	20 (37)	34 (63)	Ref.	
IV	4 (19)	17 (81)	2.50 (0.74 - 8.48)	0.141
<b>Tipo de cubierta</b>				
Inclinada	2 (40)	3 (60)	Ref.	
Plana	9 (21.4)	33 (78.6)	2.44 (0.35 - 16.93)	0.365

**Tabla 38 Asociación entre las características de los edificios y los daños respecto a expedientes con fachadas**

A continuación se presenta la discusión de los resultados del análisis realizado anteriormente, cuya resumen aparece en La Tabla 39 y la Tabla 40. Ambas incorporan las asociaciones entre las características del edificio y los daños de los diferentes elementos analizados, de modo que aparecen en rojo y en verde las características del edificio que han resultado tener una asociación significativa con los elementos dañados. Se indica en rojo cuando esta relación se asocia a una mayor frecuencia de daños y en verde en caso contrario. Las casillas sin colorear de las tablas referidas aluden a los casos en los que no se existe asociación y aquellas en las que se indica "N.R." se refieren a los casos en los que no se ha podido realizar el estudio de correlación por resultar poco representativas las frecuencias correspondientes a alguno de los casos contemplados.

La Tabla 39 tiene en cuenta los resultados obtenidos teniendo en cuenta la totalidad de los expedientes, mientras que la Tabla 40 presenta las asociaciones obtenidas teniendo en cuenta los expedientes que disponen de los elementos analizados, por lo que los resultados respecto a cimentación y cubiertas son exactamente iguales en ambas tablas.

En primer lugar se analiza la influencia que cada una de las características del edificio (filas)<sup>123</sup> tiene sobre los elementos dañados (columnas)<sup>124</sup>. Posteriormente se analiza la influencia de las columnas sobre las filas y finalmente se analiza las relaciones puntuales que pudieran resultar relevantes.

Teniendo en cuenta la Tabla 39 se pueden exponer las siguientes consideraciones:

- La antigüedad y la vulnerabilidad tienen influencia en los daños aparecidos en todos los elementos estructurales analizados, salvo en los forjados. Es de resaltar que edificios con año de construcción posterior a 1963 y cuya vulnerabilidad es media, están relacionados con una mayor frecuencia de daños en cimentaciones de hormigón, pilares y fachadas con cerramientos no portantes. La explicación viene de considerar que dichos elementos son más frecuentes a partir de dicho año, con lo que la mayor frecuencia de daños está asociada a esta antigüedad. Además, del análisis de los informes existentes se desprende, quizás inadecuadamente, una imputación de daños en cimentación cuando podría derivar de la

---

<sup>123</sup> Análisis horizontal.

<sup>124</sup> Análisis vertical.

deformación resultante de la rotura de pilares por esfuerzo cortante en planta baja, que nada tenía que ver con el comportamiento de la cimentación y que influyen en el aparente vuelco global del edificio.

Características del edificio		Elemento dañado significativamente					
		Cimentación	Muros	Pilares	Forjados	Fachadas	Cubiertas
Antigüedad	≤ 1963						
	> 1963						
Emplazamiento	Aislado						
	En esquina						
	Entre medianeras						
	Terminal						
Uso principal	Residencial						
	Otros usos						
Nº plantas	1						
	2					N.R.	
	3						
	≥ 4						
Nº viviendas	≤ 1						
	> 1						
Vulnerabilidad	Alta: A-B						
	Media: C-D						
Terreno	II Bueno						
	IV Malo						
Estructura	Muraria						
	Porticada HA						
Cubierta	Plana						
	Inclinada						

Tabla 39 Asociación entre las características del edificio y los elementos dañados (n=398)

De signo contrario<sup>125</sup> es la asociación que se produce entre los daños en muros y cubiertas. En los muros, la mayor frecuencia de construcciones anteriores a 1963 y el hecho de que su vulnerabilidad sea normalmente alta podrían explicar la asociación. En las cubiertas se da la circunstancia de que la mayoría de los expedientes con daños hacen referencia a cubiertas inclinadas que están a su vez vinculadas con estructuras murarias.

- El emplazamiento, el uso principal y el terreno sólo tienen influencia sobre los daños en los forjados. El hecho de que un edificio se sitúe en esquina o

<sup>125</sup> Mayor frecuencia de daños en construcciones de 1963 y anteriores.

entre medianeras ha supuesto que dicha asociación suponga una mayor frecuencia en los daños en los forjados, así como el hecho de que su uso sea residencial<sup>126</sup> y el terreno tipo II<sup>127</sup>. Es lógico pensar que un edificio no sometido a la incidencia de los edificios colindantes en caso de aceleración sísmica tiene menor probabilidad de sufrir daños.

- El número de plantas, el número de viviendas, el tipo de estructura y el tipo de cubierta se asocian con la existencia de daños en todos los elementos estructurales analizados. Edificios de una sola planta en viviendas unifamiliares con estructura muraria y cubierta inclinada, se asocian con menor frecuencia de daños en cimentación, pilares, forjados y fachadas<sup>128</sup>.

A continuación se lleva a cabo la discusión de los resultados en base a la Tabla 39 pero realizando el análisis por columnas, pudiendo realizar las siguientes observaciones:

- Los daños en cimentación, muros, pilares y fachadas están asociados con la antigüedad, el número de plantas, el número de viviendas, la vulnerabilidad, el tipo de estructura y el tipo de cubierta.
- Los daños en cubiertas están, además de lo anterior, asociados con el emplazamiento.
- Los daños en forjados están asociados con el emplazamiento, el uso, el número de plantas, el número de viviendas, el tipo de terreno, el tipo de estructura y el tipo de cubierta.

---

<sup>126</sup> El uso residencial aparece en la gran mayoría de los expedientes analizados.

<sup>127</sup> La mayoría de los daños en forjados se producen en terreno II considerado como bueno.

<sup>128</sup> Es un resultado trivial en el caso de la estructura muraria y la cubierta inclinada (vinculada a la anterior), ya que siempre estarán asociadas a menores daños en otros tipos de estructura.



Por último, nos fijamos en ciertos aspectos puntuales de la Tabla 39 y que, en base a los resultados del estudio de regresión logística, suponen las siguientes consideraciones:

- Una asociación firme se da entre la mayor frecuencia de daños en forjados y el emplazamiento del edificio en esquina, así como el hecho de que tenga 3 plantas sobre rasante.
- El mayor número de casos con daños en pilares está asociado a que el edificio disponga de 4 o más plantas.

Características del edificio		Elemento dañado significativamente					
		Cimentación	Muros	Pilares	Forjados	Fachadas	Cubiertas
Antigüedad	≤ 1963		N.R.			N.R.	
	> 1963		N.R.			N.R.	
Emplazamiento	Aislado		N.R.				
	En esquina		N.R.				
	Entre medianeras		N.R.				
	Terminal		N.R.				
Uso principal	Residencial		N.R.	N.R.			
	Otros usos		N.R.	N.R.			
Nº plantas	1		N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	
	2		N.R.		N.R.		
	3		N.R.		N.R.		
	≥ 4		N.R.		N.R.		
Nº viviendas	≤ 1		N.R.				
	> 1		N.R.				
Vulnerabilidad	Alta: A-B		N.R.			N.R.	
	Media: C-D		N.R.			N.R.	
Terreno	II Bueno		N.R.				
	IV Malo		N.R.				
Estructura	Muraria		N.R.			N.R.	
	Porticada HA		N.R.			N.R.	
Cubierta	Plana		N.R.				
	Inclinada		N.R.				

**Tabla 40 Asociación entre las características del edificio y los elementos dañados (número de expedientes en los que se encuentran los elementos analizados)**

El hecho de que la Tabla 40 dé predominio al elemento constructivo existente en cada expediente frente a las características del edificio, desvirtúa el análisis por filas y justifica que únicamente se lleve a cabo la discusión de los resultados por columnas, pudiendo realizar las siguientes afirmaciones:

- Los daños en pilares están asociados con el número de plantas, el número de viviendas, y el tipo de terreno.

- Los daños en forjados están asociados con el emplazamiento, el tipo de terreno, el tipo de estructura y el tipo de cubierta.

Por último, nos fijamos en ciertos aspectos puntuales de la Tabla 40 y que en base a los resultados del estudio de regresión logística suponen una asociación más firme, como pueden ser:

- La asociación entre la mayor frecuencia de daños en forjados y el emplazamiento terminal del edificio.
- El mayor número de casos con daños en pilares asociado a que el edificio disponga de 4 o más plantas.

#### 4.3. ANÁLISIS DE LA AGRUPACIÓN DE LOS DAÑOS SEGÚN SU LOCALIZACIÓN

Se presentan en este punto los resultados del análisis de patrones de agrupación según la localización geográfica de cada una de las características analizadas, que básicamente son la existencia de daños en los diferentes elementos estructurales y constructivos, así como los costes de demolición. Para cada una de las variables analizadas se presenta en primer lugar el resultado del índice de Moran y a continuación el de “Hihg/Low Clustering”.

En ambos casos se presenta la curva de distribución normal, aportando el índice de Moran la tendencia a la dispersión, aleatoriedad o al agrupamiento alrededor de una localización geográfica en base a los valores p y z. El “Hihg/Low Clustering” aporta la tendencia al agrupamiento alrededor de una localización geográfica de los valores elevados, de los valores bajos o una distribución aleatoria en cuanto a esos valores.

##### 4.3.1. Agrupación de daños sobre la cimentación

En la distribución mostrada en la Figura 70 y dado el valor  $z = 5.108$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 41 se aportan los resultados del análisis.

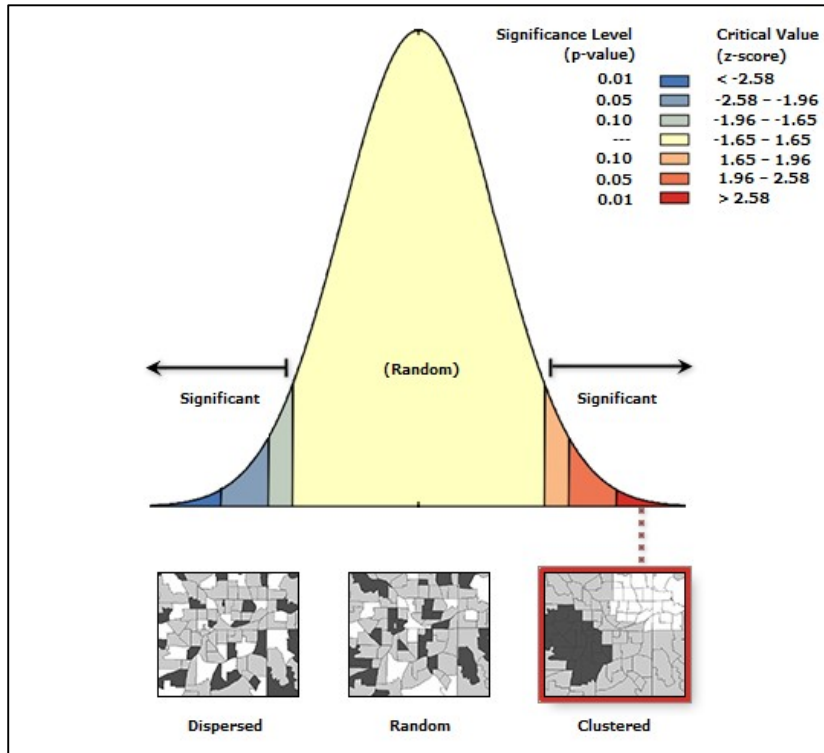


Figura 70 Tendencia al agrupamiento de los daños en cimentación

Índice de Moran:	0,069439
Índice esperado:	-0,002519
Varianza:	0,000198
puntuación z:	5,108952
p-valor:	0,000000

Tabla 41 Resumen del índice de Moran sobre los daños en cimentación

En la distribución mostrada en la Figura 71, y dado el valor  $z = 2.65738875836$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento de los valores elevados sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 42 se aportan los resultados del análisis.

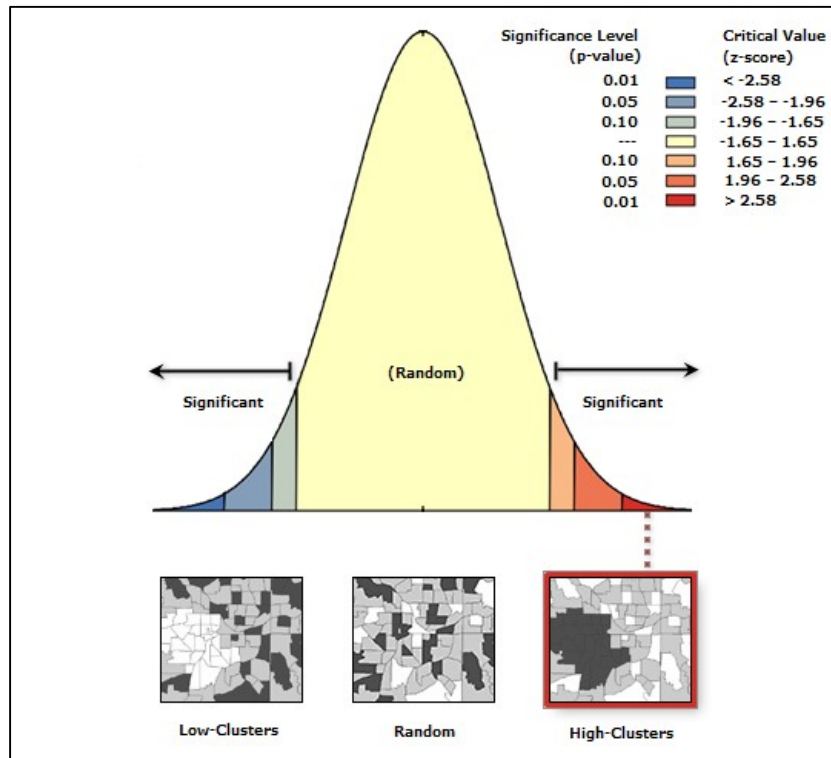


Figura 71 Tendencia al agrupamiento del número elevado de daños en cimentación

G General Observada:	0,002006
G General Esperada:	0,001373
Varianza:	0,000000
puntuación z:	2,657389
p-valor:	0,007875

Tabla 42 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en cimentación

4.3.2. Agrupación de daños sobre los muros

En la distribución mostrada en la Figura 72 y dado el valor  $z = 10.292$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 43 se aportan los resultados del análisis.

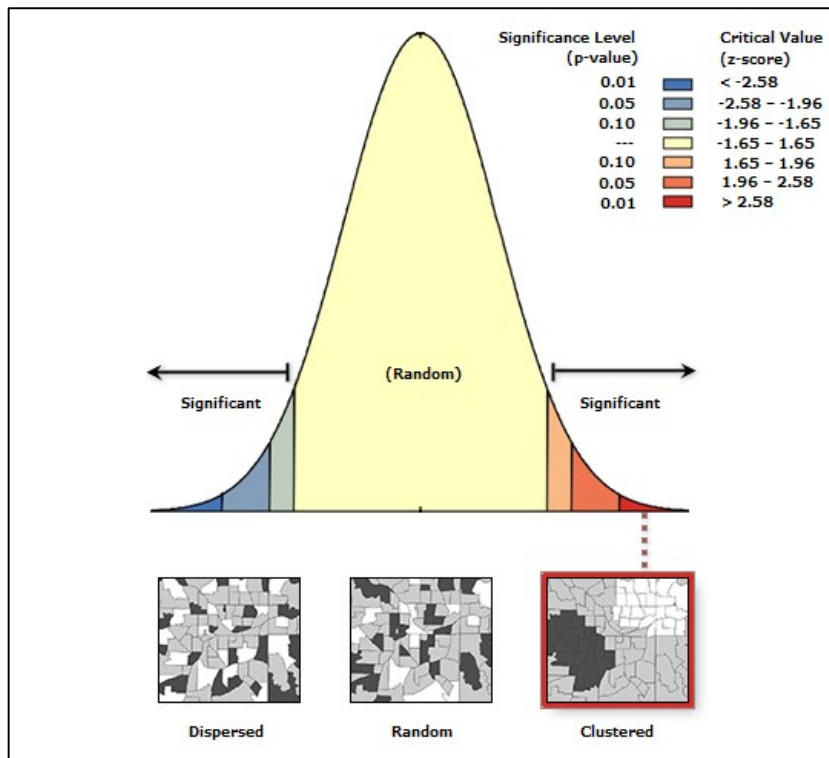


Figura 72 Tendencia al agrupamiento de los daños en muros

Índice de Moran:	0,143740
Índice esperado:	-0,002519
Varianza:	0,000202
puntuación z:	10,292058
p-valor:	0,000000

Tabla 43 Resumen del índice de Moran sobre los daños en muros

En la distribución mostrada en la Figura 87 y dado el valor  $z = 2.327$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento de los valores elevados sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 44 se aportan los resultados del análisis.

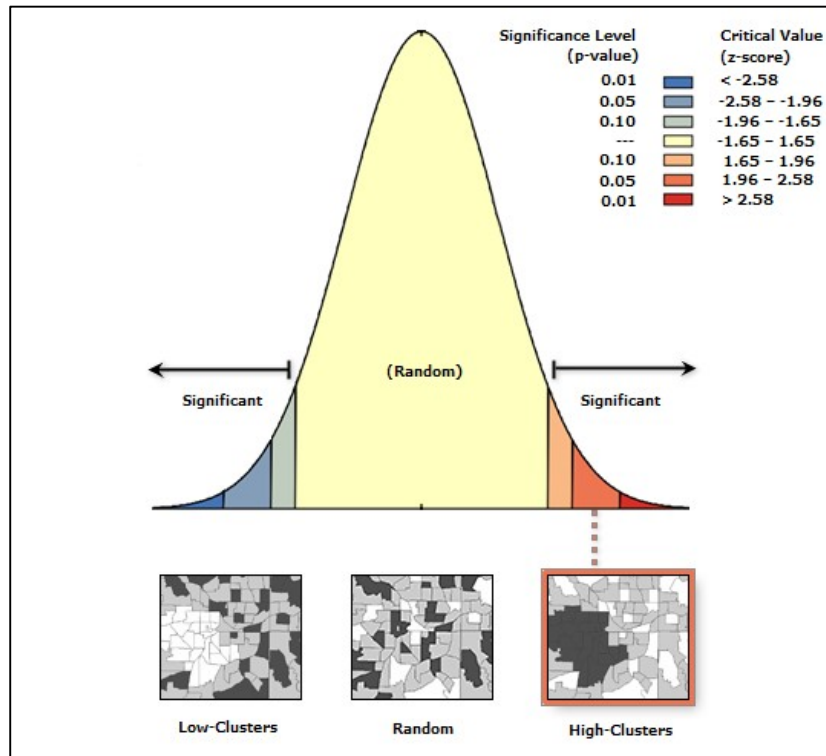


Figura 73 Tendencia al agrupamiento del número elevado de daños en muros

<b>G General Observada:</b>	0,001493
<b>G General Esperada:</b>	0,001373
<b>Varianza:</b>	0,000000
<b>puntuación z:</b>	2,327035
<b>p-valor:</b>	0,019963

Tabla 44 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en muros

4.3.3. Agrupación de daños sobre pilares

En la distribución mostrada en la Figura 74 y dado el valor  $z = 14.659$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 45 se aportan los resultados del análisis.

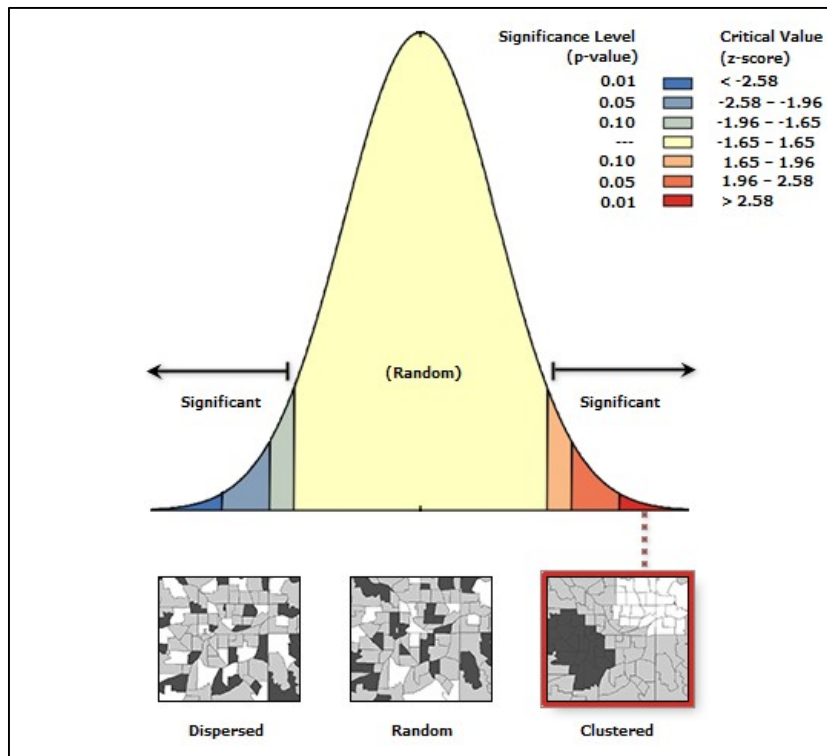


Figura 74 Tendencia al agrupamiento de los daños en pilares

Índice de Moran:	0,204899
Índice esperado:	-0,002519
Varianza:	0,000200
puntuación z:	14,659604
p-valor:	0,000000

Tabla 45 Resumen del índice de Moran sobre los daños en pilares

En la distribución mostrada en la Figura 75 y dado el valor  $z = 6.021$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento de los valores elevados sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 46 se aportan los resultados del análisis.

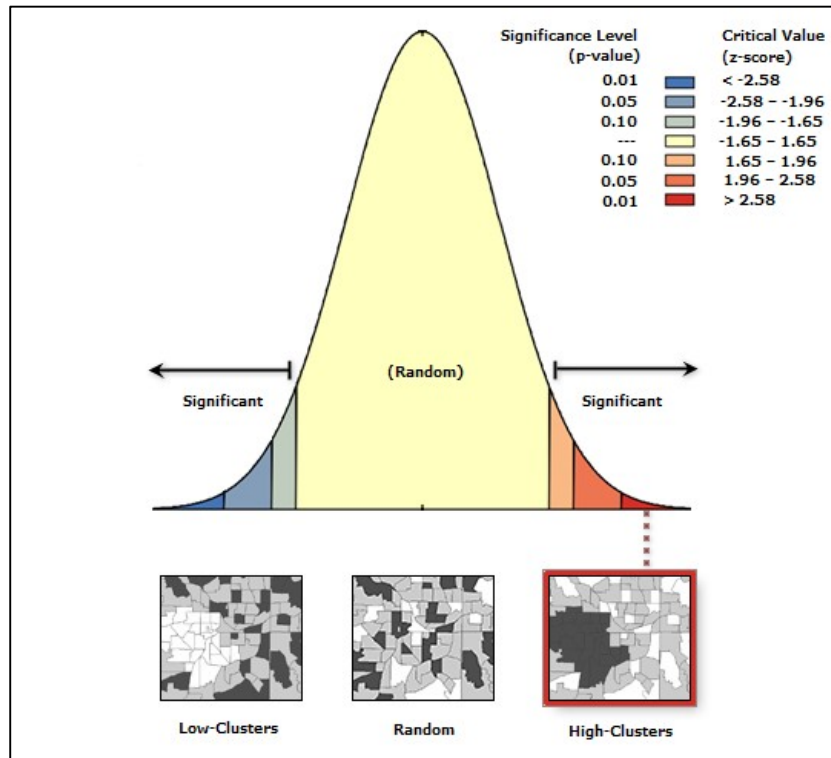


Figura 75 Tendencia al agrupamiento de los daños en pilares

<b>G General Observada:</b>	0,002390
<b>G General Esperada:</b>	0,001373
<b>Varianza:</b>	0,000000
<b>puntuación z:</b>	6,021395
<b>p-valor:</b>	0,000000

Tabla 46 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en pilares



4.3.4. Agrupación de daños sobre forjados

En la distribución mostrada en la Figura 76 y dado el valor  $z = 10.054$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 47 se aportan los resultados del análisis.

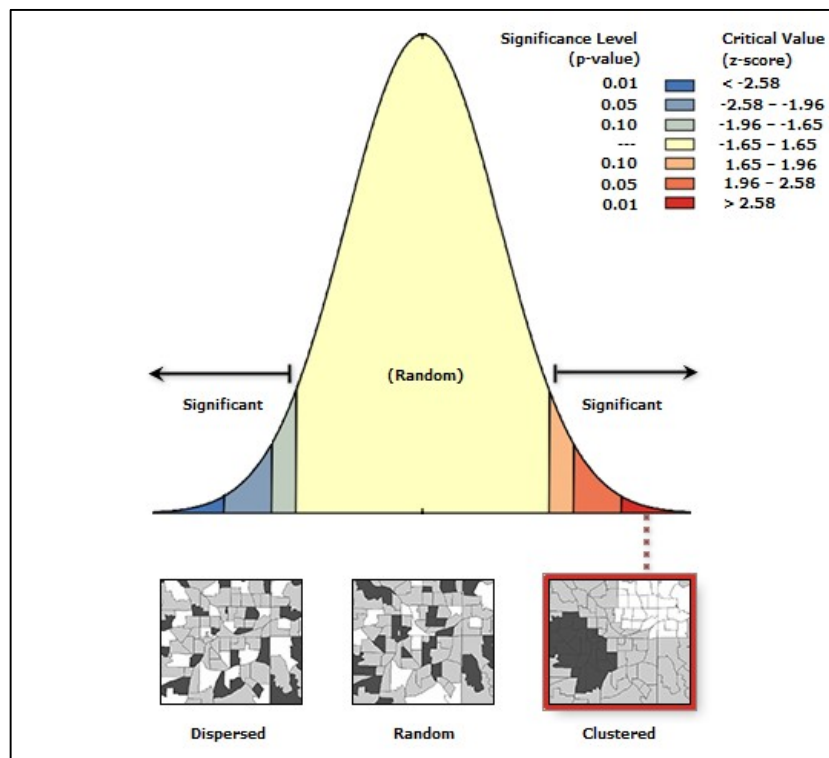


Figura 76 Tendencia al agrupamiento de los daños en forjados

Índice de Moran:	0,140331
Índice esperado:	-0,002519
Varianza:	0,000202
puntuación z:	10,054050
p-valor:	0,000000

Tabla 47 Resumen del índice de Moran sobre los daños en forjados

En la distribución mostrada en la Figura 77 y dado el valor  $z = 7.319$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento de los valores elevados sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 48 se aportan los resultados del análisis.

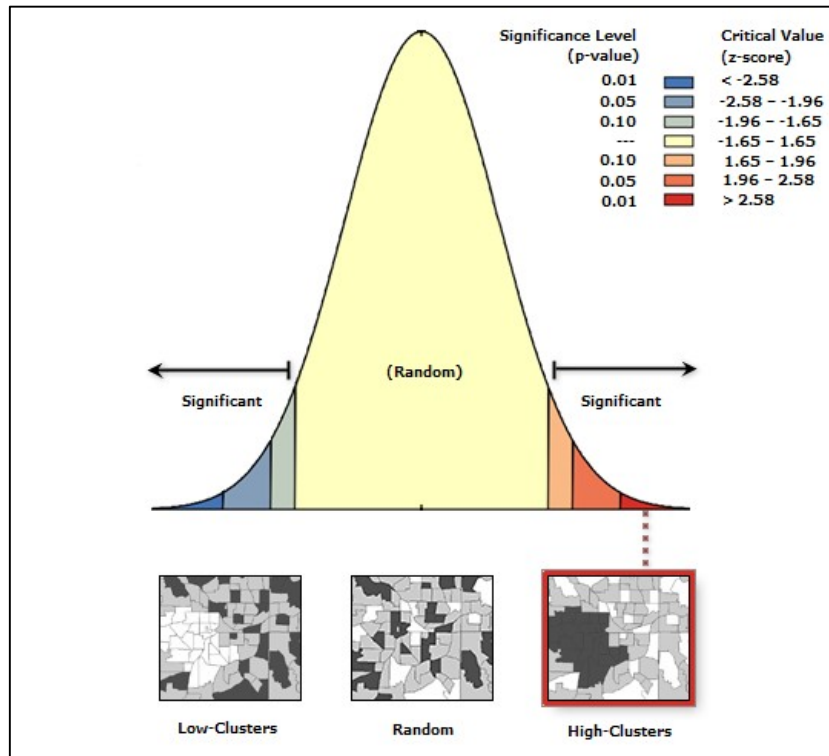


Figura 77 Tendencia al agrupamiento de los daños en forjados

<b>G General Observada:</b>	0,001836
<b>G General Esperada:</b>	0,001373
<b>Varianza:</b>	0,000000
<b>puntuación z:</b>	7,319363
<b>p-valor:</b>	0,000000

Tabla 48 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en forjados

4.3.5. Agrupación de daños sobre fachadas

En la distribución mostrada en la Figura 78 y dado el valor  $z = 6.838$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 49 se aportan los resultados del análisis.

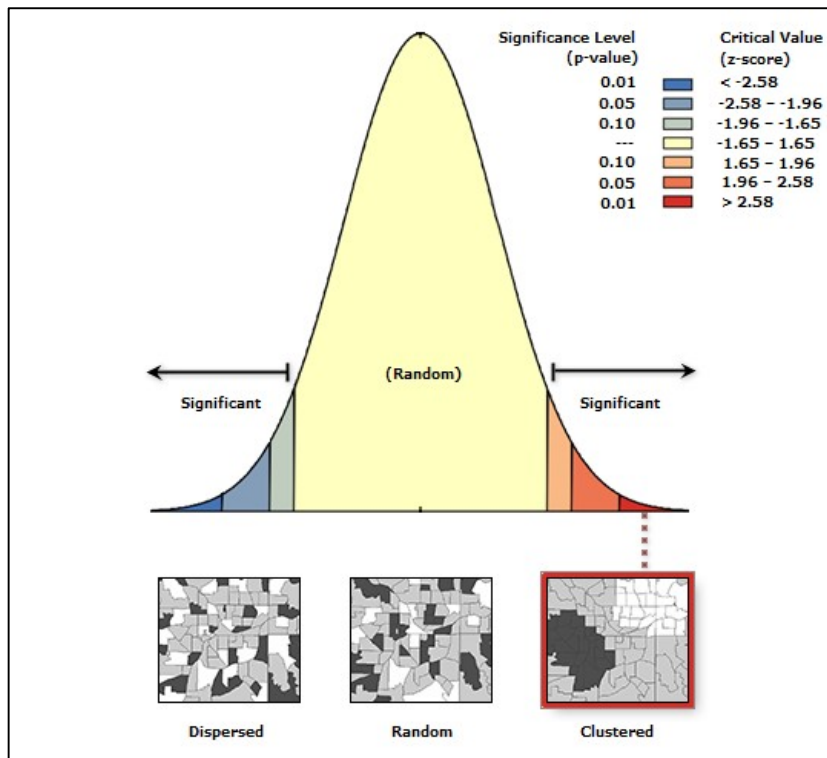


Figura 78 Tendencia al agrupamiento de los daños en fachadas

Índice de Moran:	0,093891
Índice esperado:	-0,002519
Varianza:	0,000199
puntuación z:	6,838212
p-valor:	0,000000

Tabla 49 Resumen del índice de Moran sobre los daños en fachadas

En la distribución mostrada en la Figura 77 y dado el valor  $z = 2.628$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento de los valores elevados sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 50 se aportan los resultados del análisis.

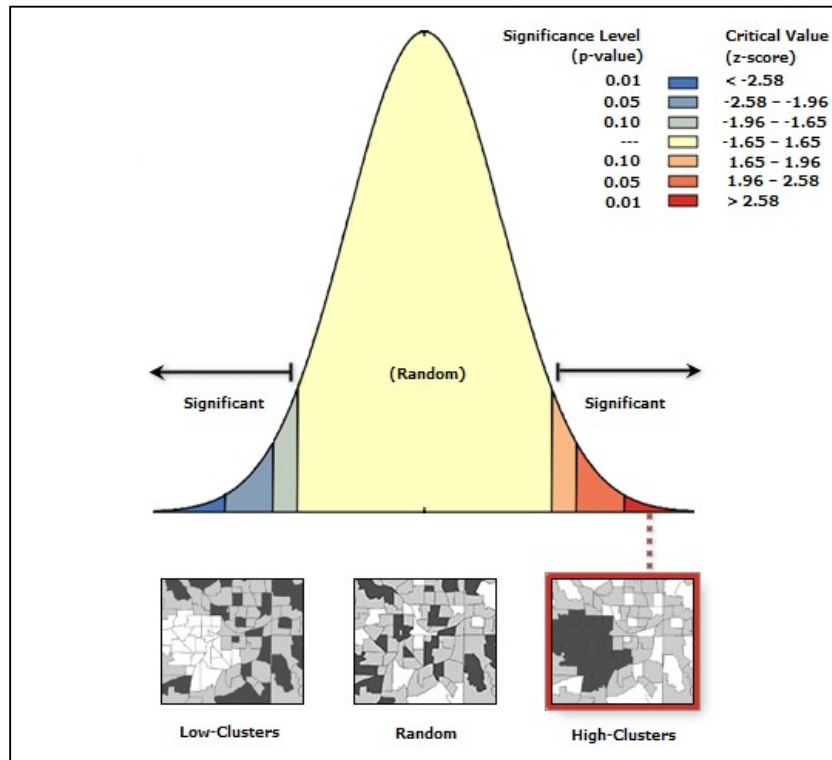


Figura 79 Tendencia al agrupamiento de los daños en fachadas

<b>G General Observada:</b>	0,001916
<b>G General Esperada:</b>	0,001373
<b>Varianza:</b>	0,000000
<b>puntuación z:</b>	2,628623
<b>p-valor:</b>	0,008573

Tabla 50 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en fachadas

4.3.6. Agrupación de daños sobre cubiertas

En la distribución mostrada en la Figura 80 y dado el valor  $z = 5.580$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 51 se aportan los resultados del análisis.

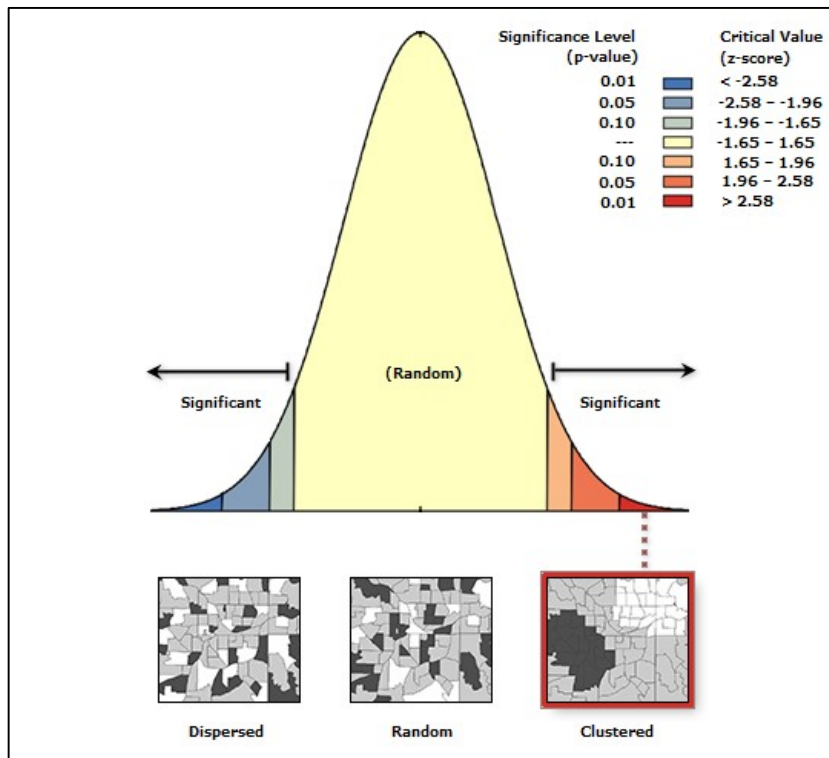


Figura 80 Tendencia al agrupamiento de los daños en cubiertas

Índice de Moran:	0,076750
Índice esperado:	-0,002519
Varianza:	0,000202
puntuación z:	5,580541
p-valor:	0,000000

Tabla 51 Resumen del índice de Moran sobre los daños en cubiertas

En la distribución mostrada en la Figura 81 y dado el valor  $z = 1.262$ , existe probabilidad de que la tendencia al agrupamiento de los valores elevados sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 52 se aportan los resultados del análisis.

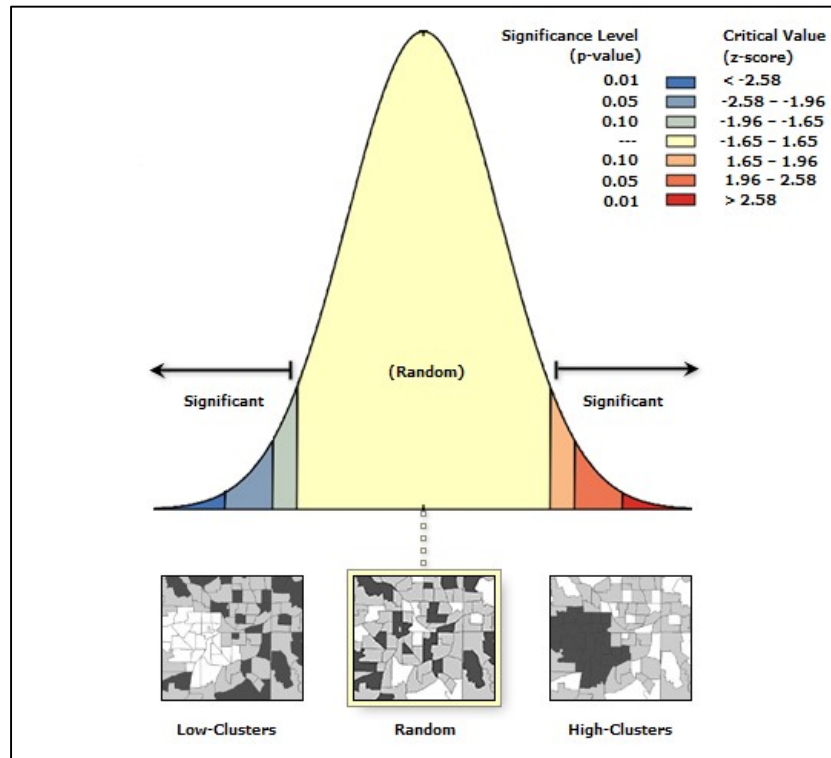


Figura 81 Tendencia al agrupamiento de los daños en cubiertas

<b>G General Observada:</b>	0,001468
<b>G General Esperada:</b>	0,001373
<b>Varianza:</b>	0,000000
<b>puntuación z:</b>	1,262141
<b>p-valor:</b>	0,206898

Tabla 52 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los daños en cubiertas

4.3.7. Agrupación de costes de demolición

En la distribución mostrada en la Figura 82 y dado el valor  $z = 7.410$ , existe menos del 1% de probabilidad de que la tendencia al agrupamiento sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 53 se aportan los resultados del análisis.

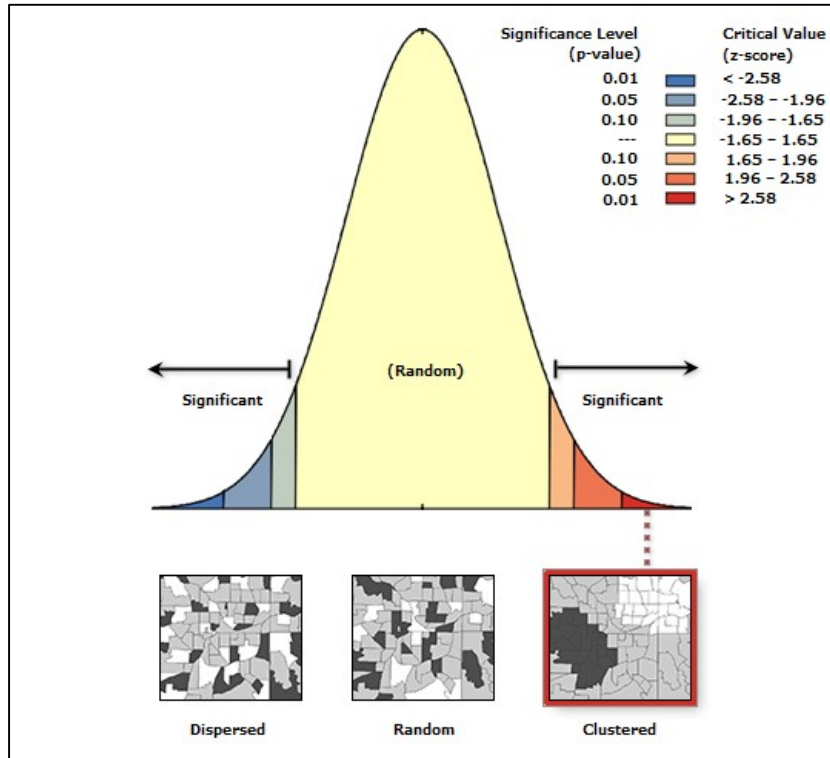


Figura 82 Tendencia al agrupamiento de los costes de demolición

Índice de Moran:	0,096223
Índice esperado:	-0,002519
Varianza:	0,000178
puntuación z:	7,410869
p-valor:	0,000000

Tabla 53 Resumen del índice de Moran sobre los costes de demolición

En la distribución mostrada en la Figura 83 y dado el valor  $z = 5.038$ , existe probabilidad de que la tendencia al agrupamiento de los valores elevados sea resultado de la aleatoriedad. En la Tabla 54 se aportan los resultados del análisis.

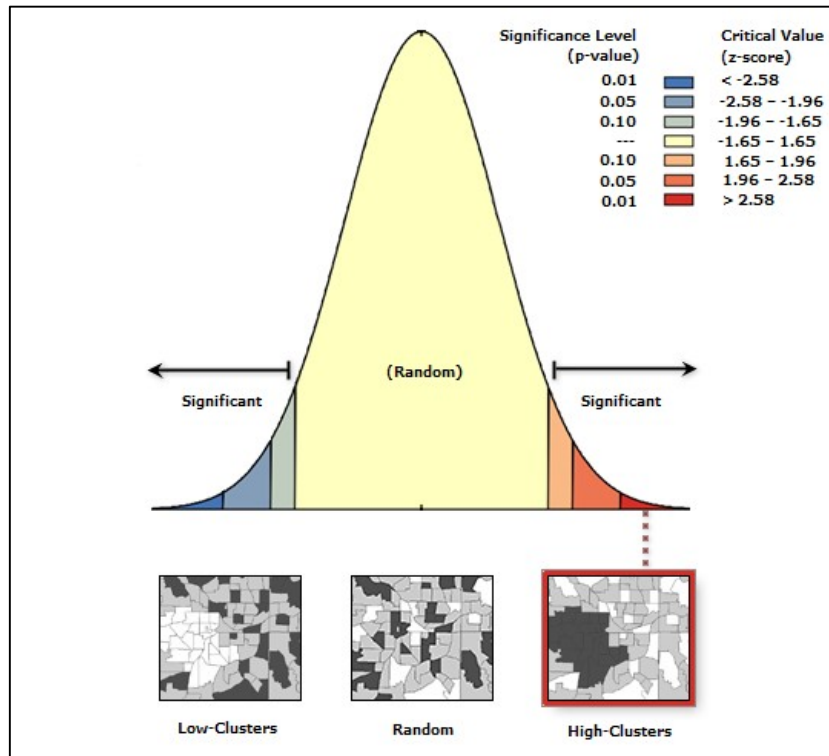


Figura 83 Tendencia al agrupamiento de los costes de demolición

G General Observada:	0,002254
G General Esperada:	0,001373
Varianza:	0,000000
puntuación z:	5,038344
p-valor:	0,000000

Tabla 54 Resumen del índice agrupamiento alto/bajo sobre los costes de demolición



El número de daños diferentes que presenta cada uno de los elementos analizados, tiene tendencia al agrupamiento de sus valores elevados alrededor de una localización concreta, salvo en lo relativo a las cubiertas en que tal tendencia al agrupamiento no se da sobre sus valores bajos o elevados sino de forma aleatoria.

Los edificios con costes de demolición elevados tienen tendencia al agrupamiento alrededor de una localización concreta.



## **5. CONCLUSIONES**



## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Dada la baja probabilidad de prever el momento y el lugar en el que ocurra, el terremoto ha obligado a todos los agentes implicados en este tipo de fenómenos a realizar su aportación. Desde la administración, las distintas universidades, colegios profesionales, etc., han acometido procesos de investigación que permitieran ahondar en el conocimiento del sismo como evento destructor y de la respuesta de estructuras e infraestructuras, así como llegar al adecuado nivel de formación específica de quienes tomarían parte en la gestión posterior. Esto ha generado gran cantidad de información, analizada en parte en este documento, y ha permitido incorporarla a la base de datos resultado de la investigación.

### 5.2. CONCLUSIONES

Como respuesta al **objetivo 1** planteado en el punto 1.3, se ha elaborado la base de datos y el sistema de información geográfica correspondiente a los 398 expedientes municipales de ruina tramitados en el Ayuntamiento de Lorca como consecuencia del terremoto de 2011 (conclusión 0). La base de datos<sup>129</sup> y el SIG<sup>130</sup> se incluyen en el CD adjunto a este documento, ordenando y clasificando los parámetros que contiene para ponerlo a disposición de la comunidad científica y poder continuar investigaciones con objetivos complementarios a los que ahora se han tratado, y cuyas conclusiones más relevantes son las que siguen a continuación.

Las conclusiones 1, 2, 3 y 4 dan cumplimiento al **objetivo 2** mencionado en el punto 3 del Capítulo 1:

- 1.- Se concluye que han sido 398 expedientes, existentes en el Ayuntamiento de Lorca, los puestos a disposición de esta investigación y analizados. Este análisis permite hacer una radiografía del tipo más frecuente de edificación afectada y de las características de los daños. Se

---

<sup>129</sup> En formato Access con extensión "\*.acddb".

<sup>130</sup> Sistema de Información Geográfica en archivo de Google Earth con formato "\*.kmz"

trata de una construcción unifamiliar (56.5% de los expedientes) de uso residencial (92.3%), de dos plantas sobre rasante (mediana de 2.0, correspondiendo el 83.5% de los expedientes a edificios de hasta 3 plantas), con grado de vulnerabilidad B (el 73.4% de los casos se corresponde con una vulnerabilidad elevada según la EMS-98), de una edad media de 63.8 años, dándose la circunstancia de que el 59.2% de los expedientes hacen referencia a construcciones anteriores a 1963. Su estructura se lleva a cabo mediante muros de carga (70.6% de los casos), con forjado unidireccional a base de viguetas de madera (51.0%) y cubierta inclinada (55.5%).

Como consecuencia de la serie sísmica de mayo de 2011 se provocan daños en la totalidad de los muros de carga, en más del 80% de los pilares de hormigón, en más del 90% de los forjados, en casi el 65% de las fachadas no estructurales y en algo más del 60% de las cubiertas.

Estos daños originaron los expedientes de ruina cuyo estudio dio lugar a esta investigación. El hecho de que el 65.8% sea de ruina inminente, está relacionado con la gravedad de las lesiones y la inminencia de los riesgos derivados de su estado.

Dado que esta investigación ha recopilado y descrito gran cantidad de información relativa a los daños, propone el camino hacia un lenguaje común entre todos los implicados en la gestión posterior del terremoto.

2.-Sobre los elementos estructurales verticales se pueden hacer estas apreciaciones. En los muros de carga aparece como daño más frecuente la fractura diagonal (presente en el 75.9% de los muros), acompañada del vuelco total (71.2%) y del agrietamiento vertical asociado a la pérdida de traba entre los muros de carga y los de arriostramiento (69.6%). En pilares aparecen principalmente grietas o fisuras inclinadas con desplazamiento del eje (en el 63.3% de los pilares) y aplastamientos (56%).

3.- En los forjados, la pérdida de nivel asociada a la deformación excesiva de viguetas por flexión (48.4% de los forjados) y acompañado de fisuras, tanto superiores con rotura del solado (32%) como inferiores marcando viguetas (27.5%) son los síntomas más habituales.

4.-En las cubiertas los daños más frecuentes son el derrumbe parcial (40.9%) y los desprendimientos en aleros (24%).

A continuación se presentan las conclusiones 5, 6, 7, 8 y 9 obtenidas sobre las asociaciones entre las características de los edificios y los daños que presentan, guardando relación con el **objetivo 3** que aparece en el punto 3 del Capítulo 1:

5.- Antigüedad y vulnerabilidad tienen influencia en los daños aparecidos en todos los elementos estructurales analizados, salvo en los forjados. Edificios con año de construcción posterior a 1963 y vulnerabilidad media están relacionados con una mayor frecuencia de daños en cimentaciones de hormigón, pilares y fachadas no estructurales. Sin embargo, en el caso de los daños de muros y cubiertas la asociación es de signo contrario.

6.- El número de plantas, el número de viviendas, el tipo de estructura y el tipo de cubierta se asocian con la existencia de daños en todos los elementos estructurales analizados. Edificios de una sola planta en viviendas unifamiliares con estructura muraria y cubierta inclinada se asocian con menor frecuencia de daños en cimentación, pilares, forjados y fachadas. En el caso de los daños en muros y cubiertas la asociación es de signo contrario.

7.- Los daños en cimentación están asociados con la antigüedad, el número de plantas, el número de viviendas, la vulnerabilidad, el tipo de estructura y el tipo de cubierta. Edificios posteriores a 1963, de 4 o más plantas<sup>131</sup>, con vulnerabilidad media<sup>132</sup>, estructura porticada de hormigón armado y cubierta plana, están asociados con mayor frecuencia de daños en cimentación.

8.- Los daños en muros y pilares están asociados con la antigüedad, el número de plantas, el número de viviendas, la vulnerabilidad, el tipo de estructura y el tipo de cubierta. Las características que para los daños en muros suponen menor frecuencia de daños, para los daños en pilares

---

<sup>131</sup> Con más de una vivienda.

<sup>132</sup> Tipos C y D.

suponen mayor frecuencia. Construcciones posteriores a 1963, de más de una planta, con más de una vivienda, vulnerabilidad media (C y D) y cubierta plana están asociados a mayor frecuencia de daños en pilares. Además, están relacionados con el tipo de terreno, de modo que en terrenos tipo II (bueno) se aprecia una mayor frecuencia de daños, dado que este tipo de terreno es el que más frecuentemente se da en los expedientes analizados (68.2% de los casos).

9.- Daños en forjados y cubiertas. La mayor frecuencia de daños en forjados está asociada con el emplazamiento del edificio en esquina, entre medianeras o terminal-doble esquina, con el uso residencial, con el hecho de que tenga más de una vivienda en 2 o más plantas sobre rasante, así como con el terreno tipo II (bueno) y con estructuras porticadas de hormigón armado y cubiertas planas. En el caso de las cubiertas, se observa mayor frecuencia de daños asociada a construcciones de 1963 y anteriores, a emplazamientos aislados, a edificios de una vivienda en una planta, a vulnerabilidad alta (A y B) y a estructuras murarias con cubiertas inclinadas.

Relacionado con el **objetivo 4** del punto 3 del Capítulo 1 se llega a la conclusión 10:

10.- Los daños tienen tendencia a agruparse en torno a determinadas localizaciones, demostrando que el efecto sitio tiene incidencia directa en los daños. El hecho de que exista una tendencia al agrupamiento alrededor de determinadas localizaciones de los expedientes que presentan valores elevados en el coste de demolición y en el número de daños de cada tipo<sup>133</sup>, alude a que existe una incidencia conjunta entre los factores relacionados con el efecto sitio y factores relativos a los tipos de construcción y su vulnerabilidad.

Los barrios en los que se dan un mayor porcentaje de expedientes de ruina son San Mateo (27.0%<sup>134</sup>; 19.1%<sup>135</sup>) y Santiago (14.6%<sup>134</sup>; 10.3%<sup>135</sup>). En el caso

---

<sup>133</sup> Salvo en el caso de las cubiertas.

<sup>134</sup> Con respecto al número de expedientes que se dan en los barrios (n=281).

<sup>135</sup> Con respecto al total de expedientes.



de las pedanías, Río (41.9%<sup>136</sup>; 12.3%<sup>135</sup>) y La Tercia (15.4%<sup>136</sup>; 4.5%<sup>135</sup>) acumulan el mayor porcentaje de expedientes.

Las localizaciones alrededor de las que se agrupan los daños dependen del elemento estructural que los sufre, y atendiendo a los mapas de densidad de daños se puede comprobar que son las siguientes:

- Vulnerabilidad: Barrios de San Mateo, Santiago, Parroquias Altas, Santa Quiteria y Diputación Río.
- Cimentaciones: Barrios de Sutullena, Santiago y La Viña.
- Muros: Barrios de San Mateo, Santiago, Santa Quiteria y Diputación Río.
- Pilares: Barrios de La Viña, Sutullena, San José y Santiago.
- Forjados: Barrios de San Mateo, Santiago y La Viña.
- Fachadas: Barrios de Sutullena, La Viña y San José.
- Cubiertas: Barrios de San Mateo, Santiago y Santa Quiteria.
- Costes de demolición: Barrios de La Viña, San Mateo, Santiago y Sutullena.

En relación con el **objetivo 5** del punto 3 del Capítulo 1 se obtiene la conclusión 11:

11.- Con respecto a la zona urbana de Lorca, se han recopilado datos relativos a los condicionantes urbanísticos y otros relativos a los tipos de suelo obtenidos mediante el SIG. La edificación más frecuente de las estudiadas está situada entre medianeras (39.9%), en suelo clasificado como urbano desde el punto de vista urbanístico (75.1%) y como tipo II (bueno)(68.2%) desde el punto de vista de su comportamiento sísmico (NCSE-02). La huella que el terremoto ha dejado en la ciudad hasta el momento de la realización de este estudio, es resultado de la demolición de 374 edificios (93.9%), de los que 191 (51.7%) han sido reconstruidos, mientras que 178 (48.3%) todavía permanecen como solares. 24 (6.1%) edificios todavía quedan en pie a la espera de demolición.

Las medidas urbanísticas existentes en la actualidad tras los cambios producidos por el terremoto, y mencionadas en el apartado 2.4 de este

---

<sup>136</sup> Con respecto al número de expedientes que se dan en las pedanías (n=117).

documento, no parecen definitivas ya que un nuevo Plan General de Ordenación Urbana está en proceso de estudio.

En las Tablas 55, 56 y 57 se aportan a modo de resumen las principales conclusiones obtenidas en relación a los objetivos planteados.

Objetivos	Conclusiones		Cuantificación
<b>1.- Catálogo edificios</b>	<b>0</b>	Base de datos y SIG en CD sobre 398 exptes.	
<b>2.- Causas de ruina/tipologías estructurales</b>	<b>1</b>	Ruina inminente	Más del 65% de exptes.
		Construcción unifamiliar residencial	56.0% - 92.3%
		2 plantas sobre rasante	83.5% hasta 3 plantas
		Grado de vulnerabilidad B (elevada)	Más del 70%
		Media de edad de 63.8 años	Casi 60% $\leq$ 1963
		Estructura de muros de carga	Más del 70%
		Forjado con viguetas de madera	Más del 50%
		Cubierta inclinada	Más del 55%
		Daños en muros de carga	100%
		Daños en pilares de hormigón armado	Más del 80%
	Daños en forjados	Más del 90%	
	Daños en fachadas no estructurales	Casi el 65%	
	Daños en cubiertas	Más del 60%	
	<b>2</b>	Fractura diagonal en muros	Más del 75%
		Grietas inclinadas con desplazamiento pilares	Más del 60%
	<b>3</b>	Pérdida de nivel-deform exces viguetas flexión	Casi el 50%
	<b>4</b>	Derrumbe parcial de cubiertas	Más del 40%

**Tabla 55 Resumen de conclusiones I**

Objetivos	Conclusiones		Cuantificación	
<b>3.- Asociación características edificios/daños</b>	5	Año >1963	> daños en ciment., pilares y fachadas no estruct. (< daños muros y cub.)	
		Vulnerabilidad media		
	6	Unifamiliares de 1 pta.	< daños en ciment, pilares, forj. y fach. (> daños muros y cubiertas)	
		Estructura muraria		
		Cubierta inclinada		
	7	> daños en cimentación	Año construcción	>1963
			Nº viviendas y plantas	> 1 vivienda y ≥ 4 ptas.
			Vulnerabilidad	Media (C y D)
			Estructura porticada H.A.	
			Cubierta plana	
	8	> daños en pilares (< daños en muros)	Año construcción	>1963
			Nº viviendas y plantas	> 1 vivienda y > 1 planta
			Vulnerabilidad	Media (C y D)
			Cubierta plana	
			Terreno tipo II	68.2% de los exptes.
	9	> daños en forjados	Emplazamiento	Esquina, medianeras o term.-doble esquina
			Nº viviendas y plantas	Más de 1 vivienda en 2 o más plantas
			Terreno tipo II (bueno)	
			Estructura de H.A.y cubierta plana	
		> daños en cubiertas	Año de construcción	≤1963
Emplazamiento			Aislado	
Nº viviendas y plantas			1 vivienda en 1 planta	
	Vulnerabilidad	Alta (A y B)		
	Estructura muraria y cubierta inclinada			

Tabla 56 Resumen de conclusiones II

Objetivos	Conclusiones		Cuantificación	
4.- Agrupación daños/localización	10	> % de expte. de ruina	San Mateo y Santiago	19.1% y 10.3% del total
		Agrupac. daños en cimentación	Sutullena, Santiago y La Viña	
		Agrupac. daños en muros	San Mateo, Santiago y Santa Quiteria	
		Agrupac. daños en pilares	La Viña, Sutullena, San José y Santiago	
		Agrupac. daños en forjados	San Mateo, Santiago y La Viña	
		Agrupac. daños en fachadas no estruct.	Sutullena, La Viña y San José	
		Agrupac. daños en cubiertas	San Mateo, Santiago y Santa Quiteria	
		Agrupac. coste demol.	La Viña y San Mateo	
		5.- Tipologías edificatorias/medio ambiente	11	Entre medianeras
Suelo urbano				Más del 75%
Terreno tipo II (bueno)				Más del 68%
Demolición de 374 edificios (93.9%)	Reconstruidos			191 (51.7%)
	Como solar			178 (48.3%)
	En pie			24 (6.1%)

**Tabla 57 Resumen de conclusiones III**

### 5.3. SÍNTESIS

Se han estudiado los 398 expedientes municipales de ruina derivados de los terremotos de mayo de 2011 y se ha concluido con un catálogo ordenado en formato digital, vinculando sus datos con un sistema de información geográfica. Se han analizado las causas, la relación entre las características de los edificios y los daños, la influencia del lugar y los factores de la tipología más adecuada con las exigencias urbanas de la ciudad.

El estudio ha permitido un análisis cuantitativo y cualitativo de los factores esenciales, resultando significativo entre otros, que el 100% de edificios presentaban daños en los muros, más del 80% de los edificios presentaban daños determinantes en pilares, casi el 60% de los edificios era anterior a 1963 y casi el 85% de los edificios disponía de hasta 3 plantas de altura.

La pérdida de todos los edificios demolidos dejó una huella en la memoria del medio ambiente urbano de Lorca que este trabajo ha podido recuperar parcialmente.

#### 5.4. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La información recopilada, ordenada y clasificada en este trabajo abre la puerta a nuevas investigaciones que amplíen y complementen el estado del conocimiento en esta materia. Las posibles nuevas líneas de investigación podrían centrarse en los siguientes campos:

- 1.- Análisis de la asociación entre otras características de los edificios, diferentes a las tenidas en cuenta en este estudio, y los daños sufridos.
  
- 2.- Incorporación de los datos recopilados a una base de datos de semejante configuración, realizada sobre edificios de Lorca existentes en el momento del terremoto, que tenga en cuenta tanto edificios reparados como no afectados, estableciendo un muestreo que permita obtener conclusiones sobre el comportamiento del parque inmobiliario global de la ciudad y que incluso permita corregir los estudios de vulnerabilidad existentes en base a un evento destructor ocurrido.
  
- 3.- Análisis comparativo de las nuevas tipologías edificatorias construidas en los solares resultantes de las demoliciones realizadas en base a los expedientes de ruina contemplados en este trabajo, con las anteriormente existentes.



**REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS**





**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

*Access.* (2010). Microsoft Corporation.

Alcalá, F., Navarro, M., García-Jerez, A., Vidal, F., Creus, C., & Enomoto, T. (2012).

*Geología de la ciudad de Lorca (Murcia, España). Base para evaluar el riesgo sísmico.*

Álvarez Cabal, R., Díaz-Pavón Cuaresma, E., & Rodríguez Escribano, R.,. (2013). *El*

*Terremoto de Lorca: Efectos en los edificios.* Recuperado de

[https://www.conorseguros.es/web/documents/10184/0/libro\\_lorca\\_ingles.pdf/306](https://www.conorseguros.es/web/documents/10184/0/libro_lorca_ingles.pdf/306)

0646d-5a39-49d9-b333-ad1fd203d46d

*ArcGis Desktop 10.5.* (s. f.). Esri Inc.

Aretxabala Díez, A., & Sanz Larrea, C. (2012, septiembre). *Reconsidering Urban*

*Planning in Spain after the Lorca Earthquake (11th May 2011).* Presentado en

15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.

Ayala García, A. B. (2017). *Influencia del planeamiento urbanístico en el riesgo sísmico a*

*escala urbana.* UCAM, Murcia.

Ayuntamiento de Lorca. (2017, marzo 27). Barrios de Lorca. Recuperado 27 de marzo de

2017, de <http://datos.lorca.es/catalogo/barrios-lorca>

Barbat, B., Alejandro, H., Yépez Moya, F., Torres, C., & Antonio, J. (2009). *Simulación*

*de escenarios de daño sísmico en zonas urbanas.* Recuperado de

<http://upcommons.upc.edu/handle/2099/7823>

- Basset-Salom, L., & Guardiola-Villora, A. (2014). Seismic performance of masonry residential buildings in Lorca's city centre, after the 11th May 2011 earthquake. *Bulletin of earthquake engineering*, 12(5), 2027-2048.
- Benito Oterino, B., Rivas Medina, A., Gaspar Escribano, J. M., & Murphy, P. (2012). El Terremoto de Lorca (2011) en el contexto de la peligrosidad y el riesgo sísmico en Murcia. *Física de la Tierra*, (24), 255-287.
- Bostenaru Dan, M., Armas, I., & Goretti, A. (Eds.). (2014). *Earthquake Hazard Impact and Urban Planning*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7981-5>
- Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2010). Computational Tool for Post-Earthquake Evaluation of Damage in Buildings. *Earthquake Spectra*, 26(1), 63-86. <https://doi.org/10.1193/1.3282885>
- Carreño Tibaduiza, M. L., Lantada Zarzosa, N., Irizarry, J., Valcarcel, Jairo. A., Barbat, A. H., & Goula Suriñach, X. (2013). Comportamiento Sísmico de los Edificios de Lorca. *Física de la Tierra*, 24(0). [https://doi.org/10.5209/rev\\_FITE.2012.v24.40142](https://doi.org/10.5209/rev_FITE.2012.v24.40142)
- Cuevas, J. P., Pagán, P. M., Manteca, I. A., Cánovas, M., & Quiles, F. S. (2013). Aplicación del método MASW para estudios sobre microzonificación sísmica en la ciudad de Lorca-España. *Jornadas de introducción a la investigación de la UPCT*, (6), 43-45.
- De Martino, G., Di Ludovico, M., Prota, A., Moroni, C., Manfredi, G., & Dolce, M. (2017). Estimation of repair costs for RC and masonry residential buildings based on damage data collected by post-earthquake visual inspection. *Bulletin of*

- Earthquake Engineering*, 15(4), 1681-1706. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0039-9>
- Dirección General del Catastro. (s. f.). Sede electrónica del catastro. Recuperado de <https://www1.sedecatastro.gob.es/OVCFrames.aspx?TIPO=CONSULTA>
- Documentos CTE. (2017, marzo 27). Recuperado 27 de marzo de 2017, de <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte>
- Dolce, M., Kappos, A., Masi, A., Penelis, G., & Vona, M. (2006). Vulnerability assessment and earthquake damage scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) using Italian and Greek methodologies. *Engineering Structures*, 28(3), 357-371. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.08.009>
- Dolce, M., Masi, A., & Marino, M. (2003). Earthquake Damage Scenarios of the Building Stock of Potenza (Southern Italy) Including Site Effects. *Bulletin of Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1023/A:1024809511362>
- Domínguez, D., López-Almansa, F., & Benavent-Climent, A. (2014). Comportamiento, para el terremoto de Lorca de 11-05-2011, de edificios de vigas planas proyectados sin tener en cuenta la acción sísmica. *Informes de la Construcción*, 66(533), e008. <https://doi.org/10.3989/ic.12.092>
- Dragomir, C. S., Georgescu, E. S., & Borcia, I. S. (2012, septiembre). *A system for interdisciplinary assessment of earthquake effects on buildings and infrastructures*. Presentado en 15th world conference on earthquake engineering, Lisbon, Portugal.

- Elwood, K. J., Marquis, F., & Kim, J. H. (2015, noviembre). *Post-earthquake assessment and repairability of RC buildings: lessons from Canterbury and emerging challenges*. 218.1-218.9. Sydney, Australia.
- España, & Ministerio de Fomento. (2009). *Norma de construcción sismorresistente, parte general y edificación: (NCSE-02)*. Madrid: Ministerio de Fomento, Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.
- Estudio de Microzonación Sísmica de Lorca - Destacados - SitMurcia. (2017, marzo 23). Recuperado 24 de marzo de 2017, de <http://sitmurcia.carm.es/-/jornada-tecnica-de-presentacion-11-05-2015-de-la-microzonacion-sismica-de-lorca>
- Excel*. (2010). Microsoft Corporation.
- Ferliche, M. (2008). *Daños sísmicos en construcciones y su clasificación en la EMS-98*.
- Ferliche, M., Vidal, F., Alguacil, G., & Navarro, M. (2012). Daños causados en construcciones de Lorca por la serie sísmica de 2011. *Libro homenaje a la Prof. M<sup>a</sup> Dolores Romacho*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Mercedes\\_Ferliche/publication/259199193\\_DANOS\\_CAUSADOS\\_EN\\_CONSTRUCCIONES\\_DE\\_LORCA\\_POR\\_LA\\_SERIE\\_SISMICA\\_DE\\_2011/links/0046352a6d80b0a5ff000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mercedes_Ferliche/publication/259199193_DANOS_CAUSADOS_EN_CONSTRUCCIONES_DE_LORCA_POR_LA_SERIE_SISMICA_DE_2011/links/0046352a6d80b0a5ff000000.pdf)
- Frías Díaz de la Cruz, A., Guzmán Asensio, J. A., & Alhama, I. (2015). *Evaluación rápida de daños en emergencias: protocolos de activación y actuación del grupo de evaluación de daños*. Murcia: Comunidad Autónoma Región de Murcia, Dirección General de Seguridad Ciudadana y Emergencia.
- Frías Díaz de la Cruz, A., Guzmán Asensio, J. A., Alhama, I., (Autónoma), M. (Comunidad, & Emergencias, D. G. de S. C. y. (2015). *Evaluación rápida de*

*daños en emergencias: protocolos de activación y actuación del grupo de evaluación de daños*. Murcia: Comunidad Autónoma Región de Murcia, Dirección General de Seguridad Ciudadana y Emergencia.

García Sende, N. (2011). *Análisis del comportamiento sísmico de edificios de hormigón armado: comparación entre un edificio porticado y uno de forjado reticular sometido al sismo de Lorca*. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13937>

García-Ayllón, S., & Tomás, A. (2014). The new sismimur plan: seismic urban planning in the region of murcia (spain) after the earthquake of may 11, 2011. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 4(2), 116-134. <https://doi.org/10.2495/SAFE-V4-N2-116-134>

Garrocho, C., Campos-Alanís, J., & Chávez-Soto, T. (2018). Análisis espacial de los inmuebles dañados por el sismo 19S-2017 en la Ciudad de México. *Salud Pública de México*, 60(Supl.1), 31. <https://doi.org/10.21149/9238>

Giner-Caturla, J. J., Jauregui-Eslava, P. J., Delgado-Marchal, J., Rosa-Herranz, J., & Soler-Llorens, J. L. (2017). *Zonación sísmica del casco urbano de Lorca, elaborada con valores de los parámetros  $V_{s30}$  y  $C$  obtenidos por medio de microtremores de refracción* The urban seismic zonation of Lorca, made with values of parameters  $V_{s30}$  and  $C$  obtained through refraction microtremors. Recuperado de <https://web.ua.es/urs/sismosurs/Publicaciones/Congresos/2012%20-%207AHPGG%20->

%20Zonaci%C3%B3n%20s%C3%ADsmica%20del%20casco%20urbano%20de  
%20Lorca.pdf

Gizzi, F. T., & Masini, N. (2009). Damage scenario of the earthquake on 23 July 1930 in Melfi: the contribution of technical documentation. *Annals of Geophysics*, (5).

<https://doi.org/10.4401/ag-3365>

Gómez-Martínez, F., Pérez-García, A., De Luca, F., & Verderame, M. (2015).

Comportamiento de los edificios de HA con tabiquería durante el sismo de Lorca de 2011: aplicación del método FAST. *Informes de la Construcción*, 67(537), e065. <https://doi.org/10.3989/ic.12.110>

González López S.,. (2017). *Secuencia sísmica de Lorca: análisis de consecuencias y actuaciones de emergencia y post-emergencia*. Recuperado de

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4186559>

González Martín, J. M. (2014). *Catálogo patológico de edificaciones en el casco histórico de la ciudad de Burgos*. Recuperado de [http://0-](http://0-site.ebrary.com.fama.us.es/lib/unisev/Doc?id=10995401)

[site.ebrary.com.fama.us.es/lib/unisev/Doc?id=10995401](http://0-site.ebrary.com.fama.us.es/lib/unisev/Doc?id=10995401)

Guevara, J. B. M. (2011). Sismos Del 11 De Mayo De 2011 En Lorca. Recuperado 16 de marzo de 2017, de Papeles de Geografía website:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40721572014>

Hair, J. F., & Gómez Suárez, M. (2010). *Análisis multivariante*. Madrid: Prentice-Hall.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2007). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.

Infraestructura de datos espaciales de la Región de Murcia. (s. f.). Recuperado de

<http://sitmurcia.carm.es/>

- Karimzadeh, S., Miyajima, M., Hassanzadeh, R., Amiraslanzadeh, R., & Kamel, B. (2014). A GIS-based seismic hazard, building vulnerability and human loss assessment for the earthquake scenario in Tabriz. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 263-280. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.06.026>
- Leite, J., Lourenco, P. B., & Ingham, J. M. (2013). Statistical Assessment of Damage to Churches Affected by the 2010–2011 Canterbury (New Zealand) Earthquake Sequence. *Journal of Earthquake Engineering*, 17(1), 73-97. <https://doi.org/10.1080/13632469.2012.713562>
- Martínez Cuevas, S. (2014a). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana basada en tipologías constructivas y disposición urbana de la edificación. Aplicación en la ciudad de Lorca, región de Murcia* (Phd, E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía (UPM)). Recuperado de <http://oa.upm.es/30447/>
- Martínez Cuevas, S. (2014b). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana basada en tipologías constructivas y disposición urbana de la edificación. Aplicación en la ciudad de Lorca, región de Murcia* (Phd, E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía (UPM)). Recuperado de <http://oa.upm.es/30447/>
- Martínez Cuevas, S., Morillo Balsera, M. C., Cervera Bravo, J., Benito Oterino, B., San Millán Escribano, M., Gaspar-Escribano, J., & Torres Fernández, Y. (2015). *Evaluación de los modificadores por comportamiento urbanos que afectan al daño en los terremotos. Aplicación al terremoto de Lorca*. Conference presentado en Congreso Internacional sobre intervención en obras arquitectónicas tras sismo L?aquila (2009), Lorca (2011) y Emilia Romagna (2012), Murcia. Recuperado de

[http://eventos.ucam.edu/event\\_detail/1619/detail/congreso-internacional-sobre-intervencion-en-obras-arquitectonicas-tras-sismo\\_-land39;aquila-2009-l.html](http://eventos.ucam.edu/event_detail/1619/detail/congreso-internacional-sobre-intervencion-en-obras-arquitectonicas-tras-sismo_-land39;aquila-2009-l.html)

Martínez Solares, J. M., Cantavella Nadal, J. V., Cabañas Rodríguez, L., & Valero

Zornosa, J. F. (2013). El terremoto de Lorca de 11 de mayo de 2011 y la sismicidad de la región. *Física de la Tierra*, 24(0).

[https://doi.org/10.5209/rev\\_FITE.2012.v24.40130](https://doi.org/10.5209/rev_FITE.2012.v24.40130)

Martínez-Pagán, P., Navarro, M., Pérez-Cuevas, J., Alcalá, F. J., García-Jerez, A., &

Sandoval-Castaño, S. (2014). Shear-wave velocity based seismic microzonation of Lorca city (SE Spain) from MASW analysis. *Near Surface Geophysics*, 12(2046). <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2014032>

Microsoft. (s. f.). Microsoft Access (Versión 14.0.7177.5000 (32 bits)).

Murcia (Comunidad Autónoma), & Consejería de Obras Públicas y Ordenación del

Territorio. (2012). *Guía para la definición de una estrategia antisísmica en el proyecto de edificios de nueva planta ; Guía para la definición de una estrategia antisísmica en el proyecto de edificios de nueva planta. Ejemplos de aplicación*. Murcia: Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio.

Navarro, M., García-Jerez, A., Alcalá, F.J., Vidal, F., Aranda, C., & Enomoto, T. (2012, septiembre). *Analysis of site effects, buildings response and damage distribution observed due the 2011 Lorca, Spain, Earthquake*. Presentado en 15Th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal. Recuperado de [https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_3537.pdf](https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_3537.pdf)

Nieto Masot, A. (2016). *Tecnologías de la información geográfica en el análisis espacial: aplicaciones en los sectores público, empresarial y universitario*. Cáceres: Grupo



- de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura Grupo de Investigación Geo-Ambiental de la Universidad de Extremadura.
- Paultre, P., Lefebvre, G., Devic, J.-P., & Côté, G. (1993). Statistical analyses of damages to buildings in the 1988 Saguenay earthquake. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20(6), 988-998. <https://doi.org/10.1139/l93-130>
- Ramón Álvarez Cabal, Eduardo, D.-P. C., & Raúl, R. E. (2013). *El Terremoto de Lorca: Efectos en los edificios*. [Madrid]: Consorcio de Compensación de Seguros.
- Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Martín-González, F., Giner-Robles, J.L., & Silva, P.G. (2012). Efectos arquitectónicos del terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011. Neoformación y reactivación de efectos en el Patrimonio Cultural. *Boletín Geológico y Minero*, 123(4), 487-502.
- Roldán Ruiz, J. (2012). *Experiencias para un protocolo técnico de actuación tras terremotos: los movimientos sísmicos de Lorca del 11 de mayo de 2011*. Murcia: Universidad Católica San Antonio, Cátedra de Estructuras Arquitectónicas.
- Roldán Ruiz, J., Pérez Millán, I., & Soriano García, D. (2015). *Procedimientos de actuación global tras terremotos (PAG)*.
- Rueda, O. J. G., & Rondón, E. M. (2005). Estudio analítico de los efectos de la torsión natural en el comportamiento de edificios de varios pisos torsionalmente desbalanceados ante sollicitaciones sísmicas. Recuperado 17 de marzo de 2017, de Ingeniería y Desarrollo website: <http://uag.redalyc.org/articulo.oa?id=85201709>
- Salcedo Hernández, J.C., & Campesino Fernández, A.J., (2012). *Experiencias constructivas del terremoto de Lorca*. Recuperado de

<http://www.cervantesvirtual.com/obra/experiencias-constructivas-del-terremoto-de-lorca/dcd83628-2dc6-11e2-b417-000475f5bda5.pdf>

Salgado-Gálvez, M. A., Carreño, M. L., Barbat, A. H., & Cardona, O. D. (2016).

Evaluación probabilista del riesgo sísmico en Lorca mediante simulaciones de escenarios. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 32(2), 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2014.12.001>

SPSS Statistics (Versión 24). (s. f.). IBM.

Vara Moral, M. (2010). *Fenómenos naturales y antrópicos (MF0403)*. Madrid: GPS.

Vidal, T. S., Rodríguez, L. C., Suriñach, X. G., Camino, J. M. A., & Belvaux, M. (2012).

Análisis de los parámetros de los acelerogramas registrados en los seísmos de Lorca, de interés para la Ingeniería. *Física de la Tierra*, 24(0), 213-234. [https://doi.org/10.5209/rev\\_FITE.2012.v24.40139](https://doi.org/10.5209/rev_FITE.2012.v24.40139)

Vila, S. F., Roig, A. M., Belvaux, M., Tarres, M. P., Moreno, B. B., Gasa, A. G., ...

Suriñach, X. G. (2012). Caracterización de efectos sísmicos locales en la ciudad de Lorca. *Física de la Tierra*, 24(0), 235-254. [https://doi.org/10.5209/rev\\_FITE.2012.v24.40140](https://doi.org/10.5209/rev_FITE.2012.v24.40140)

**ANEXO I**  
**GRÁFICOS SOBRE OTROS**  
**ASPECTOS RELEVANTES**



## **ANEXO I. GRÁFICOS SOBRE OTROS ASPECTOS RELEVANTES**

### **AI.1. INTRODUCCIÓN**

En este anejo se disponen los gráficos correspondientes a los datos de relevancia que figuran en la base de datos y que no han sido objeto del análisis realizado en el apartado 3 y por lo tanto tratados con menor rigor<sup>1</sup>, pero que pueden aportar claridad sobre aspectos de interés relacionados con el tema de estudio y sobre todo suponer la base para plantear nuevas líneas de investigación.

Para su mejor comprensión se van a estructurar en base al origen de su contenido en los apartados que vienen a continuación y sólo se han comentado los aspectos de mayor relevancia.

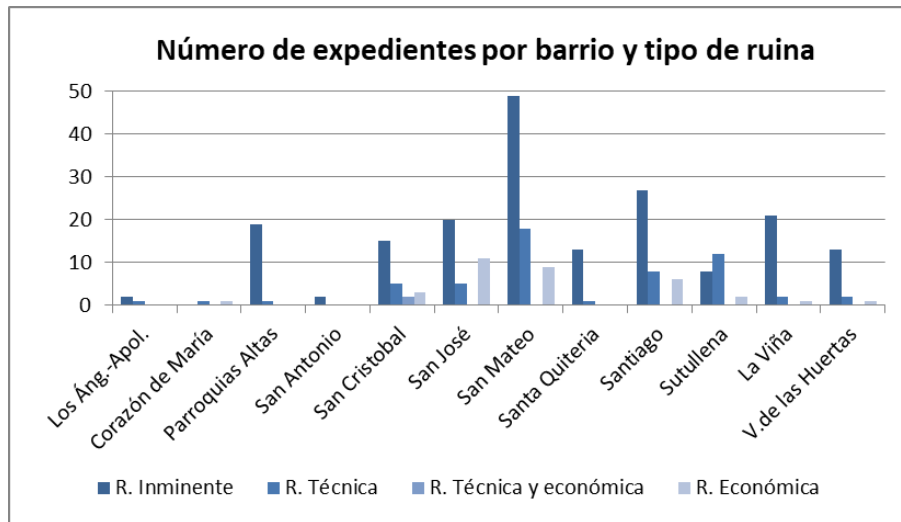
### **AI.2. DATOS GENERALES Y DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL**

Se presentan a continuación datos referentes a la ubicación y a la configuración estructural de los diferentes edificios.

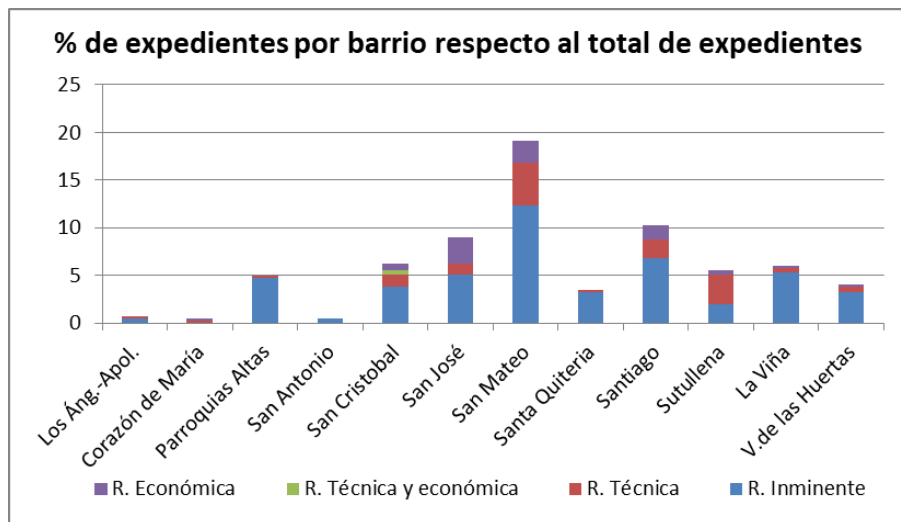
---

<sup>1</sup> Se aportan datos sobre número de expedientes y porcentajes, así como valores medios sin aportar su dispersión, ya que eso ha sido objeto del tratamiento estadístico en el apartado correspondiente.

**AI.2.1. Distribución de expedientes, número de edificios, portales y viviendas por tipo de ruina y barrio-pedanía**



**Figura 84 Número de expedientes por barrio y tipo de ruina**



**Figura 85 Porcentaje de expedientes por barrio y tipo de ruina con respecto al total**

Según la Figura 84 y la Figura 85, en los barrios, la proporción de expedientes de ruina inminente supera al resto salvo en el caso del barrio de Sutullena. El barrio de San Mateo es el que acumula mayor cantidad de expedientes.

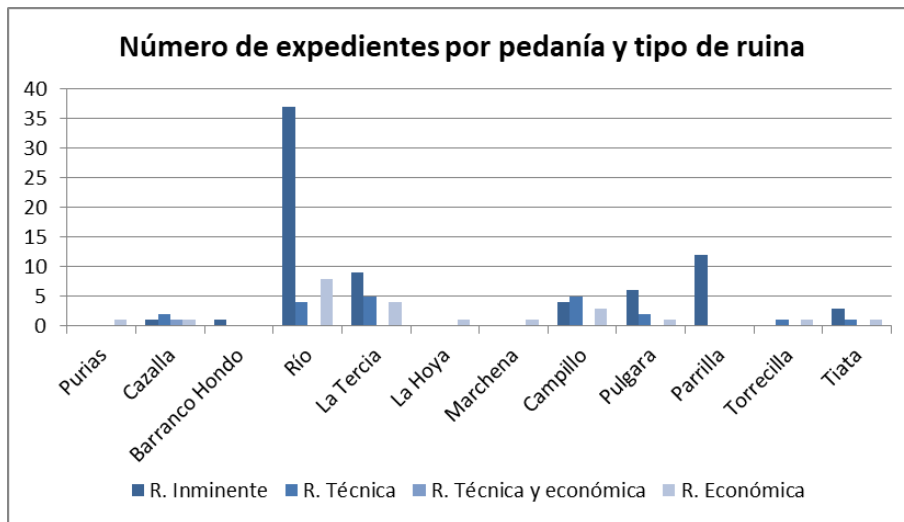


Figura 86 Número de expedientes por pedanía y tipo de ruina

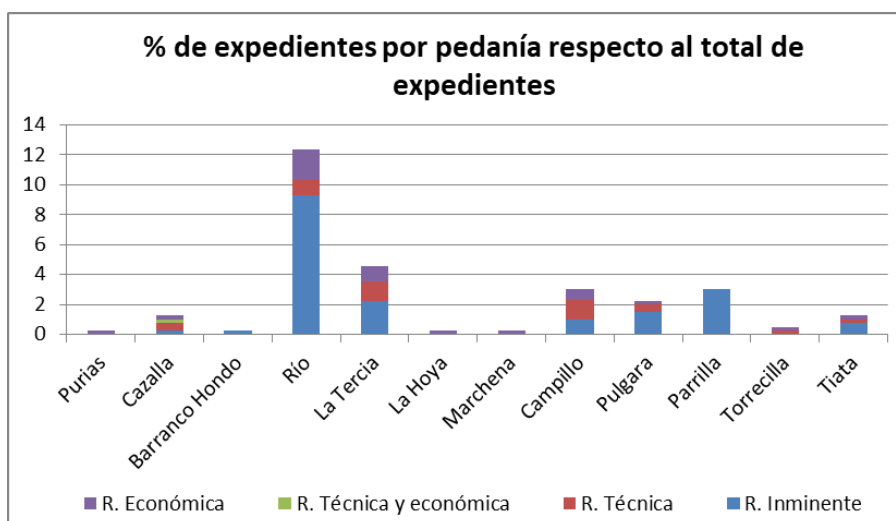
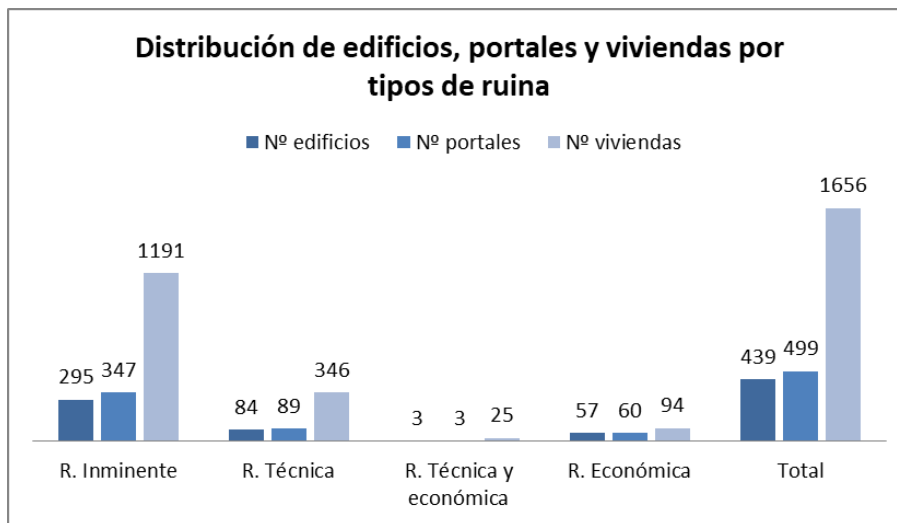


Figura 87 Porcentaje de expedientes por pedanía y tipo de ruina con respecto al total

Según las Figura 86 y 87, en las pedanías la ruina inminente también supera al resto, salvo en los casos de las diputaciones Campillo y Cazalla, en las que la ruina técnica es ligeramente superior. Con respecto al total de expedientes de ruina se nota un repunte en la pedanía de Río.

Los expedientes de ruina hacen referencia tanto a edificios o construcciones únicas como a aquellos que pertenecen a algún tipo de agrupación. En la fase de interpretación de la información existente en los expedientes no siempre ha resultado fácil discernir cuándo se trataba de un edificio o de agrupaciones de edificios. Por ello se ha creído conveniente reflejar el número de edificios, así como el número de portales de acceso al edificio según la Figura 88.



**Figura 88 Número edificios, portales y viviendas en función del tipo de ruina**

De la Figura 89 a la 92 se muestran el número de edificios, portales y viviendas en función de su ubicación en barrios y pedanías, caracterizando de esta manera la configuración de cada edificio.

Los barrios con expedientes que por cada edificio hay mayor número de viviendas son La Viña, Sutullena y San José, lo que implica que los edificios afectados por expedientes de ruina son de carácter plurifamiliar y de cierta entidad.

Cuando nos referimos a las pedanías, existe un equilibrio entre el número de edificios y el de viviendas, salvo en los casos de diputación Río y la Tercia, en que llega a darse un número de viviendas inferior, lo cual es indicativo de que predominan otros usos diferentes al de vivienda.





Figura 89 Número edificios, portales y viviendas por barrios

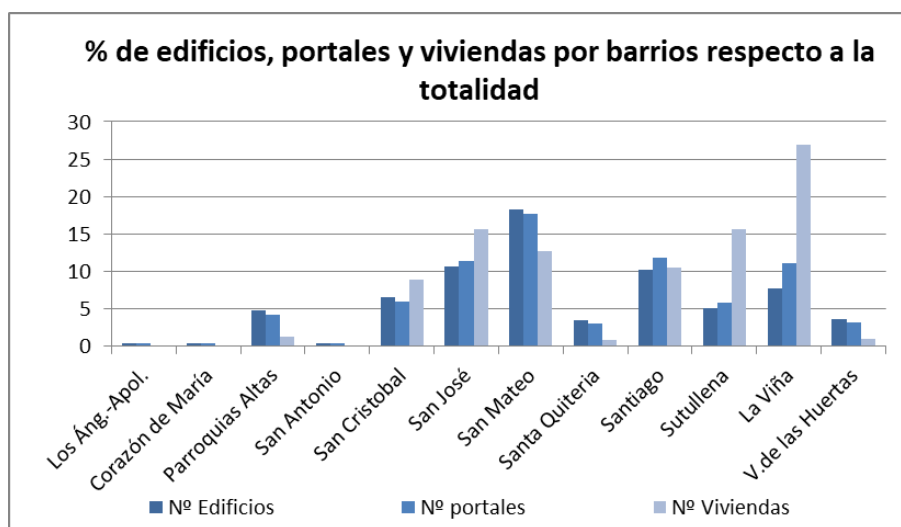


Figura 90 Porcentaje de edificios, portales y viviendas por barrios con respecto al total

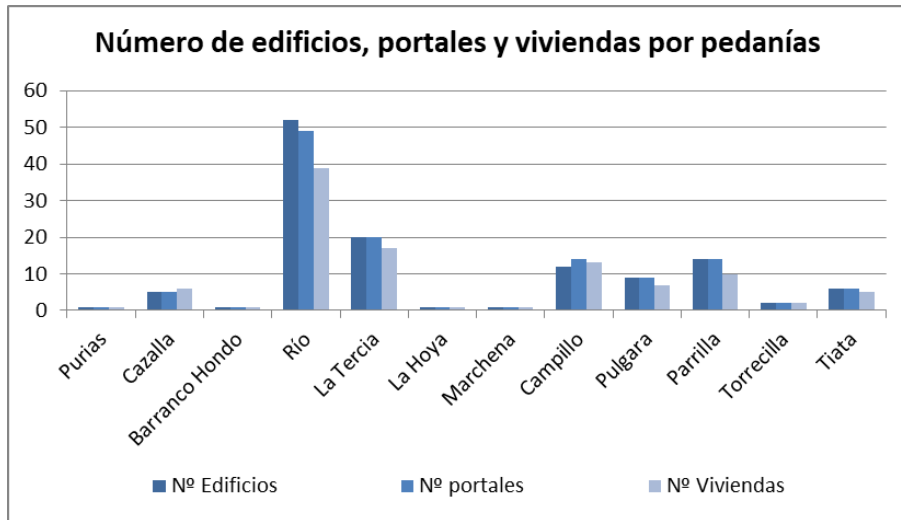


Figura 91 Número edificios, portales y viviendas por pedanías

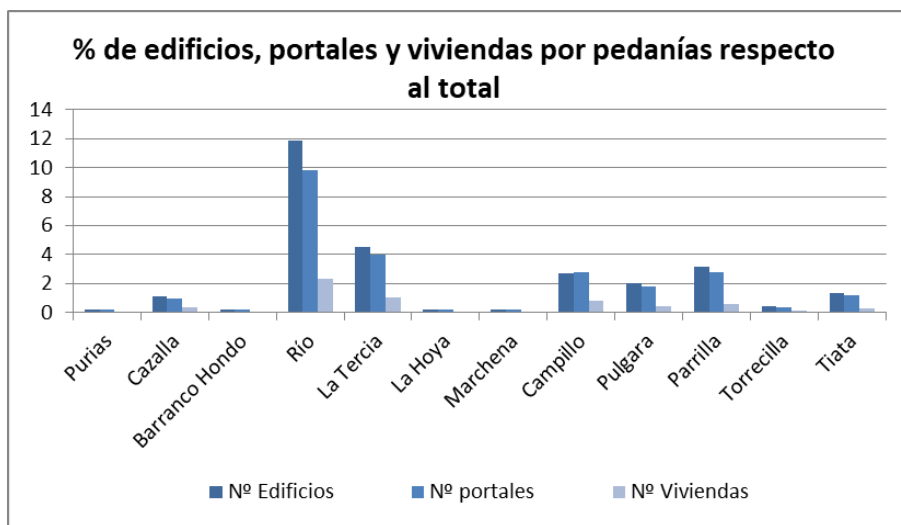


Figura 92 Porcentaje de edificios, portales y viviendas por pedanías con respecto al total

### AI.2.2. Distribución de expedientes en función del año de construcción y emplazamiento en función del tipo de ruina, barrio y pedanía

Según las Figuras 93 y 94 la mayor parte de los expedientes de ruina aluden a construcciones realizadas entre 1926 y 1975, es decir, con una edad que oscila entre los 36 y 85 años.

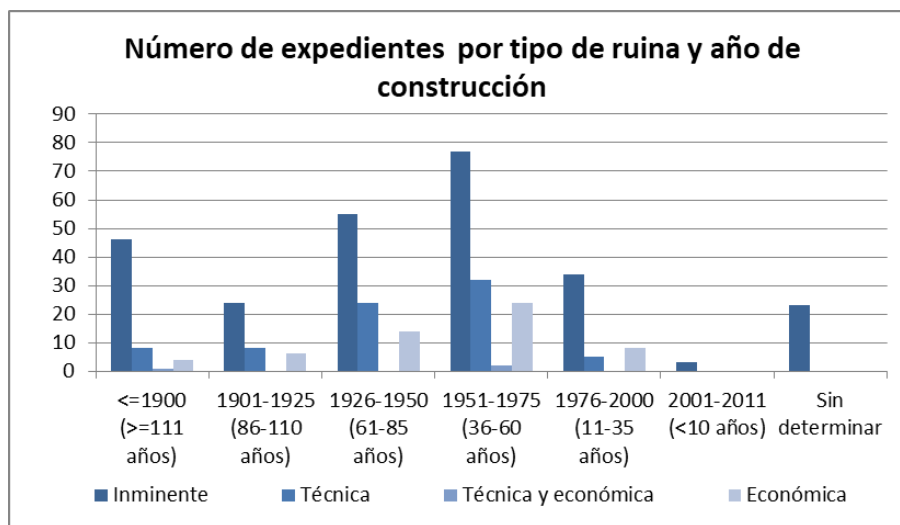


Figura 93 Número de expedientes por tipo de ruina y año de construcción

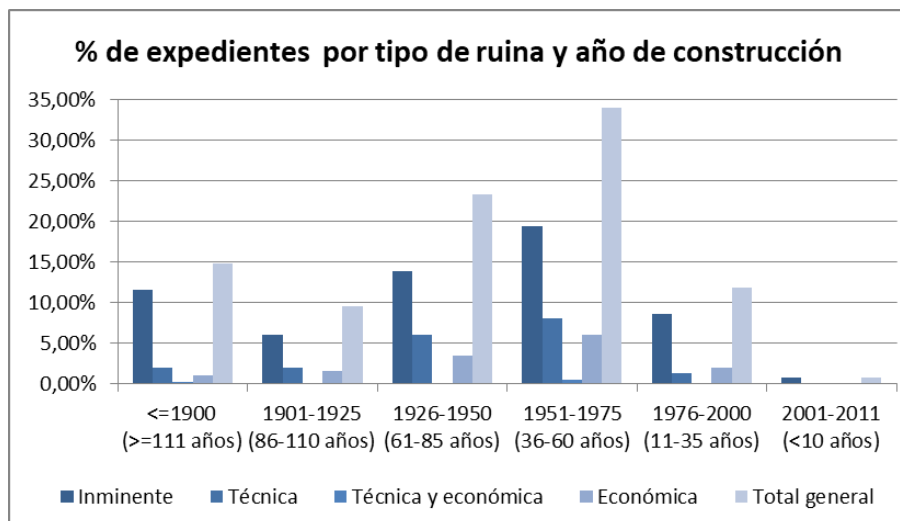
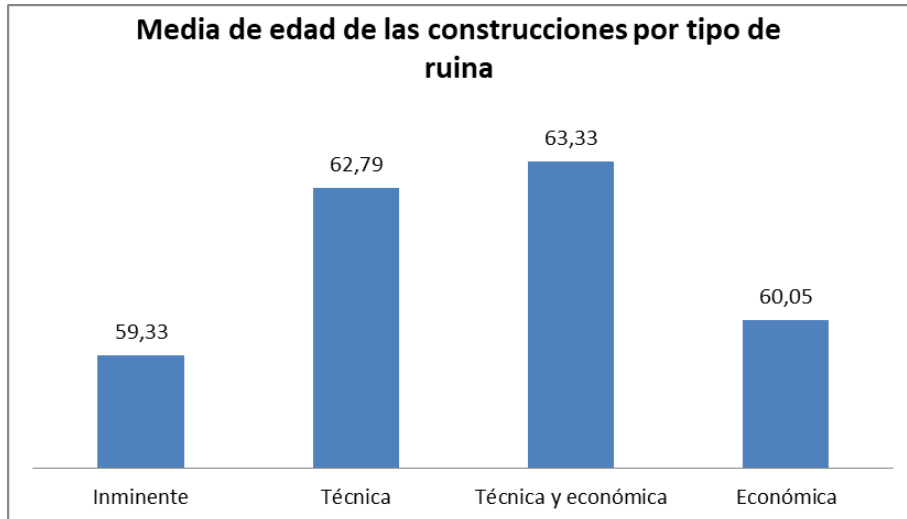


Figura 94 Porcentaje de expedientes clasificados por año de construcción y tipo de ruina

De la Figura 95 se desprende que los edificios que aparecen en expedientes de ruina inminente<sup>1</sup>, son los más jóvenes con una edad media de 59.33 años.

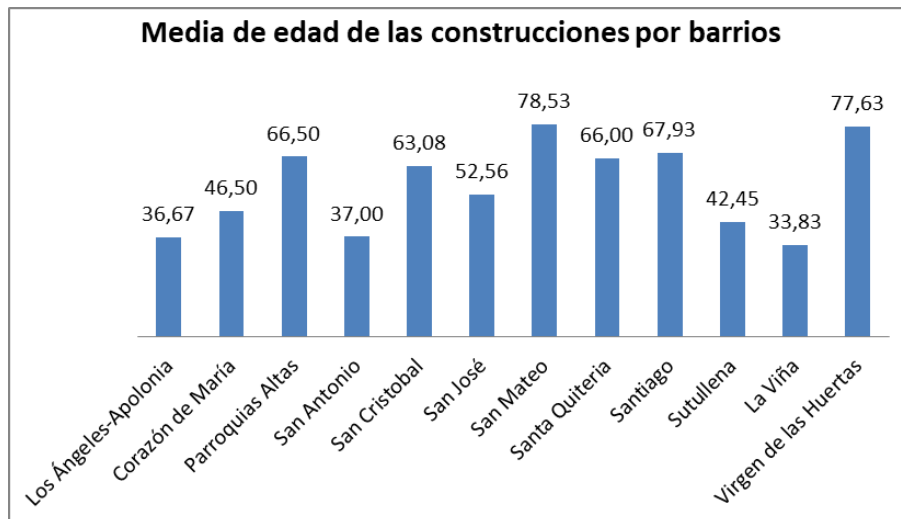


**Figura 95 Media de edad de las construcciones afectadas por los expedientes de ruina**

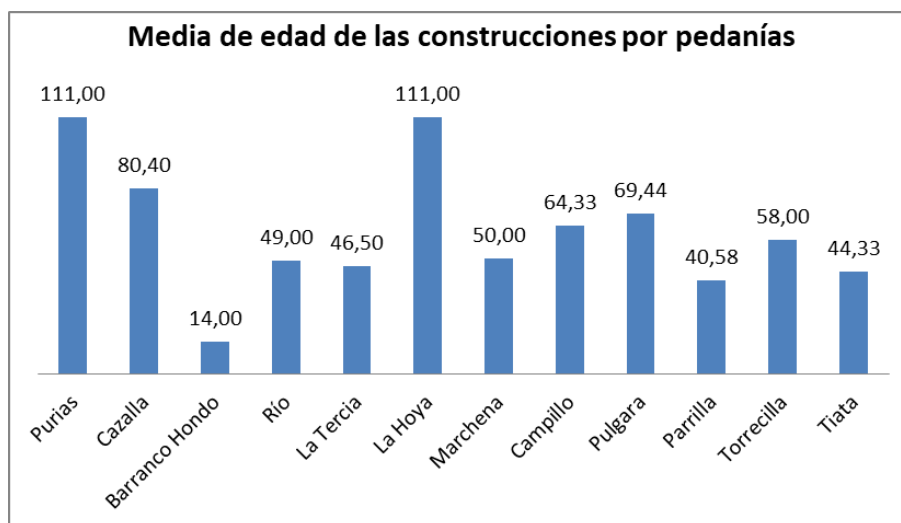
La Figura 96 y la Figura 97 hacen referencia a la antigüedad de las construcciones en barrios y pedanías. Los barrios con edificios de mayor edad afectados por expedientes de ruina consecuencia de los terremotos de 2011, son San Mateo, Virgen de las Huertas, Santiago, Parroquias Altas y Santa Quiteria, mientras que los de menor edad serían los barrios de La Viña, Los Ángeles-Apolonia y San Antonio. Con respecto a las pedanías, las de mayor edad son Purias, La Hoya, Cazalla y Pulgara, mientras que las de menor edad son Barranco-Hondo, Parrilla y Tiata.

---

<sup>1</sup> Aquellos cuya gravedad de daño es tal que obliga a tomar medidas inmediatas.



**Figura 96** Media de edad de las construcciones afectadas por los expedientes de ruina por barrio



**Figura 97** Media de edad de las construcciones afectadas por los expedientes de ruina por pedanía

De la Figura 98 a la Figura 101 se hace referencia a la configuración del edificio en su emplazamiento como factor de vulnerabilidad en caso de terremoto. Siguiendo lo mencionado en apartados anteriores al tratar de describir los criterios seguidos para determinar el emplazamiento de cada uno de los edificios

que aparecen en los expedientes, dichas figuras aluden a cuales son los casos más frecuentes, pudiéndose asociar a una mayor vulnerabilidad.

Se da mayor frecuencia en edificios entre medianeras y aislados, dándose más frecuentemente el caso de medianera histórico y construcciones agrupadas en hilera.



Figura 98 Distribución del número de expedientes según su emplazamiento

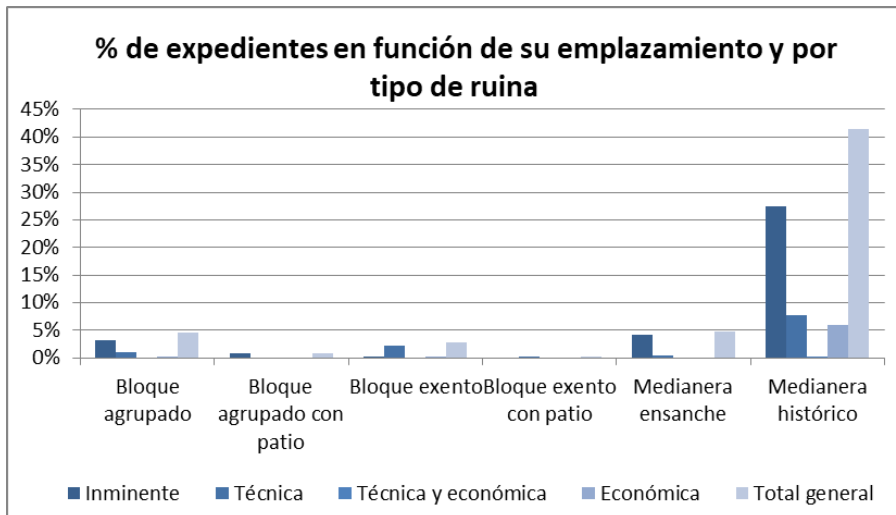


Figura 99 Distribución del porcentaje de expedientes según su emplazamiento

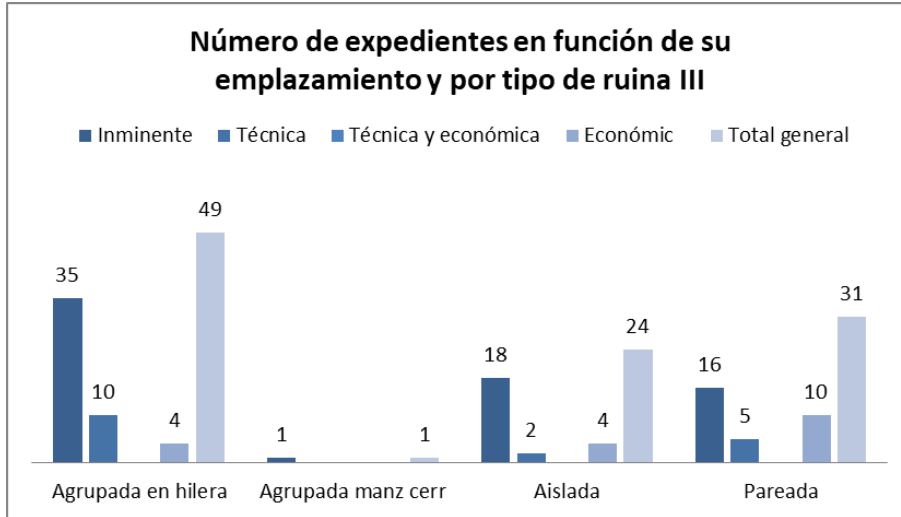


Figura 100 Distribución del número de expedientes según su emplazamiento

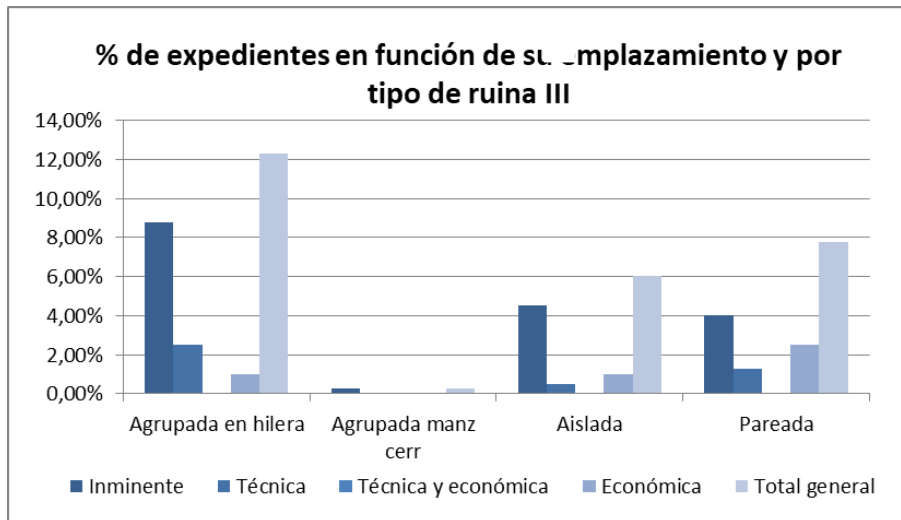


Figura 101 Distribución del porcentaje de expedientes según su emplazamiento

De la Figura 102 a la Figura 105 se refleja la misma tendencia a construcciones entre medianeras en los casos de barrios y pedanías respectivamente. Como se puede apreciar, en todos los barrios hay una mayor frecuencia de construcciones entre medianeras salvo en Sutullena. En las pedanías, sin embargo se da mayor frecuencia de edificaciones aisladas.

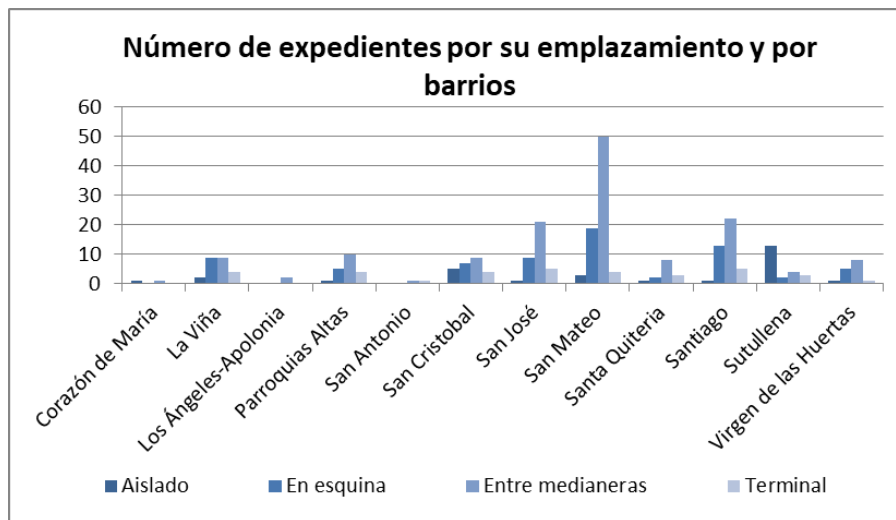


Figura 102 Distribución del número expedientes según su emplazamiento por barrios

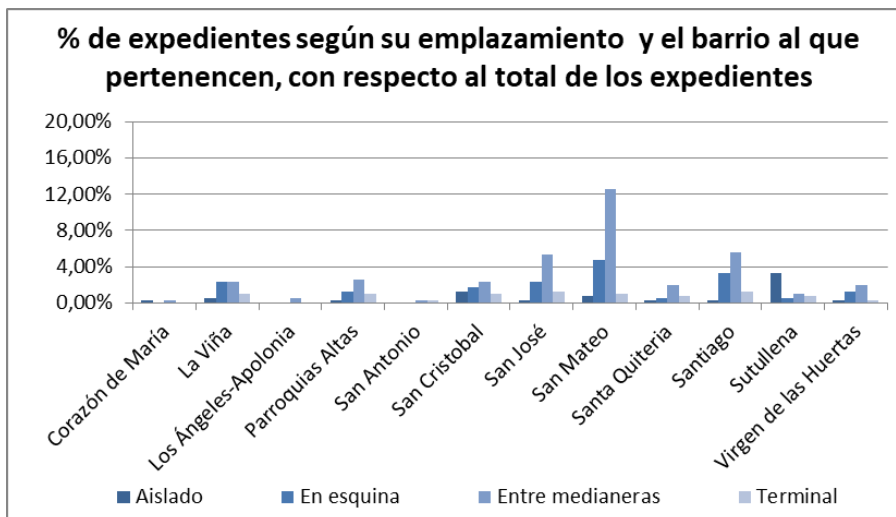


Figura 103 Distribución del porcentaje de expedientes por barrios, respecto al número total de expedientes según su emplazamiento



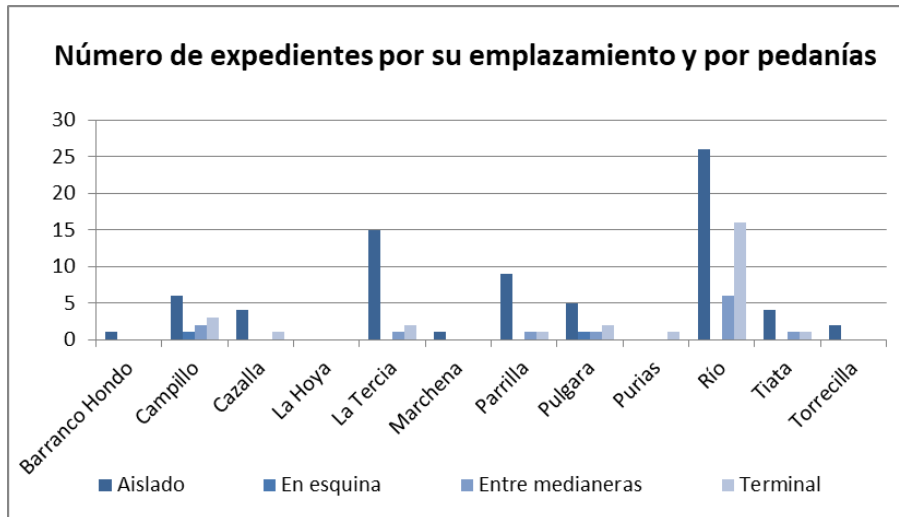


Figura104 Distribución del número de expedientes según su emplazamiento por pedanías

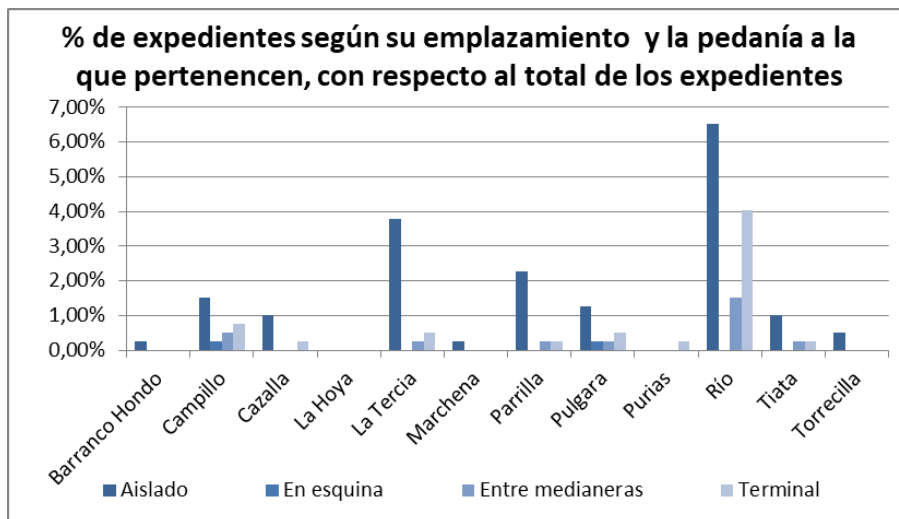


Figura 105 Distribución del porcentaje de expedientes por pedanías, respecto al número total de expedientes según su emplazamiento

En la Figura 106 y la Figura 107 analizan la existencia de huecos de puertas y ventanas como factor de vulnerabilidad en muros y cerramientos en el primer caso, y en muros de carga exclusivamente en el segundo. En ambos casos la mayor parte de los expedientes de ruina estaban en un rango bajo de huecos practicados.

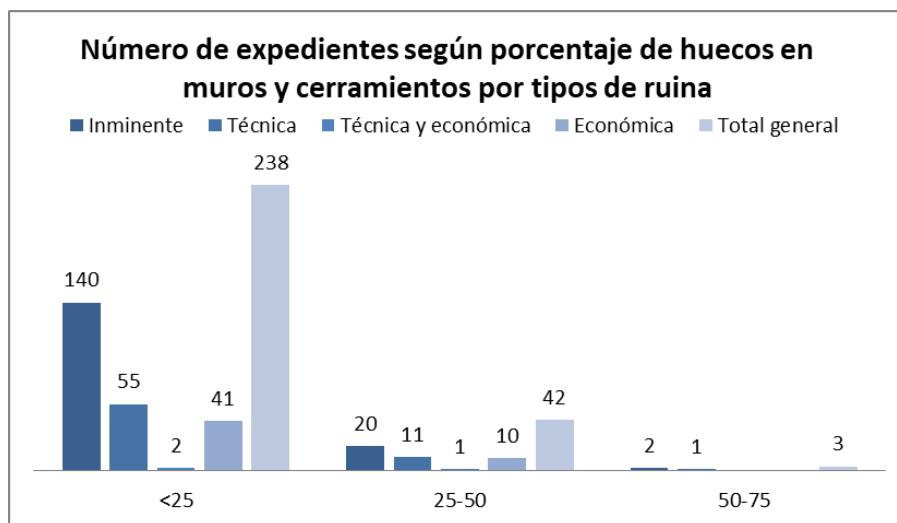


Figura 106 Número de expedientes según el porcentaje estimado de huecos en muros y cerramientos en función del tipo de ruina

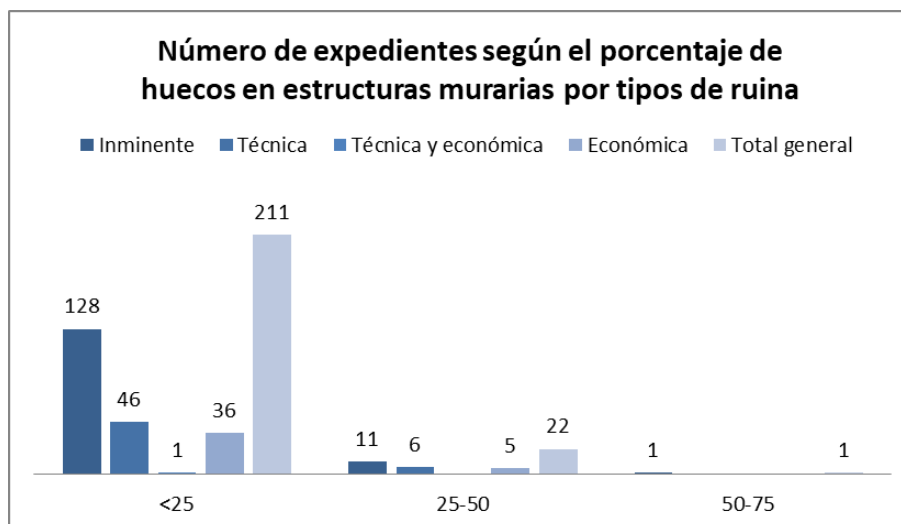
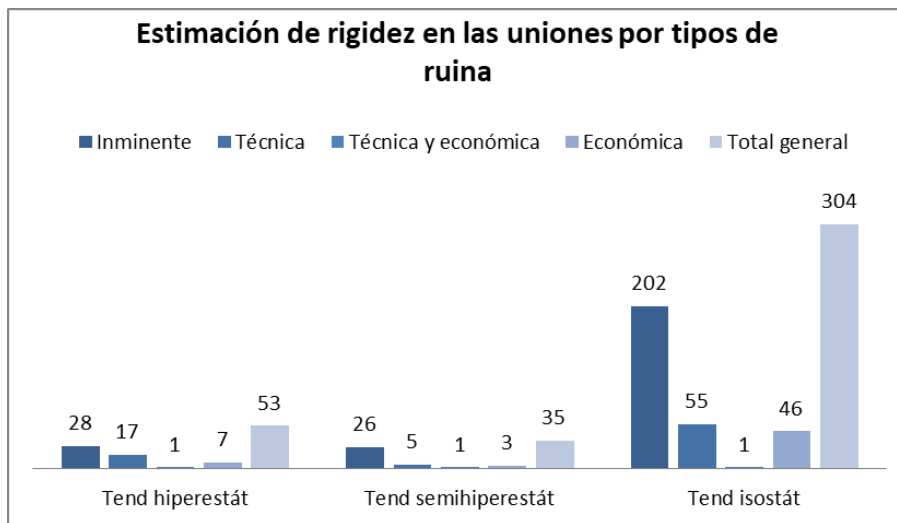
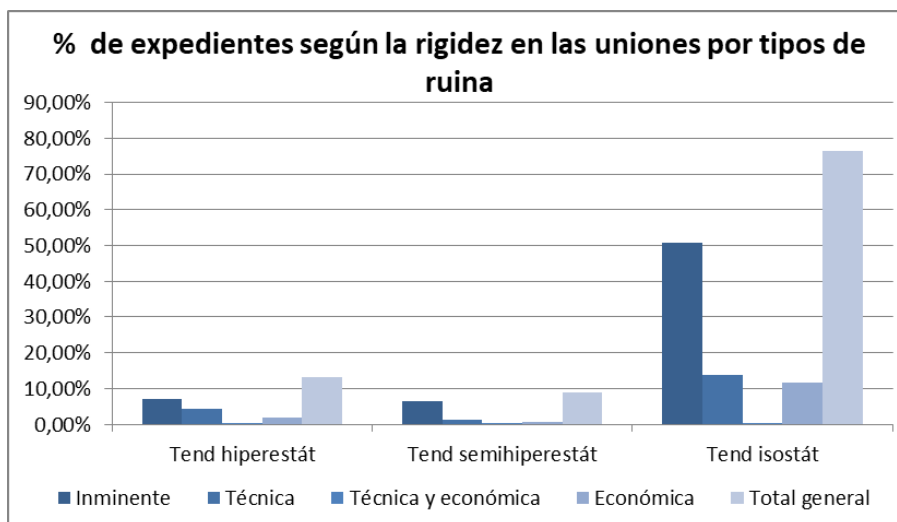


Figura 107 Número de expedientes según el porcentaje estimado de huecos en muros de carga en función del tipo de ruina

La rigidez de las uniones entre elementos se ha estimado a partir de las tipologías estructurales encontradas asociándose directamente a estas, con lo que existe un paralelismo entre ambos conceptos y por tanto, entre la representación de sus frecuencias (Figura 108 y Figura 109), de modo que es la tendencia isostática de las uniones la de mayor frecuencia.

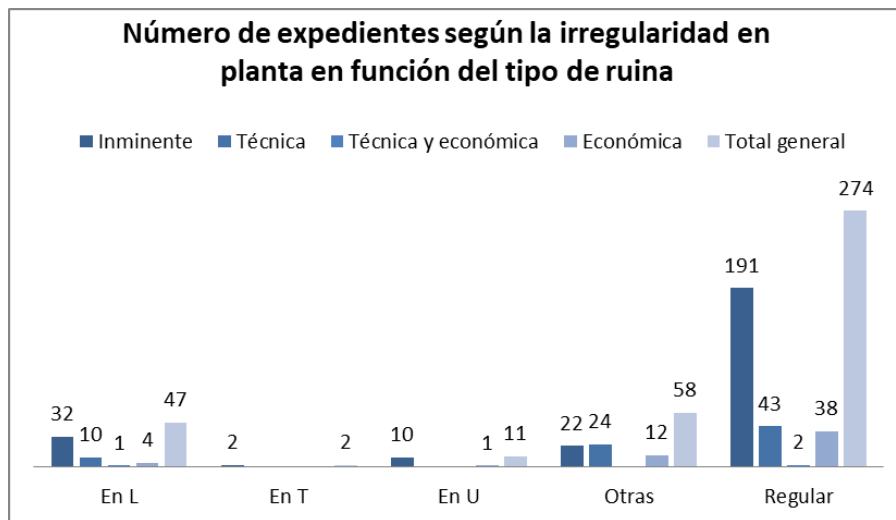


**Figura 108** Clasificación según la tendencia de rigidez estimada de las uniones entre elementos y en función del tipo de ruina

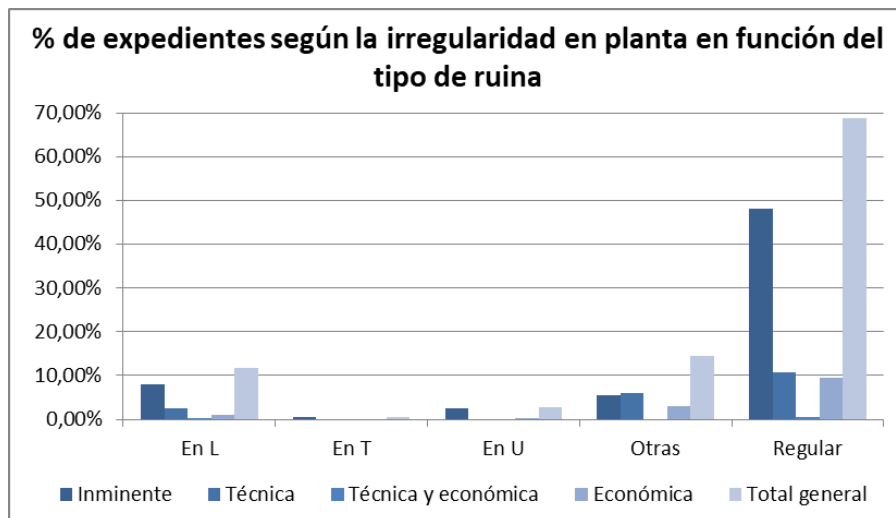


**Figura 109** Porcentaje de expedientes en función de la rigidez estimada de las uniones entre elementos y en función del tipo de ruina

La regularidad en planta es otro factor influyente en el comportamiento de un edificio frente al sismo, habiéndose asociado siempre la irregularidad al mal comportamiento. En el caso del terremoto de Lorca de mayo de 2011 y según la Figura 110 y la Figura 111, se da una mayor frecuencia de edificios demolidos asociado a la regularidad de su configuración en planta.



**Figura 110** Clasificación de los distintos tipos expedientes de ruina en función de la irregularidad de las construcciones



**Figura 111** Porcentaje de expedientes según tipos de ruina en función de la irregularidad de las construcciones

Se presentan en la Figura 112 y Figura 113 los elementos singulares de las construcciones que han sido principalmente afectados y que han ocasionado la práctica totalidad de daños personales en el terremoto que nos ocupa, encontrando en los expedientes, principalmente torreones, petos y chimeneas.

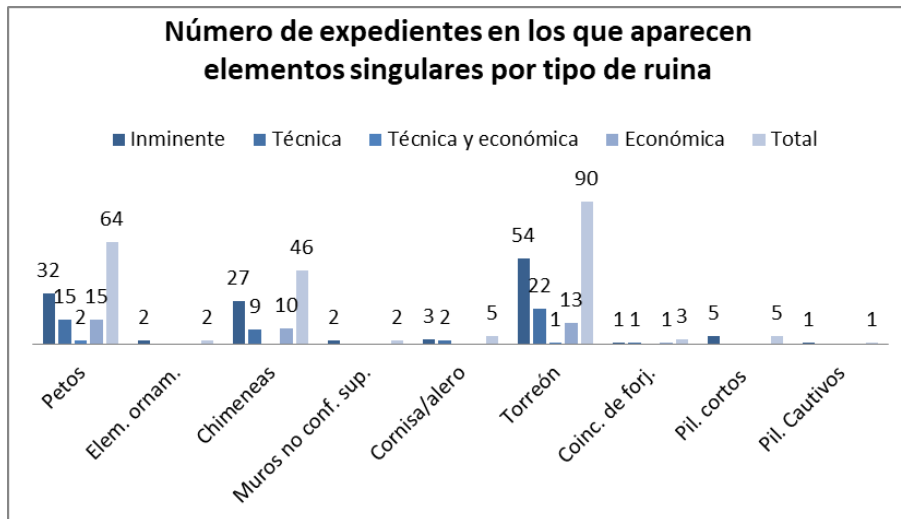


Figura 112 Elementos singulares encontrados en los diferentes tipos de ruina

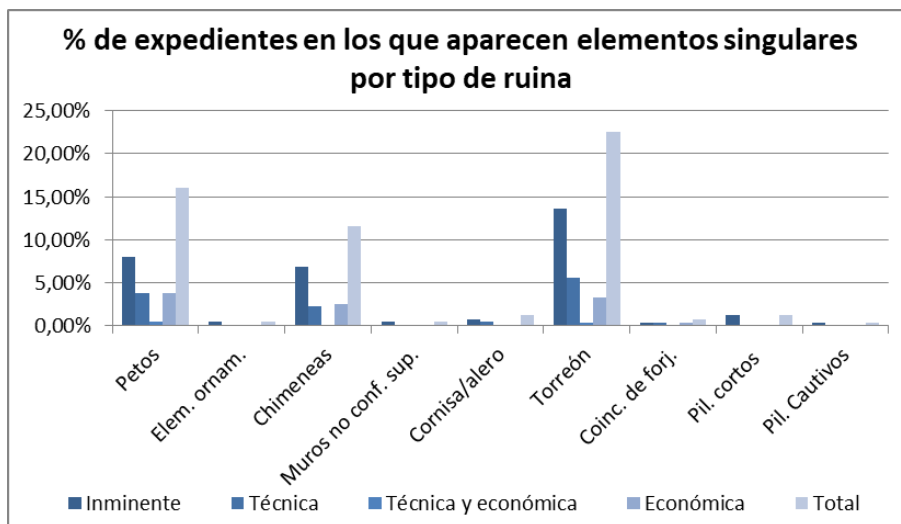


Figura 113 Porcentaje de expedientes en los que aparecen elementos singulares por tipos de ruina

Otro factor relacionado con la mayor vulnerabilidad de los edificios es la altura del colindante. En la Figura 114 y la Figura 115 aparece una mayor frecuencia asociada principalmente a la situación de existir un solo colindante y que sea de mayor altura, siendo considerable también la frecuencia asociada a una menor altura del colindante. Lo que sí parece presentar una tendencia a presentar menor número de casos es la situación en la que la altura del colindante es igual que la del edificio estudiado.

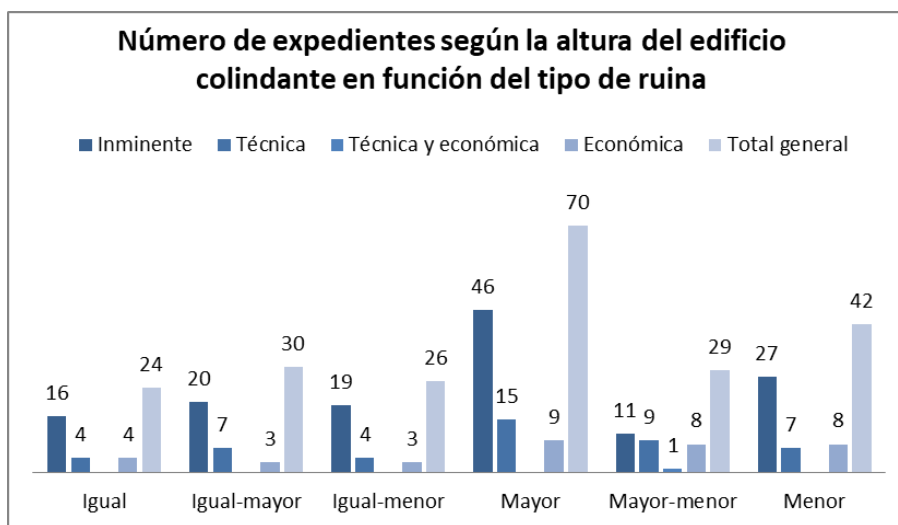


Figura 114 Altura de los colindantes a los edificios considerados

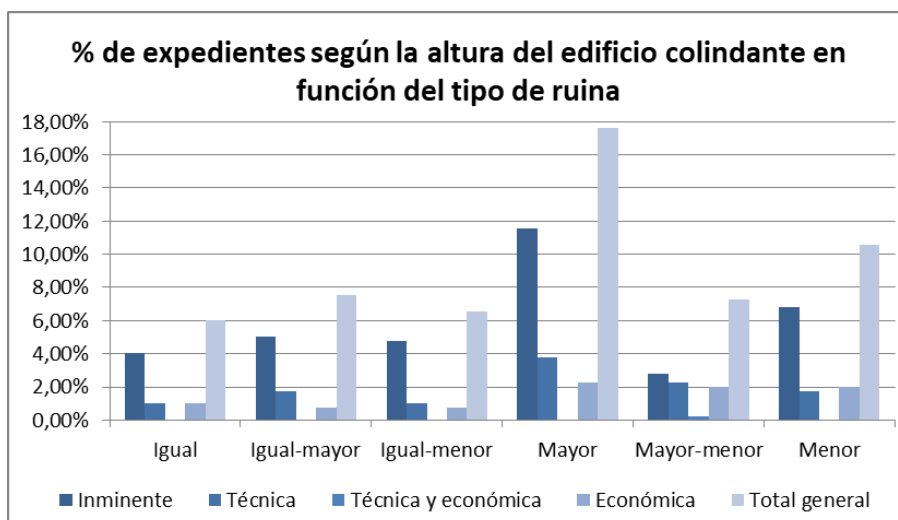
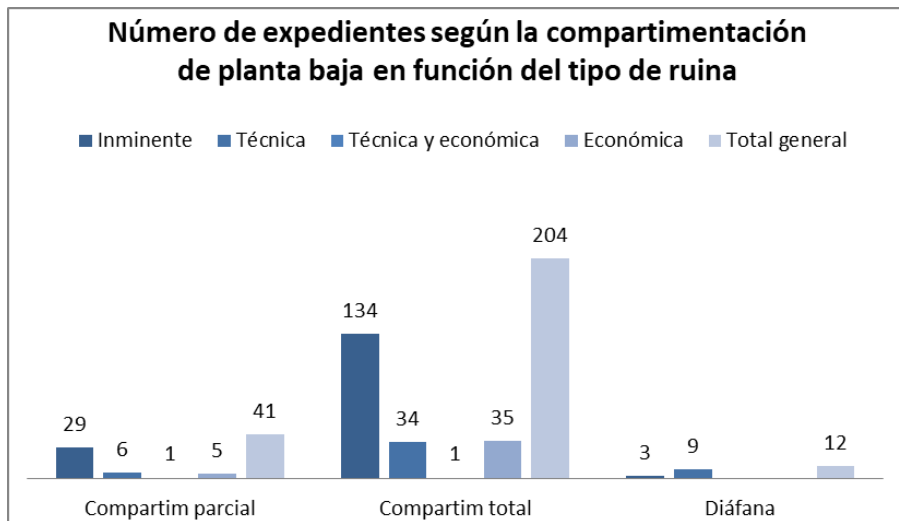
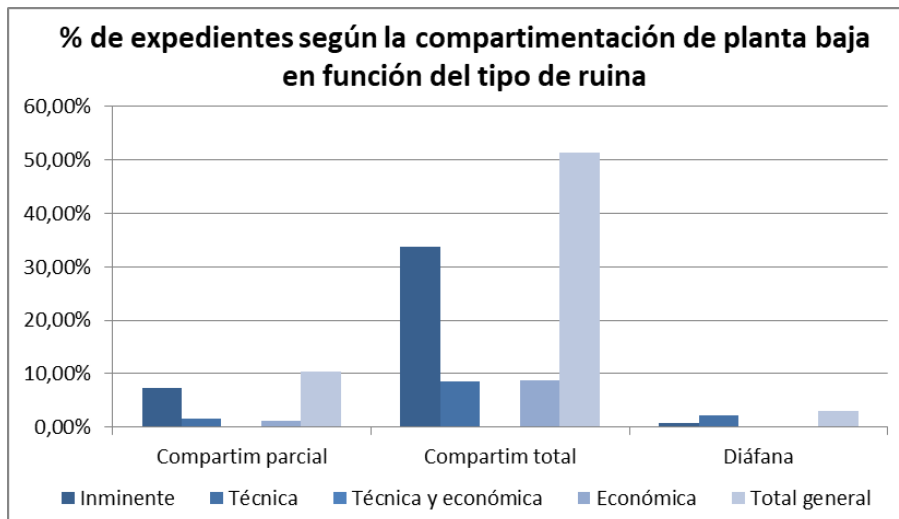


Figura 115 Porcentaje de expedientes según la altura de los colindantes

Un factor relacionado con la rigidez de las construcciones es su compartimentación en planta baja. Según las Figuras 116 y 117 aparece mayor número de expedientes asociados a situaciones de compartimentación total en planta baja, es decir, a configuraciones de cerramiento perimetral en planta baja con existencia de particiones interiores.



**Figura 116** Compartimentación en planta baja según los tipos de ruina



**Figura 117** Porcentaje de expedientes según su compartimentación en planta baja por tipos de ruina

Las Figuras 118 y 119 reflejan situaciones relacionadas con la vulnerabilidad de las edificaciones, comprobando la existencia de mayor frecuencia de expedientes asociada a la existencia de varios volúmenes en alzado, la disposición de plantas superiores retranqueadas con respecto de las inferiores, que provocan cambios en la rigidez del edificio y la existencia de locales comerciales en planta baja.

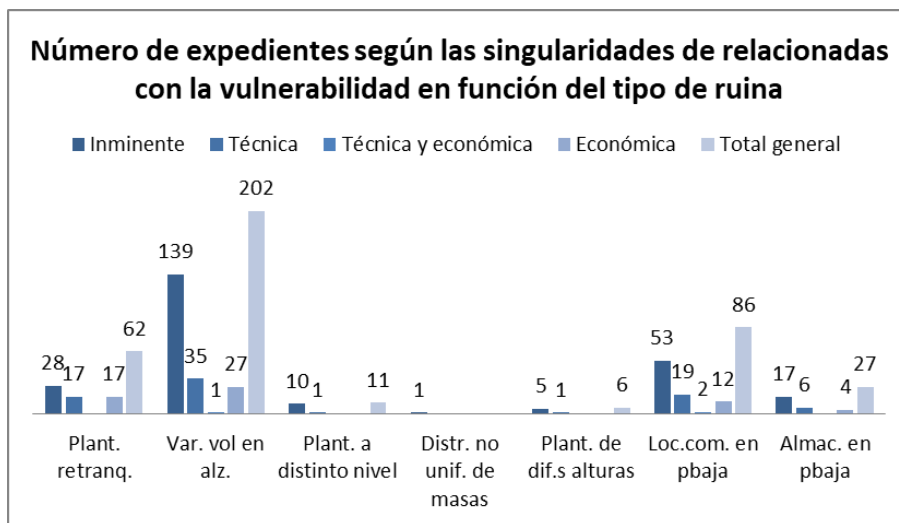


Figura 118 Singularidades relacionadas con la vulnerabilidad en los diferentes expedientes

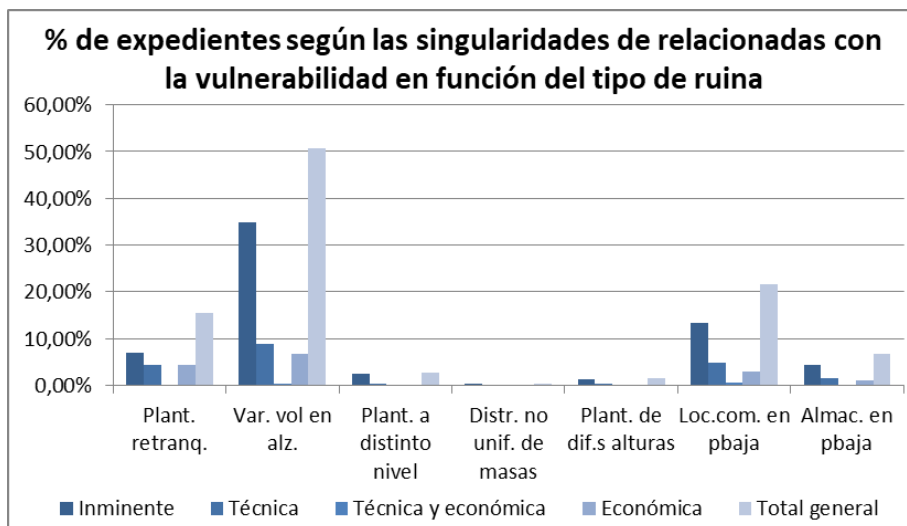


Figura 119 Porcentaje de expedientes según singularidades relacionadas con la vulnerabilidad por tipos de ruina



### AI.3. IMPLICACIÓN DE LOS FACTORES RELACIONADOS CON VULNERABILIDAD DE LA EDIFICACIÓN SOBRE LOS DAÑOS EN CADA ELEMENTO

Se presentan en este punto los gráficos que relacionan la frecuencia de daños en los diferentes elementos analizados con factores de vulnerabilidad.

#### 4.3.1. Emplazamiento respecto a los colindantes

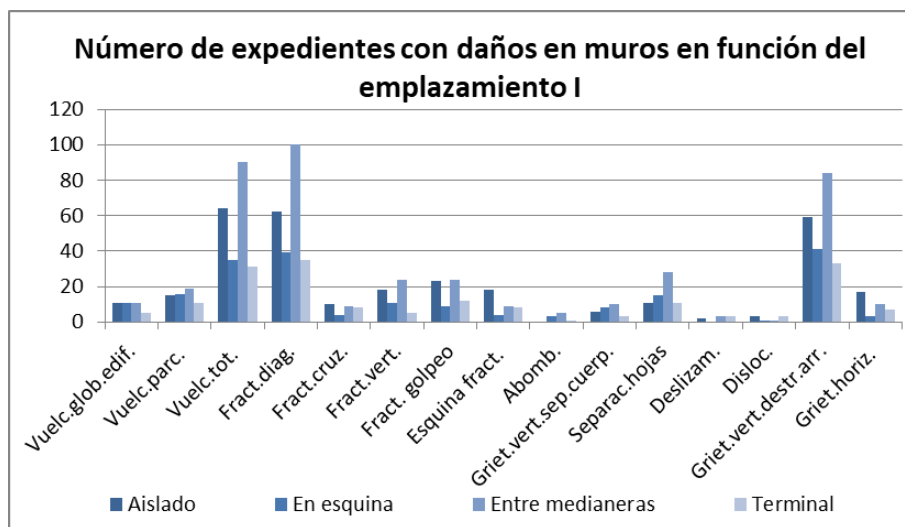


Figura 120 Frecuencia de daños en muros en función del emplazamiento

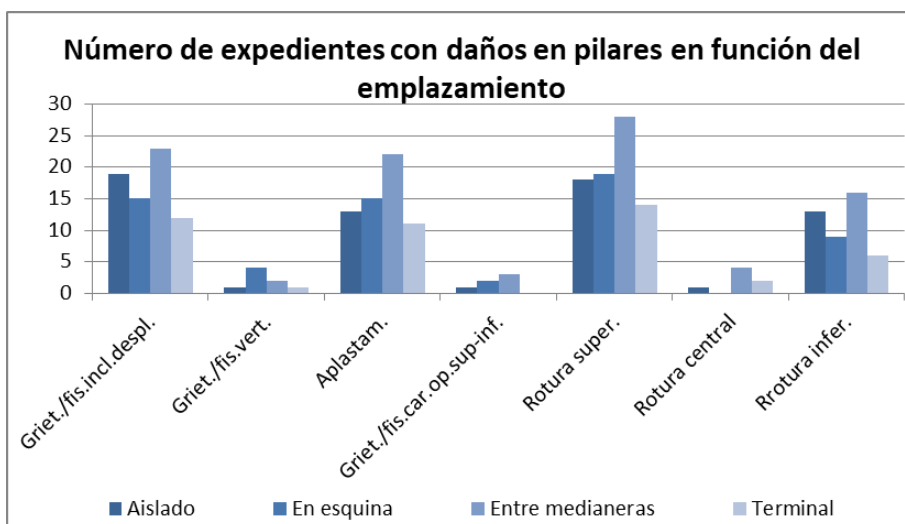


Figura 121 Frecuencia de daños en pilares en función del emplazamiento

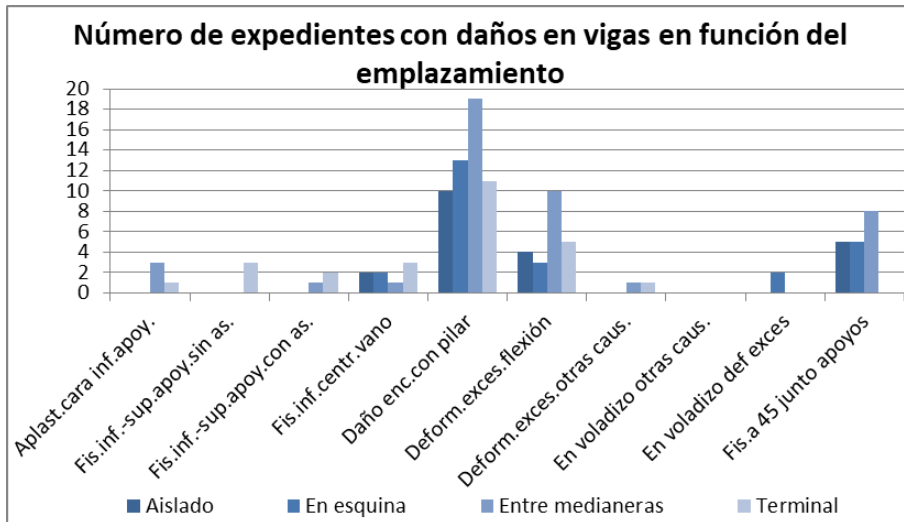


Figura 122 Frecuencia de daños en pilares en función del emplazamiento

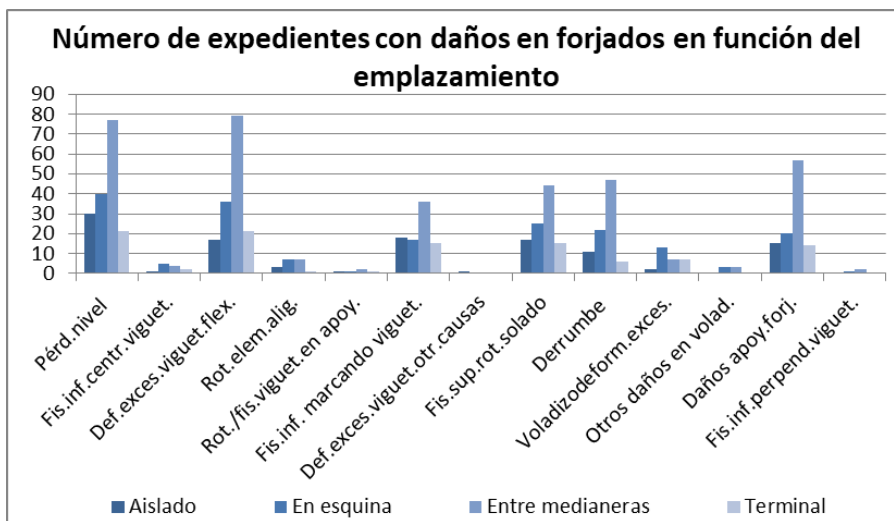


Figura 123 Frecuencia de daños en forjados en función del emplazamiento

4.3.2. Año de construcción

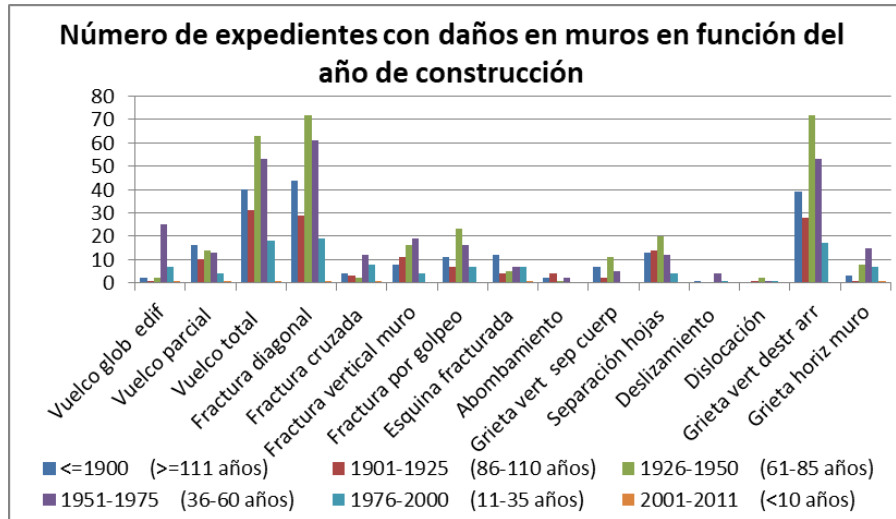


Figura 124 Frecuencia de daños en muros en función del año de construcción

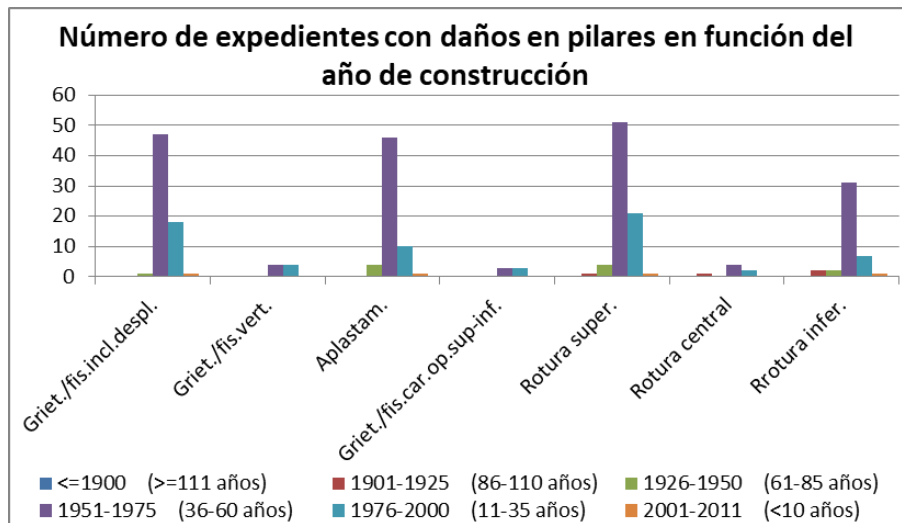


Figura 125 Frecuencia de daños en pilares en función del año de construcción

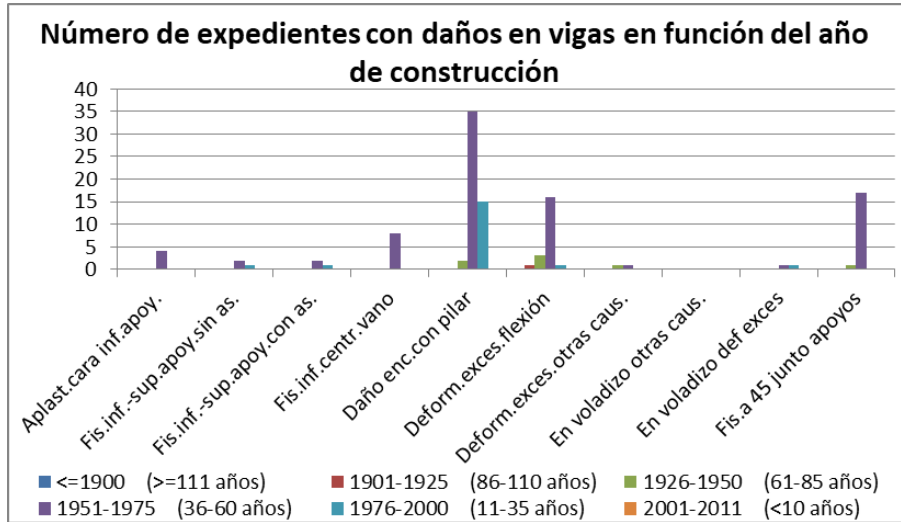


Figura 126 Frecuencia de daños en vigas en función del año de construcción

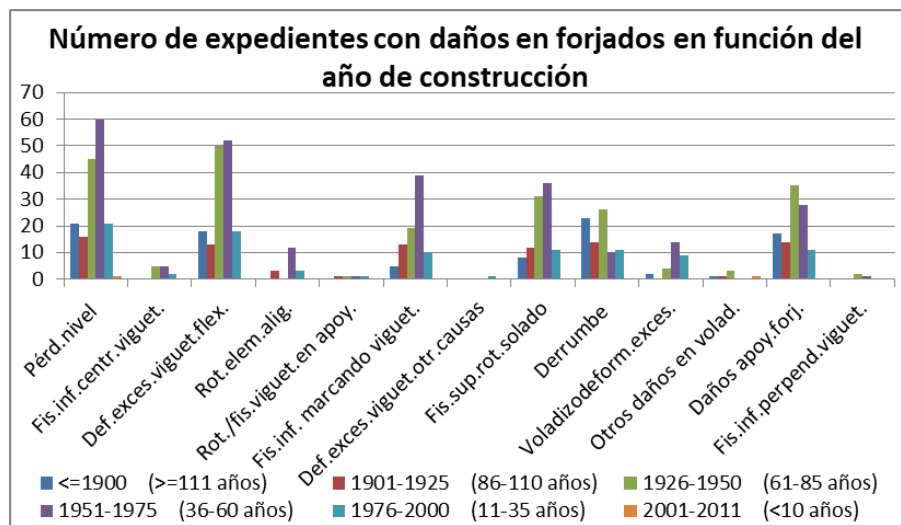


Figura 127 Frecuencia de daños en forjados en función del año de construcción

4.3.3. Número de plantas sobre y bajo rasante

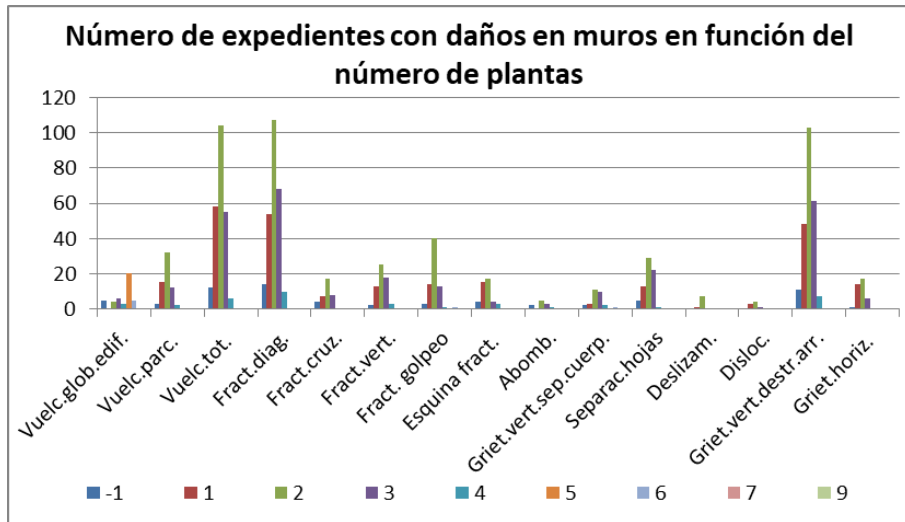


Figura 128 Frecuencia de daños en muros en función del número de plantas

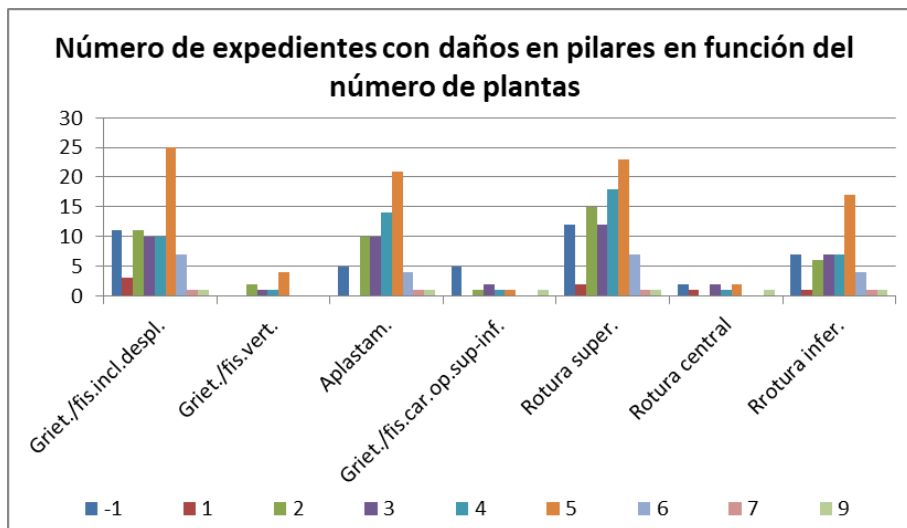


Figura 129 Frecuencia de daños en pilares en función del número de plantas

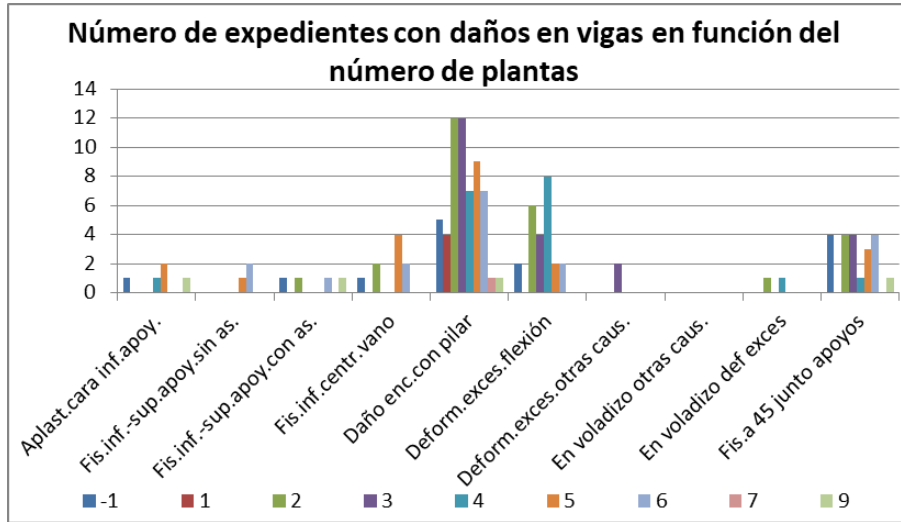


Figura 130 Frecuencia de daños en vigas en función del número de plantas

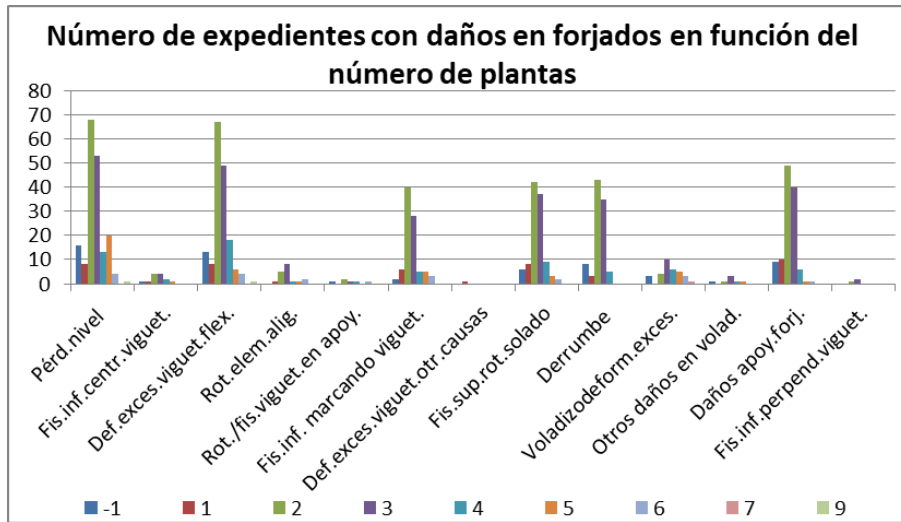


Figura 131 Frecuencia de daños en forjados en función del número de plantas

4.3.4. Factores relacionados con vulnerabilidad



Figura 132 Frecuencia de daños en muros en función de la vulnerabilidad I

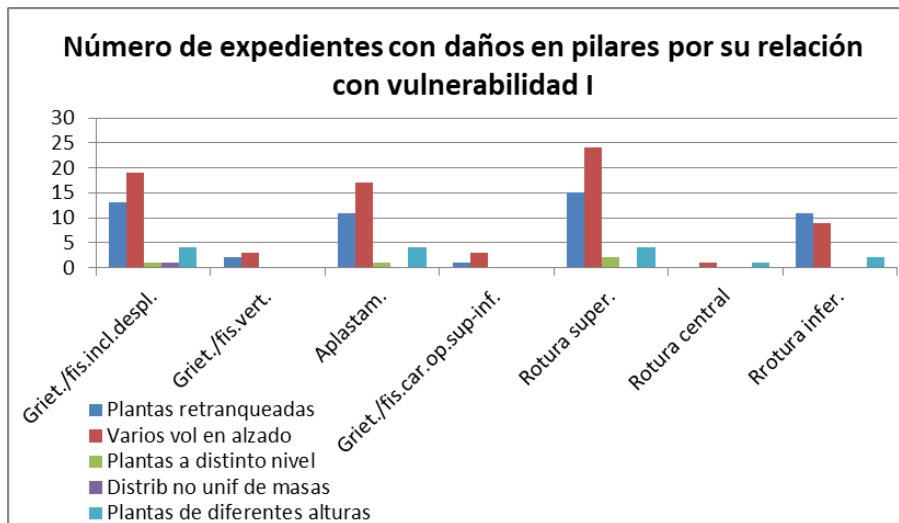


Figura 133 Frecuencia de daños en pilares en función de la vulnerabilidad I

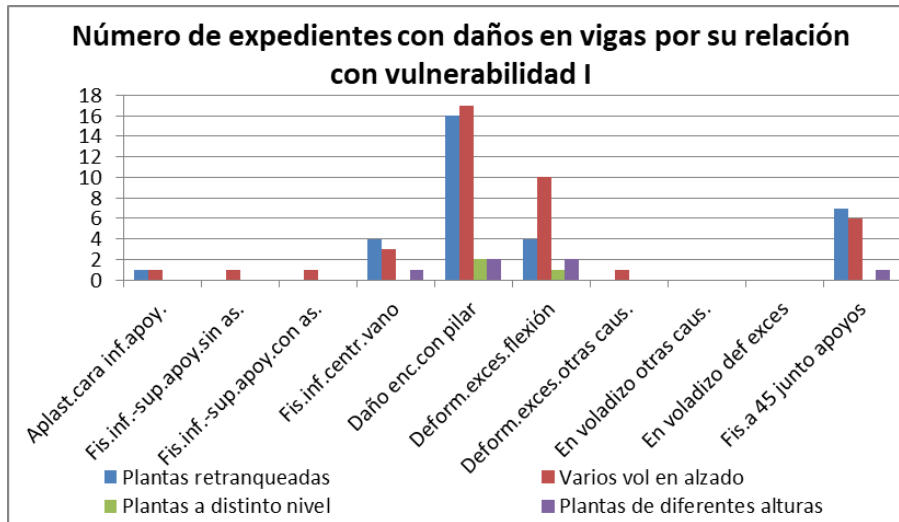


Figura 134 Frecuencia de daños en vigas en función de la vulnerabilidad I

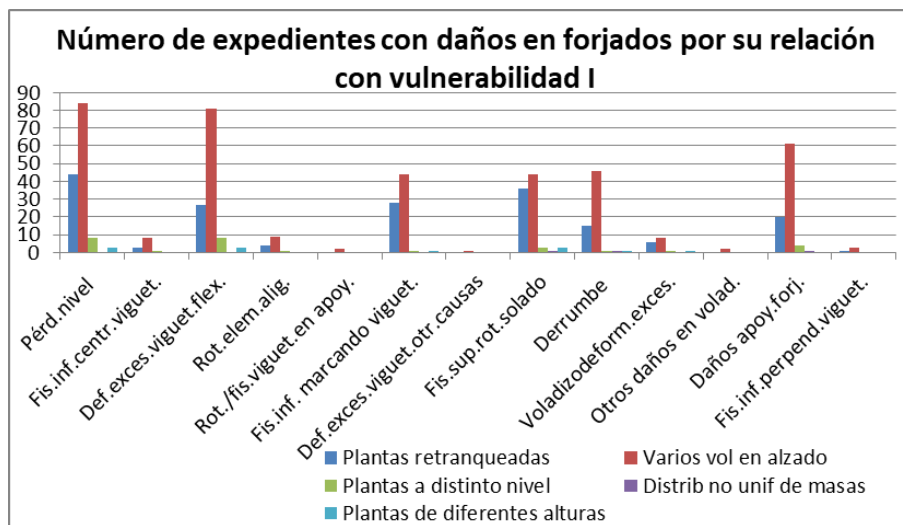


Figura 135 Frecuencia de daños en forjados en función de la vulnerabilidad I



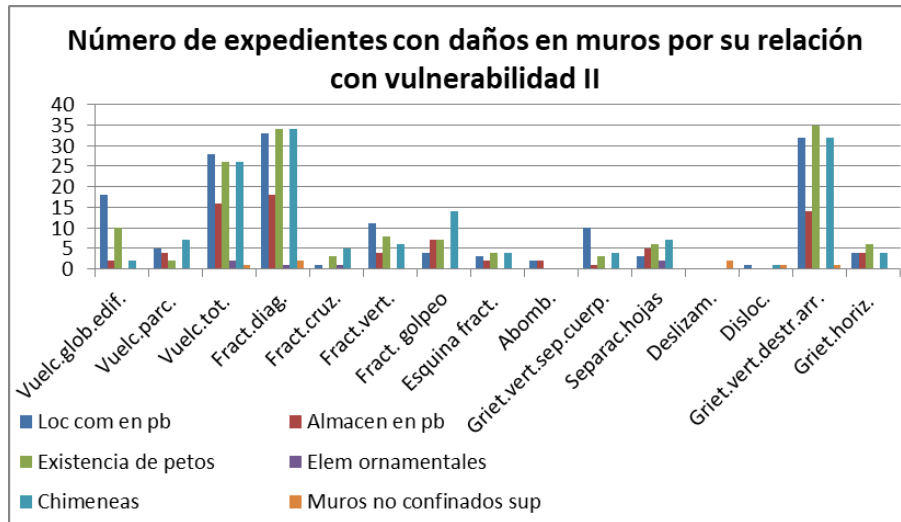


Figura 136 Frecuencia de daños en muros en función de la vulnerabilidad II

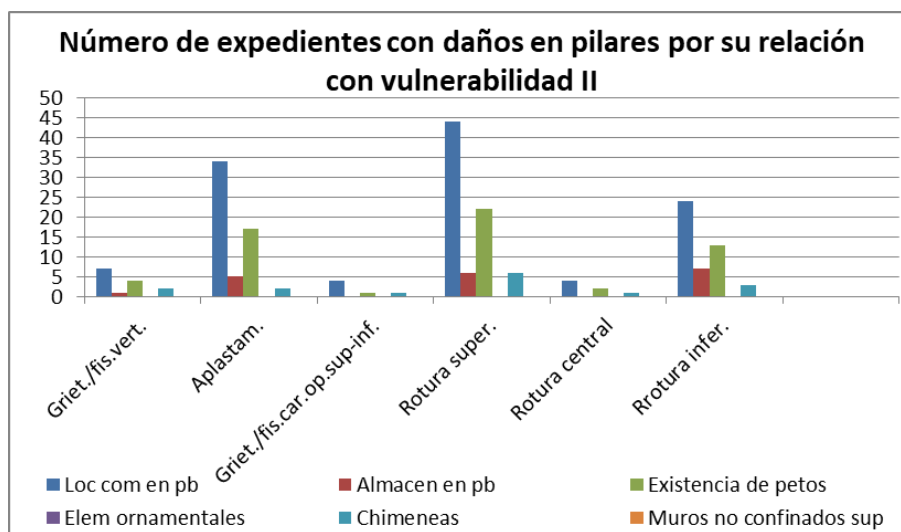


Figura 137 Frecuencia de daños en pilares en función de la vulnerabilidad II



Figura 138 Frecuencia de daños en vigas en función de la vulnerabilidad II

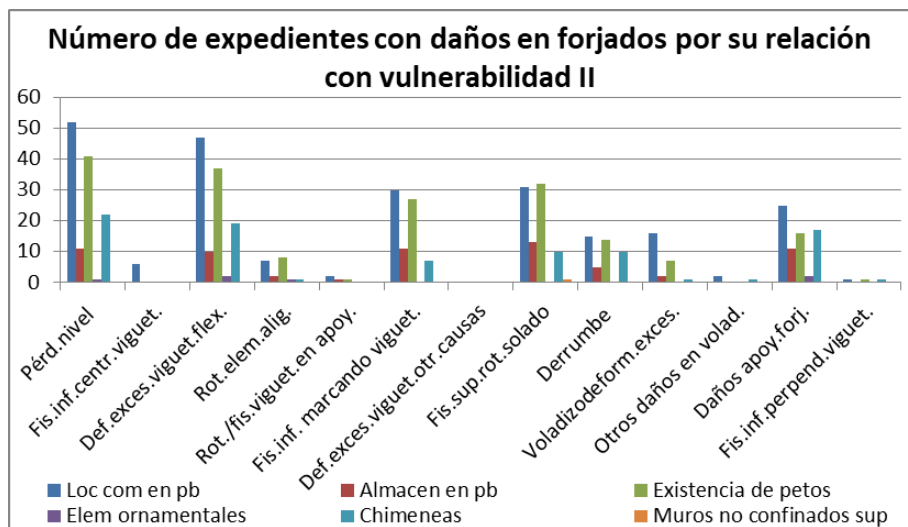


Figura 139 Frecuencia de daños en forjados en función de la vulnerabilidad II

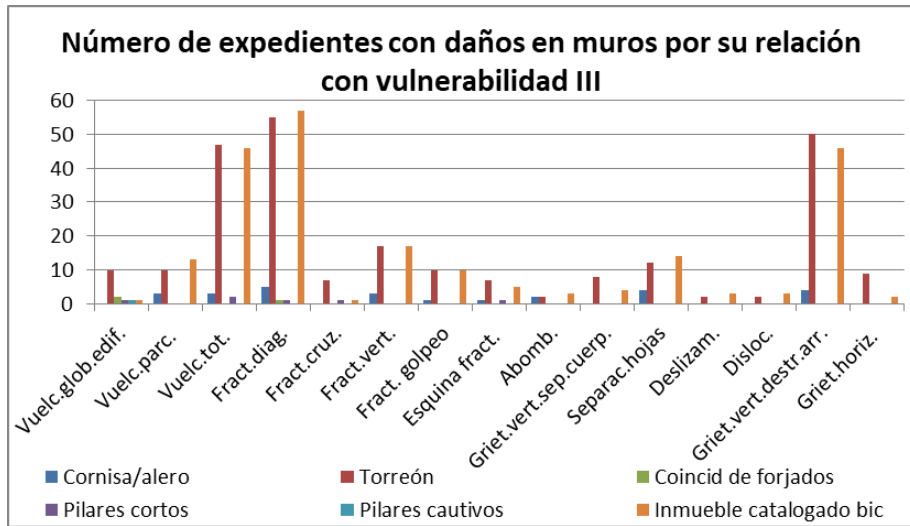


Figura 140 Frecuencia de daños en muros en función de la vulnerabilidad III

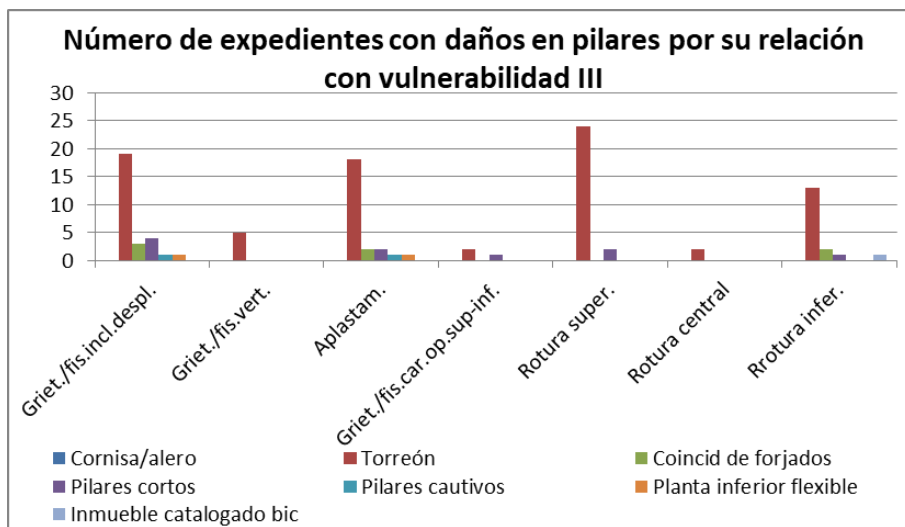


Figura 141 Frecuencia de daños en pilares en función de la vulnerabilidad III

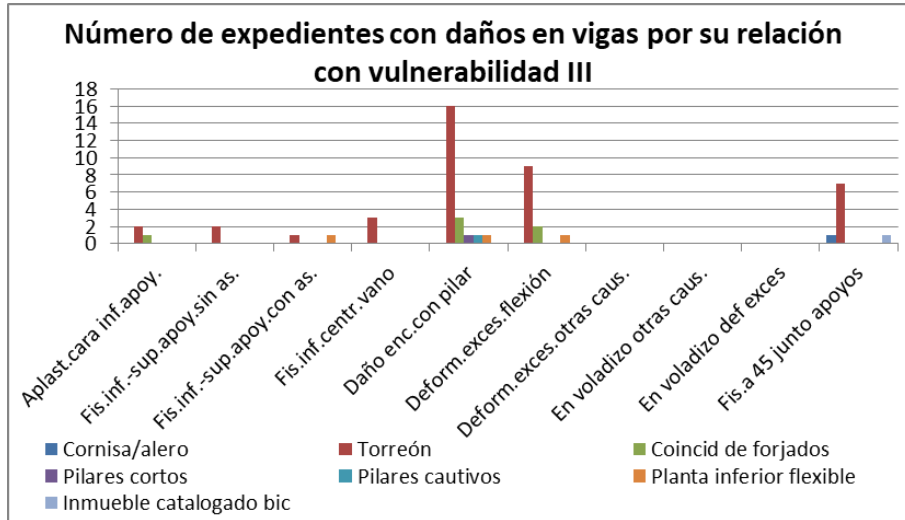


Figura 142 Frecuencia de daños en vigas en función de la vulnerabilidad III

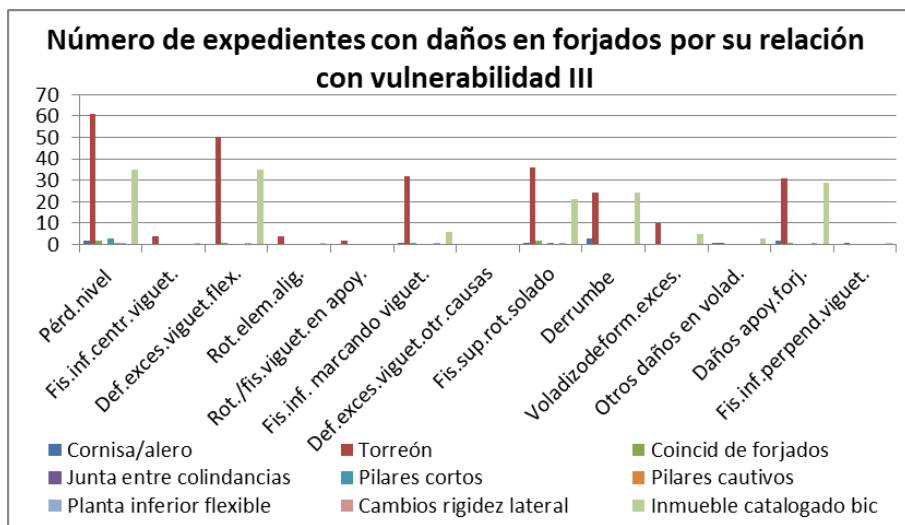


Figura 143 Frecuencia de daños en forjados en función de la vulnerabilidad III

4.3.5. Regularidad en planta

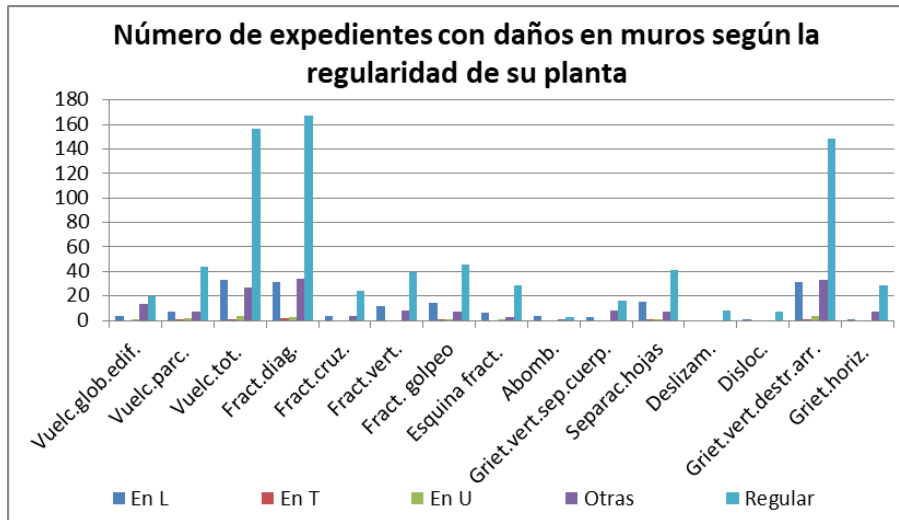


Figura 144 Frecuencia de daños en muros en función de la regularidad en planta

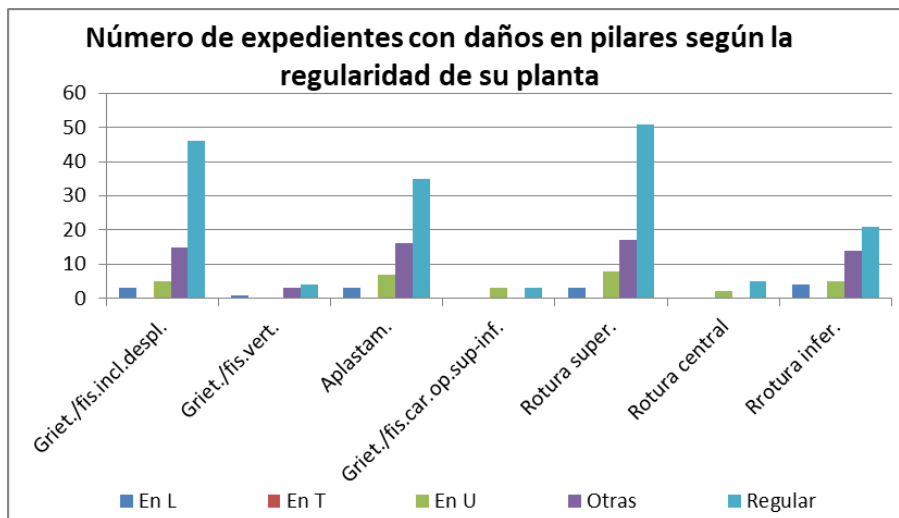


Figura 145 Frecuencia de daños en pilares en función de la regularidad en planta

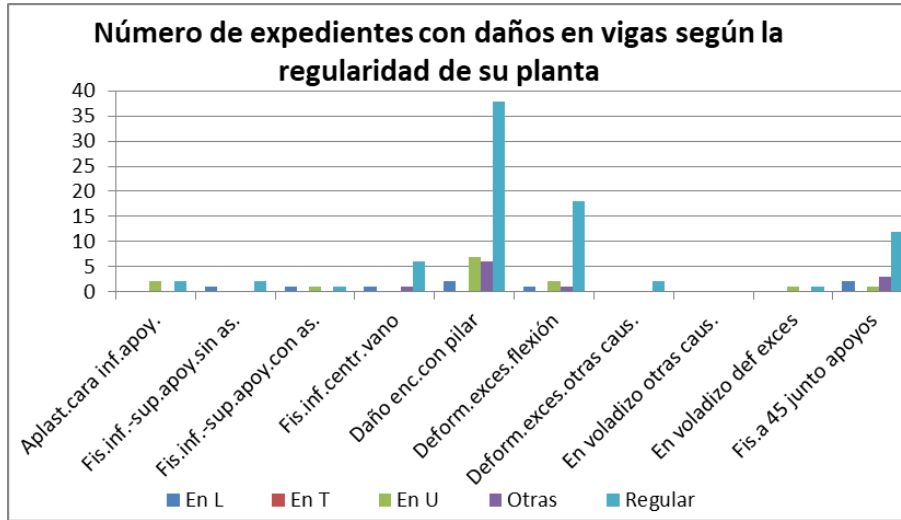


Figura 146 Frecuencia de daños en vigas en función de la regularidad en planta

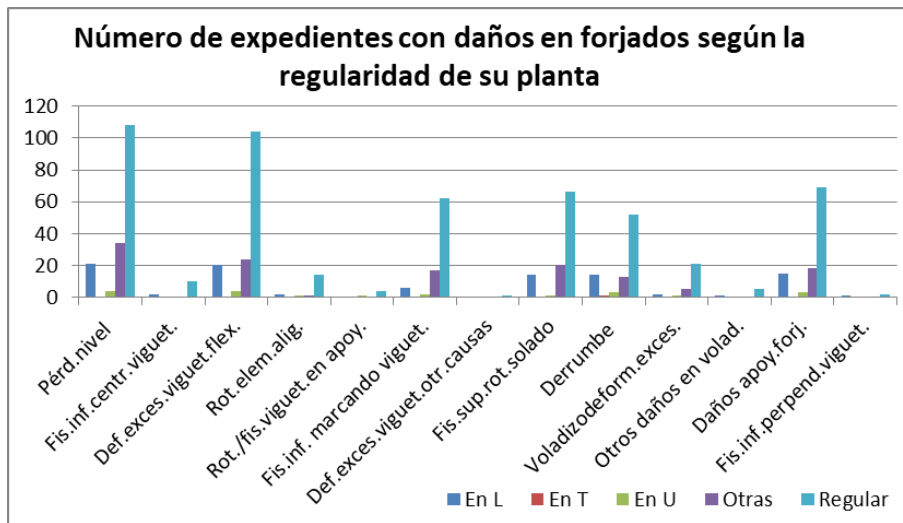


Figura 147 Frecuencia de daños en forjados en función de la regularidad en planta

4.3.6. Altura del colindante

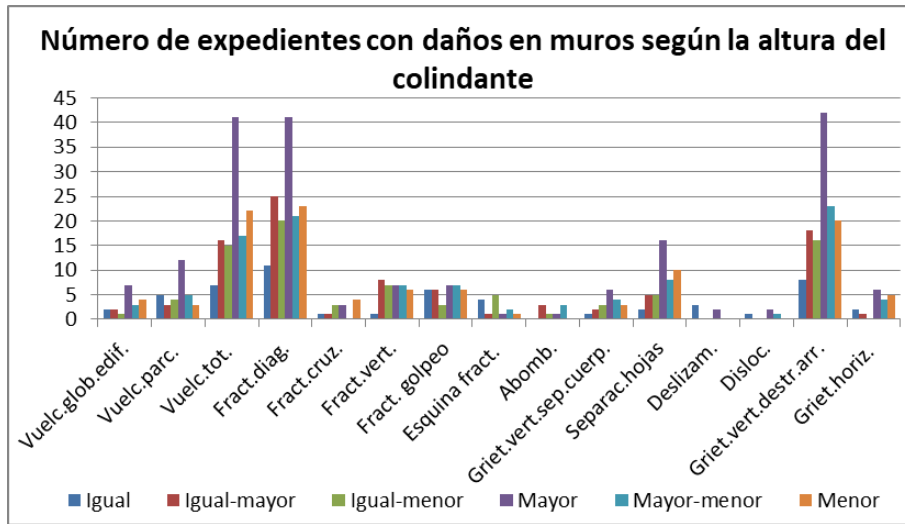


Figura 148 Frecuencia de daños en muros en función de la altura del colindante

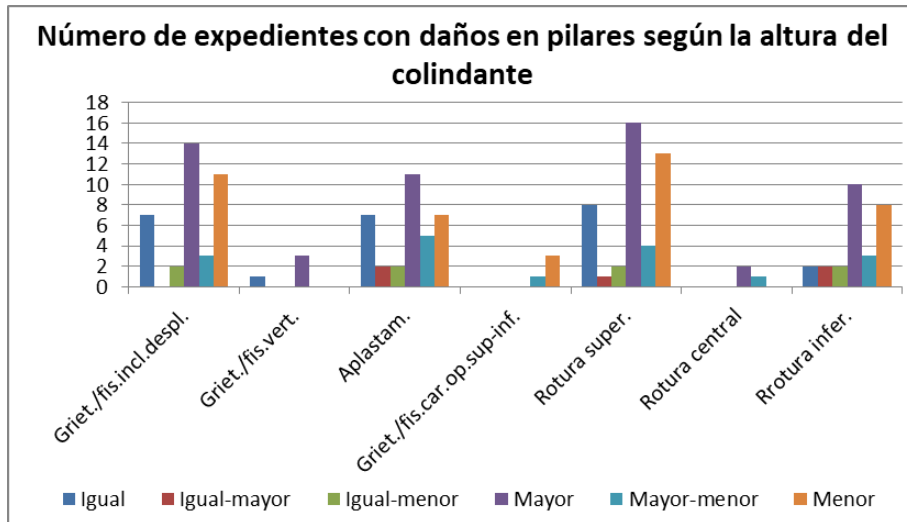


Figura 149 Frecuencia de daños en pilares en función de la altura del colindante

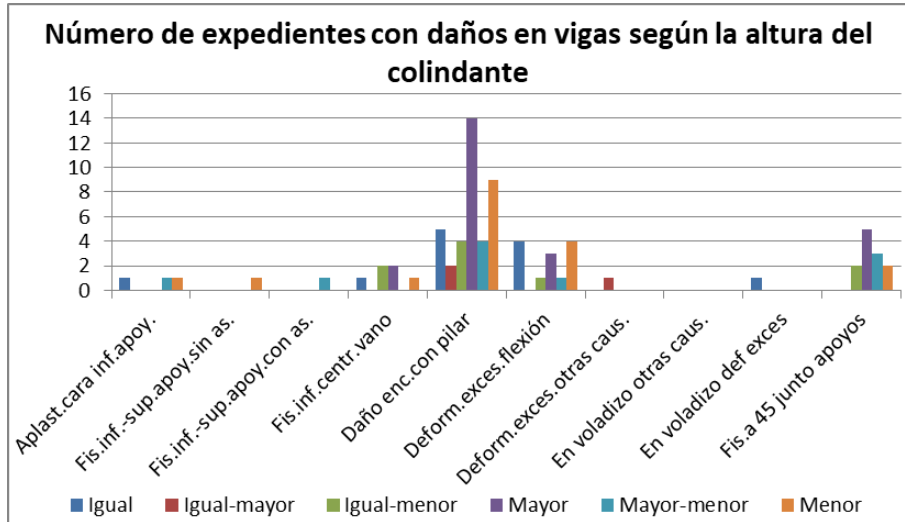


Figura 150 Frecuencia de daños en vigas en función de la altura del colindante

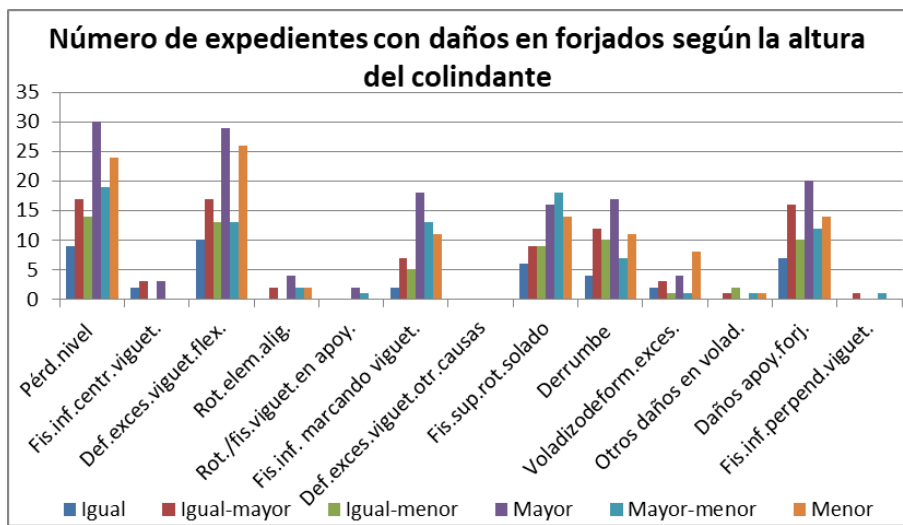


Figura 151 Frecuencia de daños en forjados en función de la altura del colindante



## 4.3.7. Estimación del porcentaje de huecos en muros y fachadas



Figura 152 Frecuencia de daños en muros en función del porcentaje de huecos estimado

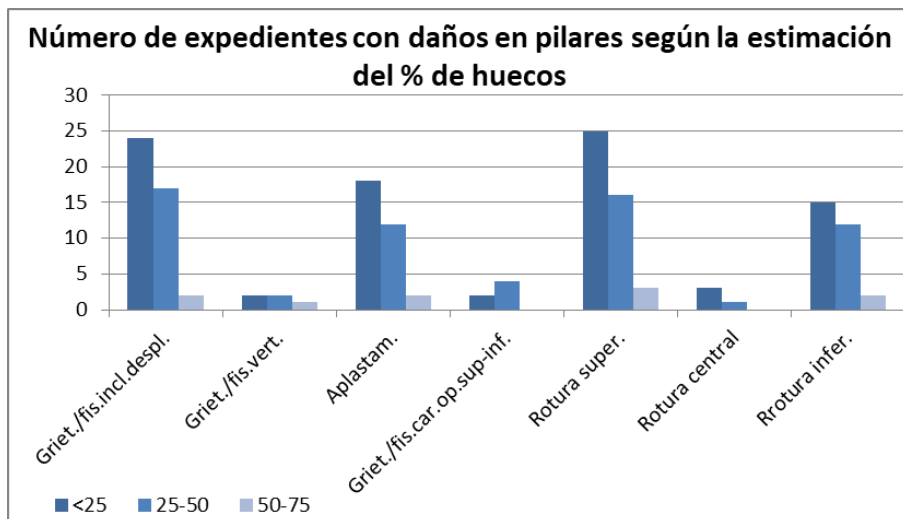


Figura 153 Frecuencia de daños en pilares en función del porcentaje de huecos estimado

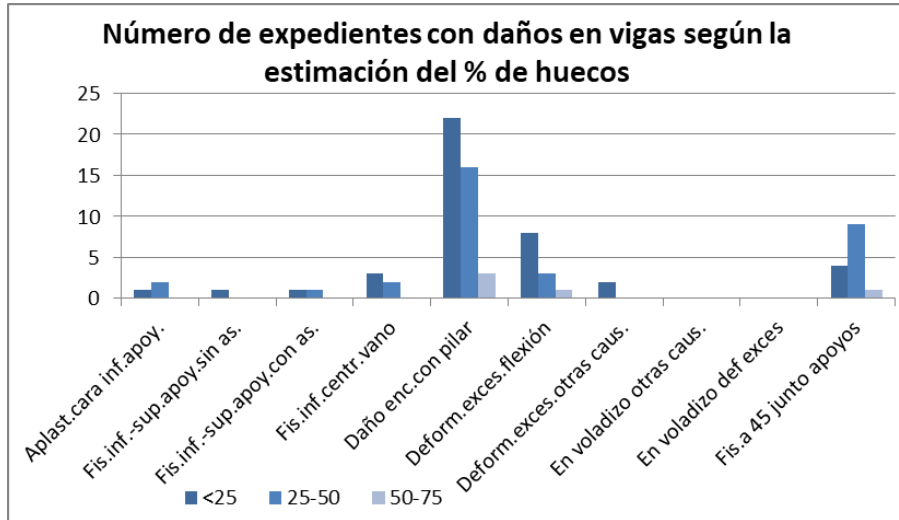


Figura 154 Frecuencia de daños en vigas en función del porcentaje de huecos estimado

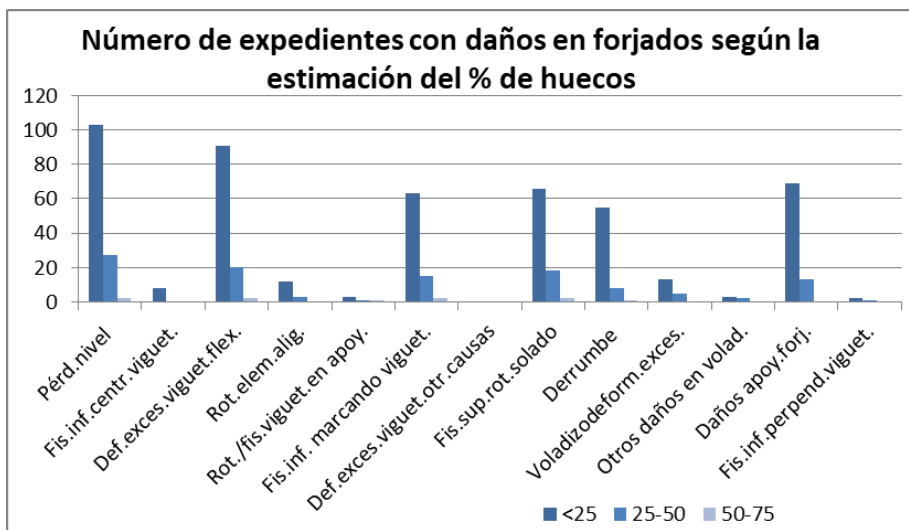


Figura 155 Frecuencia de daños en forjados en función del porcentaje de huecos estimado

4.3.8. Terreno según NCSE-02



Figura 156 Frecuencia de daños en muros en función del tipo de terreno NCSE-02

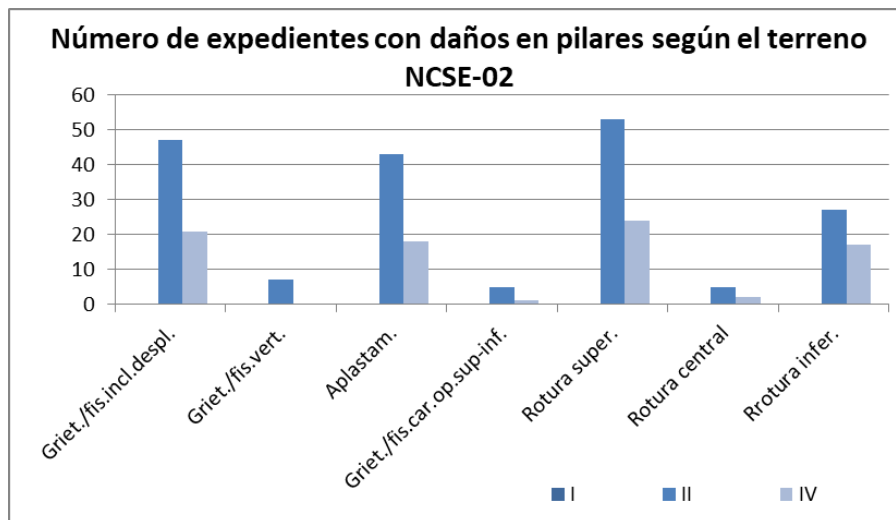


Figura 157 Frecuencia de daños en pilares en función del tipo de terreno NCSE-02

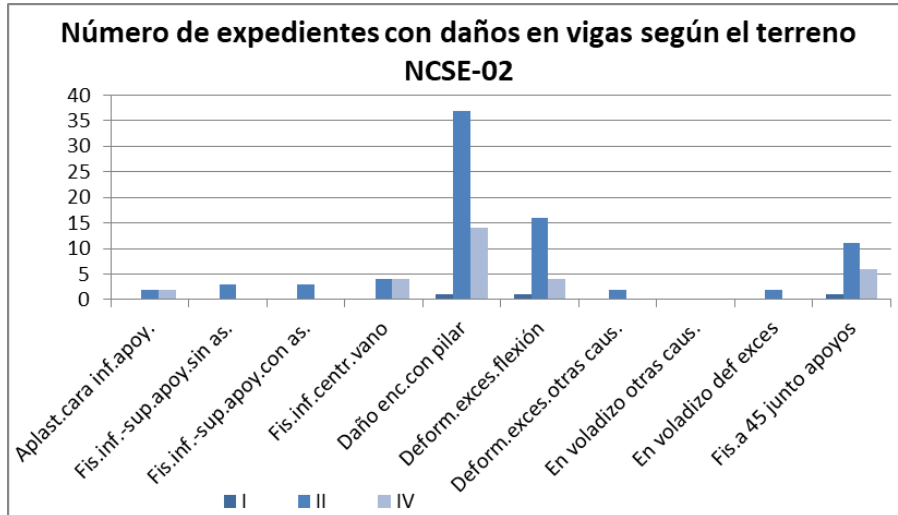


Figura 158 Frecuencia de daños en vigas en función del tipo de terreno NCSE-02

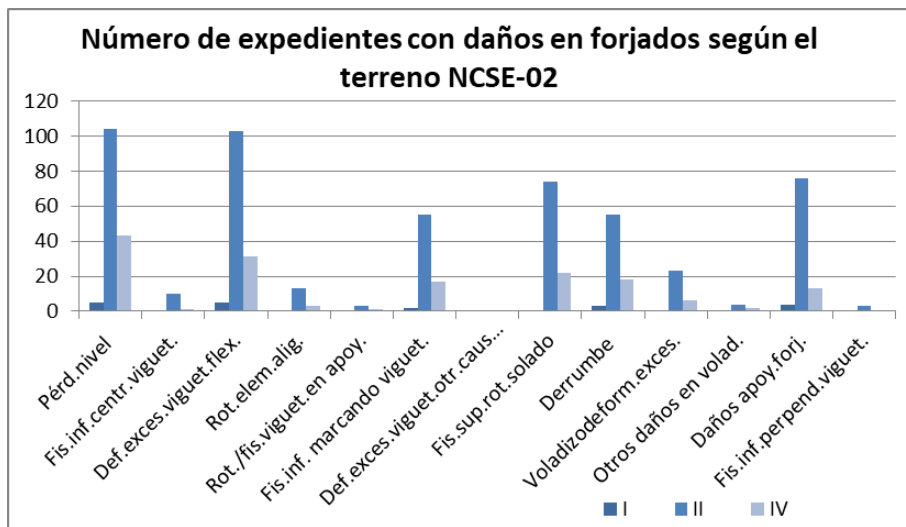


Figura 159 Frecuencia de daños en forjados en función del tipo de terreno NCSE-02

4.3.9. Compartimentación en planta baja

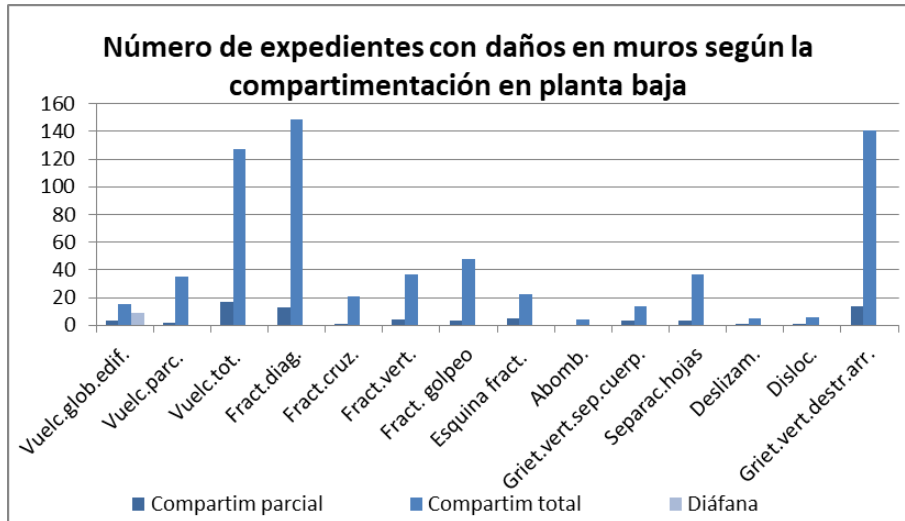


Figura 160 Frecuencia de daños en muros en función de la compartimentación en planta baja

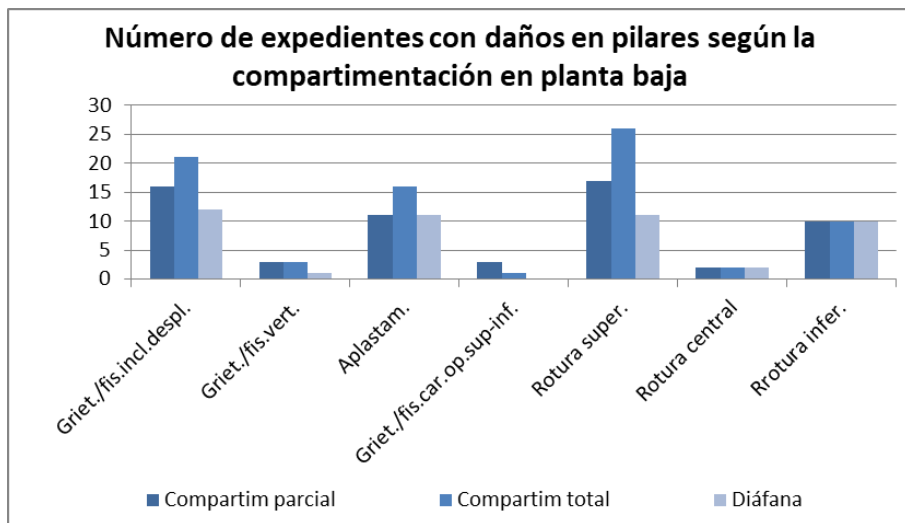


Figura 161 Frecuencia de daños en pilares en función de la compartimentación en planta baja

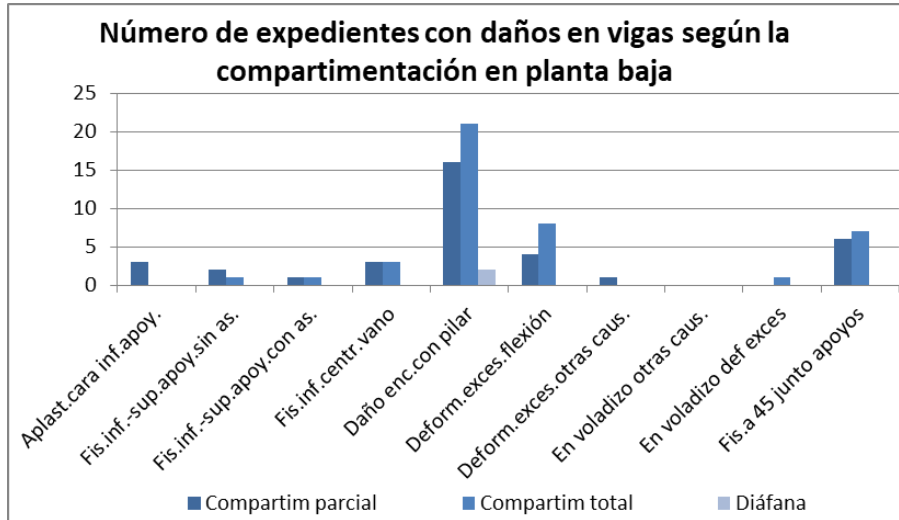


Figura 162 Frecuencia de daños en vigas en función de la compartimentación en planta baja

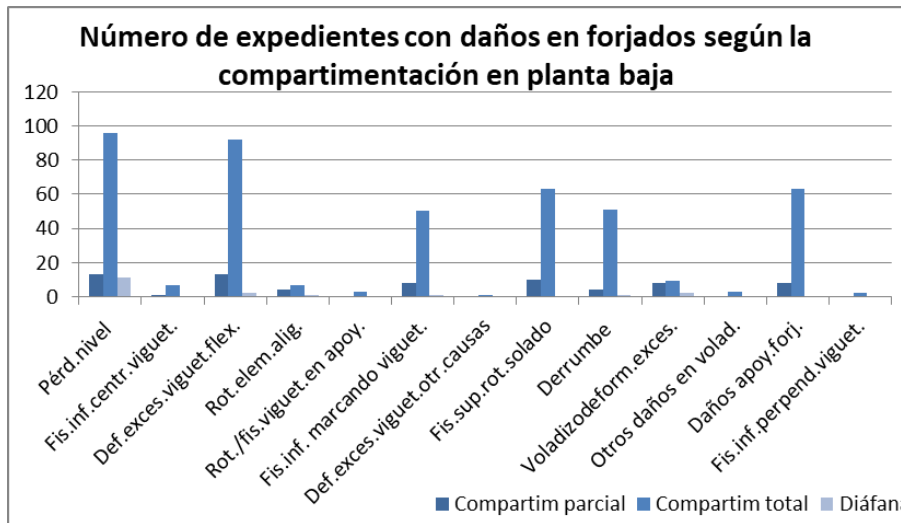


Figura 163 Frecuencia de daños en forjados en función de la compartimentación en planta baja

## 4.3.10. Condiciones relativas al plan PEPRI

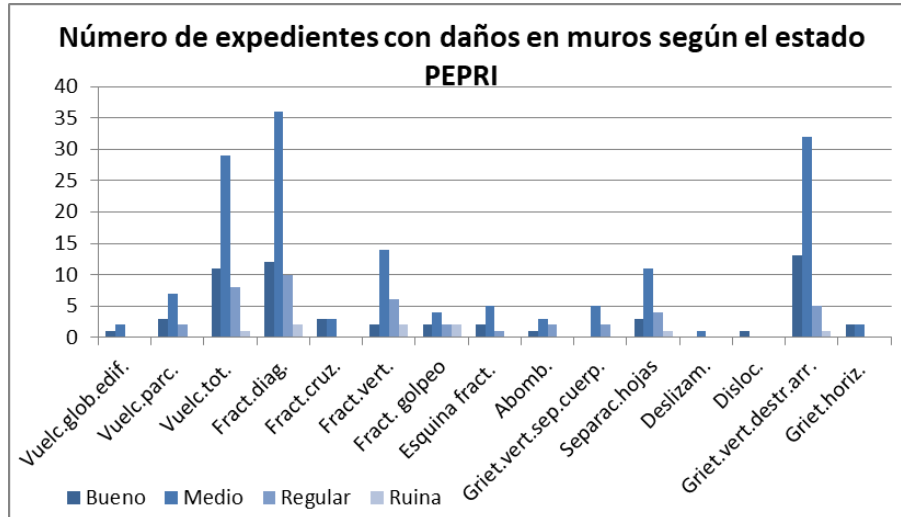


Figura 164 Frecuencia de daños en muros en función estado indicado en el plan PEPRI

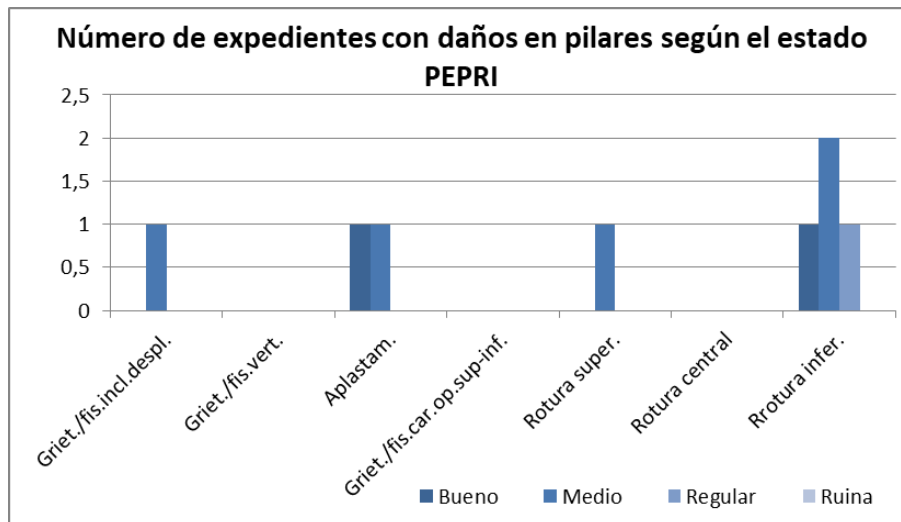


Figura 165 Frecuencia de daños en pilares en función estado indicado en el plan PEPRI

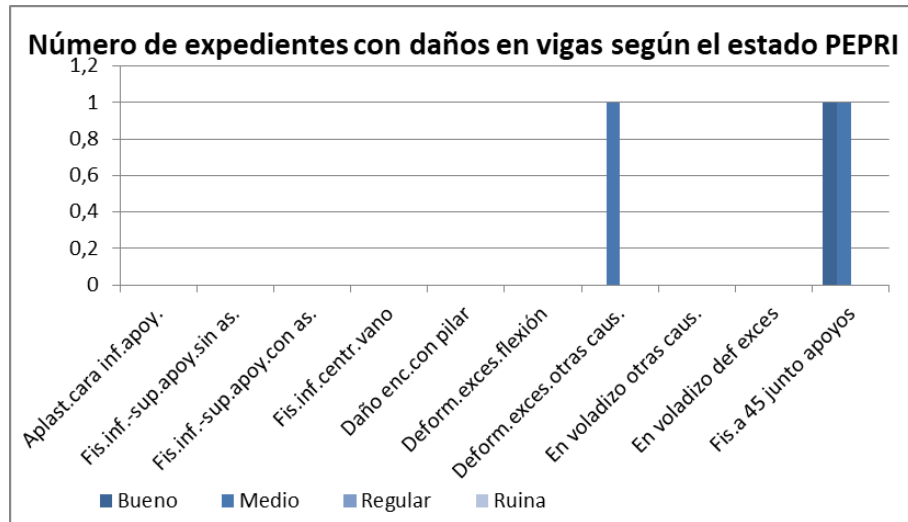


Figura 166 Frecuencia de daños en vigas en función estado indicado en el plan PEPR



**ANEXO II**  
**PLANOS**



## ANEXO II. PLANOS

### AII.1. INTRODUCCIÓN

Se incorporan en el presente anexo los planos con la información gráfica correspondiente a los aspectos más relevantes desarrollados en esta tesis.

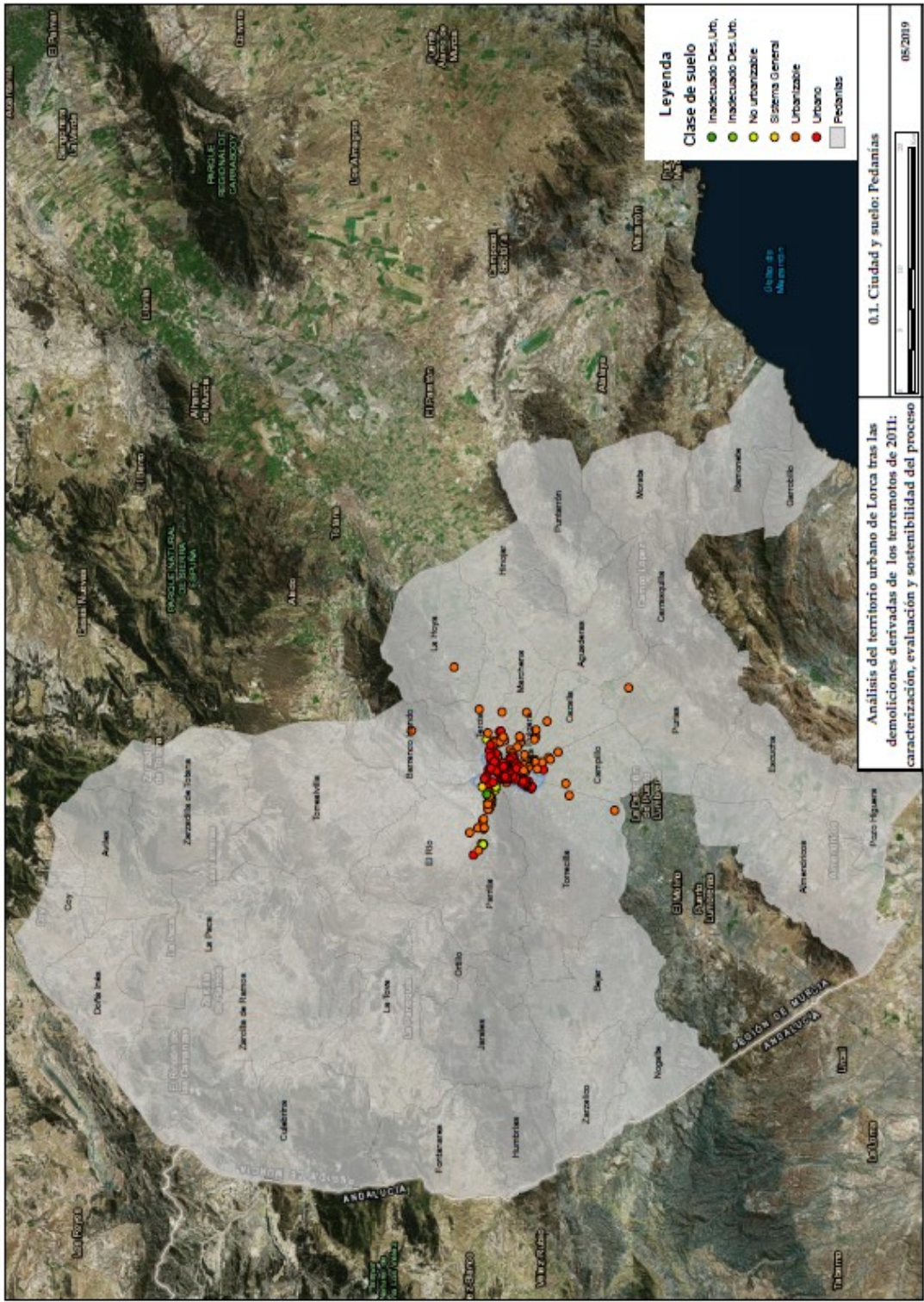
### AII.2. PLANOS INCORPORADOS

El listado de planos que figuran en este anexo y su contenido es el siguiente:

- 0.1. Ciudad y suelo: Pedanías. Refleja la disposición de pedanías perteneciente al término de Lorca, con indicación de la clase de suelo desde el punto de vista urbanístico de las ubicaciones de cada uno de los expedientes.
- 0.2. Ciudad y suelo: Barrios. Muestra la misma información que el plano anterior, pero aplicando zoom sobre los barrios.
- 1.1. Edificios: Estructura I. Aparece la ubicación de cada expediente con indicación del tipo de estructura vertical con la escala adecuada para observar las pedanías.
- 1.2. Edificios: Estructura II. Muestra la misma información que el plano anterior, pero en este caso se aplica la escala adecuada para observar lo que ocurre a nivel de barrio.
- 2.1. Daños en cimentación. Todos los planos de daños se muestran como densidad de daños en base al número de daños diferentes para cada uno de los elementos analizados y a su localización.
- 2.2. Daños en muros
- 2.3. Daños en pilares
- 2.4. Daños en forjados
- 2.5. Daños en fachadas no estructurales
- 2.6. Daños en cubiertas
- 3. Vulnerabilidad y terreno según NCSE-02. Sobre el fondo del tipo de terreno en base a los estudios de microzonación sísmica en los que se

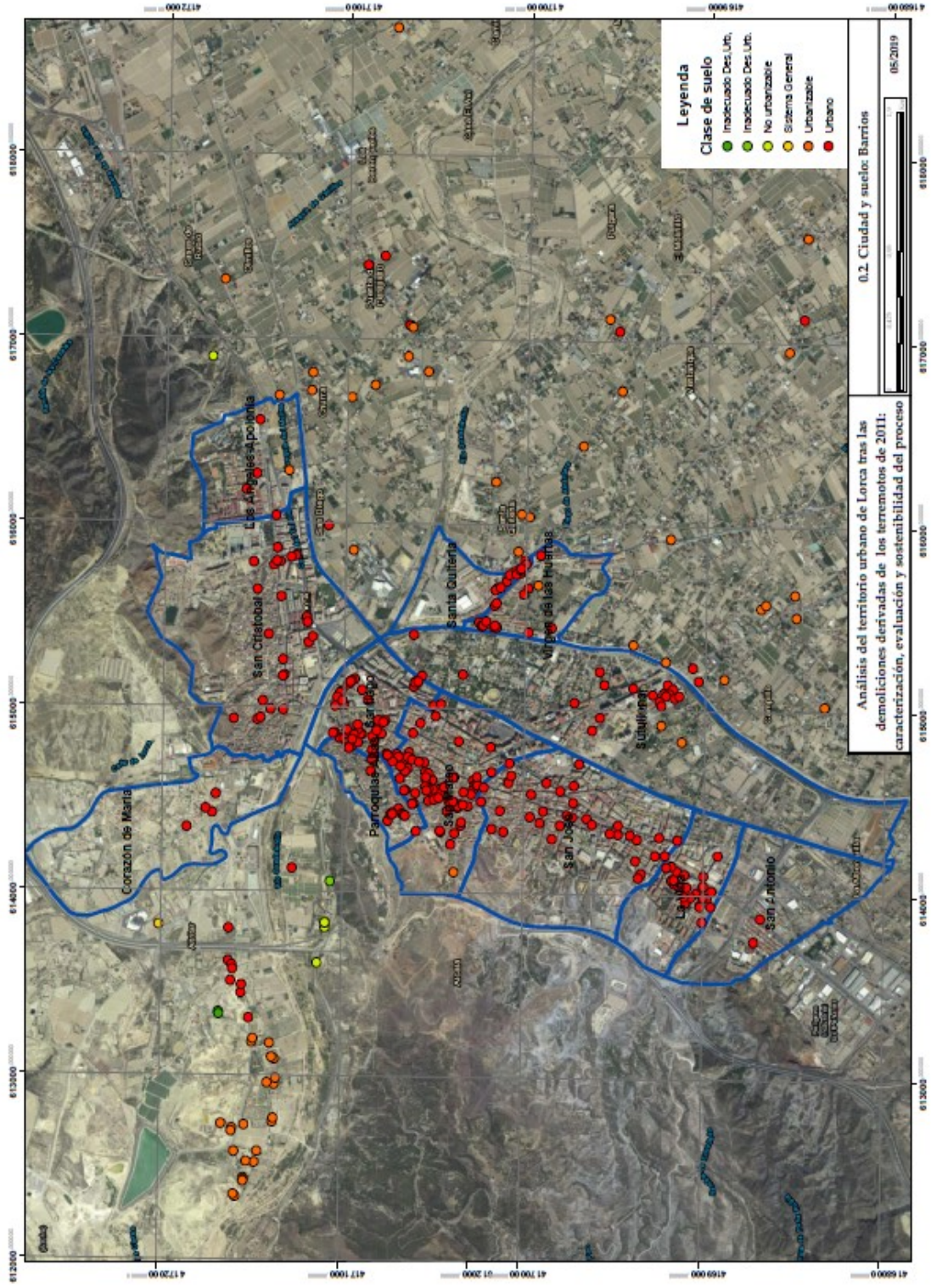
obtiene la velocidad de ondas de cizalla a 30 m, se disponen las ubicaciones de los expedientes mostrando su grado de vulnerabilidad.

- 4. Tipos de ruina y no demolidos. Se indican los expedientes en función del tipo de ruina, con indicación de los que todavía no han sido demolidos.
- 5. Costes de demolición. Se indica la ubicación de los expedientes mediante puntos cuyo diámetro es proporcional al rango de coste de demolición que figura en la leyenda.
- 6.1. Fecha de inicio de expediente. Refleja en rojo los últimos expedientes en iniciarse y en verde los primeros.
- 6.2. Fecha de demolición. En aquellos casos en los que las fechas de demolición están disponibles, se reflejan en rojo los casos en los que la demolición es más reciente y en verde aquellos en los que se produjo al inicio del proceso.







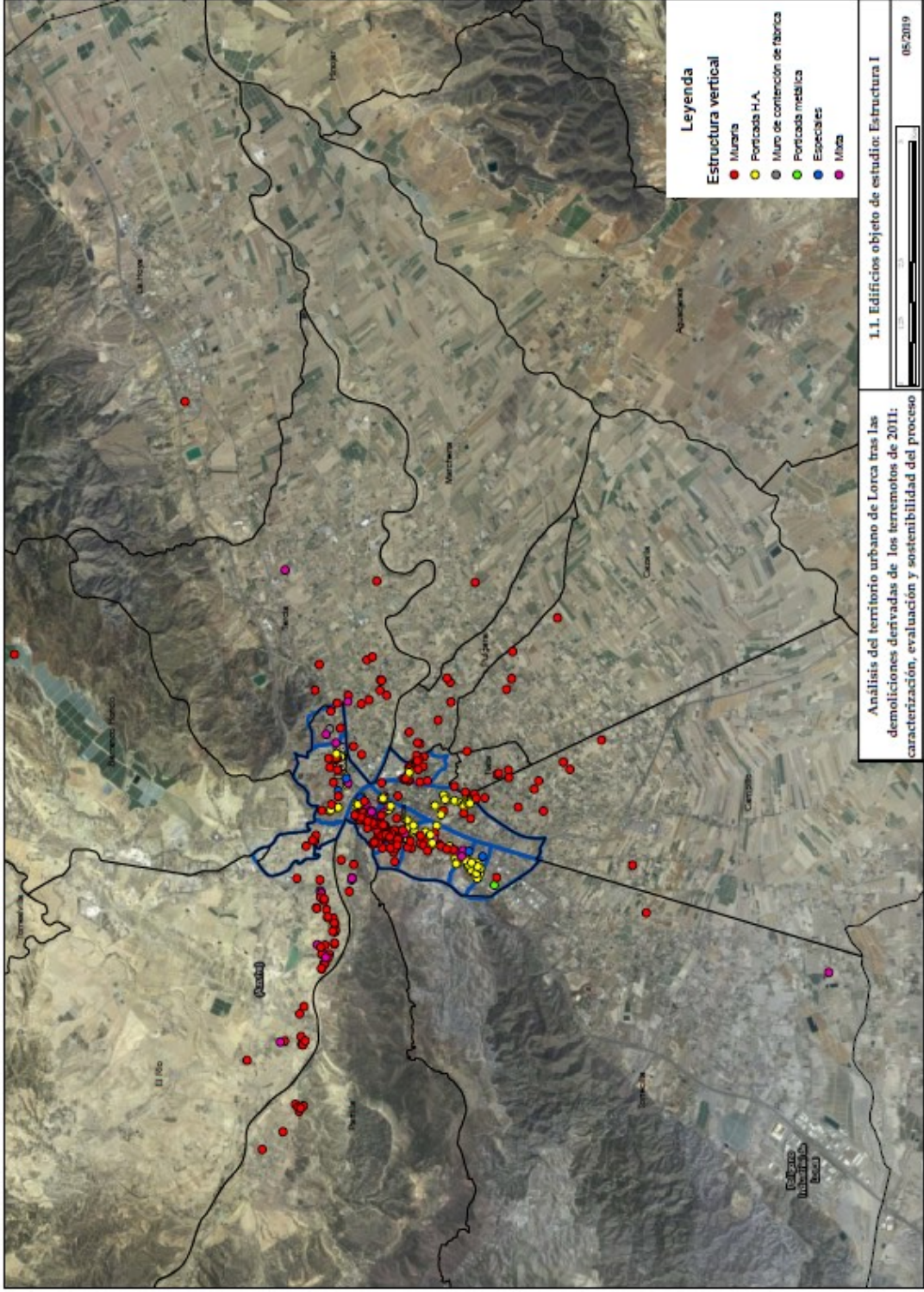


613200 613600 614000 614400 614800 615200 615600 616000 616400 616800 617200 617600 618000 618400 618800 619200

4169000 4170000 4171000 4172000 4173000 4174000 4175000 4176000 4177000 4178000 4179000 4180000 4181000 4182000 4183000 4184000 4185000 4186000 4187000 4188000 4189000 4190000 4191000 4192000 4193000 4194000 4195000 4196000 4197000 4198000 4199000

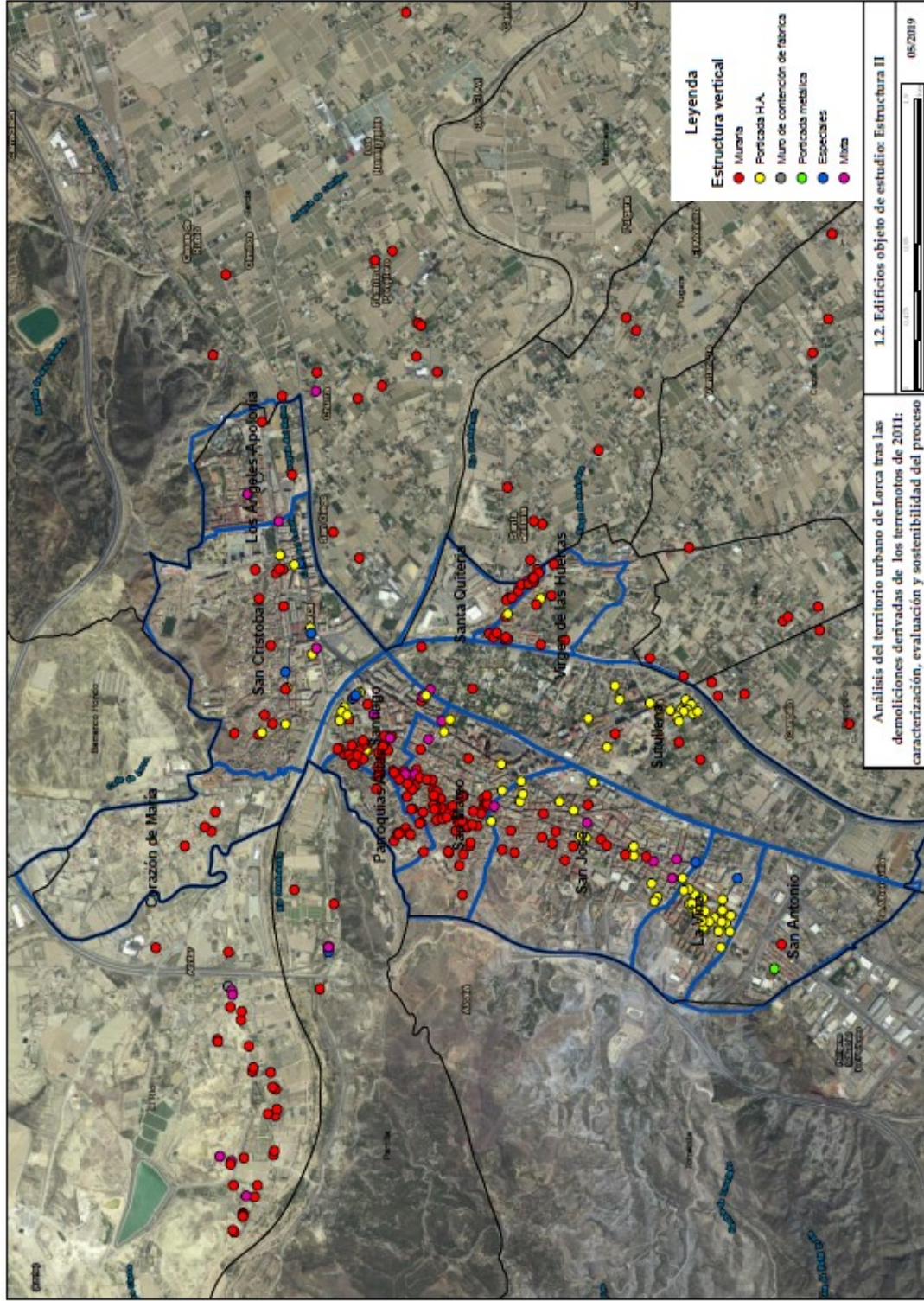






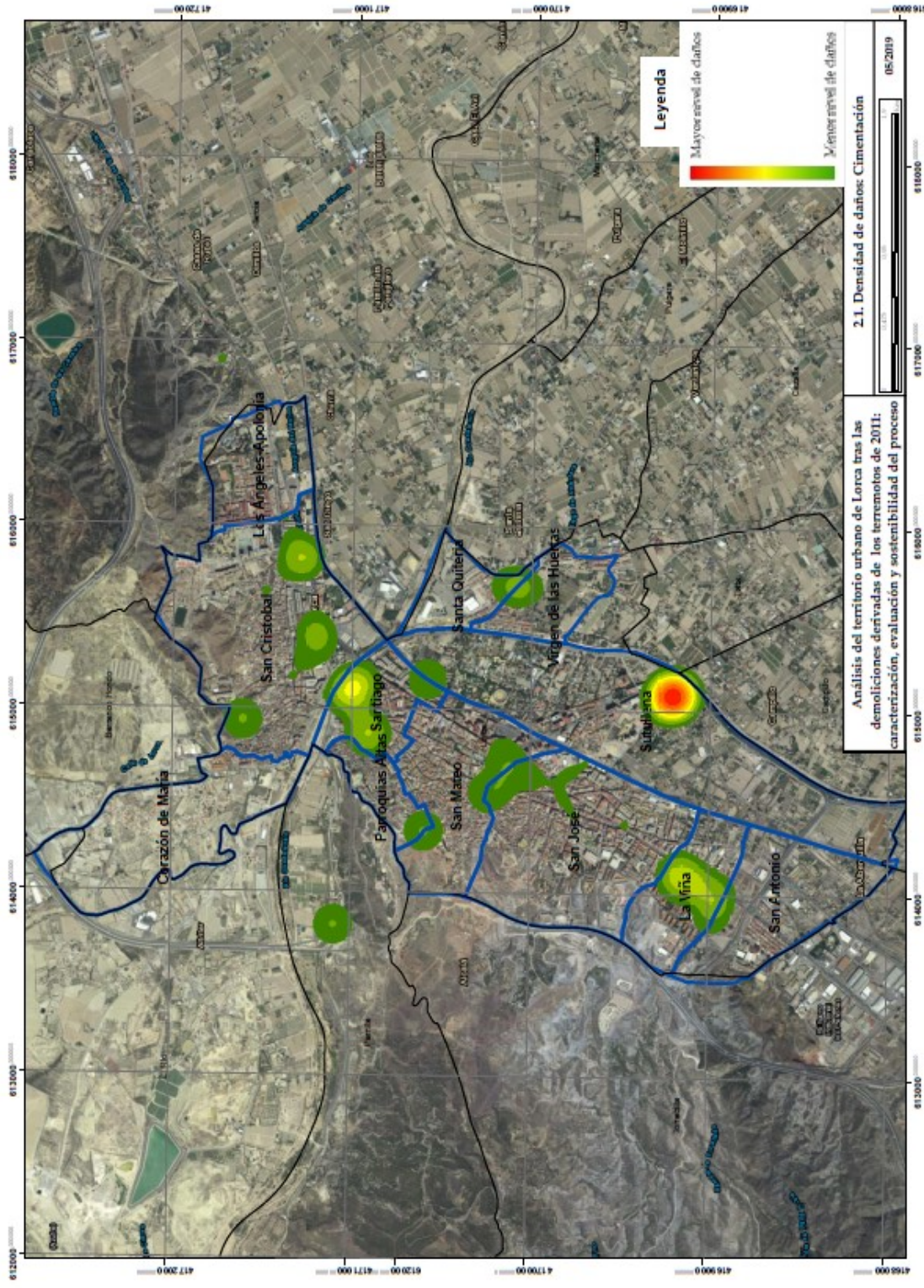








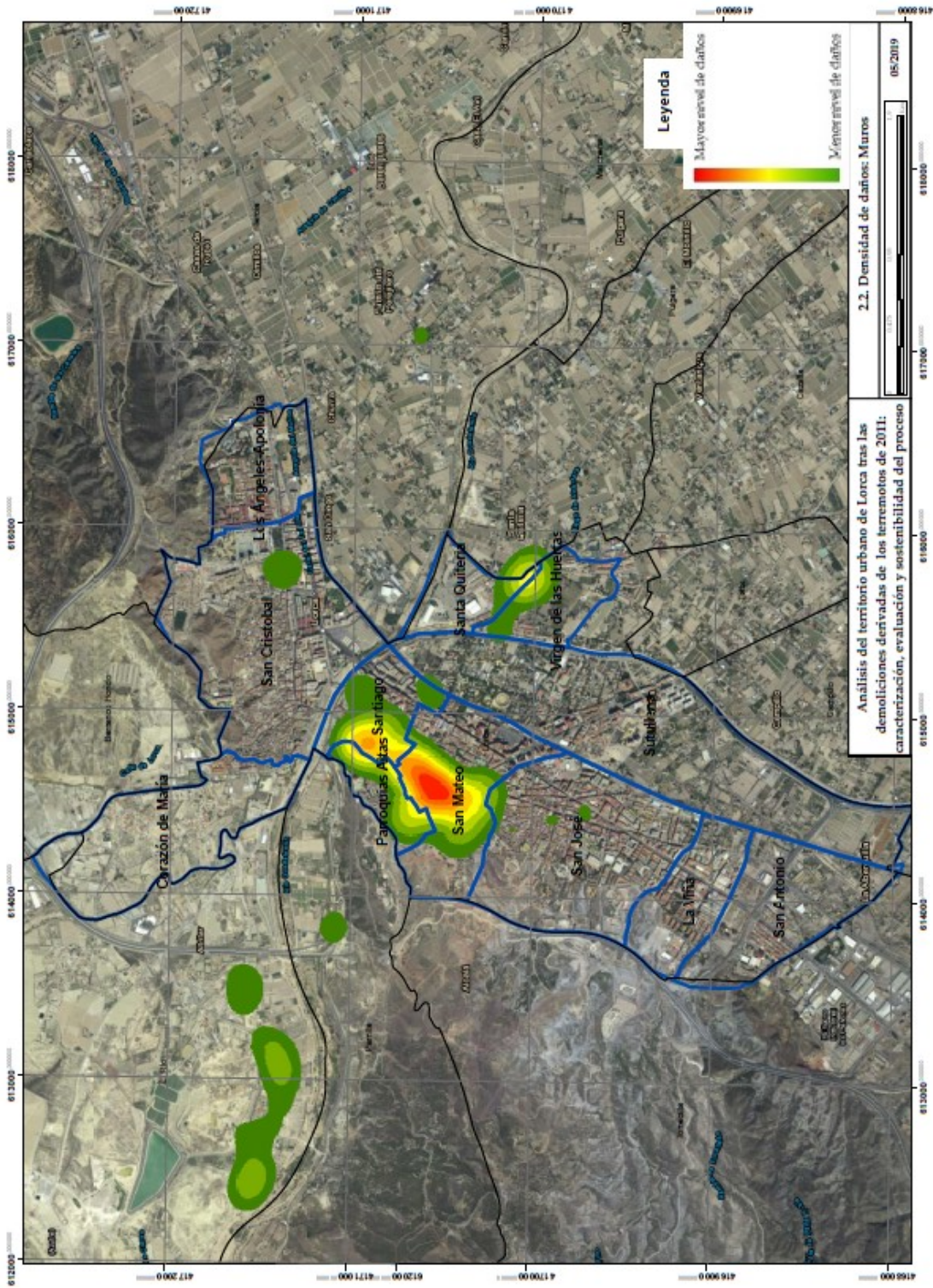




Análisis del territorio urbano de Lorca tras las demoliciones derivadas de los terremotos de 2011: caracterización, evaluación y sostenibilidad del proceso

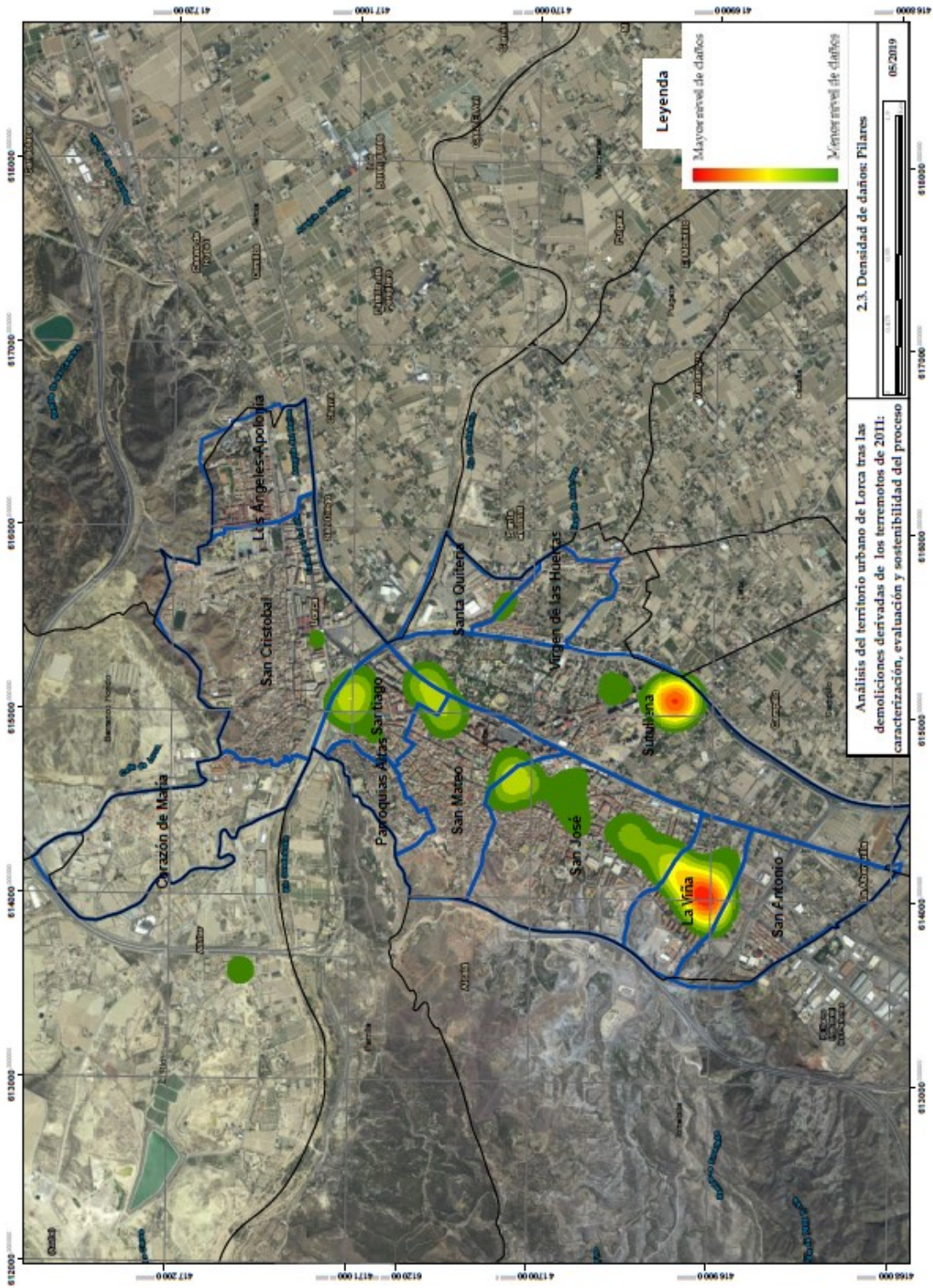






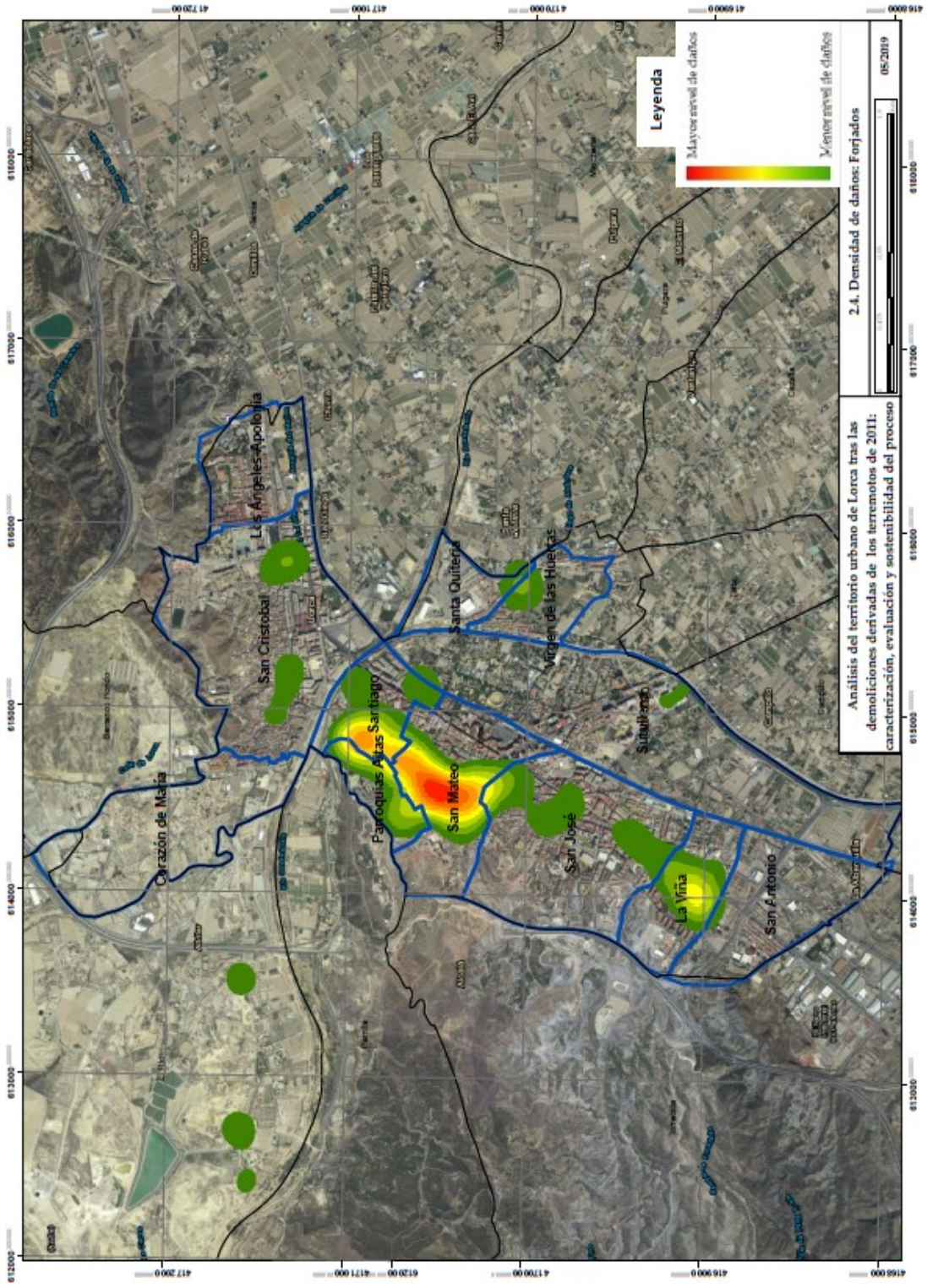






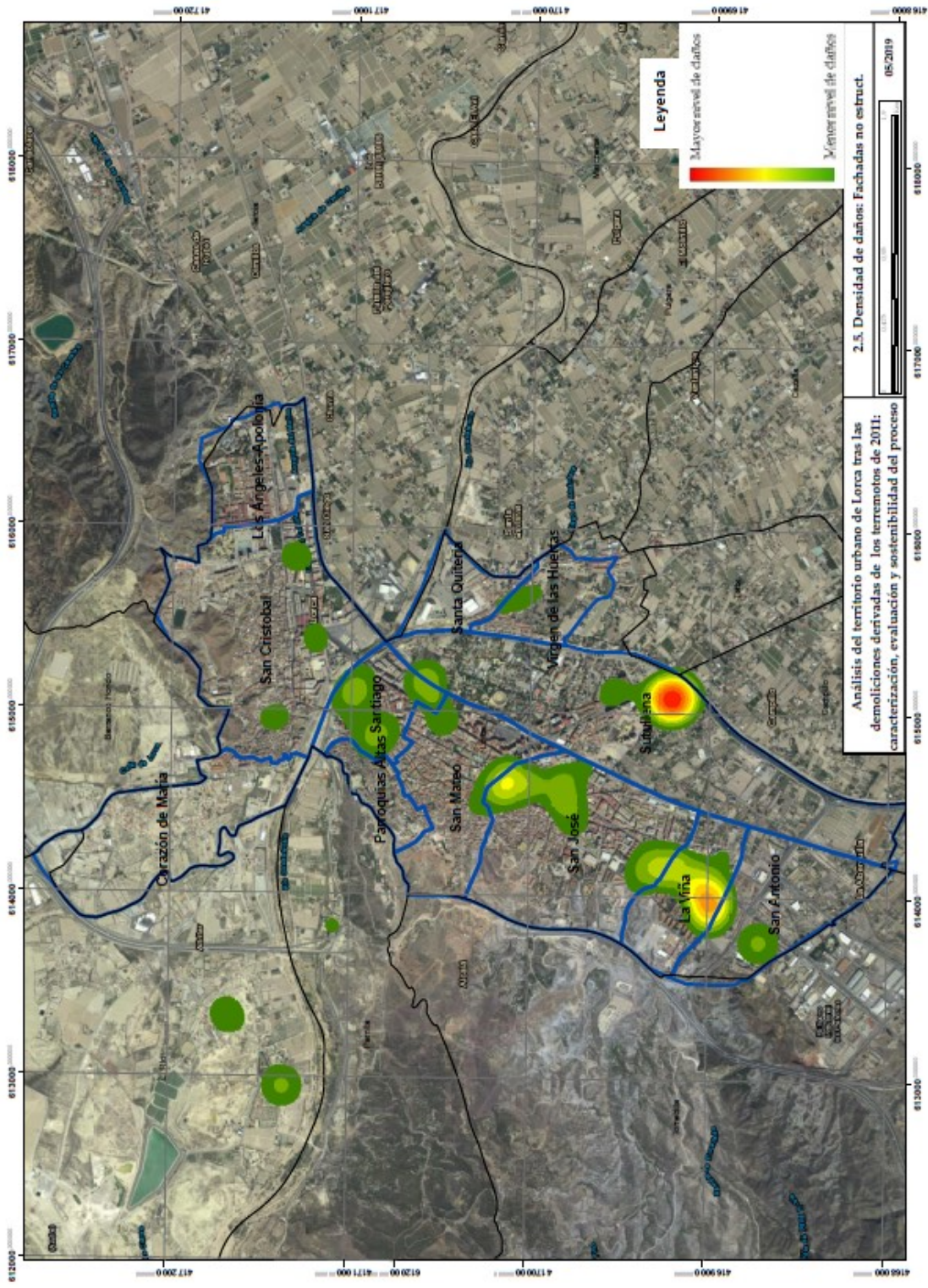






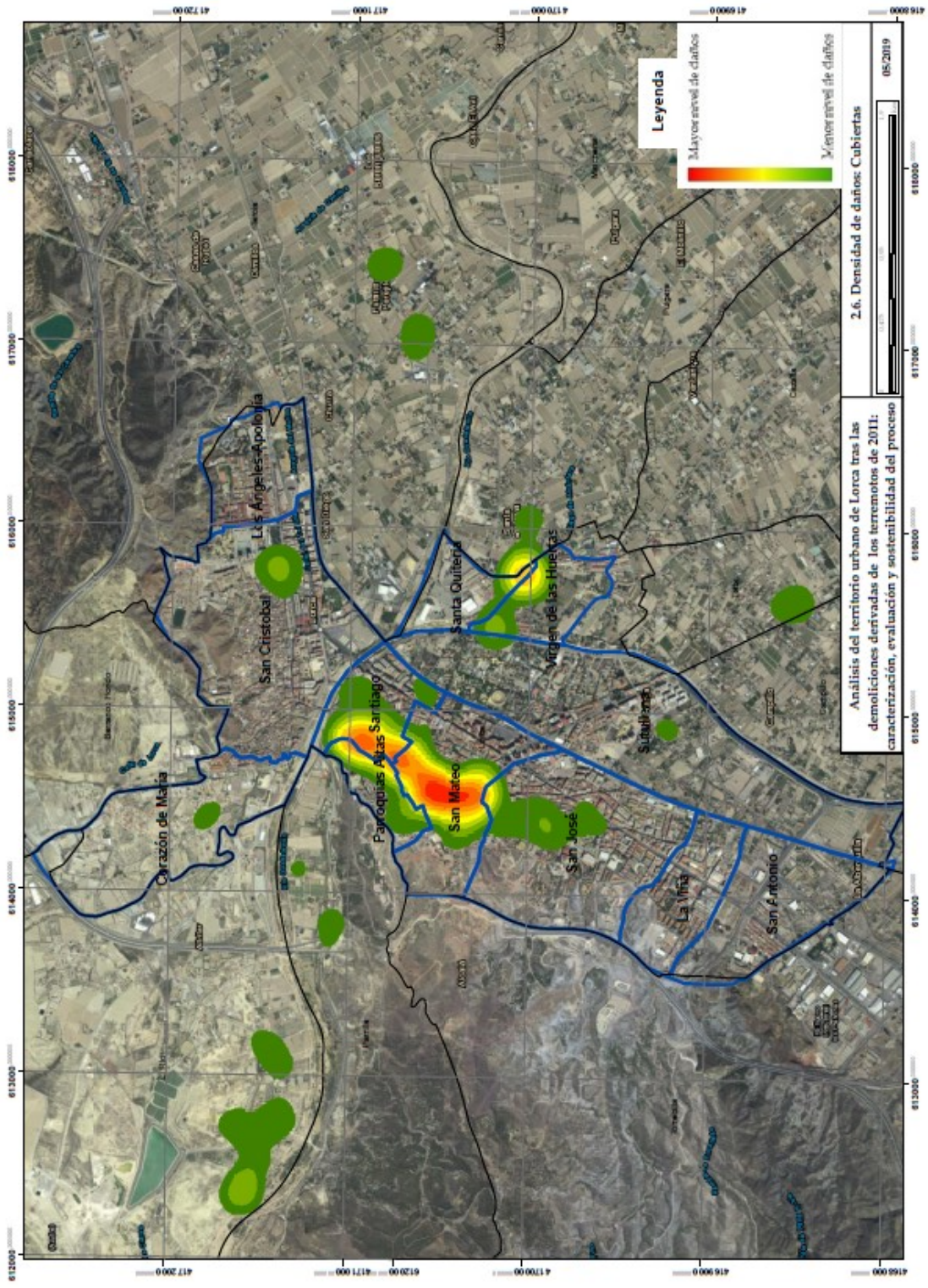










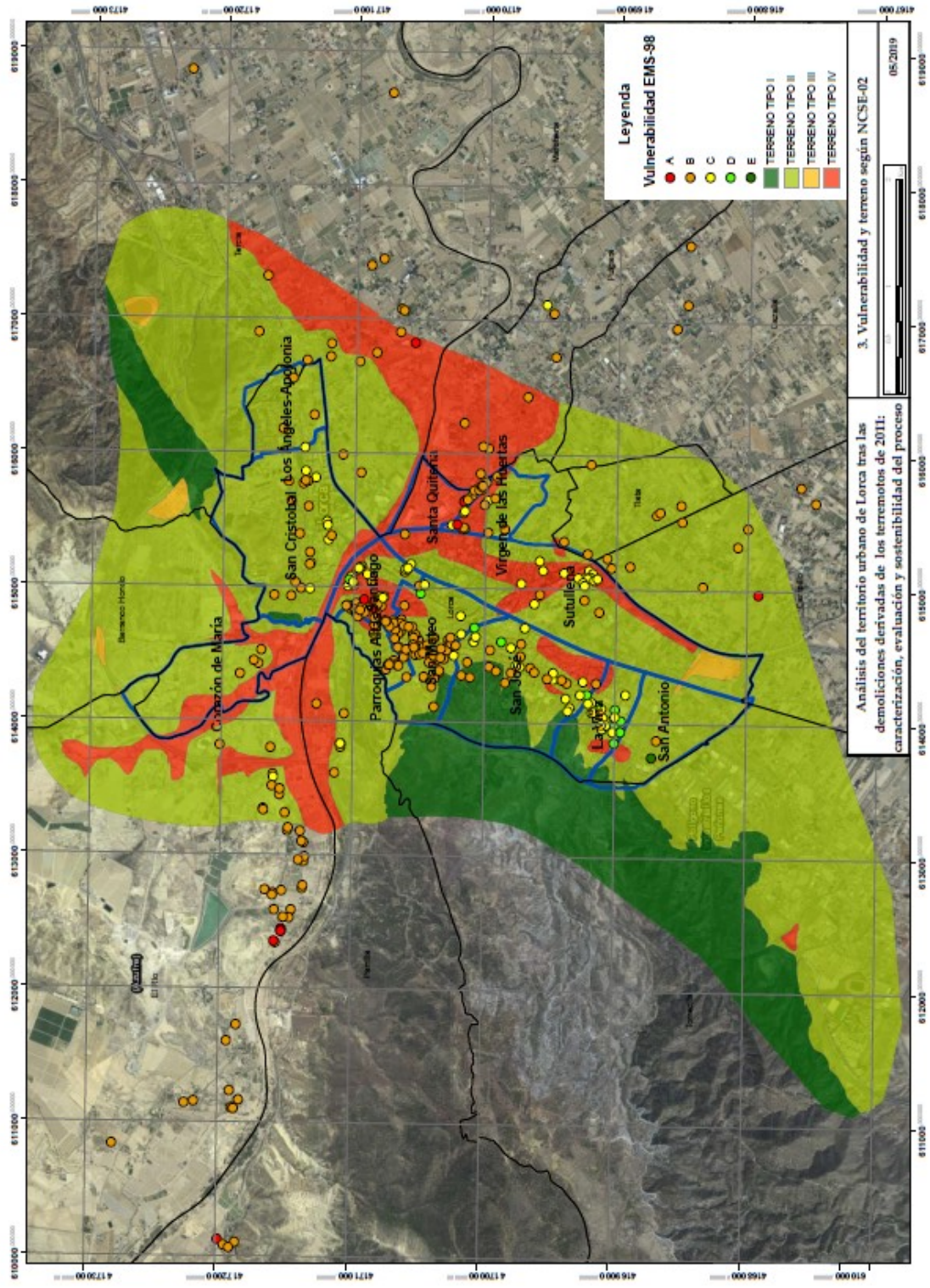


612000 613000 614000 615000 616000 617000 618000 619000

4172000 4173000 4174000 4175000 4176000 4177000 4178000 4179000



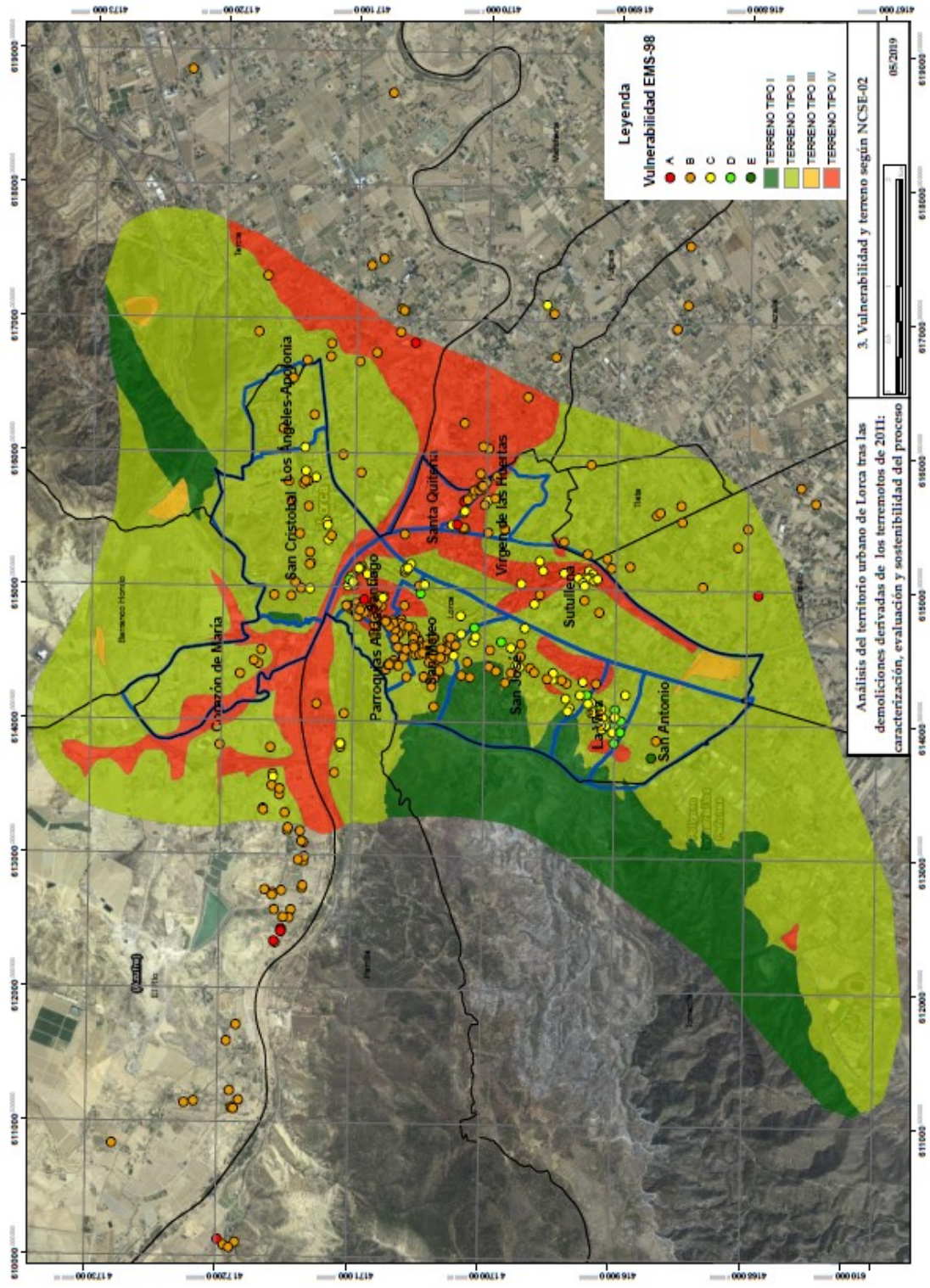




3. Vulnerabilidad y terreno según NCSE-02

05/2019

Análisis del territorio urbano de Lorca tras las demoliciones derivadas de los terremotos de 2011: caracterización, evaluación y sostenibilidad del proceso



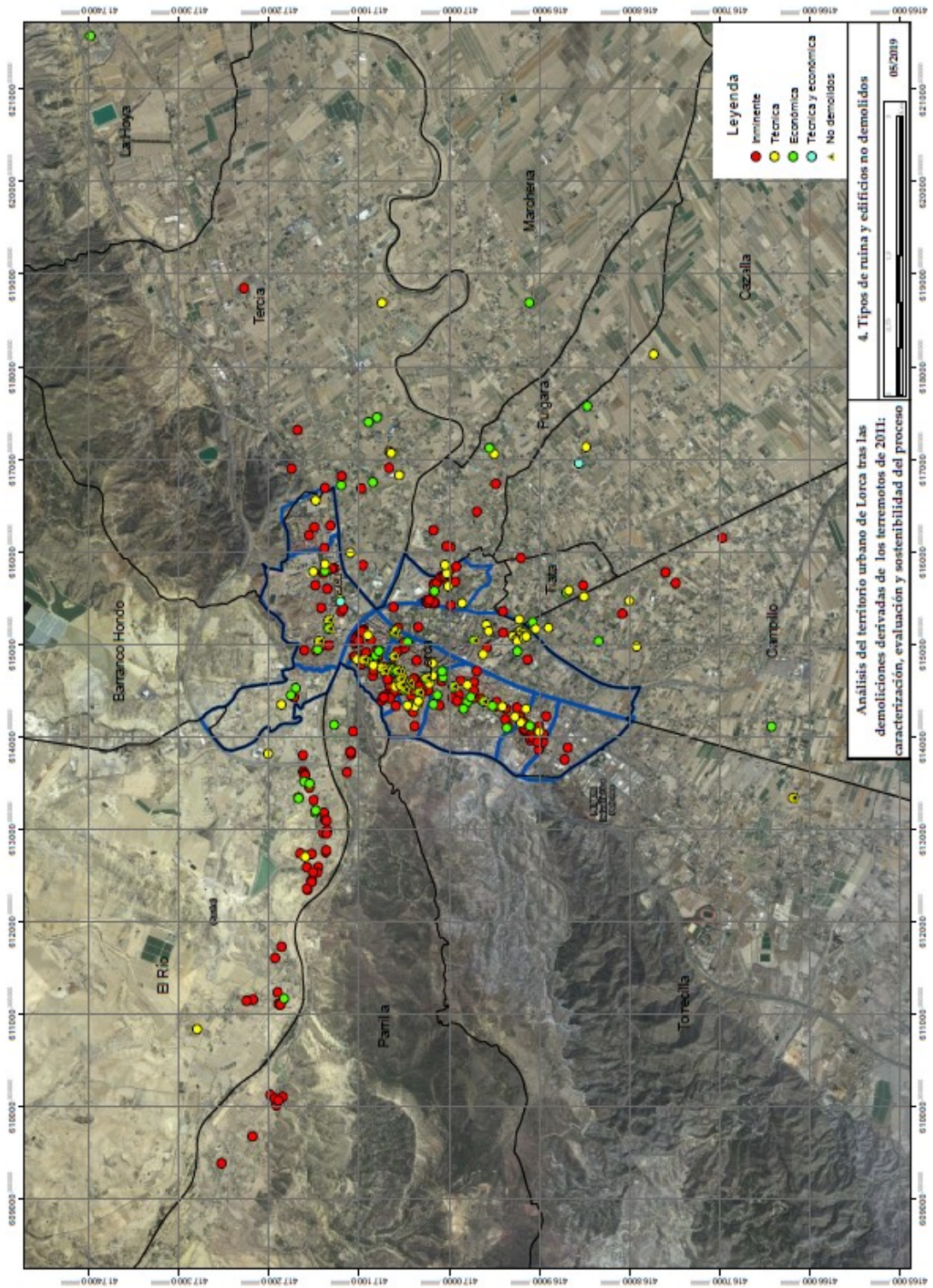
3. Vulnerabilidad y terreno según NCSE-02

05/2019

Análisis del territorio urbano de Lorca tras las demoliciones derivadas de los terremotos de 2011: caracterización, evaluación y sostenibilidad del proceso

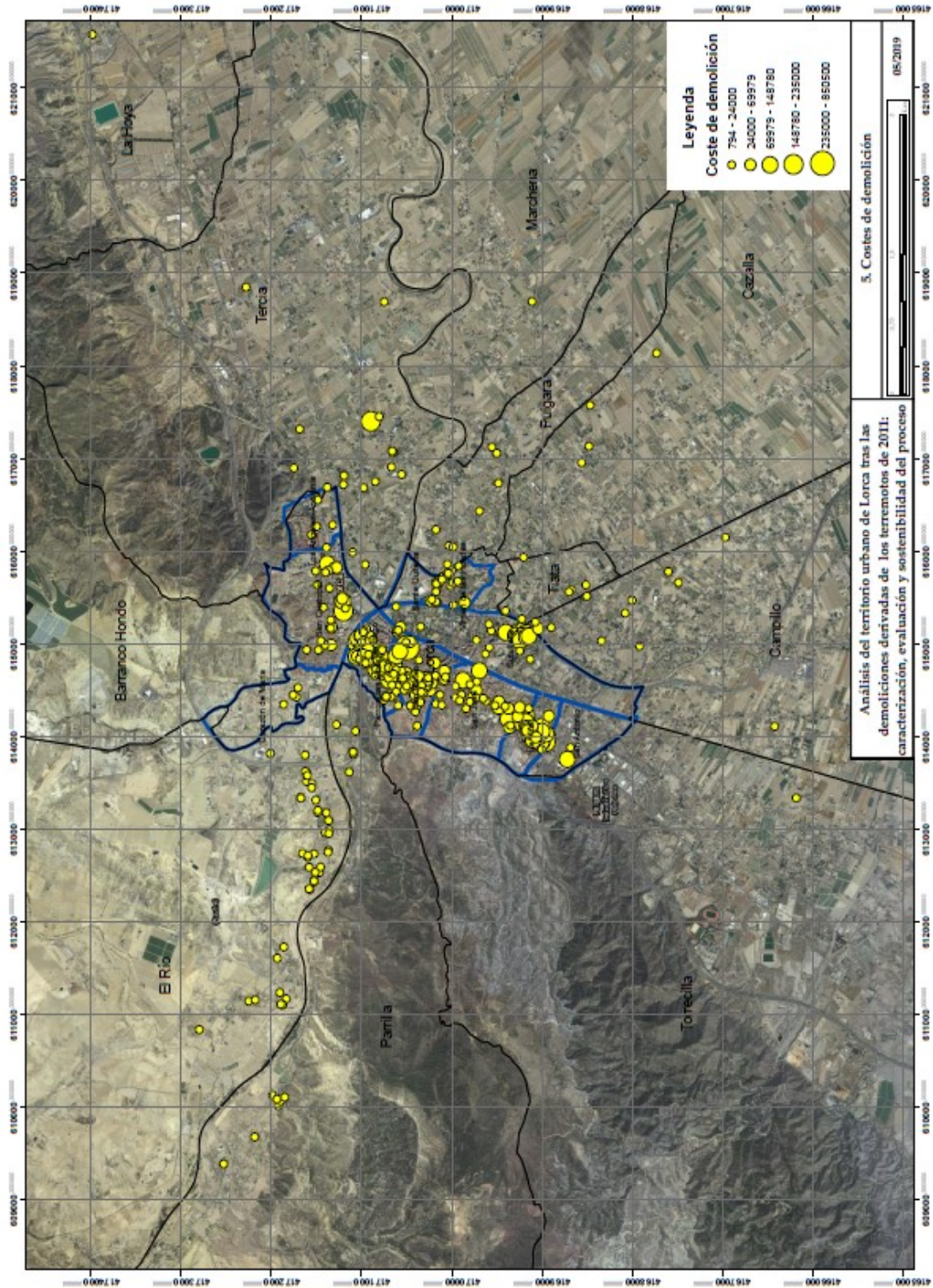






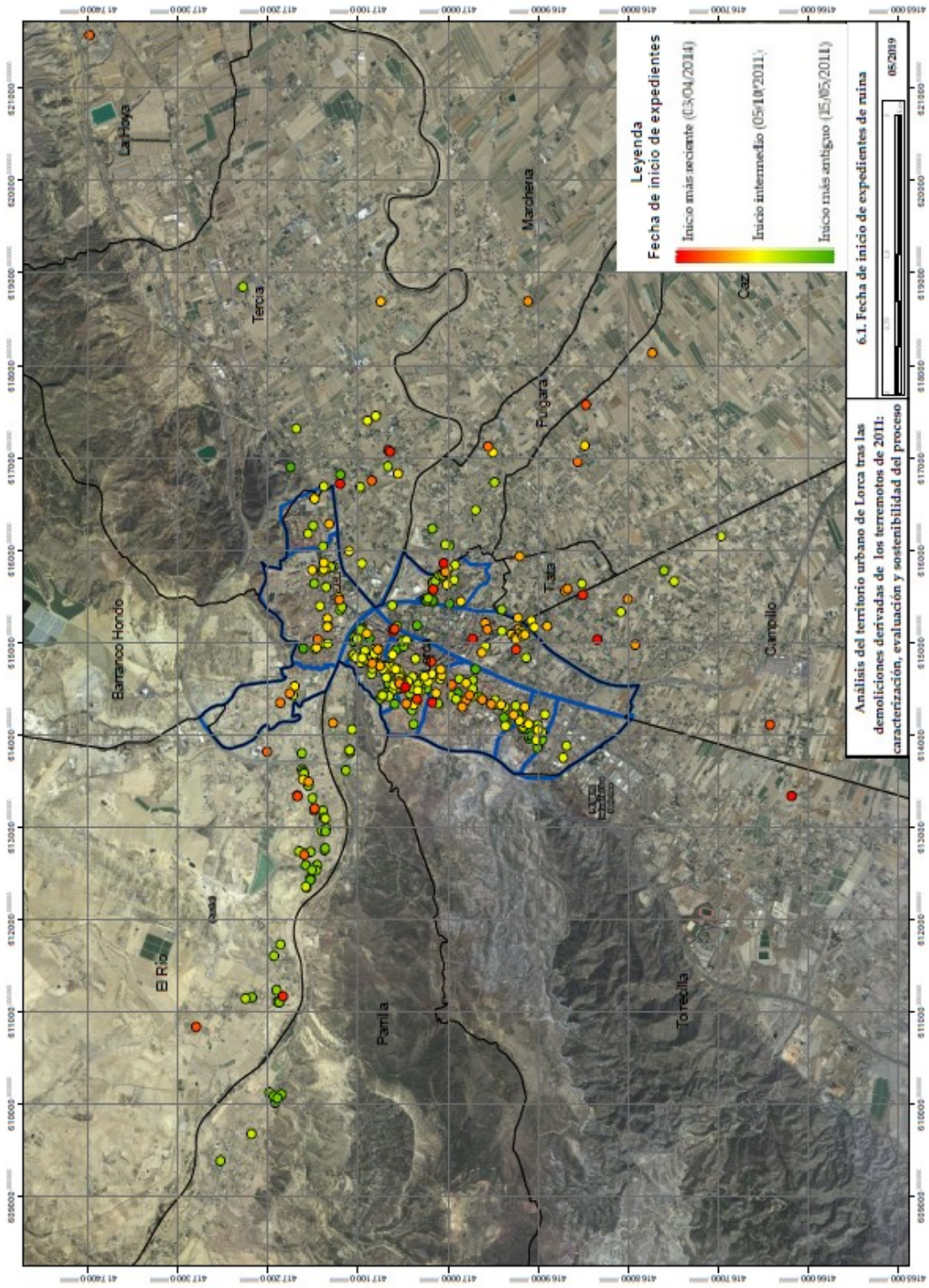






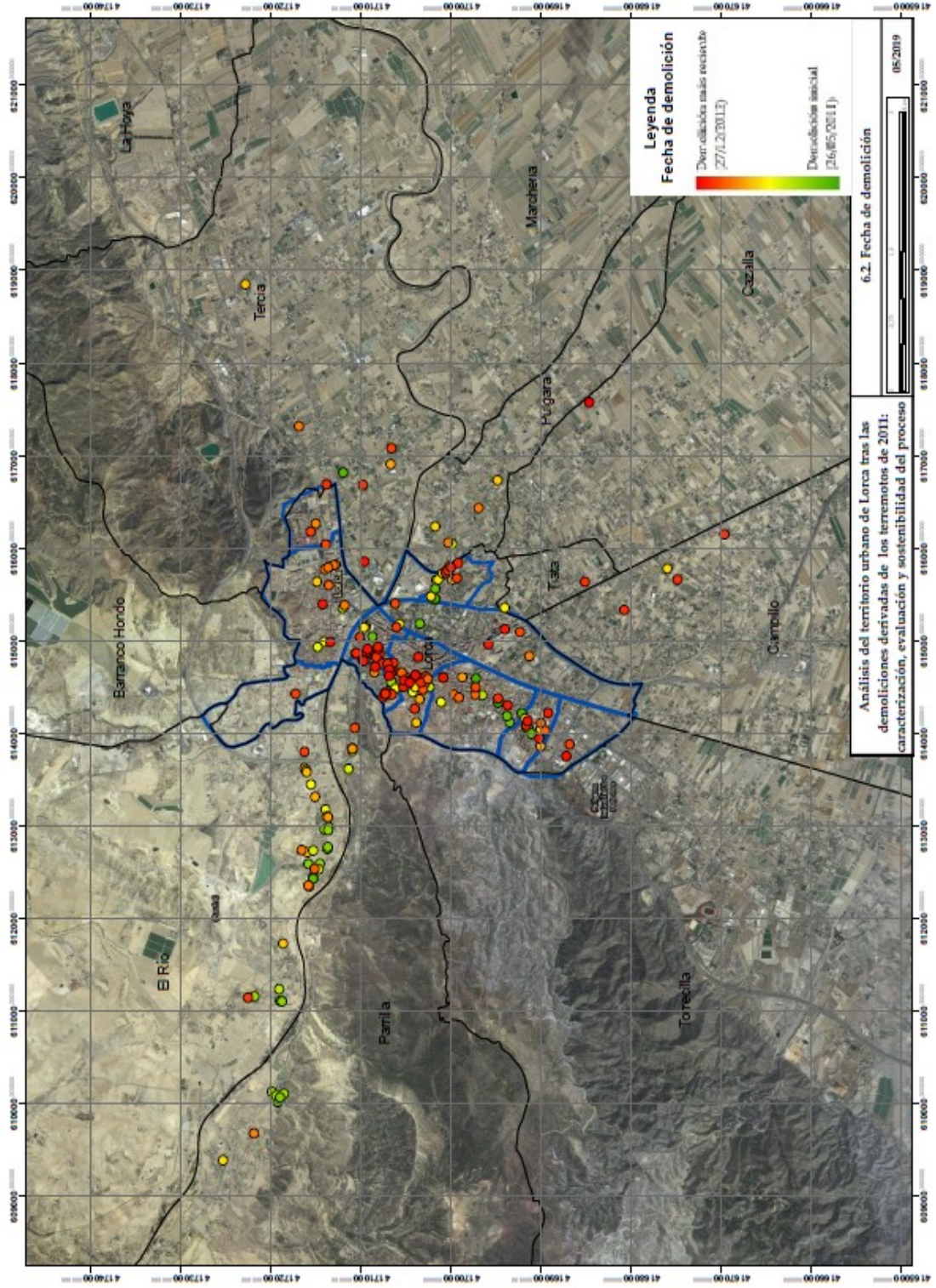














**ANEXO III**  
**INFORMACIÓN EN**  
**SOPORTE DIGITAL**



## ANEXO III. INFORMACIÓN EN SOPORTE DIGITAL

### AIII.1. INTRODUCCIÓN

Este documento se acompaña de un soporte digital con cierta información complementaria, cuyo uso se comenta a continuación.

### AIII.2. BASE DE DATOS EN ACCESS

Se adjuntan dos archivos correspondientes a la base de datos en Access con extensión accdb, descritas a lo largo del presente documento y que permiten comprobar todos los datos extraídos de cada uno de los expedientes municipales. El formato es el descrito en el apartado 3.4 correspondiente a la elaboración de la base de datos.

Para su uso se debe abrir el archivo y seleccionar en la parte izquierda de la pestaña “Todas las tablas” la denominada “Formulario 1” si queremos acceder a la información en formato formulario, o la denominada “Edificios demolidos: Tabla” si queremos acceder a la información en formato tabla. Ambas están situadas en el apartado “Edificios demolidos” según lo indicado en la Figura 167.

Fichas Expedientes Ruina Técnica Octubre 2018 : Base de datos (Access 2007 - 2010) - Microsoft Access

Archivos Inicio Crear Datos externos Herramientas de base de datos

Todas las tablas Edificios demolidos: Tabla Edificios demolidos: Consulta Edificios demolidos: Formulario1

**Catálogo de edificios demolidos en Lorca como consecuencia de los sismos de 2011** UCAM UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MURCIA

Nº de Ficha: 263 Situación: c/ Zapatería, nº 33 esq. c/ de Paula Barrio: Parroquias Altas

Expte: RT N°exp: 001/2011 N° edifica: 1 N° portales: 1 N° viviendas: 1 Ruinas: Técnica

Descripc general: Coord X: 614834,9 Coord Y: 4171021,82 Pedanía: Lorca

Emplazam: En esquina Residenc colect: Medianera histórica Residenc unifam:

Entorno urbano PEPRI  Entorn proteg de edific declar BIC  Integrado en zona de reforma urbana  Zona de interés arqueol  Integr en zona de rehab integrada  Afectado por perspect urb catalog

Actuación PEPRI  Conservac  Rehabilitac/Reform  Restaurac  Reestructurac  Consolida  Demolic  Obra nueva  Obligat inform arqueol prev  Obligat excavac arqueol prev

Fondo máximo permitido: Plantas permitidas: Altura cornisa permitida:

Estado PEPRI: Inmueble catalogado/bic: No Año de constr: 1900

Ref catastr: 4912602XG1741B Clase: Urbano Uso: Residencial Dim X 10

Nº Plantas sobre rasante: 2 N° Plantas bajo rasante: Altura total: Dim Y 9,30

Irregul en vol(alzado):  Plantas retranq  Varios vol en alzado  Loc com en PB  Almacén en PB

Irregul en planta: Regular  Distr no unif masas  Plant a distinto nivel  Plant de dif alt

Sun name: 101 Se ubi: 93 Se laral: 98 Se searia: Se total: 130

Registro: 1 de 136 Sin filtro Buscar Bloq Num

Figura 167 Acceso a la información en formato tabla y formato ficha

Para ir a una ficha en concreto, lo más rápido es acceder mediante el número de expediente. Para ello se abre la información en formato tabla<sup>139</sup>, y se localiza el número de expediente buscado<sup>140</sup>. Posicionando el cursor sobre el número de expediente y haciendo clic, aparece en la parte inferior de la página el número de registro (Figura 168). Accediendo a la pestaña de Formulario 1 y colocando en su parte inferior el número de registro obtenido, inmediatamente accedemos a la ficha buscada (Figura 169).

Nº exp munic	Ref catastr	Situación	Pedanía	Clase	Uso	Sc total(m2)	Sup parcela(m2)	Sc vivienda(m2)
001/2011	4912602XG1741B	c/ Zapatería, nº 33 esq. c/ de Paula	Lorca	Urbano	Resider	120	101	92
002/2011	4911719XG1741B	c/ Cava, nº 46	Lorca	Urbano	Resider	126	126	92
003/2011	4911718XG1741B	c/ Cava, nº 44 (nº 40 s.c.)	Lorca	Urbano	Resider	221	85	164
004/2011	4811508XG1741B	c/ Cava, nº 37	Lorca	Urbano	Resider	365	159	199
005/2011	4295003XG1649E	c/ Río Guadalentín, nº 15	Lorca	Urbano	Resider	731	356	309
007/2011	30024A15900107	c/ Camino Cartagena, nº 54	La Tercia	Urbano	Resider	333	2745	240
008/2011	001307900XG17B	c/ Camino Cartagena, nº 56	La Tercia	Urbano	Resider	188	159	135
009/2011	5107004XG1750E	Avda. Ramón y Cajal, nº 6	Lorca	Urbano	Resider	374	368	
010/2011	4604908XG1740D	c/ Nogalte, nº 32	Lorca	Urbano	Resider	591	197	394
013/2011	4808804XG1740H	c/ Montero, nº 6	Lorca	Urbano	Resider	185	75	130
015/2011	4910601XG1741B	c/ Juan de Toledo, nº 2 esq. c/ Villaseca	Lorca	Urbano	Resider	488	204	329
016/2011	4910402XG1741B	c/ Juan de Toledo, nº 5	Lorca	Urbano	Resider	497	226	319
017/2011	4707602XG1740F	c/ Pio XII, nº 4 esq c/ Zorrilla	Lorca	Urbano	Resider	777	259	
018/2011	4707601XG1740F	c/ Pio XII, nº 2 esq c/ Ferrnando el Santo	Lorca	Urbano	Resider	530	181	
019/2011	4707907XG1740F	c/ Pio XII, nº 3	Lorca	Urbano	Resider	178	74	101
022/2011	4706004XG1740F	c/ Alta, nº 8	Lorca	Urbano	Resider	303	178	243
024/2011	4505928XG1740F	c/ Herradura, nº 8	Lorca	Urbano	Resider	124	51	51
027/2011	4607915XG1740F	c/ Donis, nº 8	Lorca	Urbano	Resider	120	84	120
028/2011	4607908XG1740F	c/ Padre Garcia, nº 11	Lorca	Urbano	Resider	234	145	179
029/2011	4608601XG1740H	c/ Galdo, nº 3 esq c/ Padre Carlón, nº 2	Lorca	Urbano	Resider	190	108	190
031/2011	4807804XG1740F	c/ Cubo, nº 4	Lorca	Urbano	Resider	121	48	105
033/2011	4908907XG1740H	c/ Lope Gisbert, nº 17	Lorca	Urbano	Almacé	297	274	
034/2011	5110022XG1751A	c/ Lope Gisbert, nº 40	Lorca	Urbano	Resider	238	107	238
037/2011	4808802XG1740H	c/ Álamo, nº 18	Lorca	Urbano	Resider	266	88	167
038/2011	4809705XG1740H/4809704	c/ Rubira, nº 7 y 9	Lorca	Urbano	Resider	265	136	74

Figura 168 Acceso al número de expediente y obtención del número de registro

<sup>139</sup> Edificios demolidos: tabla.

<sup>140</sup> En función de que busquemos Ruina Inminente o Ruina Técnica (que también contiene las ruinas económicas) abriremos una u otra base de datos.



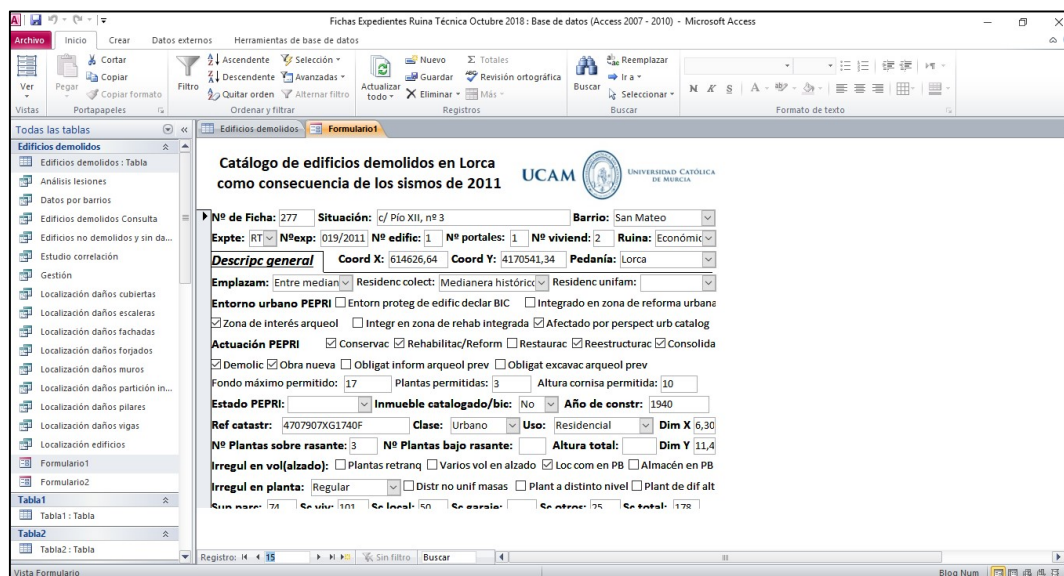


Figura 169 Acceso a la ficha en formato Formulario partiendo del número de registro

### AIII.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN PLATAFORMA GOOGLE EARTH

Tal y como se ha comentado a lo largo del documento, se ha desarrollado un Sistema de Información Geográfica con la información más relevante extraída de los expedientes. Finalmente se ha creado una serie de archivos con extensión Kml para Google Earth.

Se trata de los siguientes archivos:

- Barrios: se dibuja el contorno de los barrios, obteniendo la información del barrio de que se trata pulsando sobre cada uno de ellos.
- Pedanías: de manera análoga a lo expuesto para los barrios, se obtiene la información de las pedanías.
- Tipos\_de\_ruina: aparece la ubicación de cada uno de los expedientes, asociando el color de cada punto con el tipo de ruina<sup>141</sup>. Pulsando sobre cada punto se obtiene la información más destacada existente en el expediente.
- No\_demolidos: ubicación de los expedientes que no han sido demolidos.

<sup>141</sup> Rojo: Inminente; Amarillo: Técnica; Verde: Económica; Azul: Técnica y económica.

- VS30\_NCS\_02: tipo de terreno según la NCSE-02 en base a los estudios de microzonación sísmica.
- Tipos de daños: se aporta información de densidad de daños para cada uno de los elementos analizados, donde las zonas rojas son indicativas de una mayor cantidad de tipos de daños diferentes y una mayor coincidencia geográfica.
  - o Tipos\_daños\_cimentación.
  - o Tipos\_daños\_muros.
  - o Tipos\_daños\_pilares.
  - o Tipos\_daños\_forjados.
  - o Tipos\_daños\_cubiertas.
  - o Tipos\_daños\_fachadasnoestruct.
- Coste\_demolición: aparece como mapa de puntos, cuyo diámetro es directamente proporcional al coste.

Conforme se van abriendo secuencialmente todos los archivos, se van incorporando a la pestaña “Sitios” de la parte izquierda de la página, como elementos seleccionables (Figura 170), cuya activación va permitiendo el acceso a la información existente en cada una de ellos simplemente colocando el cursor sobre el elemento que nos interese y pulsando.

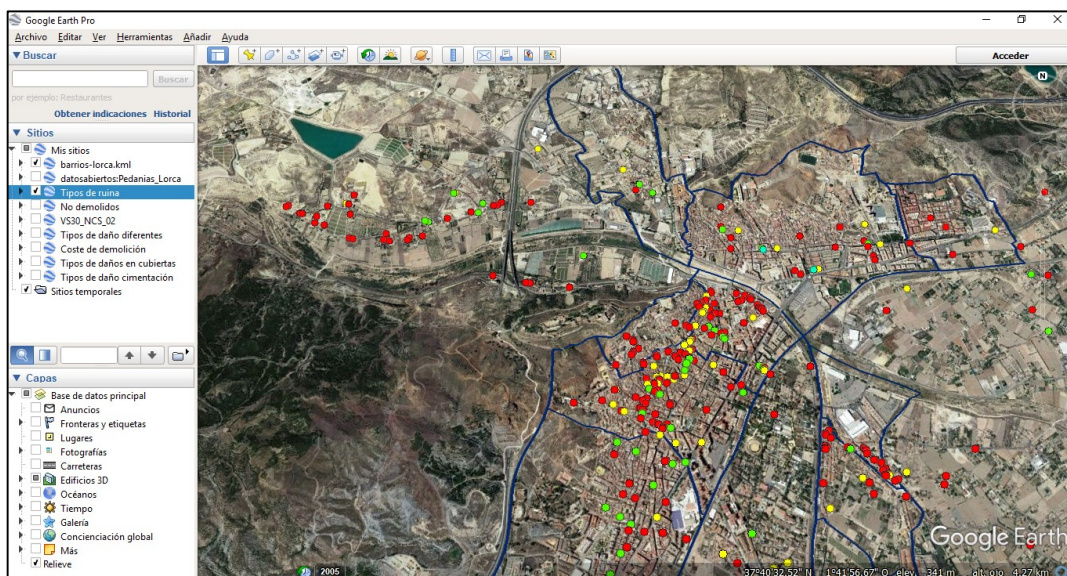


Figura 170 Elementos seleccionables que aportan la información existente



Existe la opción para disponer la información sobre imágenes históricas, pulsando el icono de la Figura 171 y seleccionando la fecha que nos convenga de entre las existentes.

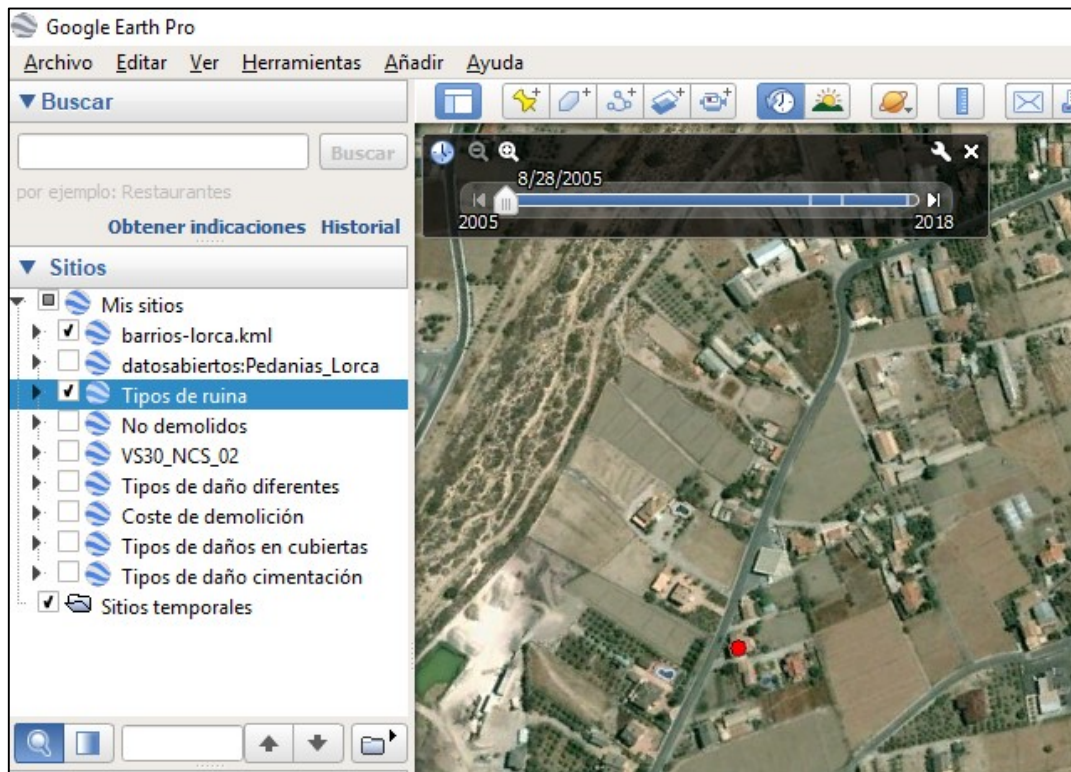


Figura 171 Opción de visualizar el fondo correspondiente a otra época anterior

