

ESCENARIOS DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE L'EIXAMPLE DE LA CIUDAD DE VALENCIA

SEISMIC RISK SCENARIOS OF L'EIXAMPLE DISTRICT IN VALENCIA

Autor(es): A. Guardiola-Villora¹; L. Basset-Salom²

¹Dep. Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras,
E.T.S. Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia, aguardio@mes.upv.es

²Dep. Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras,
E.T.S. Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia, LBASSET@mes.upv.es

RESUMEN

La evaluación de los escenarios de daño y pérdidas humanas y materiales es imprescindible para la reducción del riesgo sísmico, incluso en regiones de baja o moderada sismicidad.

Se presenta el estudio del riesgo sísmico del distrito residencial de L'Eixample de Valencia (España), de gran valor histórico y arquitectónico, en el que predominan los edificios de mampostería y se encuentra gran parte del patrimonio modernista de la ciudad.

Se ha evaluado la vulnerabilidad sísmica con el método del Índice de Vulnerabilidad [1] determinando la calidad sísmica de la edificación residencial según su tipología estructural, estado de conservación, edad y geometría, identificando los edificios más vulnerables. Posteriormente se han determinado las matrices de probabilidad de daño para escenarios deterministas y probabilistas según la distribución binomial o beta equivalente y, finalmente, mediante un Sistema de Información Geográfica, se han elaborado mapas de escenarios de daño, pérdidas y costes, para cada intensidad.

Los resultados obtenidos confirman que la vulnerabilidad es elevada y el riesgo sísmico apreciable. Un estudio pormenorizado permitiría mejorar el comportamiento estructural frente a sismo de los edificios del distrito, especialmente si están protegidos, contribuyendo a la reducción de pérdidas humanas y materiales y salvaguardando el patrimonio de la ciudad.

Por otra parte, el Plan Especial frente al Riesgo Sísmico en la Comunitat Valenciana, aprobado en 2011, recomienda la elaboración de planes específicos en varios municipios entre los que se encuentra la ciudad de Valencia. Este estudio a pequeña escala puede servir como punto de partida haciéndolo extensivo a toda la ciudad.

Palabras clave: Riesgo sísmico Vulnerabilidad sísmica, áreas urbanas residenciales, escenario de daño, SIG.

SUMMARY

The assessment of damage scenarios and human and material losses is essential for seismic risk reduction, even in regions of low or moderate seismicity.

A seismic risk evaluation is carried out in the residential district of L'Eixample in Valencia (Spain), a district with great historical and architectural value, with predominantly masonry buildings and where most of the modernist heritage of the city is located.

Seismic vulnerability has been evaluated following the Vulnerability Index Method [1] obtaining the seismic quality for the residential building stock taking into account the structural typology, maintenance level, age and geometry and identifying the most vulnerable buildings. Damage probability matrices for deterministic and probabilistic scenarios have subsequently been determined considering a binomial or beta-equivalent probability distribution, and, using a GIS, scenarios of damage, losses and costs maps have been produced for each earthquake intensity.

Results confirm that vulnerability and seismic risk is significant, and therefore, a detailed study will enhance the structural earthquake performance of the buildings in the district, especially if they are protected, helping to reduce human and material losses, and safeguarding the city heritage.

On the other hand, the Special Plan against Earthquake Risk in Valencia Region, approved in 2011, recommends the development of specific plans in several municipalities including the city of Valencia. This small study can serve as a starting point to be extended to the entire city.

Keywords: Seismic Risk, Seismic vulnerability, residential urban areas, damage scenario, GIS

1. Introducción

El objetivo de toda evaluación del riesgo sísmico es predecir los daños esperados en los edificios ante un sismo determinado, así como servir de herramienta para el establecimiento de planes de actuación ante esos eventos. La ocurrencia de sismos recientes en núcleos históricos (L'Aquila, 2009 y Lorca, 2011) confirma la necesidad de esta evaluación que incluye el establecimiento de los escenarios deterministas y probabilistas en base a la sismicidad de la zona, el análisis lo más detallado posible de la vulnerabilidad de los edificios y la estimación de las pérdidas humanas y materiales esperables.

Como muchas regiones de baja o moderada sismicidad, Valencia presenta un riesgo sísmico elevado, debido a la vulnerabilidad de sus edificios ya que, a pesar de que los conocimientos técnicos actuales permiten un diseño y construcción adecuado frente a acciones sísmicas, la realidad es que hay un gran número de edificios que no reúnen los requisitos necesarios, debido fundamentalmente a que fueron construidos antes de la entrada en vigor de la primera normativa sísmica. De hecho, el Plan Especial frente al Riesgo Sísmico en la Comunitat Valenciana (Decreto 44/2011 de 29 abril), que incluye un estudio a gran escala de todo el territorio, recomienda la elaboración de un plan específico para la ciudad de Valencia, entre otros municipios.

Este trabajo se centra en los edificios de viviendas del distrito de L'Eixample de Valencia, de gran valor histórico y arquitectónico, construidos a partir del derribo de las murallas en 1865. La mayoría de los edificios son de mampostería no reforzada, aunque a partir de los años 50 se empiezan a construir edificios de hormigón. Tanto los edificios de mampostería como los de hormigón (excepto los más recientes) se calcularon considerando únicamente acciones verticales, presentando una serie de características que los hacen especialmente vulnerables, tales como irregularidad en planta y alzado, pisos superpuestos, plantas bajas de mayor altura, mal estado de conservación, etc. Por otro lado, teniendo en cuenta que actualmente se están llevando a cabo en la zona actuaciones arquitectónicas de distinto tipo: rehabilitación interior, sobreelevación de una o dos plantas, sustitución completa del edificio manteniendo la fachada, derribo y nueva construcción, etc., los resultados de la estimación del grado de daño esperado pueden ser muy útiles para identificar los edificios más vulnerables y proponer soluciones que mejoren su comportamiento a sismo.

La información necesaria para este estudio (altura de los edificios, edad, dimensiones, sistema estructural, etc.) se ha obtenido principalmente de la base de datos del catastro, de la cartografía digital de la ciudad de

Valencia, del Archivo Histórico y de los planes especiales de protección PEP-1 y PEP-2. Esta información se ha completado y revisado posteriormente mediante un exhaustivo trabajo de campo que ha permitido constatar la existencia de nuevos solares generados tras el derribo de la edificación existente (principalmente en el barrio de Ruzafa) y de nuevas edificaciones identificadas en la base de datos del catastro como solares, así como detectar ciertas incongruencias entre edad y tipo estructural en edificios con proyectos de rehabilitación integral, en los que tanto la fachada como parte de la estructura se ha mantenido y reforzado.

La vulnerabilidad se ha calculado mediante el método del índice de Vulnerabilidad en su versión desarrollada dentro del marco del proyecto europeo Risk-UE [1]. Este método, considerado el más adecuado para el estudio a gran escala de áreas urbanas [2] consiste en determinar la calidad sísmica de los edificios mediante un índice de vulnerabilidad que se obtiene a partir de la clasificación de las tipologías estructurales. El índice asignado inicialmente se modifica atendiendo a las características específicas de cada edificio que contribuyen positiva o negativamente a su respuesta sísmica, determinando posteriormente las matrices de probabilidad de daño en función del índice de vulnerabilidad calculado y de la intensidad del sismo correspondiente a cada escenario determinista y probabilista.

Finalmente, se ha estimado, para cada escenario, el riesgo sísmico en términos de pérdidas humanas (número potencial de víctimas y personas sin hogar) y económicas (edificios inhabitables y costes), teniendo en cuenta el tipo de edificio, el índice de ocupación, la probabilidad de ocurrencia de cada grado de daño y el coste de reposición o reconstrucción de los edificios [3], [4], [5], según el coste unitario de ejecución de la edificación residencial marcado por el Instituto Valenciano de la Edificación. Los resultados se expresan en forma de gráficos y de mapas mediante un sistema de información geográfica (SIG).

2. Descripción del Distrito de L'Eixample

El distrito de L'Eixample forma parte del Ensanche de la ciudad de Valencia. Con una superficie de 173,3 ha y una población censada de 43.117 habitantes [6], tiene, en la actualidad, 25.113 viviendas agrupadas en 120 manzanas con 2.050 parcelas ocupadas y 93 solares. Está formado por tres barrios (figura 1): Pla del Remei (38.7 ha, 6.757 habitantes), Gran Vía (46,9 ha, 11.838 habitantes) y Ruzafa (87,8 ha, 24.522 habitantes).

En 1853, Valencia, con más de 100.000 habitantes, empieza a extender sus límites fuera de las murallas, que se derribarían en 1865. En 1864 y 1876 se promulgan

dos “Leyes de Ensanche”, que regulan inicialmente la edificación en esta zona, en 1887 se aprueba el “Proyecto de Primer Ensanche” (Pla del Remei), en 1912 su ampliación (Gran Vía y Ruzafa) y en 1924 “El plan del Ensanche de la ciudad de Valencia”.

L’Eixample cuenta con dos planes especiales de protección: “PEP-1” (Ruzafa Norte y Pla del Remei, 2005) y “PEP-2” (Ruzafa Sur y Gran Vía, 2006) y un gran número de edificios catalogados. Como se aprecia en la figura 1, la trama urbana de manzanas cuadradas no es homogénea por tener que adaptarse a las edificaciones preexistentes y al antiguo poblado de Ruzafa, que quedó incorporado a esta expansión de la ciudad.

Por otra parte, las características de la edificación y de la población son diferentes para cada uno de los barrios: El Pla del Remei, incluido en el Conjunto Histórico Artístico del Centro Histórico (declarado en 1993 Bien de Interés Cultural), es el barrio más antiguo y selecto y contiene la mayoría de los edificios modernistas de la ciudad. En él predominan los edificios de muros de carga de mampostería con un estado de conservación aceptable, aunque su cercanía al centro de la ciudad ha propiciado la sobreelevación de algunos edificios antiguos y la construcción de nuevas estructuras de hormigón (figura 2).

En Gran Vía, barrio con mayor altura media y mayor número de edificios con estructura de hormigón, coexisten edificios con proyectos de rehabilitación integral, nuevas edificaciones y edificios originales con un estado de conservación aceptable (figura 3).

Ruzafa es el barrio de mayor superficie, número de habitantes y densidad, predominando la tipología estructural de muros de carga de mampostería. Para evitar su degradación progresiva, propiciada por el proyecto del futuro parque central y del enterramiento de la vía férrea, fue declarada, en 2008, Área de Rehabilitación Integral concertada. La mayor parte de los edificios se construyeron antes de 1960 y su estado de conservación es bastante heterogéneo (figura 4).

El sistema constructivo de los edificios se ha determinado a partir de la información incluida en los planes de Protección PEP-1 y PEP-2, completada con un reconocimiento in situ. El sistema constructivo más frecuente (60% de los edificios) consiste en muros de carga de fábrica de ladrillo no reforzada con forjados unidireccionales de vigas y viguetas de madera o metálicas con revoltón de ladrillo. Un 38% tiene una estructura porticada de hormigón armado con forjados mayoritariamente unidireccionales de viguetas de hormigón y únicamente un 2% tiene una estructura porticada metálica con muros de relleno de mampostería.

En algunos edificios de muros de mampostería, hay pilares de fundación en planta baja para conseguir una planta más diáfana y liberar espacio, reduciendo así la rigidez del edificio (figuras 5 y 6).

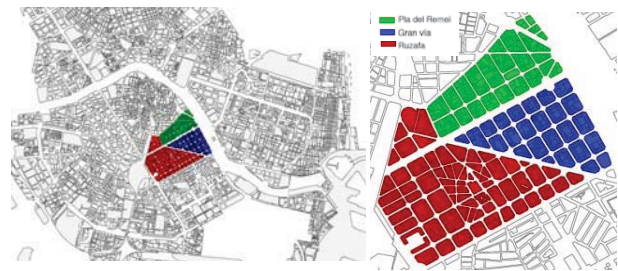


Figura 1. Distrito de L’Eixample



Figura 2. Edificios del barrio de Pla del Remei



Figura 3. Edificios del barrio de Gran Vía.

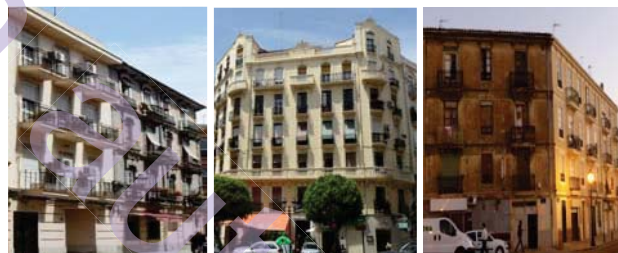


Figura 4. Edificios del barrio de Ruzafa.

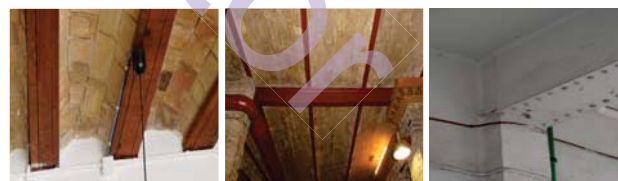


Figura 5. Sistemas constructivos presentes en L’Eixample.



Figura 6. Pilares de fundación en planta baja.

Las principales tipologías de edificios identificadas en L'Eixample (según BTM de Risk-UE [1]) son cuatro: M3.1, mampostería con forjado de madera; M3.3, mampostería con forjado metálico; RC3.2, estructuras irregulares de pórticos de hormigón y S3, pórticos metálicos con muros de relleno de mampostería. Posiblemente, algunos de los edificios pertenecientes al periodo 1941-1962, clasificados como estructura de pórticos de hormigón armado, se hayan ejecutado con muros de carga y forjados de viguetas de hormigón y bovedillas, habiendo optado por incluirlos en la categoría de hormigón, RC3.2, por carecer de información al respecto. En las figuras 7 y 8 se representan las alturas y tipologías de edificios por barrios.

Teniendo en cuenta la evolución de las recomendaciones constructivas y la normativa técnica en España, los edificios del ensanche se han agrupado en siete periodos constructivos (figura 9).

El periodo anterior a 1940 (58% de los edificios), se caracteriza por la ausencia de normativa. La tipología predominante consiste en muros de carga sin arriostrar, diseñados frente a cargas gravitatorias exclusivamente. Con una calidad de ejecución deplorable, era frecuente encontrarse con proyectos sin dirección facultativa [7].

Tras la Guerra, la mayor estabilidad económica propiciará el uso de materiales de mejor calidad y la mejora de los sistemas constructivos. Al inicio del segundo periodo (1941-1962) predominan las estructuras de pórticos de hormigón armado, cuyo diseño vendría regulado por el primer antecedente de normativa técnica: Reglamento sobre restricciones del hierro en la edificación (BOE 02/08/1941) [8]. Éste establecía las "Normas técnicas de conocimiento y aplicación inexcusable" a considerar en el cálculo y ejecución de toda construcción que emplease hierro, recomendando la eliminación de la armadura de compresión en vigas y la minimización de la armadura en elementos a flexión compuesta.

La publicación de la norma MV 101 (1962) "Acciones en la edificación" [9], supone el inicio del tercer periodo (1963-1968), incluyendo, por vez primera, las acciones sísmicas a considerar en las localidades de grado sísmico \geq VII (no aplicable en Valencia con grado sísmico V). Además, derogaba la disposición restrictiva del uso del hierro lo que supondría un aumento de las cuantías y la mejora en la ejecución de las estructuras de hormigón armado.

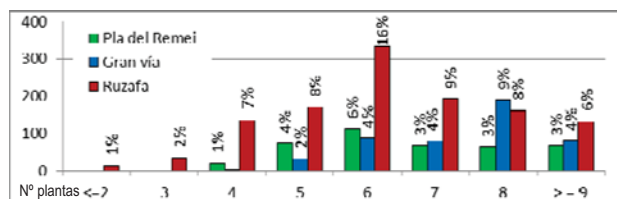


Figura 7. Número de plantas de los edificios por barrios (% respecto a los edificios del distrito)

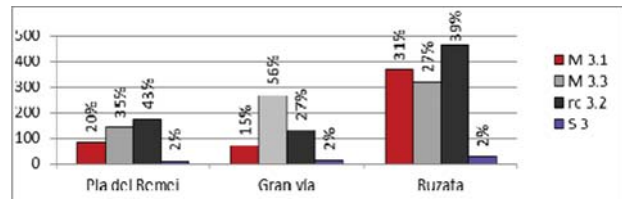


Figura 8. Tipologías de los edificios por barrios (% respecto a los edificios de cada barrio)

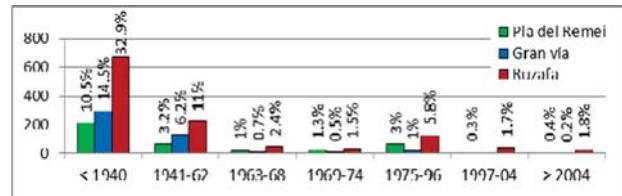


Figura 9. Pertenencia de los edificios a cada periodo constructivo por barrios (% respecto a los edificios del distrito)

En el siguiente periodo (1969-1974) se publica la primera norma sísmica "Norma Sismorresistente" PGS-1 (1968) [10] que, sin hacer referencia al diseño, incluía prescripciones muy básicas en términos de cálculo estático, siendo las acciones sísmicas de aplicación potestativa en Valencia (zona de sismicidad baja). La publicación de las normas MV supondrá una mejora en el diseño y ejecución de las estructuras de la época.

En la siguiente etapa (1975-1996) se aborda de forma más sistemática el cálculo de estructuras frente a acciones sísmicas -norma sísmica PDS-1 (1974) [11]-, aunque, al ser el mapa de peligrosidad esencialmente el de 1968, sigue sin ser necesario considerar las acciones sísmicas en Valencia (zona de sismicidad baja). Por otro lado, en este periodo se transformarán las antiguas MV en las Normas Básicas de la Edificación (NBE), de obligado cumplimiento para los agentes del sector, lo que permite suponer un mayor control y calidad en la ejecución.

El inicio del sexto periodo (1997-2004) se establece en el año 1997, considerando el plazo de dos años de carencia de la norma sísmica NCSE 94 (BOE 08/02/ 95). [12]. Este documento supone un gran salto cualitativo, al establecer, además de parámetros de cálculo, reglas de diseño y prescripciones constructivas. Siendo de aplicación a partir de 0.06 g para las edificaciones de importancia normal, implica para la ciudad de Valencia ($a_b = 0.06g$) la obligatoriedad de calcular la estructura frente al sismo además de respetar las reglas de proyecto y prescripciones constructivas de la misma.

Dos años después de la publicación de la norma sísmica NCSE 02 [13] (con las mismas condiciones para Valencia que la anterior), se inicia el último periodo.

3. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica es la susceptibilidad de una estructura de sufrir un determinado grado de daño en caso de ocurrencia de un evento sísmico determinado. El

índice de vulnerabilidad (VI) cuantifica, por tanto, el comportamiento sísmico, correspondiendo los valores más elevados a los edificios más vulnerables y los menores a los más resistentes. La vulnerabilidad se ha determinado, mediante el método del Índice de Vulnerabilidad, nivel 1, propuesto en el proyecto Risk-UE [14] que asigna a cada una de las tipologías de edificios un índice de vulnerabilidad probable, VI*, los límites del intervalo plausible, [VI- ; VI+] y los límites inferior y superior de los posibles [VI^{min}; VI^{max}]. Los índices de vulnerabilidad para las tipologías estructurales representativas del distrito de L'Eixample son los de la tabla 1.

Posteriormente, estos índices se particularizan para cada edificio mediante el modificador regional y los modificadores de comportamiento. Finalmente, el índice de vulnerabilidad total se determina sumando al valor representativo (VI*) todos los modificadores.

El modificador regional, ΔVR considera la calidad específica de la edificación a nivel regional, modificando el índice de vulnerabilidad básico. Su valor se ha determinado para cada periodo constructivo (tabla 2), teniendo en cuenta la información técnica, estructural y constructiva del apartado 2. Para los periodos anteriores a 1969 se han asumido los coeficientes adoptados para Barcelona (práctica constructiva deficiente y ausencia de normativa o normativa nacional muy básica) [15], [16], así como para los periodos de aplicación de las normas sísmicas PGS-1 [10] y PDS-1 [11] ya que, a pesar de ser obligatorias en Barcelona y potestativas en Valencia, se trata de normas muy básicas que, además, carecen de prescripciones de diseño. A partir de 1997, la aplicación de las normas NCSE 94 [12] y NCSE 02 [13] obliga a calcular las estructuras frente al sismo en Valencia. Esta nueva normativa supuso una mejora del cálculo de los edificios en España, confirmada por los expertos que redactaron los informes publicados tras el sismo de Lorca de mayo 2011 [17], que coincidieron en que las estructuras de hormigón, ejecutadas considerando dichas normas, apenas sufrieron daños estructurales, a pesar de triplicar la PGA la aceleración básica prevista en ambos códigos. Los valores adoptados en este estudio permiten, una vez aplicados al índice de vulnerabilidad básico de la tabla 1, clasificar las estructuras de hormigón de dichos periodos como clase D ($0.50 \geq I_v > 0.34$).

Los datos de la edad de los edificios se han obtenido a partir de la base de datos del catastro y los catálogos del plan especial de protección, subsanando ciertas incongruencias (edificios de mampostería de sólo diez años de antigüedad) correspondientes, generalmente, a proyectos de rehabilitación integral en los que la fachada y parte de la estructura se ha mantenido y reforzado, habiendo confirmado la edad tras una inspección visual.

Los modificadores de comportamiento que se han considerado [15], se refieren al estado de conservación, número de plantas, longitud de fachada, irregularidad en planta y volumen, posición del edificio en la manzana y

su relación con los colindantes, completando la base de datos del catastro con la información de los planes especiales de protección, y aquellas características del edificio necesarias para calcular los modificadores anteriores obtenidas mediante inspección in situ.

El modificador que tiene en cuenta el estado de conservación de los edificios toma el valor +0,04 si el edificio necesita grandes reparaciones y -0,04 si no las necesita.

El valor del modificador correspondiente al número de plantas de los edificios, función de la tipología estructural y de la edad (tabla 3) se ha obtenido a partir del número de plantas habitadas (con referencia catastral) sin considerar las construcciones auxiliares.

La longitud de los muros de mampostería de fachada influye en la posibilidad de su colapso por la inexistencia de vínculo con los muros de carga interiores. Este modificador se considera para las fachadas de los edificios de mampostería de longitud superior a 15 metros, es decir, para el 28% del conjunto estudiado.

La irregularidad en planta se evalúa mediante el coeficiente de compacidad r_c que relaciona el área en planta del edificio y el área de un círculo con el mismo perímetro, siendo los valores considerados $M_{ip} = +0,04$ si $r_c < 0,5$ y $M_{ip} = +0,02$ si $0,5 \geq r_c \geq 0,7$.

El modificador que considera la irregularidad en altura ($M_{ih} = +0,04$ si $\delta > 3$ y $M_{ih} = +0,02$ si $1 < \delta < 3$) se calcula a partir del coeficiente δ [15], que representa la diferencia entre el número de plantas del edificio (considerando todas las construcciones de la parcela) y el que tendría otro con el mismo volumen y superficie en planta.

Tabla 1. Índices de vulnerabilidad para las tipologías BTM, Risk-UE [14] de L'Eixample

| Tipología | VI ^{min} | VI- | VI* | VI+ | VI ^{max} |
|-----------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------|
| M3.1 | 0,46 | 0,65 | 0,74 | 0,83 | 1,02 |
| M3.3 | 0,46 | 0,527 | 0,704 | 0,83 | 1,02 |
| RC3.2 | 0,06 | 0,127 | 0,522 | 0,88 | 1,02 |
| S3 | 0,140 | 0,330 | 0,484 | 0,640 | 0,860 |

Tabla 2. Modificador regional de vulnerabilidad, ΔVR [15]

| Periodo constructivo | M3.1 | M3.3 | RC3.2 | S3 |
|----------------------|---------|--------|--------|--------|
| < 1940 | +0,198 | +0,234 | - | +0,234 |
| 1941-62 | + 0,135 | +0,171 | +0,228 | +0,171 |
| 1963-68 | +0,073 | +0,109 | +0,228 | +0,109 |
| 1969-74 | +0,01 | +0,046 | +0,103 | +0,046 |
| 1975-96 | -0,052 | -0,016 | -0,022 | -0,016 |
| 1997-04 | | | -0,08 | -0,08 |
| > 2004 | | | -0,08 | -0,08 |

Tabla 3. Modificador correspondiente al número de plantas

| TIPOLOGIA | PLANTAS | ≤1940 | > 1940 |
|--------------|-------------|-------|--------|
| M3.1 M3.3 | bajo (1-2) | -0,02 | -0,04 |
| | medio(3-5) | +0,02 | 0 |
| | alto ≥ 6 | +0,06 | +0,04 |
| RC3.2 S3 | bajo (1-3) | | -0,04 |
| | medio (4-7) | | 0 |
| | alto ≥ 8 | | +0,08 |

La posición del edificio en la manzana es otro factor determinante, siendo la mejor situación la del edificio entre medianeras (-0,04) y la más desfavorable la del edificio terminal de manzana (+0,06) o de esquina (+0,04). Asimismo, se ha tenido en cuenta la diferencia de altura superior a dos plantas de cada edificio con los colindantes, asignando 0,02 ó 0,04 con signo positivo si los edificios contiguos son más bajos y negativo si son más altos. Este modificador incrementa el índice de vulnerabilidad de los edificios situados junto a un solar.

Los datos se han implementado en una hoja de cálculo, determinando, a partir de la tipología estructural, el índice de vulnerabilidad posible (VI*) y, en función de las características del edificio, los modificadores correspondientes. Los valores obtenidos para los distintos campos se han añadido a la tabla de atributos de las parcelas, vinculada a la planimetría correspondiente con el programa GVSig.

El índice de vulnerabilidad total (suma del representativo y todos los modificadores) es, para la mayoría de los edificios de los tres barrios (60% de la totalidad de los edificios), superior a 0.8 siendo los más vulnerables aquellos situados en los chaflanes de las manzanas.

La pertenencia de los edificios a cada una de las 6 clases de vulnerabilidad (A - F) de la escala EMS-98 se determina a partir de los índices de vulnerabilidad obtenidos y las funciones de pertenencia del índice de vulnerabilidad [14] para $\chi = 0.5$ (límites usuales de VI-; VI+) (figura 10).

Los mapas de vulnerabilidad sísmica y de clases de vulnerabilidad, así como los resultados en porcentaje y número de edificios (índices y clases), por barrios, se representan en las figuras 11 y 12 respectivamente.

4. Escenarios de riesgo sísmico

Para caracterizar la sismicidad de L'Eixample se ha tenido en cuenta un escenario determinista y dos probabilistas. La intensidad correspondiente al escenario determinista se establece a partir del mayor terremoto, registrado históricamente, próximo a la ciudad de Valencia, Se trata del terremoto ocurrido en Carlet en 1872 [18], de intensidad VII según escala EMS-98.

Los escenarios probabilistas se establecen a partir de la información proporcionada por los mapas regionales de Intensidad Sísmica esperada para la Comunitat Valenciana incluyendo el efecto del suelo (figura 13), para un periodo de retorno de 500 años [19]. En la ciudad de Valencia se distinguen 3 zonas siendo el valor de la intensidad esperada para un periodo de retorno de 500 años de 6 a 6.5, 6.5 a 7 y 7 a 7.5, respectivamente (el plan de Riesgo de la Comunitat Valenciana indica una intensidad 7.5 para todo el término municipal).

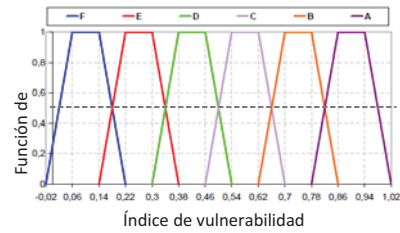


Figura 10. Funciones de pertenencia del índice de vulnerabilidad [14]

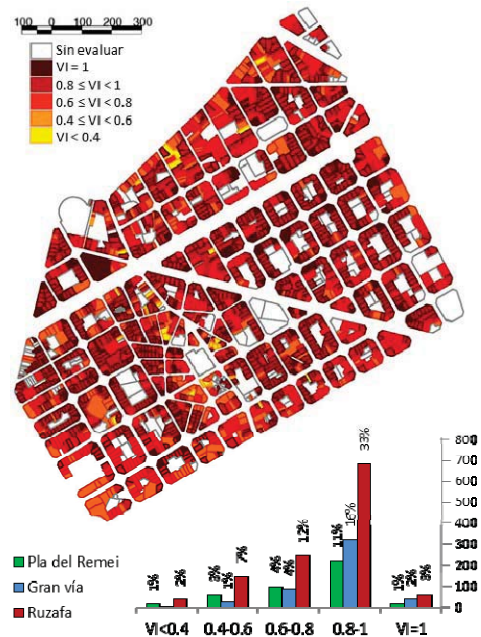


Figura 11. Mapa de vulnerabilidad sísmica. Índices de vulnerabilidad por barrios (% respecto a los edificios del distrito)

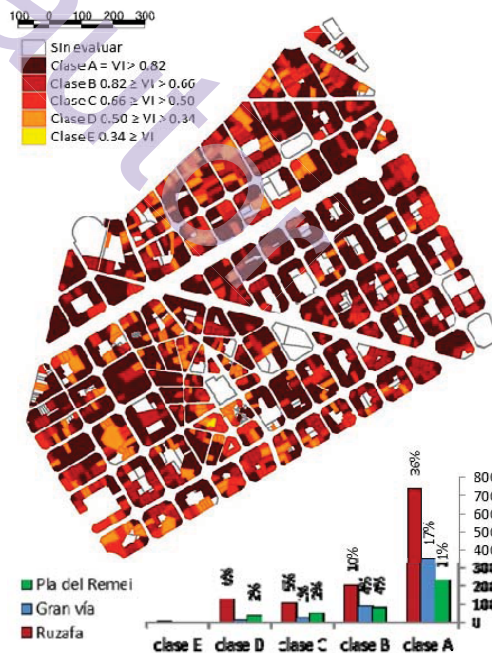


Figura 12. Clases de vulnerabilidad según la EMS-98. Clases de vulnerabilidad por barrios (% respecto a los edificios del distrito)

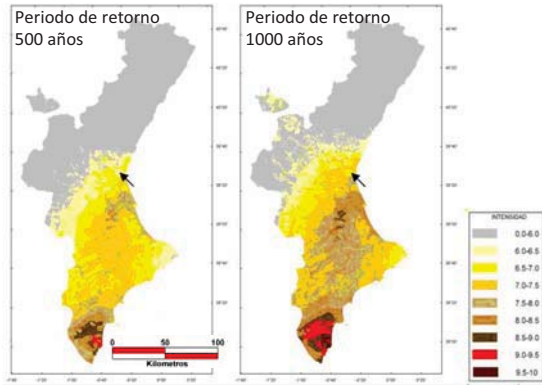


Figura 13. Mapas de intensidades esperadas en la Comunidad Valenciana, efecto del sitio, (U.R.S.U.A, 2010)

Por otra parte, al no disponer de un estudio de microzonación sísmica de la ciudad de Valencia (sólo en Ciutat Vella, distrito I, se ha realizado una estimación de la respuesta del sitio [20]) ni de una base de datos del tipo de suelo a escala suficiente, no ha sido posible considerar el efecto diferenciador del suelo para cada parcela.

Se proponen, por tanto, los siguientes escenarios: uno determinista de intensidad VII y dos probabilistas de intensidades 6 y 7.5 (valores máximo y mínimo) para todo el distrito. La norma NCSE-02 asigna a Valencia una aceleración básica de 0.04g. Ésta se corresponde con una intensidad VI según la relación establecida en la NCSE-94, por lo que los valores adoptados están del lado de la seguridad.

El daño esperado para un edificio se caracteriza mediante el grado de daño medio μ_D , que varía entre 0 (daño nulo) y 5 (destrucción) según la escala EMS-98 [21]. Este se obtiene con una función semiempírica [22], a partir del índice de vulnerabilidad VI para cada intensidad I adoptada (1).

$$\mu_D = 2,5 \cdot \left[1 + \tanh\left(\frac{I + 6,25 \cdot VI - 13,1}{2,3}\right) \right] \quad (1)$$

La probabilidad de ocurrencia de cada estado de daño se define con la función Binomial (2) o la función Beta equivalente (3), a partir del grado de daño medio, representando los escenarios de daño en términos de dichas probabilidades. Los parámetros t y r de la función Beta se ajustan para que ésta sea equivalente a la distribución Binomial de parámetro μ_D , adoptando $t = 8$ y $r = t \cdot (0.007 \mu_D^3 - 0.0525 \mu_D^2 + 0.2875 \mu_D)$ [22].

Función Binomial:

$$p_B(k) = \frac{5!}{k!(5-k)!} \left(\frac{\mu_D}{5}\right)^k \left(1 - \frac{\mu_D}{5}\right)^{5-k} \quad (2)$$

$k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$

Función Beta:

$$p_\beta(x) = \frac{\Gamma(t) \Gamma(r)}{\Gamma(t+r)} \frac{(x-a)^{t-1} (b-x)^{r-1}}{(b-a)^{t+r-1}} \quad (3)$$

$a \leq x \leq b; a = 0; b = 6$

La distribución Beta acumulada (4), permite obtener la probabilidad de que el estado de daño se encuentre

entre 0 y x; y, por tanto, la probabilidad (5) asociada a cada uno de los estados de daño ($D_k, k=0, 1, 2, 3, 4, 5$) para las tres intensidades consideradas, obteniéndose las matrices de probabilidad de daños (MPD) de los edificios en cada parcela.

$$P_\beta(k) = \int_0^x p_\beta(y) dy \quad (4)$$

$$p(k) = \int_k^{k+1} p_\beta(y) dy = P_\beta(k+1) - P_\beta(k) \quad (5)$$

Para cada escenario considerado (intensidad 6, 7 o 7,5) se representan, en la figura 14, los valores máximos y mínimos de la probabilidad de ocurrencia de cada estado de daño (matrices de probabilidad de daño), por tipología y barrio, en valor absoluto y porcentaje; en la figura 15, los mapas de probabilidad de daño moderado (grado 2) y severo (grado 3) y, en la figura 16, el porcentaje de edificios por barrio cuyo estado probable de daño es D0, D1, D2, D3, D4 y D5.

Finalmente, el estado o grado de daño medio (estado de daño más probable), ds_m (6) se determina a partir de la probabilidad de ocurrencia de cada estado de daño i, $P[Di]$, siendo $N=5$. Los valores obtenidos para ds_m se representan en los mapas de la figura 17.

$$ds_m = \sum_{i=0}^N i P[Di] \quad (6)$$

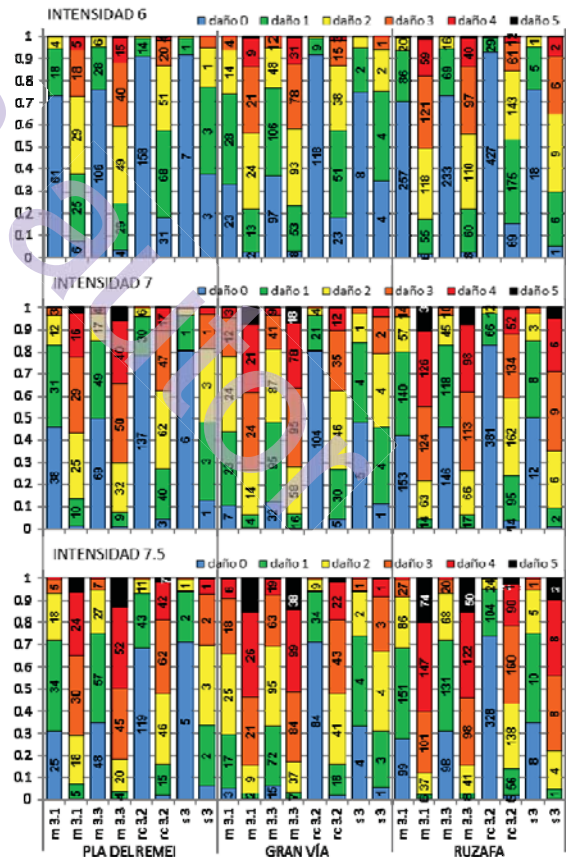


Figura 14. Matrices de probabilidad de daño (valor máximo y mínimo) por tipología y barrio para cada intensidad.

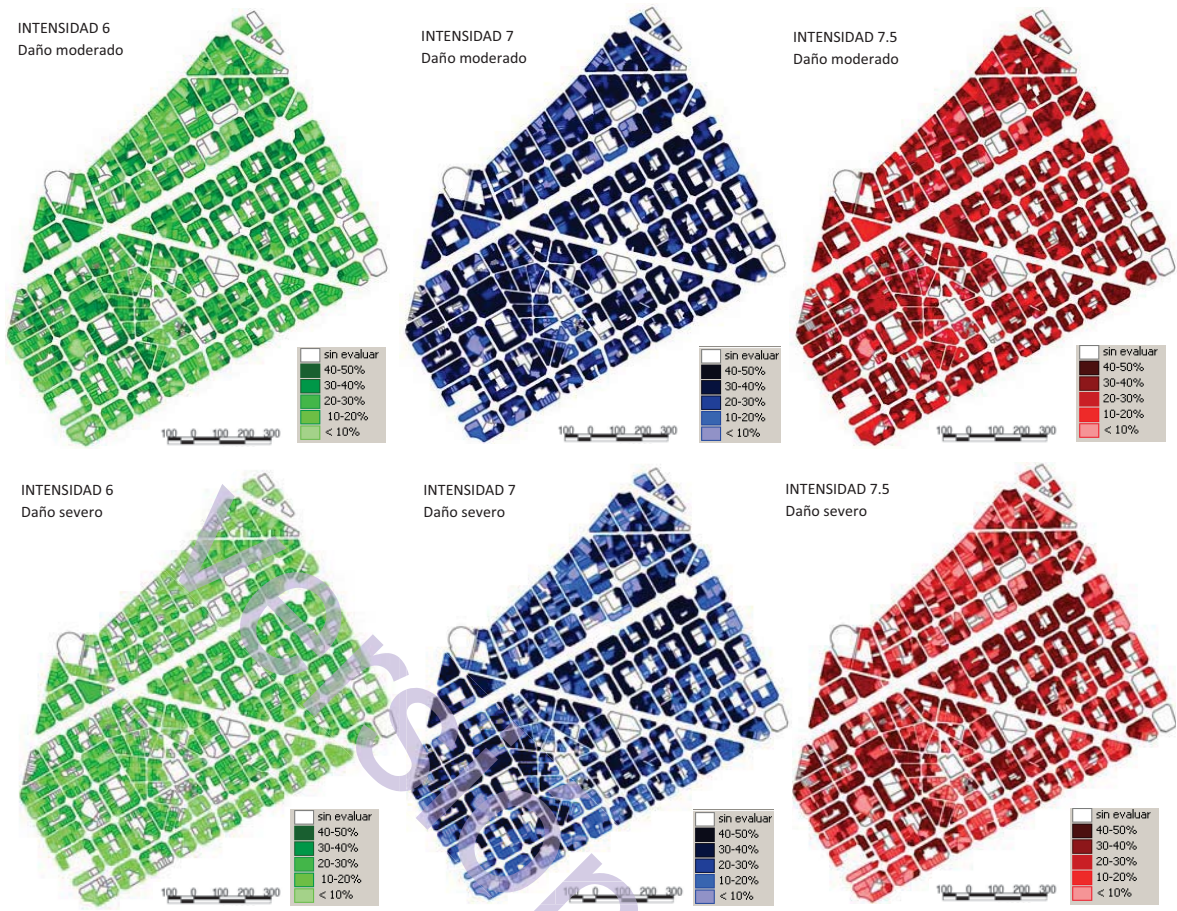


Figura 15. Probabilidad del estado de daño moderado (grado 2) y severo (grado 3) para cada intensidad de sismo.

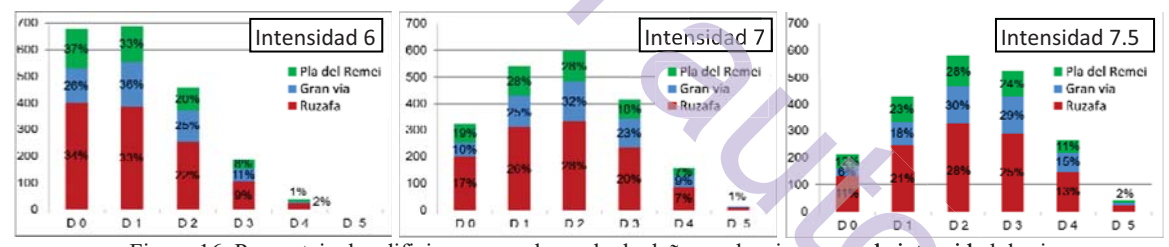


Figura 16. Porcentaje de edificios para cada grado de daño por barrio para cada intensidad de sismo

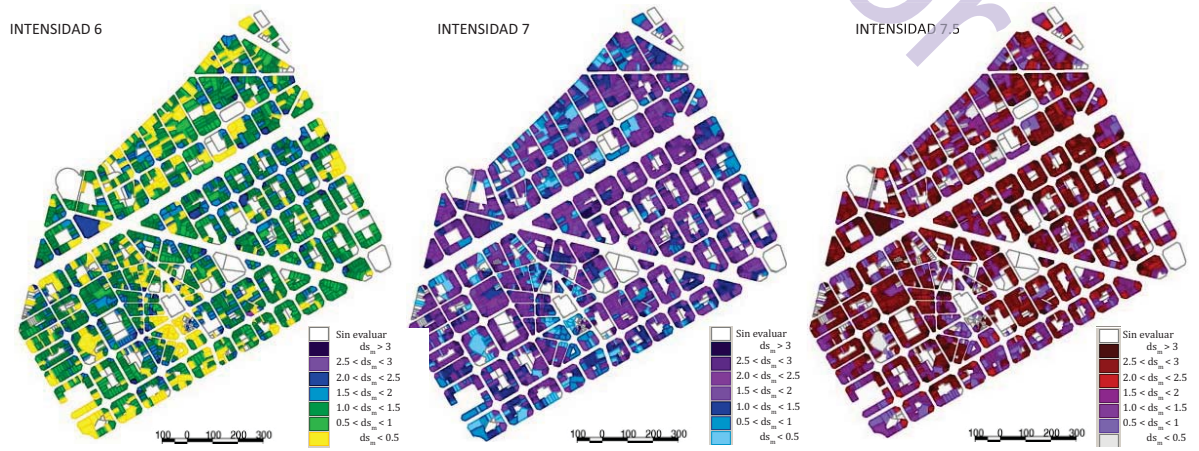


Figura 17. Grado de daño medio para un sismo de intensidad 6, 7 y 7.5

5. Daños a la población

El análisis del riesgo sísmico se completa con la evaluación de las posibles víctimas y el número de personas sin hogar, en cada barrio y para cada uno de los escenarios considerados.

El modelo utilizado para evaluar las pérdidas (humanas y económicas) considera la probabilidad de alcanzar cada uno de los grados de daño obtenidos con la función beta y la clase de edificio. El número de posibles víctimas K_s , teniendo en cuenta la gravedad de las heridas, se estima con la expresión (7) [3]:

$$K_s = C \cdot [M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot (M_4 + M_5 \cdot (1 - M_4))] \quad (7)$$

siendo:

C: número de edificios colapsados (número de edificios de cada tipología multiplicado por la probabilidad de colapso (daño 5)).

M₁: número de personas que residen en cada edificio.

Su valor se obtiene, para cada barrio, en función del número de habitantes (Ayuntamiento de Valencia, 2012) y de la superficie construida, calculada a partir de los datos del catastro. La superficie construida en Pla del Remei es 405.576 m² y el ratio de ocupación de 60 m² construidos por cada habitante; en Gran Vía, la superficie construida es 564.413 m² con una ocupación de 47.7 m² construidos por cada habitante y, en Ruzafa, la superficie construida es 1.081.649 m² y el ratio por habitante es 44.1 m² construidos. Aplicando a cada edificio el ratio de ocupación por barrio se le asigna, en función de su superficie construida, el número de habitantes.

M₂: porcentaje de ocupación. Se obtiene de la gráfica de la figura 18 [3], [4], en función de la hora del día.

Se han tenido en cuenta dos situaciones: la de mayor ocupación que correspondería al periodo nocturno (a las 24 h) y la de menor ocupación (a las 12 h). Según la línea horizontal de la figura sería un 80% y un 42% respectivamente. No obstante, como en ese distrito la media de población mayor de 80 años es del 8%, se ha considerado un coeficiente de ocupación del 50%.

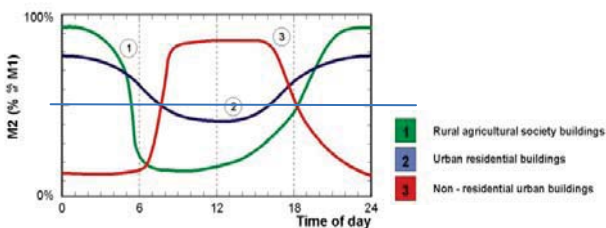


Figura 18. Coeficiente M_2 , % de ocupación [4]

M₃: porcentaje de personas atrapadas. Teniendo en cuenta los porcentajes propuestos por Coburn y Spence [3] se ha adoptado, para las estructuras de

mampostería, un 5% (sismos de intensidad 6 y 7) y un 20% (sismo de intensidad 7.5) y para las estructuras de hormigón y acero un 50% en los tres escenarios.

M₄: porcentaje de víctimas de cada tipo: ilesos, heridos leves, heridos moderados, heridos graves, heridos graves que necesitan hospitalización y personas fallecidos [4]. Los porcentajes adoptados se reflejan en la tabla 4.

M₅: porcentaje de muertos post colapso respecto de los atrapados. Al tratarse de una comunidad capaz de organizar actividades de rescate, los valores a tener en cuenta son del 60% para mampostería y 90% para estructuras de hormigón [3], considerando el mismo valor para las estructuras de acero.

Tabla 4. M_4 . Porcentaje de víctimas según el tipo de edificio

| | Estado de daño D5 | | | | | |
|-----------------------|-------------------|---------------|-------------------|----------------|------------------------------------|------------|
| | Ilesos | Heridos leves | Heridos moderados | Heridos graves | Heridos graves con hospitalización | Fallecidos |
| Mampostería > 4 pisos | 9,4% | 50% | 18% | 12% | 0,6% | 10% |
| Hormigón > 4 pisos | 9,7% | 30% | 27% | 5% | 0,3% | 28% |
| Acero > 4 pisos | 10% | 30% | 23% | 4% | 0,2% | 32,8% |

Las posibles víctimas, para una población total de 43.117 habitantes (6.757 en Pla del Remei, 11.838 en Gran Vía y 24.522 en Ruzafa), se representan, en valor absoluto y en el tanto por mil que supone para cada barrio y escenario en las figuras 19a, 19b y 19c. En ellas se observa que el mayor número de víctimas se produciría en Ruzafa, barrio en el que fallecerían 96 personas y 391 resultarían heridas, si ocurriera un sismo de intensidad 7.5 durante el periodo nocturno.

El número de personas sin hogar se determina a partir del número de viviendas que quedarían inhabitables en cada uno de los tres escenarios estudiados y el ratio de ocupación de las mismas. Para ello, se ha seguido las recomendaciones del HAZUS-MH MR3 Technical Manual 2003 [5] que considera inhabitables la totalidad de las viviendas destruidas y el 90% de las que tienen daño completo. El número y porcentaje de personas que quedaría sin hogar respecto a la población de cada barrio, para cada escenario sísmico se muestra en la (figura 19 d).

6. Costes económicos

Para estimar las pérdidas económicas debidas a daños estructurales o no estructurales se considera la probabilidad que tiene un edificio de alcanzar cada uno de los posibles estados de daño y el coste de reparación para dicho estado de daño. Según las recomendaciones del HAZUS-MH MR3 Technical Manual 2003 [5], el coste de reparación y/o sustitución del edificio se obtiene multiplicando el área construida y el coste de reposición.

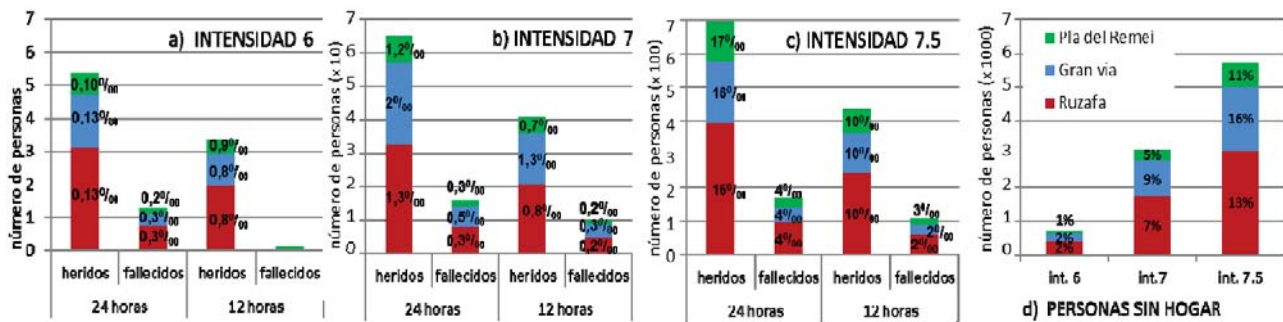


Figura 19. Estimación del número de víctimas y personas sin hogar para cada escenario sísmico

Este coste (8) es función de la calidad de la edificación y de la probabilidad del edificio de alcanzar cada uno de los estados de daño y el coste de reparación por metro cuadrado para dicho estado de daño:

$$C_i = c_{ri} \cdot Area \cdot \sum_{i=1} P d_i \cdot r c_i \quad (8)$$

siendo,

C_i el coste de reparación y/o sustitución para el daño d_i , c_{ri} el coste de reposición, $P d_i$ la probabilidad del edificio de alcanzar el estado de daño d_i , $r c_i$ el ratio de coste de reparación de la estructura y los elementos no estructurales (tablas 15.2, 15.3 y 15.4) del Hazus-MH MR3 Technical Manual [5].

El coste de reposición de los edificios, c_{ri} , se ha calculado con los datos del Instituto Valenciano de la Edificación [23], considerando que se trata de edificios de uso residencial, y teniendo en cuenta, en uno de los barrios, la calidad media de la edificación (figura 20).

El valor del ratio de coste de reparación de la estructura y de los elementos no estructurales se ha obtenido teniendo en cuenta la equivalencia de grados de daño entre las escalas EMS-98 [21] y la ATC-25 [24] De este modo, los ratios de coste considerados corresponden a la suma de los costes de reparación estructural y los costes de reparación de los elementos no estructurales, tal y como se indica en la tabla 5.

Considerando, para cada uno de los tres escenarios, las probabilidades de cada estado de daño, los costes de reparación y la superficie afectada, se obtiene el valor del coste económico de reparación y/o sustitución, para cada barrio y tipo de estructura, en millones de euros (figura 21) y en superficie equivalente (figura 22).

En estas gráficas se observa que, aproximadamente un 25% de la superficie construida de uso residencial de Pla del Remei y Ruzafa y más del 30% de Gran Vía deberá ser reparada en el caso de un sismo de intensidad 7.5.

Esta superficie corresponde principalmente a estructuras de mampostería de edificios históricos, independientemente del barrio y escenario estudiado. Se

trata de edificios, en la mayoría con algún grado de protección, cuyo valor no es únicamente el coste de reposición, ya que su pérdida supone mucho más que los daños meramente materiales.

Pla del Remei

| C _t | C _h | C _u |
|---|--|----------------------------------|
| TIPOLOGÍA EDIFICACIÓN | Nº DE PLANTAS | UBICACIÓN CENTRO HISTÓRICO |
| <input checked="" type="radio"/> (1.000) Entre medianeras | <input type="radio"/> (0.975) nº de plantas < 3 | <input type="radio"/> (1.000) No |
| <input type="radio"/> (1.050) Abierta | <input checked="" type="radio"/> (1.000) 3 < nº de plantas < 8 | <input type="radio"/> (1.250) Si |
| <input type="radio"/> (1.100) En hilera | <input type="radio"/> (1.025) nº de plantas > 8 | |
| <input type="radio"/> (1.150) Unifamiliar aislada | | |

| C _v | C _s | C _c |
|---|---|--|
| Nº DE VIVIENDAS | SUPERFICIE ÚTIL VIVIENDAS | CALIDADES |
| <input type="radio"/> (0.900) nº de viviendas > 80 | <input checked="" type="radio"/> (0.950) S viviendas > 70m ² | <input type="radio"/> (0.800) Básico |
| <input type="radio"/> (1.000) 20 < nº de viviendas < 80 | <input type="radio"/> (1.000) 45m ² < S viviendas < 70m ² | <input checked="" type="radio"/> (1.000) Medio |
| <input checked="" type="radio"/> (1.100) nº de viviendas < 20 | <input type="radio"/> (1.050) S viviendas < 45m ² | <input type="radio"/> (1.200) Alto |

Coste Unitario de Ejecución = 764,94 €/m²

Edificación residencial entre medianeras con una altura de entre 3 y 8 plantas, de menos de 20 viviendas de una superficie útil media de 70m² y de un nivel alto de acabados.

Gran Vía

| C _t | C _h | C _u |
|---|--|----------------------------------|
| TIPOLOGÍA EDIFICACIÓN | Nº DE PLANTAS | UBICACIÓN CENTRO HISTÓRICO |
| <input checked="" type="radio"/> (1.000) Entre medianeras | <input type="radio"/> (0.975) nº de plantas < 3 | <input type="radio"/> (1.000) No |
| <input type="radio"/> (1.050) Abierta | <input checked="" type="radio"/> (1.000) 3 < nº de plantas < 8 | <input type="radio"/> (1.250) Si |
| <input type="radio"/> (1.100) En hilera | <input type="radio"/> (1.025) nº de plantas > 8 | |
| <input type="radio"/> (1.150) Unifamiliar aislada | | |

| C _v | C _s | C _c |
|--|---|--|
| Nº DE VIVIENDAS | SUPERFICIE ÚTIL VIVIENDAS | CALIDADES |
| <input type="radio"/> (0.900) nº de viviendas > 80 | <input checked="" type="radio"/> (0.950) S viviendas > 70m ² | <input type="radio"/> (0.800) Básico |
| <input checked="" type="radio"/> (1.000) 20 < nº de viviendas < 80 | <input type="radio"/> (1.000) 45m ² < S viviendas < 70m ² | <input checked="" type="radio"/> (1.000) Medio |
| <input type="radio"/> (1.100) nº de viviendas < 20 | <input type="radio"/> (1.050) S viviendas < 45m ² | <input type="radio"/> (1.200) Alto |

Coste Unitario de Ejecución = 579,50 €/m²

Edificación residencial entre medianeras con una altura de entre 3 y 8 plantas, de entre 20 y 80 viviendas de una superficie útil media de 70m² y de un nivel medio de acabados.

| C _t | C _h | C _u |
|---|--|----------------------------------|
| TIPOLOGÍA EDIFICACIÓN | Nº DE PLANTAS | UBICACIÓN CENTRO HISTÓRICO |
| <input checked="" type="radio"/> (1.000) Entre medianeras | <input type="radio"/> (0.975) nº de plantas < 3 | <input type="radio"/> (1.000) No |
| <input type="radio"/> (1.050) Abierta | <input checked="" type="radio"/> (1.000) 3 < nº de plantas < 8 | <input type="radio"/> (1.250) Si |
| <input type="radio"/> (1.100) En hilera | <input type="radio"/> (1.025) nº de plantas > 8 | |
| <input type="radio"/> (1.150) Unifamiliar aislada | | |

| C _v | C _s | C _c |
|--|---|--|
| Nº DE VIVIENDAS | SUPERFICIE ÚTIL VIVIENDAS | CALIDADES |
| <input type="radio"/> (0.900) nº de viviendas > 80 | <input checked="" type="radio"/> (0.950) S viviendas > 70m ² | <input type="radio"/> (0.800) Básico |
| <input checked="" type="radio"/> (1.000) 20 < nº de viviendas < 80 | <input type="radio"/> (1.000) 45m ² < S viviendas < 70m ² | <input checked="" type="radio"/> (1.000) Medio |
| <input type="radio"/> (1.100) nº de viviendas < 20 | <input type="radio"/> (1.050) S viviendas < 45m ² | <input type="radio"/> (1.200) Alto |

Coste Unitario de Ejecución = 579,50 €/m²

Edificación residencial entre medianeras con una altura de entre 3 y 8 plantas, de entre 20 y 80 viviendas de una superficie útil media de 70m² y de un nivel medio de acabados.

Figura 20. Coste de reposición considerado para cada barrio

Tabla 5. Ratios de coste de reparación de la estructura y los elementos no estructurales

| DAÑO (EMS-98) | D1 | D2 | D3 | D4+D5 |
|----------------------------|-----------|------------|------------|-------------|
| ATC-25 | leve | moderado | extremo | completo |
| elementos estructurales | 0,3 | 1,4 | 6,9 | 13,8 |
| elementos no estructurales | 1,7 | 8,6 | 34,4 | 86,2 |
| TOTAL | 2% | 10% | 40% | 100% |

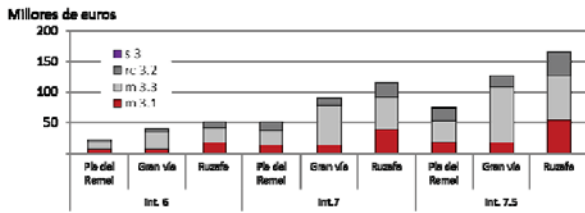


Figura 21. Coste económico de reparación y/o sustitución en millones de euros

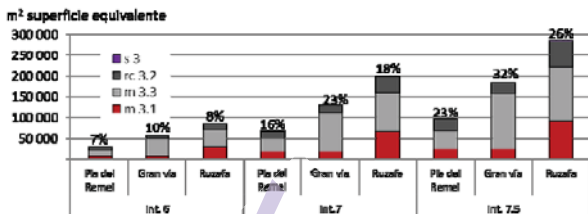


Figura 22. Coste económico de reparación y/o sustitución en m² de superficie equivalente

Es imprescindible, a la vista de estos resultados, propiciar el refuerzo de aquellas estructuras de mampostería con algún nivel de protección, evitando, en la medida de lo posible, entrar en conflicto con el valor histórico de las mismas, con el fin de preservarlas y evitar su posible ruina en caso de sismo.

Para identificar las manzanas más afectadas, se ha representado el coste económico, en términos de superficie equivalente para cada manzana y escenario sísmico (figura 23). Como el coste de reposición varía según el barrio en el que se ubique la manzana, en la figura 24 se indica el coste en euros considerando los valores del coste de reposición de la figura 20.

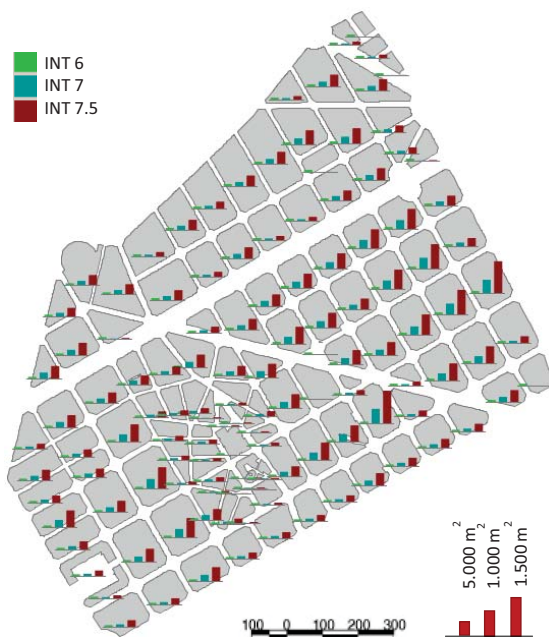


Figura 23. Coste de reposición (superficie equivalente)

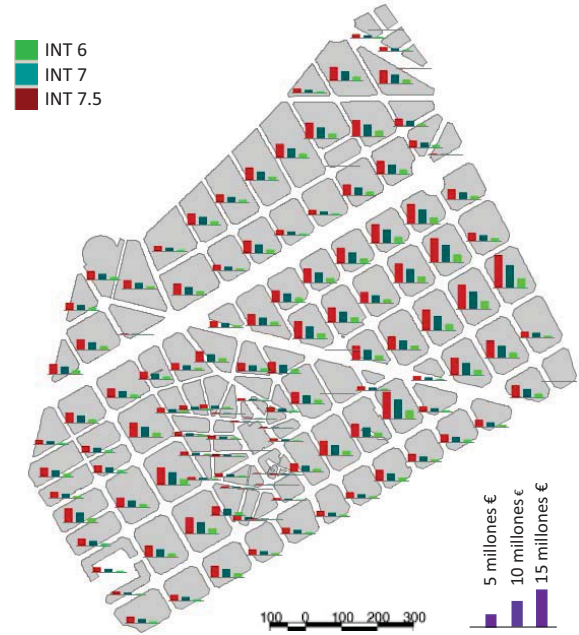


Figura 24. Coste de reposición (euros)

7. Conclusiones

Se ha determinado la vulnerabilidad sísmica de los edificios del distrito de L'Eixample de Valencia mediante el método del índice de vulnerabilidad. La calidad de la base de datos desarrollada al efecto ha permitido caracterizarlos uno a uno, identificando los más vulnerables y analizando los elementos concretos que aumentan dicha vulnerabilidad.

Los resultados se han representado mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) en forma de mapas de vulnerabilidad y de escenarios de daño para sismos de intensidades 6, 7 y 7.5 y se ha evaluado el riesgo sísmico, determinando las consecuencias de tipo económico y social.

Los resultados obtenidos en este distrito de la ciudad de Valencia confirman que, pese a no encontrarse en una zona de alta peligrosidad, la vulnerabilidad es elevada y el riesgo sísmico apreciable, no sólo en términos de pérdidas humanas sino también de pérdidas económicas y patrimoniales. Así para el sismo menos intenso se producirían 7 víctimas (si este ocurriera en las horas de máxima ocupación) y más de 700 personas quedarían sin hogar aumentando esta cifra hasta 865 y casi 6000, respectivamente, para el más intenso.

Por otra parte, la superficie construida de uso residencial que necesitaría ser reparada (principalmente estructuras de mampostería y, por tanto, de gran valor histórico) sería del 25%, 57% o 82%, tras un sismo de intensidad 6, 7 o 7.5, respectivamente.

Se recomienda, por tanto, establecer criterios de intervención no sólo en edificios protegidos, para salvaguardar el patrimonio, sino en todos los que no sean sísmicamente seguros, y extender este método de evaluación de la vulnerabilidad y la representación de los escenarios de riesgo a otros distritos de interés arquitectónico de la ciudad de Valencia. Para ello, y con objeto de poder considerar adecuadamente el efecto del suelo en los futuros estudios de vulnerabilidad sísmica, sería necesario realizar una microzonificación sísmica de la ciudad.

Asimismo, se debería evaluar la vulnerabilidad de todos los edificios del distrito de L'Eixample incluidos en procesos y planes de rehabilitación, especialmente los protegidos, aplicando métodos más avanzados y precisos (como, por ejemplo, el método basado en el espectro de capacidad [14], [25]).

Agradecimientos

La información para la elaboración de este trabajo ha sido proporcionada por la Gerencia Regional del Catastro de Valencia y por el Archivo de Arquitectura y Urbanismo de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia.

Referencias:

- [1] P. Mouroux, B. Le Brun, Presentation of RISK-UE Project. Bull Earthquake Eng. Springer Science+Business Media B.V. (2006) 4:323-339. DOI 10.1007/s10518-006-9020-3
- [2] L.G. Pujades, A.H. Barbat, y N. Lantada, Métodos avanzados para la obtención de escenarios de riesgo sísmico. Aplicación a Barcelona (España), Article No.1, Intersections Vol.4, (2007) 3-37
- [3] A. Coburn, R. Spence, Earthquake Protection, 2nd ed., John Wiley and Sons, Chichester, 2002
- [4] LESSLOSS European research project for risk mitigation for earthquakes and landslides (2004–2007); report n° 2007/07, Earthquake Disaster Scenario Predictions and Loss Modeling for Urban Areas. R. Spence. <http://www.lessloss.org/main/index.php> (último acceso 23 de diciembre de 2012).
- [5] FEMA/NIBS, HAZUS-MH MR3 Technical Manual. Multi-hazard Loss estimation Methodology. Earthquake model, Washington, D.C., USA, 2003
- [6] Ayuntamiento de Valencia. Oficina de Estadística. Datos socio demográficos de los Barrios de Pla del Remei, Gran Via y Ruzafa, 2012. <http://www.valencia.es/> (último acceso 21 de enero de 2013)
- [7] R.Temes "El tapiz de Penélope. Transformaciones residenciales sobre tejidos sin valor patrimonial". Tesis Doctoral, UPV, Valencia, 2008. <https://www.educacion.es/teseo/mostrarRef.do?ref=418485> (último acceso 21 de enero de 2013)
- [8] Reglamento para aplicación del Decreto sobre las restricciones del hierro en la edificación del 11 de marzo 1941. BOE 2/08/1941, Madrid, 1941.
- [9] MV 101-1962. Norma "Acciones en la edificación" BOE 9/02/1963, Madrid 1963.
- [10] PGS-1 (1968). Norma Sismorresistente. Parte A. BOE 4/02/1969, Madrid 1969.
- [11] PDS-1. (1974) Norma Sismorresistente. BOE 21/11/1974, Madrid 1974.
- [12] NCSE-94. Norma de Construcción Sismorresistente. Parte General y Edificación. BOE 8/02/1995, Madrid, 1995.
- [13] NCSE-02. Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación. BOE 11/10/2002, Madrid, 2002.
- [14] Z. V.Milutinovic, G. S. Trendafiloski, Vulnerability of current buildings. Risk-UE WP4 Handbook. Risk-UE project, contract: EVK4-CT-2000-00014 (2003).
- [15] N. Lantada, "Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona". Tesis Doctoral, U.P. Cataluña, Barcelona, 2007. <http://hdl.handle.net/10803/6259> (último acceso 21 de enero de 2013).
- [16] N. Lantada, J. Irizarry, A. H. Barbat, X. Goula, A. Roca, T. Susagna, L.G. Pujades, Seismic hazard and risk scenarios for Barcelona, Spain, using the Risk-UE vulnerability index method, Bull. Earthquake Engineering 8, (2010), 201-229, Springer Science+Business Media B.V. DOI 10.1007/s10518-009-9148-z
- [17] X. Goula, A. Barbat, M. Carreño, N. Lantada, J. Varcarel, J. Irizarry, S. Figueras, A. Macau, D. Combescure, M. Belvaux, S. Bremond, C. Carames, D. Monfort, G. Verrhiest, R. Bairrao, Spanish-French-Portuguese field investigation of the 11th May Mw5.1 earthquake in Lorca (Murcia, Spain) (2011). <http://www.afps-seisme.org/index.php/fre/Seismes-majeurs/Seisme-a-Lorca> (último acceso 5 diciembre 2012)
- [18] J.J. Giner, S. Molina, P. J. Jáuregui, Sismicidad en la Comunidad Valenciana, Física de la Tierra 15, 2003, 163-187
- [19] U.R.S.U.A. Unidad de Registro Sísmico Universidad de Alicante: Mapa Catálogo de terremotos con intensidad (EMS-98) mayor o igual a VI. Mapas de Intensidad sísmica esperada en la Comunidad Valenciana incluyendo efecto del sitio para 500 años y 1000 años. <http://web.ua.es/ursua>
- [20] R. Franklin, J.O. Caselles, J.A. Canas, J. Clapes y L.I. G. Pujades, Estimación de la respuesta del sitio mediante el método del cociente espectral aplicado a ruido ambiental. Aplicación a la Ciutat Vella de Valencia, Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, vol. 22, 2, (2006), 169-191, CIMNE
- [21] G. Grunthal, European Macroseismic Scale 1998. Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxemburg, 1998.
- [22] S. Giovinazzi, The vulnerability assessment and the damage scenario in seismic risk analysis. PH.D.Thesis, T. U. Braunschweig, Alemania, 2005.
- [23] IVE, Instituto Valenciano de la Edificación. Coste unitario de ejecución de edificación residencial, 2013, <http://www.five.es/inicio/economia/457.html> (último acceso 12 de enero de 2013)
- [24] ATC-25 (Applied Technology Council), 1991. Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Conterminous United States. Redwood City, California, Applied Technology Council Report.
- [25] J. Irizarry, N. Lantada, L. G. Pujades, A. H. Barbat, X. Goula, T. Susagna, A. Roca, 2011, Ground-Shaking Scenarios and Urban Risk Evaluation of Barcelona using the Risk-UE Capacity Spectrum Based Method Bulletin of Earthquake Engineering. Vol.9 pp: 441-466 <http://dx.doi.org/10.1007/s10518-010-9222-6>