



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL
BARRIO DE SAN FRANCISCO DE
VALENCIA CALCULADA A PARTIR
DEL EFECTO DE SITIO

TRABAJO FIN DE GRADO

para optar al título de

GRADO EN INGENIERIA EN GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA

CURSO ACADÉMICO 2018/2019

Autor: David Montequin Morales
damonmo3 @ topo.upv.es

Tutor: Francisco García García
fgarciag @ upv.es

Valencia, junio 2019

"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante, no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecorillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía".

Resumen

El presente proyecto consiste en el estudio de la vulnerabilidad sísmica del barrio de San Francisco del distrito de Ciutat Vella de Valencia (España). Para la realización del análisis, se han utilizado datos existentes sobre la respuesta del suelo en el distrito citado y se han estudiado los rangos de periodos, en los que se puede producir efecto de amplificación.

A partir de estos datos, se ha analizado el grado de afectación de los edificios existentes, así como de los posibles daños ocasionados a personas. Obteniendo como resultado que el 12% de los edificios estudiados podrían verse afectados.

Palabras clave: geología, sismología; riesgo sísmico; edificación; protección civil; Valencia; Península Ibérica; sistema de información geográfica.

Abstract

The present project consists in the study of the seismic vulnerability of the neighborhoods of San Francisco of the Ciutat Vella district of Valencia (Spain). To carry out the analysis, existing data on the response of the soil in the aforementioned district has been used and the ranges of periods in which the amplification effect can be produced have been studied.

Based on these data, the level of damage to existing buildings has been analyzed, as well as the possible damage caused to people. Obtaining as a result that 12% of the buildings studied might be affected.

Keywords: geology; sismology; seismic risk; building; civil protection; Valencia; Iberian Peninsula; geographic information system.

Agradecimientos

Es de justicia que abran el apartado de agradecimientos aquellos que, no solo me han dado la posibilidad de llegar a la universidad y terminarla, sino también que me han dado (y siguen dando) una educación y unos valores, que, sin duda, agradeceré eternamente. Porque al final, mis pilares fundamentales siempre serán mi padre, mi madre y mis abuelos.

Como no puede ser de otra manera, el segundo punto de este apartado ha de ir a la persona que aceptó tutorizar este trabajo, Francisco García García, quien me ha dedicado su tiempo durante los últimos meses y ha estado disponible para ayudarme cuando hacía falta.

Gracias a Laura por ayudarme a deshacer aquellos nudos y atascos que he ido encontrando conforme avanzaba en el proyecto, sin duda, ha sido un alivio contar con su paciencia.

Finally, I must thank Professor Norbert Szabò of the University of Miskolc, the guidelines he gave me in the subject of *Introduction to Geophysical Literature* during my exchange at that university.

Índice

Resumen	2
Abstract	2
Agradecimientos	3
Índice.....	4
Índice de Figuras, Tablas y Planos	5
1. Introducción.....	6
2. Objetivo y área de estudio	7
2.1. Objetivo.....	7
2.2. Área de estudio	7
3. Metodología.....	8
3.1. Datos de partida.....	8
3.2. Procedimiento.....	8
4. Marco teórico.....	9
4.1. Régimen jurídico	9
4.2. Análisis del riesgo en la Comunidad Valenciana	10
4.2.1. Sismicidad histórica de la zona.....	10
4.2.2 Situación geodinámica de la zona.....	14
4.2.3. Peligrosidad sísmica.....	15
5. Marco práctico	18
5.1. Suelo y conceptos relacionados.....	18
5.1.1. Fenómeno de resonancia	18
5.1.2. Efecto local en el distrito de Ciutat Vella.....	19
5.2. Tipología constructiva del área de estudio.....	21
5.2.1. Distribución de las construcciones.....	22
5.2.2. Imágenes.....	22
5.3. Vulnerabilidad sísmica del área de estudio	24
5.3.1. Daños a los edificios	24
5.3.2. Daños a las personas	25
5.3.3. Edificios de importancia especial	26
5.3.4. Líneas vitales	27
6. Conclusiones.....	31
6.1. Sobre el método utilizado.....	31
6.2. Sobre la vulnerabilidad	31
6.3. Sobre el impacto económico	32
7. Consideraciones finales.....	34

8. Presupuesto.....	35
9. Bibliografía.....	36
10. Cartografía.....	38
Plano 1. Distribución de los sismógrafos en Ciutat Vella.	38
Plano 2. Periodos de resonancia en Ciutat Vella.....	39
Plano 3. Ubicación de los edificios según tipología constructiva.	40
Plano 4. Edificios con interacción suelo - estructura	41
11. Anexo	42
11.1. Fórmula 1	42

Índice de Figuras, Tablas y Planos

Tabla 1. Rango de periodos de resonancia.....	19
Tabla 2. Población por sexo y edad.....	25
Figura 1. Plano ubicación de Valencia en la Península.	7
Figura 2. Ubicación y composición del distrito de Ciutat Vella.	7
Figura 3. Agrupaciones de terremotos en la época histórica.	12
Figura 4. Agrupaciones de terremotos en la época instrumental.	13
Figura 5. Síntesis sismo tectónica.	14
Figura 6. Mapa de fallas activas cuaternarias.	14
Figura 7. Mapa de intensidades promedio en España T=500	15
Figura 8. Grupos litológicos de la CV, según incremento de la Intensidad.....	16
Figura 9. Intensidad sísmica esperada T=500.....	17
Figura 10. Red arterial. Fuente:.....	28
Figura 11. Red de baja presión.....	28
Figura 12. Red de colectores.....	29
Figura 13. Localización de gasolineras.	30
Figura 14. Mapa de localización de antenas GSM.....	30
Figura 15. Triangulo del riesgo	34
Plano 1. Distribución de los sismógrafos en Ciutat Vella.	20
Plano 2. Periodos de resonancia en Ciutat Vella.....	20
Plano 3. Ubicación de los edificios según tipología constructiva.	22
Plano 4. Edificios con interacción suelo - estructura.	24

1. Introducción

La posición de la Península Ibérica, próxima a la zona de contacto entre las placas Euroasiática y Africana, hace que la peligrosidad sísmica en la Comunidad Valenciana, entendida como la “probabilidad de que en un lugar concreto y durante un determinado periodo de tiempo ocurra un terremoto”, sea de las más altas de España, aunque a nivel global podríamos considerarla moderada.

Este riesgo, unido al hecho de no existir actualmente ningún método capaz de predecir el tiempo, lugar y magnitud de un terremoto, hace que sea ineludible el desarrollo de medidas de autoprotección y prevención, tanto a nivel personal, como por parte de la Administración.

La prevención y gestión del riesgo ante terremotos lleva consigo la necesidad de desarrollar distintas líneas de actuación, una de estas líneas sería la mencionada en el párrafo anterior (prevención y prevención), puesto que para poder reducir el impacto que un terremoto causaría a nuestra sociedad, es preciso evaluar previamente los posibles escenarios de daños materiales, así como el grado de afectación a la población.

La elección del tema de este trabajo, viene motivada por los hechos señalados en los párrafos previos. Para su realización, se han utilizado como datos de partida, datos de entes públicos y resultados obtenidos por las universidades politécnicas de Valencia y Cataluña durante el estudio de la estimación del efecto de sitio.

2. Objetivo y área de estudio

2.1. Objetivo

Tal y como se ha mencionado en el punto anterior, la ubicación geográfica de Valencia, sitúa la ciudad en una zona de actividad sísmica moderada, es por este motivo, que disponer de un plan de emergencias adecuado se hace esencial para la población.

Para poder realizar dicho plan correctamente, es necesario ajustarlo a la realidad existente en el término municipal, para ello, es imperativo conocer con anterioridad la tipología constructiva y las características geotécnicas del suelo. Siendo estos dos puntos, los pilares fundamentales sobre los que versa este estudio.

El objetivo final, será un análisis de las consecuencias probables, que un hipotético terremoto causaría en el barrio de San Francisco de Valencia, examinando el impacto económico, los daños que causaría en los edificios y por tanto en la población.

2.2. Área de estudio

El caso de estudio se centrará en la ciudad de Valencia, ciudad situada al sureste de la Península Ibérica (Figura 1) y capital de la Comunidad Valenciana con una población en 2018 cercana a 800.000 habitantes, según datos estadísticos del INE. Esta población, asciende al millón y medio de habitantes si se incluye su espacio metropolitano. Se trata de la tercera ciudad más poblada de España, por detrás de Madrid y Barcelona. Más concretamente, se estudiará el barrio de San Francisco, uno de los seis que componen el distrito de Ciutat Vella, el más antiguo y situado en el centro de la ciudad (Figura 2), donde residen según datos de 2018 del Ayuntamiento de Valencia 27.259 personas.



Figura 1. Plano ubicación de Valencia en la Península. Fuente: (Wikipedia)

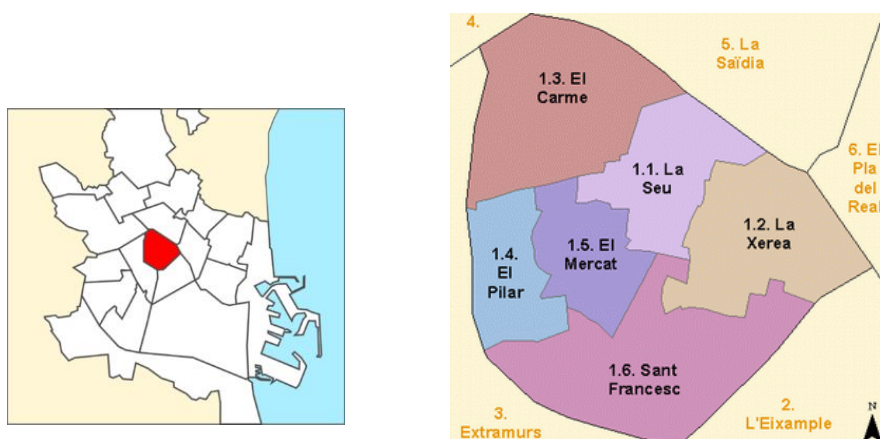


Figura 2. Ubicación y composición del distrito de Ciutat Vella. Fuente: (Iñiguez, E. / Ayuntamiento de Valencia)

3. Metodología

3.1. Datos de partida

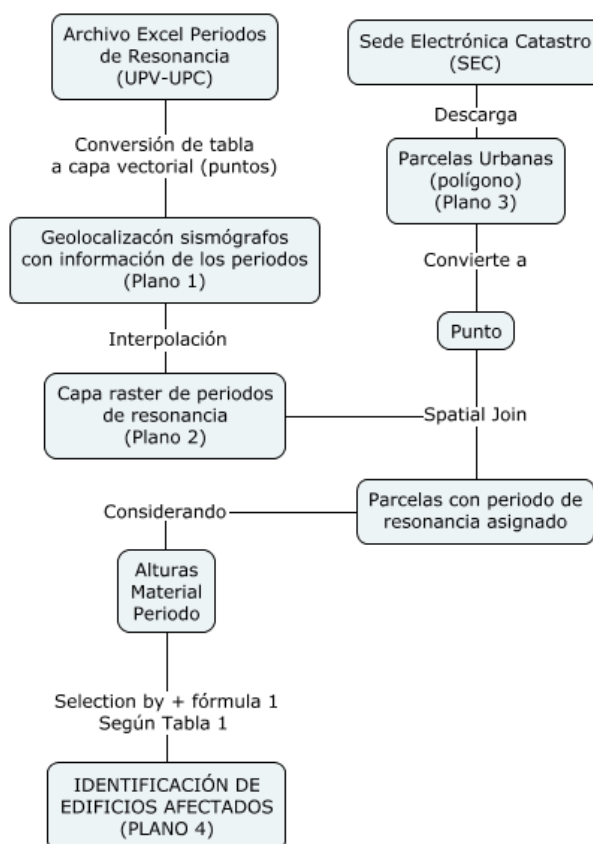
Para el análisis de la vulnerabilidad del barrio a estudio, se han utilizado como datos de partida los periodos de resonancia obtenidos durante la investigación llevada a cabo en 2006, por el Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica de la Universidad Politécnica de Cataluña, el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Almería y el Departamento de Ingeniería Cartográfica y Fotogrametría de la Universidad Politécnica de Valencia.

La investigación, tenía como fin, obtener la respuesta de sitio del distrito de Ciutat Vella de Valencia a partir del ruido ambiental, representando los periodos obtenidos, el grueso de la información utilizada para este trabajo.

Los datos referentes a las construcciones han sido obtenidos de la Sede Electrónica del Catastro y los relativos a población del repositorio virtual del Ayuntamiento de Valencia.

3.2. Procedimiento

El flujo de trabajo que se ha seguido se muestra a continuación en formato de mapa conceptual, todo el procedimiento se ha llevado a cabo en ArcMap.



4. Marco teórico

A través de los puntos siguientes, se expone la situación sísmica de la Comunidad Valenciana y sus antecedentes históricos, para conocer el riesgo actual y futuro (de manera probabilística) de la zona.

También se ha recopilado de manera pormenorizada, las normas y disposiciones vigentes en materia de Protección Civil.

4.1. Régimen jurídico

De manera resumida, podemos determinar que los planes de emergencia se encuentran regulados por la Ley 2/85 de Protección Civil y los riesgos que serán objeto de estos planes están dispuestos en el RD 407/92, estando el riesgo sísmico entre ellos. Con el fin de obtener una homogenización estatal, se desarrolló posteriormente por Resolución de 5 de mayo de 1995, de la Secretaría de Estado de Interior, la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico. Esta directriz, estableció unos requisitos mínimos a los planes que se desarrollen, siendo actualizada en 2004 (BOE, 2 de octubre de 2004).

Asimismo, los RD 997/02 y 637/07, hacen referencia a la Norma de Construcción Sismorresistente, el primero aplicado a General y Edificación (NCSE-02) y el segundo a Puentes (NCSP-07), estas normas establecen los procedimientos para minimizar los daños, ante la ocurrencia de un sismo.

De manera paralela, pero a nivel autonómico, se aprueba en 1993 (Decreto 243/1993), el Plan Territorial de Emergencia de la Comunidad Valenciana, documento marco para la gestión de emergencias y nueve años después, se desarrolló el modelo del sistema de protección civil y gestión de emergencias a nivel de la comunidad por Ley 9/2002, de 12 de diciembre, de la de la Generalitat, de Protección Civil y Gestión de Emergencias. Ley, que se modifica y desarrolla en la Ley 13/10, de 23 de noviembre.

En virtud de la legislación anterior, en el año 2011, se desarrolla y aprueba, el Plan Especial frente al Riesgo Sísmico en la Comunitat Valenciana por Decreto 44/2011, de 29 de abril, del Consell.

4.2. Análisis del riesgo en la Comunidad Valenciana

Para poder analizar correctamente el riesgo de la ciudad de Valencia, se ha de ampliar geográficamente el área de estudio con el fin de examinar el comportamiento sísmico de toda la zona. La zona de influencia, está comprendida dentro de un rectángulo, donde todo punto de la Comunidad Valenciana, dista al menos 100 kilómetro del lado más próximo del rectángulo. Dicho marco está definido por las siguientes coordenadas: (2° 30' W, 41° 30' N), (1° 30' E, 41° 30' N), (1° 30' E, 37° 00' N) y (2° 30' W, 37° 00' N).

La principal fuente de datos usada para este estudio, se encuentra en el *catálogo de terremotos* del Instituto Geográfico Nacional (IGN), con datos comprendidos entre los años 1370 y la actualidad. Históricamente, podemos clasificar estos datos en 2 épocas según el año que se produjo el sismo y por tanto la forma en que se obtuvieron datos sobre el mismo:

- Época histórica: entre 1048 y 1923.
- Época instrumental: entre 1924 y la actualidad.

Los datos anteriores a estas épocas, se encuentran clasificados como paleosismicidad, y aunque no se están recogidos en el *catálogo de terremotos*, es posible recabar información sobre ellos a través de datos históricos en trabajos de investigación.

4.2.1. Sismicidad histórica de la zona

4.2.1.1. Paleosismicidad

Los análisis de paleosismicidad realizados en la zona, concluyen que en esta época se produjeron terremotos de magnitudes elevadas. Estos trabajos geotécnicos se llevaron a cabo en la comarca del Bajo Segura y en ellos se obtuvo como resultado testigos sedimentológicos donde se observó lo que Giner, Molina y Jáuregui (2003), señalan:

“estructuras sedimentarias de deformación y escape de agua, fundamentalmente laminación convoluta y estructuras de arrastre de arena y limos que cortan a la fina laminación que presenta la unidad en estado sin deformar.

(...)

Es factible suponer que la formación de estas estructuras sea de origen sísmico. Ello puede ser indicio de licuefacción sismoinducida” (p. 5).

El hecho de aparecer licuefacción en distintas cotas y en diferentes sondeos, confirma la existencia de varios grandes terremotos en distintos años de esta época.

4.2.1.3. Época histórica

Se tiene constancia, gracias a documentos de la época que han sobrevivido hasta la actualidad, de varios terremotos en el sureste peninsular en los siglos IV y III a.C. pero no ha sido posible determinar su ubicación exacta ni su intensidad. A pesar de esto, para la realización del proyecto, se han utilizado los datos del IGN, el cual, como se mencionó en el punto 3, considera el inicio de esta época en 1048, año en el que se produjo el terremoto de Orihuela, primer terremoto del que se dispone suficiente información para determinar su ubicación espacial y su intensidad. Según el Plan Especial frente al riesgo sísmico en la Comunitat Valenciana, esta época abarca desde 1396 (terremoto de Tabernes) hasta 1911,

El *catálogo de terremotos* del IGN, nos devuelve un total de 762 sismos registrados en el rango de fechas descrito, aunque no de todos ellos se dispone de la información suficiente para realizar un análisis preciso. Siguiendo la hipótesis de agrupamientos sísmicos, podemos agruparlos geográficamente según la ubicación de su epicentro, de esta manera comprobamos que gran parte de los terremotos con intensidad mayor o igual a VII, cumplen esta hipótesis. Es importante señalar, que esta agrupación, no descarta que puedan ocurrir movimientos en otras zonas, siendo un ejemplo el ocurrido en la Ribera del Ebro en 1845.

En este caso los agruparemos en 5 zonas, tal y como lo hace el Plan Especial frente al riesgo sísmico en la Comunitat Valenciana (Figura 3):

- a1. Vera – Almanzora.** Varios terremotos importantes, con intensidades comprendidas entre los grados VII y IX (Escala EMS-98), están documentados en esta zona. El más importante fue el de 1518 en Vera donde del diario de la época, se recoge que “de 200 casas cayeron todas y muchas totalmente”.
- a2. Lorca – Murcia.** Zona de gran actividad, donde constan numerosos movimientos sísmicos durante los siglos XVIII, XIX y XX, tan solo superando el grado VII de intensidad en 2 ocasiones (1579 y 1674).
- a3. Torrevieja.** Se trata de la zona más importante en cuanto a sismicidad se refiere, registrándose los terremotos más destructivos de la Península. Los más importantes fueron los ocurridos en Orihuela (en 1482 y 1484) y el de Torrevieja (en 1829) de grado de intensidad entre IX y X, destruyeron gran cantidad de municipios. Además, también se registraron diversos movimientos de intensidad VIII y VII.
- a4. Alcoy.** En esta zona, se produjeron sendos terremotos en el siglo XVII de intensidad VIII y epicentro cercano al término municipal.
- a5. Xàtiva – Gandía.** Hay evidencias de importantes movimientos sísmicos en esta zona entre los siglos XIV y XIX. Destacan entre ellos, el de Tabernes en el año 1396 y el de Estubeny en 1748, ambos con intensidad de grado IX. Otros terremotos ocurrieron con intensidades VII y VIII.

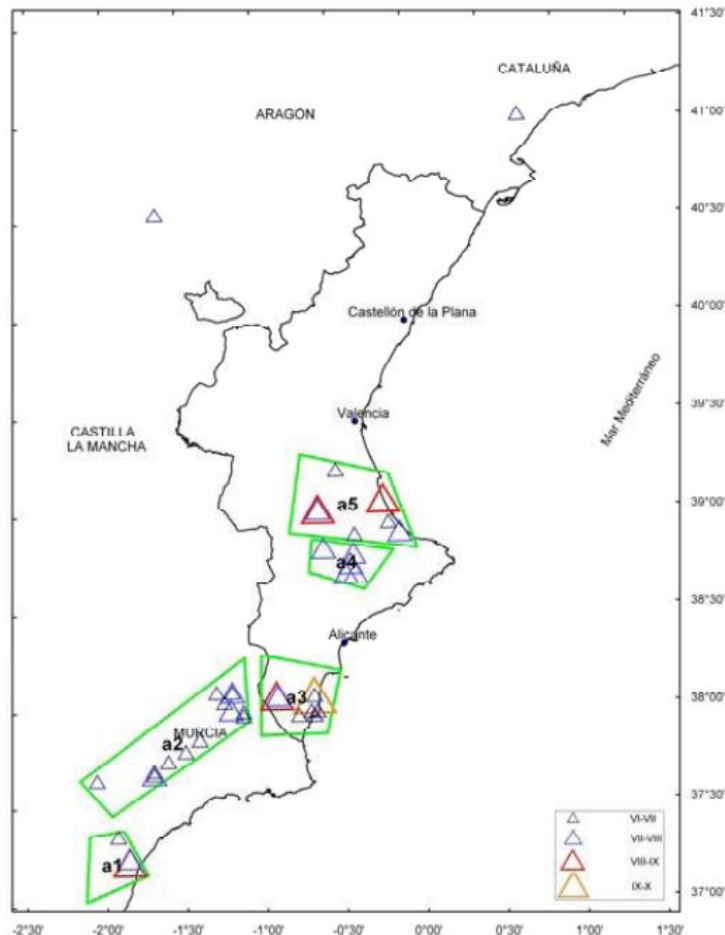


Figura 3. Agrupaciones de terremotos en la época histórica. Fuente: (Plan Especial Sísmico CV)

4.2.1.4. Época instrumental

El año de comienzo de la época instrumental, viene determinado por la fecha de instalación de los instrumentos, es por este motivo por el que existen fluctuaciones de decenas de años en la literatura.

Los primeros sismógrafos de la Comunidad Valenciana, se instalaron en 1914 en la ciudad de Alicante, pero dada su escasa precisión no se considera como inicio teórico de la época instrumental hasta los años 60, fecha en la que se comenzó a desarrollar una red sísmica (a efectos prácticos consideramos el año 1919, año en que son registrados de manera instrumental los primeros movimientos).

Como dato histórico, cabe reseñar que la instrumentación digital en la década de los 80, junto a la estandarización con la red estándar mundial, marcó el inicio de la Red Sísmica Nacional del IGN.

De igual manera que en la época histórica, se han realizado 5 agrupaciones sísmicas dentro de la zona de influencia (Figura 4):

- a1. Vera – Almanzora.** Entre 1930 y 1970, se registraron varias series en las localidades de Lúcar y Lubrín de magnitud entre 4 y 5.
- a2. Lorca – Murcia.** Se trata de la zona con mayor actividad, se sucedieron entre 1930 y la actualidad varios terremotos de magnitudes entre 4 y 5 con

epicentros en distintos términos municipales como Cieza, Orce, Lorca y Mula entre otros, con una diferencia temporal entre ellos cercana a los 20 años. El más reciente, ocurrió en Lorca en mayo de 2011 y se saldó con 9 muertos y más de 300 heridos.

- a3. Torrevieja.** De igual manera que en la época histórica, es en esta zona donde se han registrado los movimientos de mayor magnitud, ocurridos en Jacarilla en 1919, con magnitud 5.
- a4. Alcoy.** En los años 1937 y 1945, dos terremotos, de magnitud cercana a 5 tuvieron lugar en esta zona.
- a5. Xàtiva – Gandía.** Solamente se tienen registrados 2 sismos con magnitud por encima de 4 en esta zona, el ocurrido en Enguera en 1938 y el de Gabarda en el 55.

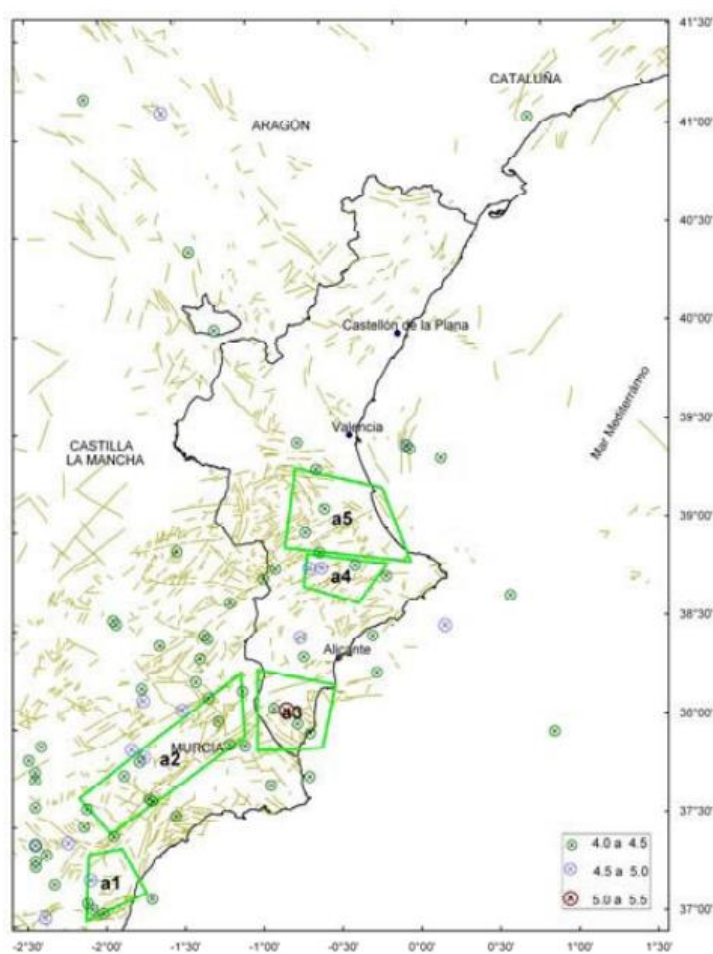


Figura 4. Agrupaciones de terremotos en la época instrumental. Fuente: (Plan Especial Sísmico CV)

4.2.2 Situación geodinámica de la zona

En un marco geodinámico global, la Península Ibérica se sitúa en el extremo sur de la placa euroasiática, la cual se prolonga desde la dorsal centroatlántica a la altura de las Islas Azores, hasta la zona de falla, que, a través del norte de África y sur de España, sirve de límite de contacto con la placa africana (Figura 5).

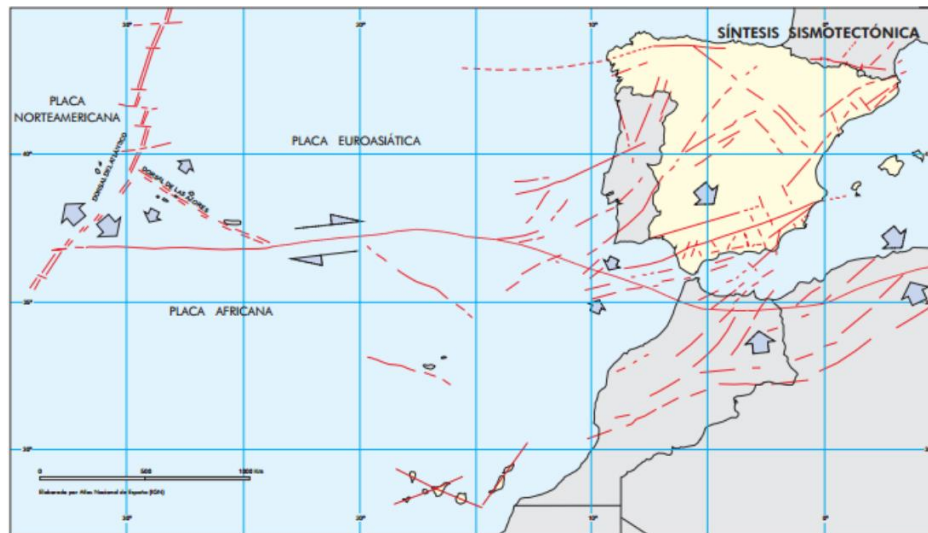


Figura 5. Síntesis sismo tectónica. Fuente: (IGN)

El origen de los terremotos está en las fallas, producidas por el movimiento de las placas tectónicas. La base de datos de fallas activas, es gestionada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), y tal como podemos observar en la Figura 6, la zona con mayor presencia es la zona del sur peninsular.

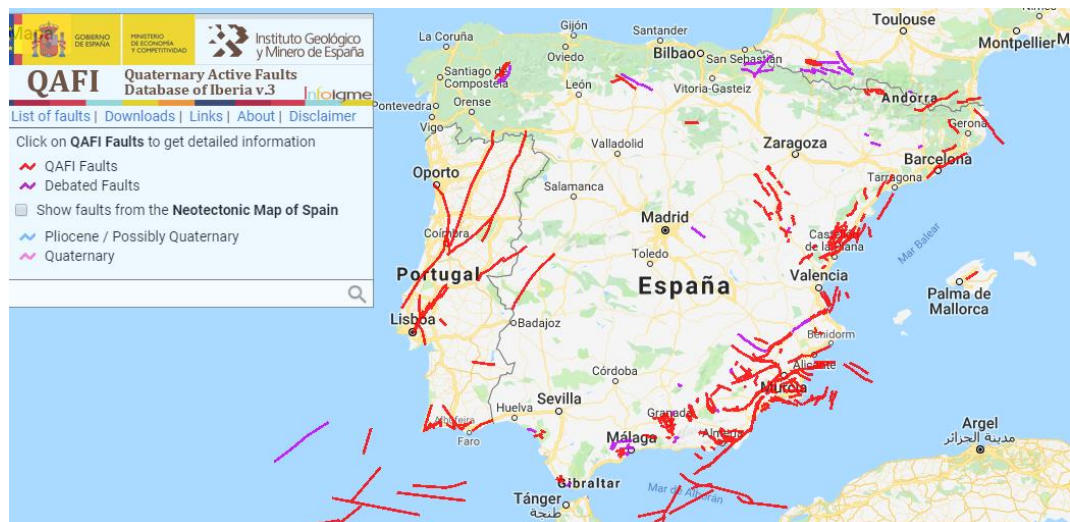


Figura 6. Mapa de fallas activas cuaternarias. Fuente: (<http://info.igme.es/qafi/> IGME)

4.2.3. Peligrosidad sísmica

La Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO), establece en su documento Natural Disasters and Vulnerability Analysis (1979) la definición de peligrosidad como, “la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado”.

La evaluación de la peligrosidad sísmica, se realiza utilizando modelos probabilísticos, donde el resultado es la probabilidad de superar una intensidad determinada, en un intervalo específico de tiempo T (periodo de retorno).

En el mapa de la peligrosidad sísmica de España (Figura 7), podemos apreciar como el foco de mayor intensidad dentro de nuestra área de estudio, se encuentra en la zona de la Vega Baja del Segura. En el mencionado mapa, observamos como para un periodo de retorno de 500 años, se esperan las siguientes intensidades, en las agrupaciones mencionadas en los puntos 3.1.3 y 3.1.4:

- | | |
|------------------------------|-----------------|
| a1. Vera – Almanzora: | Intensidad VII |
| a2. Lorca – Murcia: | Intensidad VIII |
| a3. Torrevieja: | Intensidad VIII |
| a4. Alcoy: | Intensidad VII |
| a5. Xàtiva – Gandía: | Intensidad VI |

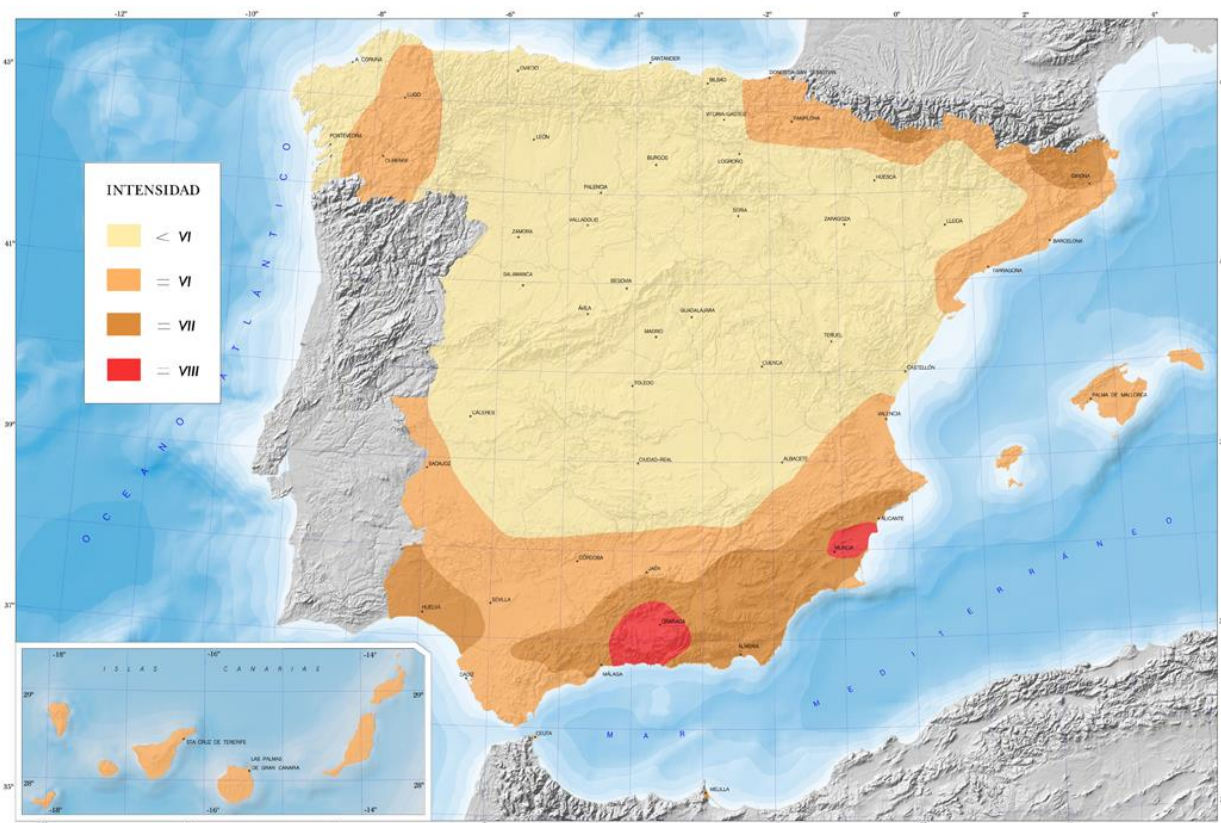
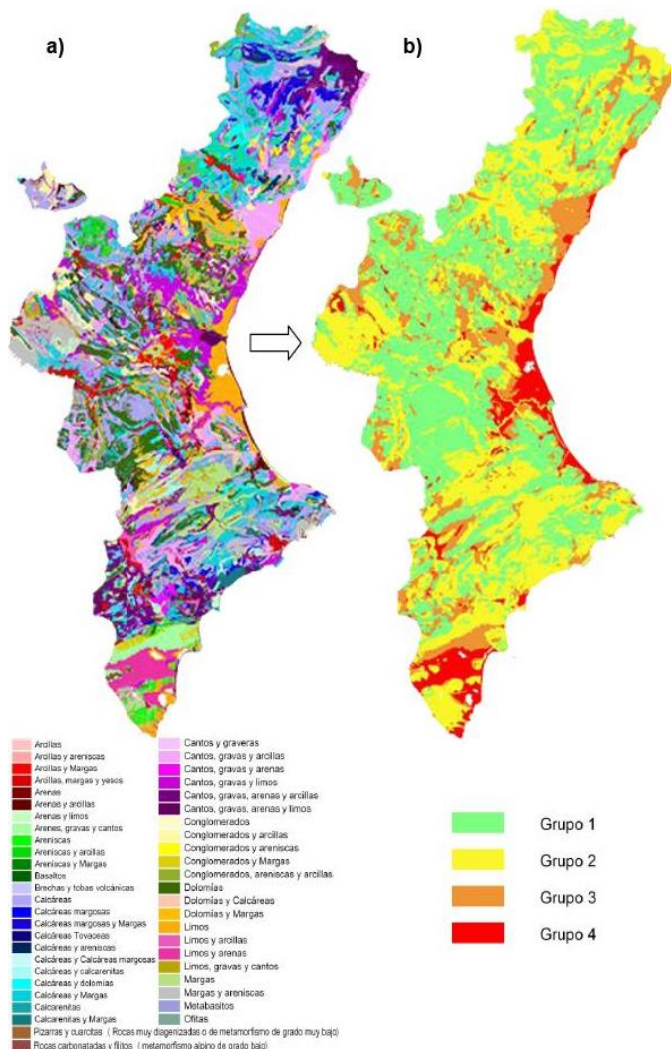


Figura 7. Mapa de intensidades promedio en España T=500. Fuente: (IGN 2002)

4.2.3.1 Efecto local

El efecto local o de sitio, es uno de los factores más influyentes en cuanto a la peligrosidad sísmica de una zona, se trata de la modificación que las condiciones locales del terreno producen sobre la señal sísmica. Esta alteración, ampliará o atenuará el temblor en función de la topografía y de las características geológicas.

Se trata de un efecto difícil de cuantificar dada la multitud de aspectos que influyen sobre él, por ello, se suelen realizar simplificaciones. En el caso de la Comunidad Valenciana, el estudio de peligrosidad sísmica fue elaborado por la Universidad de Alicante a instancias de la Conselleria de Gobernación en el año 2010. En este trabajo, se utilizó el mapa litológico de la comunidad (Figura 8a) y se clasificaron los distintos tipos de suelo en 4 grupos litológicos (Figura 8b), aplicando un valor de incremento de la intensidad promedio a cada uno. Clasificados de menor incremento a mayor, los grupos estarían conformados de la siguiente manera:



1. Rocas cementadas y consolidadas, duras a muy duras.
2. Rocas cementadas y consolidadas, alterables o muy fracturadas.
3. Rocas débilmente cementadas y sedimentos de grano grueso.
4. Sedimentos de grano fino y poco compactados.

Esta forma de calcular el efecto de sitio, tiene en consideración únicamente la composición del suelo, asumiendo las mismas propiedades mecánicas para cada litología determinada. De esta manera, las zonas clasificadas como grupo 1, atenuarían la intensidad sísmica y las clasificadas como 3 y 4 amplificadas. El grupo 2, no afectaría a la intensidad.

Figura 8. Grupos litológicos de la CV, según incremento de la Intensidad. Fuente: (Universidad de Alicante, 2010)

La Figura 9, representa las intensidades esperadas, una vez aplicado el efecto de sitio en la comunidad, para un periodo de retorno de 500 años. Al término municipal de Valencia, le corresponde una intensidad de 7.5, para dicho periodo de retorno.

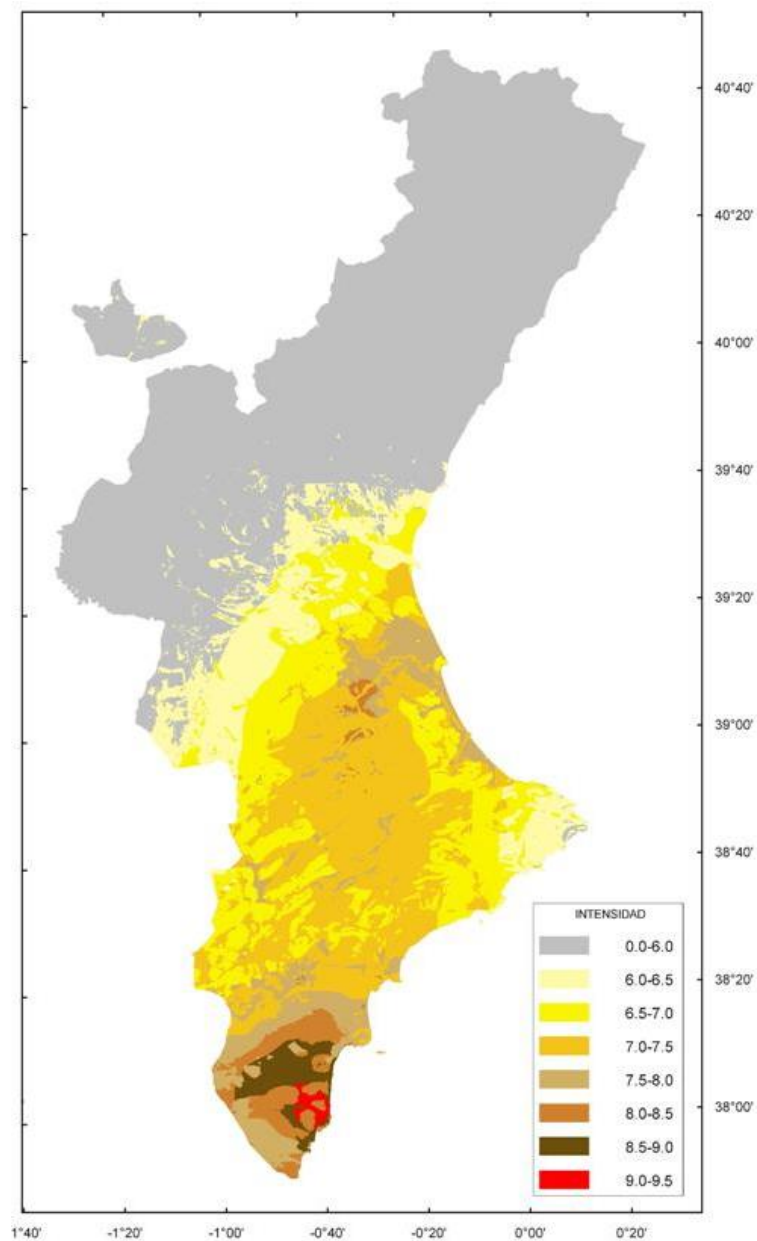


Figura 9. Intensidad sísmica esperada T=500. Fuente: (Universidad de Alicante 2010)

Como dato histórico, reseñar que se empezó a estudiar el efecto de amplificación tras el terremoto de Michoacán (México) de 1985, donde las ondas sísmicas fueron amplificadas en zonas de material sedimentario afectando de manera notoria a edificios de hormigón armado situados a casi 400 kilómetros de la fuente.

5. Marco práctico

En las líneas que siguen, se desarrolla la investigación llevada a cabo para esta tesis. En primer lugar, se expondrán los conceptos relacionados con el suelo, explicando el concepto de fenómeno de resonancia, el estudio de la estimación del efecto de sitio en el distrito de Ciutat Vella de Valencia, los datos de partida utilizados y su modo de obtención.

En segundo lugar, se estudiará la información urbanística de la ciudad, las tipologías constructivas y las instalaciones vitales existentes. Por último, será analizada la vulnerabilidad sísmica de los edificios del barrio de San Francisco, y por ende el posible daño a la población y el probable impacto económico y social al producirse un movimiento sísmico.

5.1. Suelo y conceptos relacionados

5.1.1. Fenómeno de resonancia

Muchos de los daños que los terremotos causan en construcciones, son debidos al fenómeno de resonancia, fenómeno originado al coincidir los periodos fundamentales del suelo y de la estructura.

Cada construcción cuenta con un periodo o frecuencia natural. Al recibir la construcción una vibración externa, esta adopta un movimiento oscilatorio de una frecuencia determinada. La intensidad del fenómeno de resonancia, aumentará conforme se acerque la frecuencia externa, que se trata de una frecuencia variable, a la frecuencia natural de la construcción, una frecuencia fija. Este aumento, se expresará como un movimiento oscilatorio y se visualizará en forma de desplazamiento de la estructura.

Al recibir el suelo una frecuencia de vibración, producida por un terremoto, este se excita transmitiendo el movimiento a la edificación a través de los cimientos. Si como se ha mencionado en el párrafo anterior, esta frecuencia variable del suelo, se aproxima a la frecuencia fija del edificio, se dará el fenómeno de resonancia, generando el movimiento oscilatorio. Este desplazamiento requiere una elevada elasticidad de los materiales, que, en caso de no poder ser facilitada, la estructura liberará la energía acumulada de manera destructiva.

La Tabla 1, relaciona cada rango de periodos de resonancia (en segundos) con un tipo de edificio determinado, según su altura en pisos y la naturaleza de su construcción (hormigón o mampostería). La tabla y los intervalos se ha confeccionado, según lo expuesto por Franklin et al. (2006).

Rango (s)	Edificios de hormigón (plantas)	Edificios de mampostería (plantas)
0.08 – 0.14	1	1 – 2
0.14 – 0.20	2 – 3	3
0.20 – 0.26		4 – 5
0.26 – 0.32		6 – 7
0.32 – 0.38		8 – 9
0.38 – 0.44	10	10 – 12
0.44 – 0.50	11 – 12	13 – 14
0.50 – 0.56	13 – 14	15 – 17
0.56 – 0.62	15 – 16	18 – 19
0.62 – 0.68	17 – 18	20 – 22
0.68 – 0.74	19 – 20	23 – 25
0.74 – 0.80	21 – 22	
0.80 – 0.86	23 – 24	
0.86 – 0.92	25	

Tabla 1. Rango de periodos de resonancia.

5.1.2. Efecto local en el distrito de Ciutat Vella

Tal y como se ha explicado en el punto 2.2.3.1, el efecto local, se trata de uno de los factores más influyentes en cuanto a la peligrosidad sísmica de una zona se refiere, pudiendo ampliar los efectos devastadores de un terremoto, así como atenuarlos.

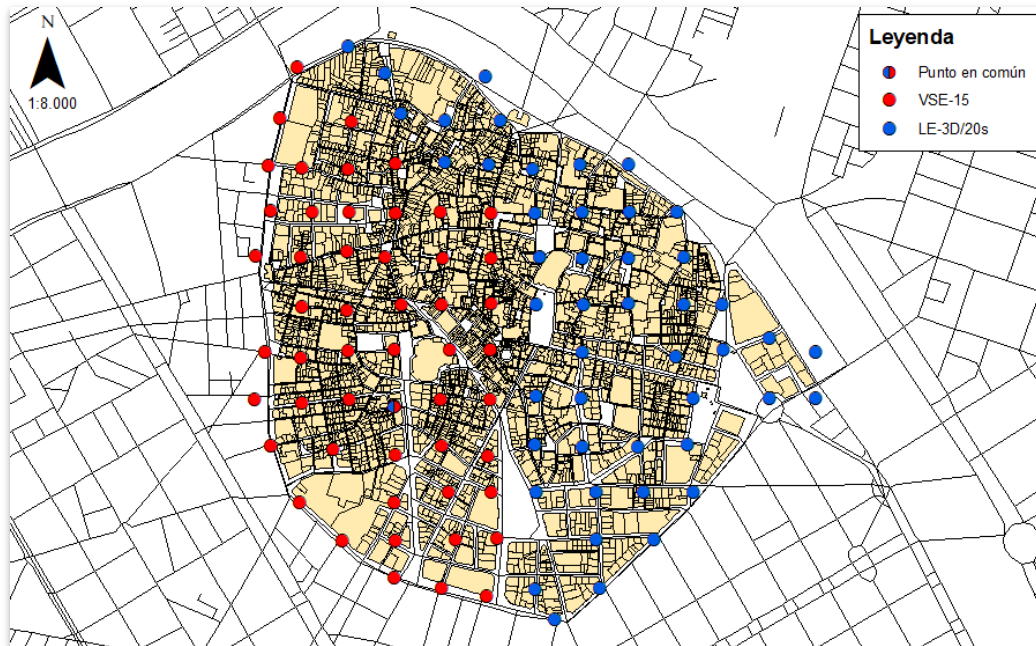
Para el análisis de la vulnerabilidad sísmica que se desarrollará en los apartados siguientes, se han utilizado datos obtenidos mediante el método de Nakamura, adquiridos en el marco del *proyecto de estudio de la vulnerabilidad sísmica de la Ciutat Vella de Valencia* (Franklin, 2006).

El método de Nakamura, desarrollado en 1989 por Yutaka Nakamura y conocido también como método sísmico HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio), es un procedimiento de medición sobre el terreno, basado en el análisis del ruido ambiental. Para ello, se utilizan sismómetros triaxiales de banda ancha, que miden las componentes vertical y horizontal del ruido sísmico producido por el viento, las ondas marinas y las actividades humanas, siendo estas últimas las de mayor impacto. El análisis de las mediciones de estas ondas, permite identificar la respuesta de sitio y estimar la amplificación sísmica.

Se trata de una técnica pasiva al no necesitar una fuente externa, como explosivos o percutores y tiene como ventaja frente a otros métodos, poder determinar el periodo en cualquier momento, no siendo necesario tener que esperar a la ocurrencia de un movimiento sísmico

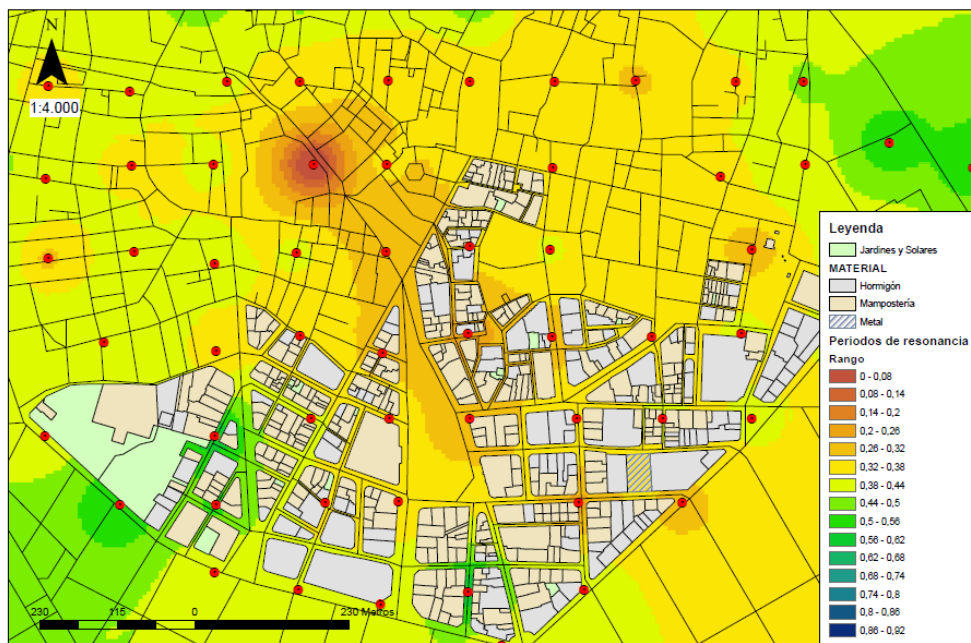
Para ello, planificaron una malla de 125 por 125 metros, y tomaron medidas en 110 puntos (Plano 1), utilizando 2 sismómetros diferentes. Para corroborar el correcto funcionamiento de los dos instrumentos, se midió el punto 71 con ambos aparatos de

manera simultánea. Los sismómetros utilizados fueron el Lennartz LE-3D/20s y el Servo Velocity-meter VSE-15.



Plano 1. Distribución de los sismógrafos en Ciutat Vella. Fuente: (Elaboración propia).

Tras realizar una interpolación mediante distancia inversa ponderada del segundo periodo de resonancia, obtenido por los sismógrafos antes mencionados, se ha conseguido un plano de resonancia del distrito de Ciutat Vella (Plano 2).



Plano nº 2: Periodos de resonancia en Ciutat Vella



Autor: David Montequin Morales
 Universidad Politécnica de Valencia
 Junio 2019

Sistema de Coordenadas: ETRS89 UTM zone 30N
 Proyección: Transversal Mercator
 Datum: ETRS 1989

Plano 2. Periodos de resonancia en Ciutat Vella. Fuente: (Elaboración propia).

5.2. Tipología constructiva del área de estudio

Según datos de la Sede Electrónica de Catastro (SEC), el área de estudio la conforman 525 parcelas, 12 de ellas solares, jardines en su mayoría. Las 513 restantes, se pueden clasificar según año de construcción, alturas y material constructivo:

- **Altura:** El grueso de las construcciones (Gráfico 1) se encuentra en el rango comprendido entre las 5 y las 9 plantas (283), seguido de aquellas con 4 o menos (160). Por encima de los 10 pisos y por debajo de 13, encontramos 35 edificios y solamente uno, supera las 20 alturas.

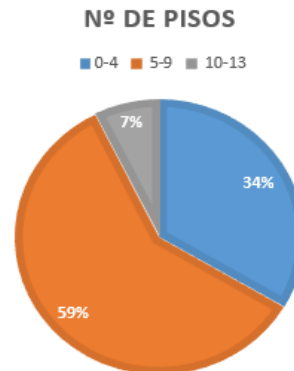


Gráfico 1. Porcentaje de edificios según su altura. Fuente: (Elaboración propia)

- **Material constructivo:** En el Gráfico 2, se muestra, la proporción de edificios de mampostería (131) y de hormigón (374), respecto del total de construcciones. El 4% restante, corresponde a 20 parcelas entre las que se encuentran solares y jardines y un edificio de metal.

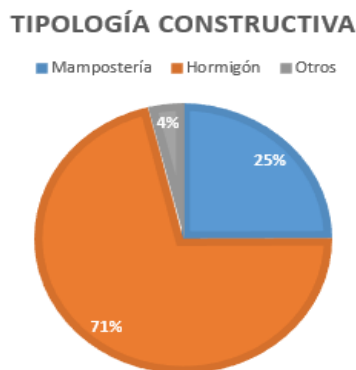


Gráfico 2. Porcentaje de edificios según su tipología constructiva. Fuente: (Elaboración propia)

- **Año:**
 - Siglo XIV: Una construcción, la ermita de Santa Lucía.
 - Siglo XV: Una construcción, el Colegio Arte mayor de la Seda.
 - Siglo XIX: 21 construcciones, entre ellas, el Teatro Principal de Valencia y las iglesias de San Agustín y de San Martín.
 - Primera mitad siglo XX, 309 construcciones.
 - Segunda mitad siglo XX, 161 construcciones.
 - Siglo XXI. Veintitrés construcciones.

5.2.1. Distribución de las construcciones

En el Plano 3, se muestra la ubicación de los edificios de la zona según su tipología constructiva. Como se puede apreciar la distribución de estos es aleatoria, no siguiendo ningún patrón.



Plano 3. Ubicación de los edificios según tipología constructiva. Fuente: (Elaboración propia).

5.2.2. Imágenes

A continuación, se muestran a modo de ejemplo, imágenes de algunos edificios que se encuentran dentro del área de estudio:

Ilustración	Ref. Parcela	Año	Material	Alturas	Observaciones
1	5622201	1968	Hormigón	21	Edificio más alto.
2	6326401	1914	Mampostería	5	Tribunal Superior de Justicia
3	6123105	1973	Metálico	4	Estructura metálica.
4	5422301	1880	Mampostería	2	Iglesia San Agustín
5	5324520	1494	Mampostería	2	Colegio Arte Mayor de la Seda



Ilustración 1. *



Ilustración 2. *



Ilustración 3. *



Ilustración 4. *



Ilustración 5. *

* Fuente: Elaboración propia.

5.3. Vulnerabilidad sísmica del área de estudio

El artículo 2 de la Ley 17/2015 del Sistema Nacional de Protección Civil entiende como vulnerabilidad, “La característica de una colectividad de personas o bienes que los hacen susceptibles de ser afectados en mayor o menor grado por un peligro en determinadas circunstancias.”

5.3.1. Daños a los edificios

Cabe destacar como consideración previa, que los daños en los edificios pueden ser estructurales o no estructurales, afectando los primeros a la estructura de carga del edificio, poniendo en riesgo su integridad. Además, según la intensidad del terremoto, los edificios se verán afectados en mayor o menor medida. Los grados de daño, están recogidos en la Tabla de Vulnerabilidad dentro de la Escala Macrosísmica Europea 98 (EMS-98), siendo escalados de grado 1 (menor daño) a grado 5 (mayor daño).

Según las características de las construcciones, los periodos de resonancia y considerando los datos de la Tabla 1, se ha elaborado una cartografía (Plano 4) con aquellas edificaciones con probable interacción suelo - estructura.



Plano 4. Edificios con interacción suelo - estructura. Fuente: (Elaboración propia)

Según los datos analizados, dentro del barrio de San Francisco se produciría interacción en 61 edificios, representando un 12% respecto del total, en su mayoría edificios de mampostería. Además, el número de edificios en riesgo es susceptible de

aumentar si considerásemos los peligros geotécnicos como las fallas, la licuefacción del suelo o los deslizamientos.

Otros factores a tener en cuenta y que podrían aumentar el número de edificios dañados, son en primer lugar, el perjuicio que puedan causar los edificios afectados a los colindantes, en caso de producirse derrumbes o desprendimientos. Y también, se deben considerar las réplicas, ya que en ese momento las construcciones pueden ser más vulnerables dado el daño ocasionado por el primer temblor.

5.3.2. Daños a las personas

La importancia de los efectos de los terremotos sobre las construcciones, es especialmente relevante debido a que los daños sufridos por ellas, repercuten directamente sobre la vida de las personas que las ocupan.

Dada la céntrica situación del barrio y al elevado número de grandes comercios, oficinas e instituciones, según la hora la afluencia de personas sufre importantes variaciones, por ello se dividirá el análisis, en horario laboral, no laboral y festivos.

Según datos del padrón municipal de habitantes de 2018, viven en el barrio de Sant Francesc 5600 personas, su distribución por sexo y edad es la siguiente:

	Total	0 – 15	16 – 64	65 y más
Total	5600	707	3436	1457
Varones	2536	349	1637	550
Mujeres	3064	358	1799	907

Tabla 2. Población por sexo y edad. Fuente: (Padrón municipal de habitantes)

5.3.2.1. Horario no laboral

Como horario no laboral, se ha comprendido aquellos periodos donde comercios e instituciones públicas y académicas se encuentren cerradas, al no poder determinar un rango horario concreto, se ha determinado como tal los periodos vacacionales, fines de semana y horario nocturno entre semana.

En este caso, las personas que podrían verse afectadas son mayoritariamente las residentes en el barrio, por lo que las cifras de partida serían las obtenidos del padrón municipal y detalladas en la Tabla 2.

Considerando únicamente los edificios del Plano 4, y según referencias obtenidas de la Sede Electrónica del Catastro, habría aproximadamente 500 viviendas afectadas. Esta cifra ha de ser considerada aproximada ya que no todos los inmuebles tienen su uso principal correcto. Teniendo en cuenta este número y considerando una media de 2 residentes por domicilio, el número de personas afectadas, directamente por aquellos edificios que presentan interacción superaría las mil.

Estas cifras se verían aumentadas si tuviéramos en cuenta aquellos edificios que se verían afectados por otros factores.

5.3.2.2. Horario laboral

Por el mismo motivo que el punto anterior, se ha determinado un periodo aproximado que abarque de lunes a viernes de 8 a 20 horas.

Aunque no podemos disponer datos fehacientes sobre la afluencia de personas en los comercios de la zona, se han llegado a registrar más de 12 mil peatones diarios en la calle Colón (eje comercial de la ciudad y del área de estudio) según datos de la consultora *Coto Consulting*. Además, podemos presuponer la confluencia de un elevado número de personas en algunos de los edificios de la zona tales como los dos grandes almacenes El Corte Inglés, el instituto Luis Vives o las sedes de San Carlos Borromeo y Virgen de los Desamparados de la Universidad Católica de Valencia.

5.3.2.3. Festivos

El terremoto de Lisboa de 1755, ocurrió durante la festividad de todos los santos, hecho que agravó los efectos del terremoto al concurrir en las iglesias un elevado número de personas y a la existencia de lamparillas encendidas, lo que provocó un incendio que asoló la práctica totalidad de la ciudad. Por esto, se ha considerado añadir un apartado de festivos dada la gran afluencia de personas que podemos esperar en determinadas épocas del año.

En el mes de marzo, se celebran la festividad de las fallas, llegando a congregarse los días más importantes, más de 50 mil personas en la plaza del Ayuntamiento durante las *masquetas*. A pesar de realizarse en un espacio abierto, la aglomeración de gente se extiende por las calles aledañas, lo que supondría un grave riesgo en caso de producirse algún temblor, por los desprendimientos que pudieran ocasionarse.

Otro factor a tener en cuenta, es el número de iglesias de la zona, que podrían albergar un elevado número de personas en su interior durante las celebraciones devotas que allí se efectúen. Otro acto religioso de especial relevancia, se celebra el segundo domingo de mayo en la plaza de la Virgen, que, aun no celebrándose en el barrio La Seu, ha de ser citado por el elevado número de gente que congrega, llegando a reunir miles de personas (sin datos oficiales).

5.3.3. Edificios de importancia especial

La Norma de Construcción sismorresistente (NCSE-02), clasifica como edificios de importancia especial, aquellos “cuya destrucción pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos”. Dentro de este grupo, se incluyen entre otros, hospitales, instalaciones sanitarias importantes, centros de coordinación, parques de bomberos, comisarías y parques de ambulancias.

En el término municipal de Valencia, hay catorce hospitales, que, en cómputo, disponen de cerca de 4000 camas, pero ninguno de ellos está dentro del distrito de trabajo:

- | | |
|---|------------|
| – Clínica Casa de Salud. | 192 camas. |
| – Consorcio Hospital General Universitario de Valencia. | 501 camas. |
| – Fundación Instituto Valenciano de Oncología. | 134 camas. |

– Grupo Hospitalario Quirón S.A.	79 camas.
– Hospital 9 de Octubre.	300 camas.
– Hospital Arnau de Vilanova.	280 camas.
– Hospital Clínico Universitario.	582 camas.
– Hospital de Valencia al Mar.	71 camas.
– Hospital Malva-Rosa.	33 camas.
– Hospital Pare Jofre.	125 camas.
– Hospital Universitario Dr. Peset.	517 camas.
– Hospital Universitario La Fe.	1050 camas.
– Hospital Virgen del Consuelo.	98 camas.

En cuanto a parques de bomberos, encontramos los siguientes, estando uno de ellos localizado en el área de estudio:

- Parque Campanar.
- Parque Central.
- **Parque Centro Histórico.** Situado en el barrio del Carmen, en la calle alta nº 5. Comparte edificio con la 1ª unidad de distrito de la policía local y está compuesto por 5 bomberos al mando de un cabo. En cuanto a medios materiales, cuenta con una Bomba Urbana Ligera y una Auto Escalera Automática de 18 metros.
- Parque de la Devesa.
- Parque Norte.
- Parque Oeste (actualmente cerrado).
- Retén Saler (actualmente cerrado).

Como se ha mencionado en el punto anterior, la Policía Local de Valencia, cuenta con 8 comisarías en el término municipal, teniendo una de ellas ubicada dentro del área de estudio, la que atiende a todo el distrito de Ciutat Vella.

En cuanto a Policía Nacional, tiene siete comisarías en Valencia, una de ellas en la calle Hospital 32, dentro del barrio de San Francisco. Esta comisaría, además, es una oficina de expedición de DNI.

5.3.4. Líneas vitales

Las líneas vitales, incluyen aquellas infraestructuras, imprescindibles para el normal desarrollo de la actividad humana. La selección se ha realizado de acuerdo al listado de “construcciones de especial importancia” que establecen la NCSR02:

5.3.4.1. Red de abastecimiento de agua

La red de suministro de agua, es de titularidad municipal, siendo Aguas de Valencia, la entidad explotadora. La distribución de agua potable se realiza a través de dos tipos de redes: arterial (tuberías con diámetro comprendido entre 450 y 1000 mm) (Figura 10) y distribución (tuberías con diámetro comprendido entre 60 y 400 mm).

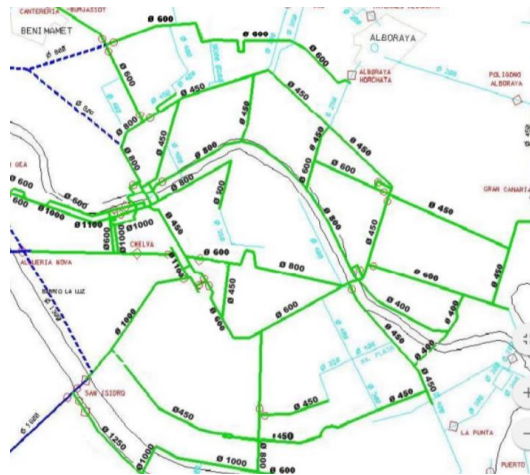


Figura 10. Red arterial. Fuente: (Ciclo Integral del Agua)

Así mismo, existe una red de baja presión (Figura 11) destinada a proveer de agua no potable a la ciudad, para su uso secundario (riego de jardines, baldeo de calles, etc.).

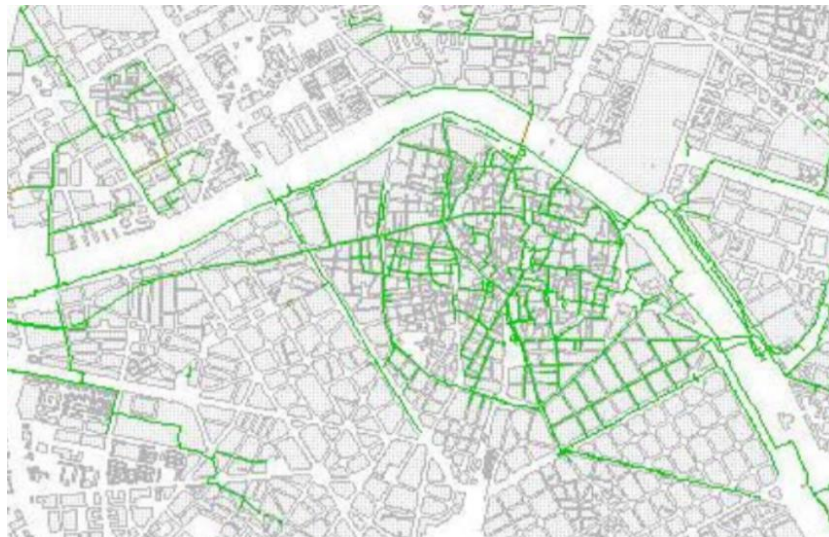


Figura 11. Red de baja presión. Fuente: (Ciclo Integral del Agua)

El daño más común es la ruptura de las tuberías y canalizaciones enterradas, tanto por la propagación de las ondas sísmicas como por el movimiento del terreno, derrumbes, hundimientos y licuefacción.

Aguas residuales

Hay 7 Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs) en la ciudad, pero ninguna dentro del distrito que nos ocupa.

En la Figura 12, se representa la red de colectores de aguas residuales de Valencia.

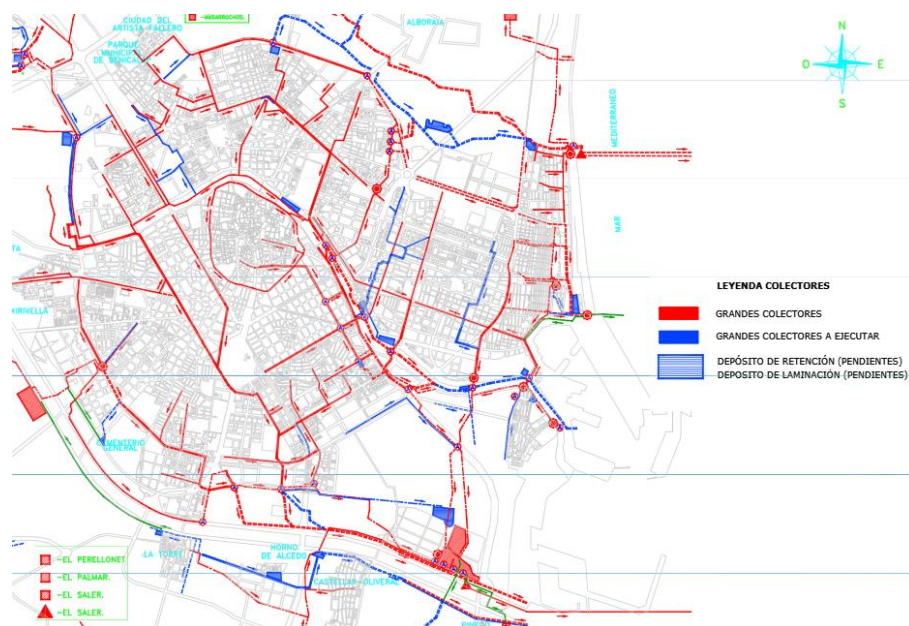


Figura 12. Red de colectores. Fuente: (Ciclo Integral del Agua)

5.3.4.2. Red eléctrica

La red eléctrica de la ciudad es titularidad de Iberdrola y Unión Fenosa. Distintas líneas de alta tensión, aéreas y subterráneas, tanto de 1ª y 2ª categoría (66 y 132 kv) como de categoría especial (220 kv), cruzan el término municipal, aunque ninguna de estas afecta al área de estudio.

Así mismo, existen 10 transformadores dentro del término municipal, pero ninguno dentro del distrito de Ciutat Vella.

La red de distribución de baja tensión (considerando baja tensión como aquella igual o inferior a 1500 voltios), es en su mayoría subterránea. No obstante, se ha observado la existencia de posteletes en varios de los edificios, lo que indicaría que, a priori, en algunos inmuebles, se usan todavía redes aéreas para su distribución. No ha sido posible georreferenciar, estas líneas aéreas, pero podría hacerse mediante un vuelo LiDAR.

Al igual que en el punto anterior, los daños más comunes son ocasionados por la ruptura de la red soterrada, y en el caso de cables aéreos, por la caída de los posteletes y torres, produciendo cortocircuitos e incendios. Los transformadores pueden sufrir desplazamiento, así como colapso de alguna de sus partes.

5.3.4.3. Red de gas y gasolineras

La ciudad de Valencia dispone de Gas Natural, siendo CEGAS, la empresa suministradora. La distribución del gas se lleva a cabo por un sistema subterráneo, construido en forma mallada, ofreciendo mayor fiabilidad.

En cuanto a gasolineras, dentro del barrio de San Francisco, se encuentran dos estaciones de servicio, siendo tres el total de las que se encuentran en el distrito de Ciutat Vella:

- Repsol. Calle Guillem de Castro, 66.
- Repsol. Calle Xàtiva, 5.
- Repsol. Plaza de Alfonso el Magnánimo.

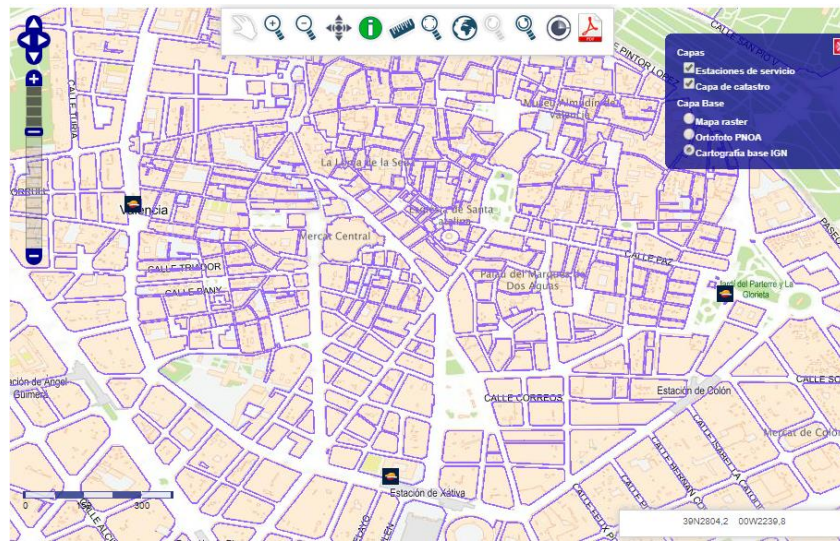


Figura 13. Localización de gasolineras. Fuente: (Ministerio para la Transición Ecológica).

5.3.4.4. Telecomunicaciones

Como se aprecia en la Figura 14, dentro del área en el que estamos trabajando, hay instaladas un gran número de antenas GSM. Situadas, prácticamente la totalidad de ellas en la parte superior de los edificios, en caso de verse afectada la construcción hospedante, repercutirían directamente sobre el servicio de telefonía móvil de la ciudad.

Además, a pesar de disponer de baterías para mantener el funcionamiento en caso de corte eléctrico, la duración de estas es limitada por lo que las comunicaciones no solamente pueden verse afectadas por lo comentado anteriormente sino también por falta de suministro eléctrico.

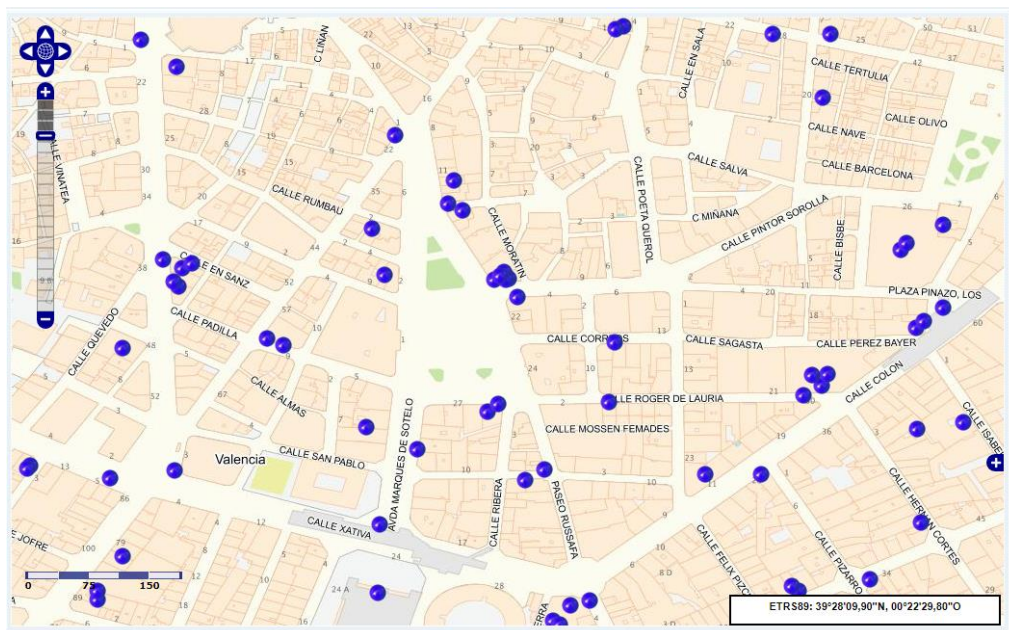


Figura 14. Mapa de localización de antenas GSM. Fuente: (Ministerio de Economía y Empresa).

6. Conclusiones

6.1. Sobre el método utilizado

Tal y como se ha comentado en el punto 3.1.2. el método utilizado para estudiar la vulnerabilidad de la zona, fue el método de Nakamura. Se trata de un procedimiento pasivo de medición sobre el terreno, que no necesita de una fuente externa al estar basado en el análisis del ruido ambiental. Este método, permite identificar la respuesta de sitio y estimar el efecto de un terremoto en una zona determinada de manera precisa, ya que como se ha mencionado en el punto 2.2.3.1 sobre efecto local, las características geológicas pueden amplificar o disminuir la intensidad sísmica.

El procedimiento más utilizado para estudiar la vulnerabilidad sísmica, es el establecido por la Comisión Sismológica Europea (CSE) en la Escala Macrosísmica Europea 1998 (EMS-98). Esta técnica, clasifica los tipos de estructura en función del material con el que está construido y asigna a cada tipo una clase de vulnerabilidad (A-F), así como un rango probable y otro menos probable, además considera 5 grados de daño según el nivel de destrucción. Por último, relaciona la intensidad del terremoto, con el grado de daño que ha sufrido un edificio de una clase determinada.

A pesar de ser el más utilizado, este último método, se utiliza sin tener en cuenta las condiciones particulares de cada zona, por lo que no devuelve información precisa sobre la vulnerabilidad sísmica. Un edificio que se encuentre sobre un suelo competente, por ejemplo, de basaltos y ofitas, no se verá afectado de igual medida que si estuviera cimentado en una zona de sedimentos de grano fino y poco compactados, como pudiera ser un suelo de arenas y arcillas.

6.2. Sobre la vulnerabilidad

Tras analizar y exponer en los puntos anteriores, la situación del distrito de Ciutat Vella, así como la vulnerabilidad de los edificios del barrio de San Francisco, podemos extraer una serie de conclusiones sobre los posibles efectos que un movimiento sísmico, de cierta intensidad tendría sobre la ciudad.

En el caso de las líneas vitales, los daños en estas, no causarían directamente la pérdida de vidas, pero si conllevarían consecuencias indirectas, pudiendo llegar a ser algunas de ellas muy graves, estos efectos, serían:

- Interrupción del servicio que se haya visto afectado.
- Pérdidas económicas.
- Generación de desastres secundarios, como incendios e insalubridad (lo que puede favorecer la aparición de epidemias).

El número de edificios que presentarían interacción suelo – estructura, representa el 12% del total de construcciones, lo que afectaría directa a mil vecinos del barrio en el mejor de los casos, cifra que aumentaría significativamente si el movimiento sísmico ocurriera en horario comercial o durante alguna festividad.

Este número también acrecentaría si tuviéramos en cuenta el daño que producirían otros factores en el resto de edificios, así como por las posibles réplicas.

6.3. Sobre el impacto económico

Una de las principales actividades económicas de Valencia es el turismo. Según datos del Ayuntamiento de Valencia, durante el año 2017 se registraron más de dos millones de viajeros, siendo el turismo, el motivo de gran parte de estos. Representando Ciutat Vella uno de los atractivos de la ciudad dado su elevado número de instalaciones hoteleras, así como por ser el centro histórico, cultural y político de la ciudad; podríamos considerar que los efectos de un terremoto de intensidad media o alta, generarían un impacto negativo en la economía de la ciudad. No es posible determinar con exactitud el grado de afección que tendría, pero tomando como ejemplo los terremotos ocurridos en Indonesia en el verano de 2018, la demanda de vuelos disminuyó un 26%, haciendo caer el crecimiento económico más de un 40%.

De manera paralela a la caída del turismo, debemos considerar el gasto económico que supondría la recuperación del patrimonio histórico cultural, este gasto generaría pérdidas millonarias a las arcas públicas. Si tomamos como ejemplo, el terremoto de Lorca del año 2011, donde se vieron afectados 56 edificios históricos, este gasto ascendió a los 18.7 millones de euros (Cebrián et al, 2015).

Por último, las pérdidas económicas, no han de ser vistas únicamente desde la perspectiva del turismo sino también ampliarlas a la población local, donde un gran número de edificios se verían afectados, incluyendo viviendas y negocios. Todo ello conllevaría un aumento del desempleo, además de unos costes de recuperación y rehabilitación elevados. Estas pérdidas, supusieron en el terremoto de México de 1985, entre un 2.1 y un 2.4 por ciento del PIB del país, lo que equivaldría en la actualidad a ocho mil cincuenta millones de euros.

El coste de resarcimiento de los edificios dañados, puede ser obtenido, según las recomendaciones del HAZUS-MHMR3 Technical Manual 2003, multiplicando el área construida por el coste de reparación por metro cuadrado. Este valor ha de ser tenido en cuenta por el consorcio de compensación de seguros, para poder sufragar a posteriori, los gastos que suponga la recuperación.

El coste de reposición, se obtiene mediante la herramienta de Coste Unitario de Ejecución (CUE) del Instituto Valenciano de Edificación, cabe destacar que se trata de un coste mínimo orientativo, por lo que el coste real podría ser bastante más elevado en función de la calidad de los materiales empleados, así como del grado de daño. En el caso de una edificación tipo:

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

Según estos parámetros, el CUE sería de 700.62 €/m² por vivienda, ascendiendo en la mejor de las situaciones, en el caso de edificios singulares y religiosos a los 1200 euros el metro cuadrado.

7. Consideraciones finales

Los lados del triángulo de Crichton (Figura 15), representan los tres factores que contribuyen al riesgo: la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad. Si modificamos alguno de los tres componentes, el riesgo, representado como el área interior del triángulo y entendiéndolo como la probabilidad de que un determinado fenómeno ocasione daños, se verá modificado. A pesar de no poder actuar sobre la amenaza, sí podemos hacerlo sobre la vulnerabilidad y la exposición, entendiendo estas como el grado de daño que sufre un elemento.



Figura 15. Triángulo del riesgo. Fuente: (Crichton, 1999).

Teniendo estas consideraciones en cuenta, para reducir el impacto que un terremoto puede causar en un área concreta, no es suficiente con realizar una evaluación local del riesgo y determinar los posibles escenarios de pérdidas humanas y materiales, se debe construir una sociedad preventiva, tanto a nivel institucional como a nivel ciudadano.

A nivel gubernativo, el Plan Especial frente al Riesgo Sísmico en la Comunitat Valenciana, recomienda según el citado plan “de manera prioritaria”, la elaboración de planes municipales a todas aquellas localidades, que sean susceptibles de sufrir un movimiento de intensidad igual o superior a VII. Encontrándose dentro de este grupo, 327 municipios de la comunidad, siendo 191 de ellos de la provincia de Valencia. Por otra parte, amplía esta recomendación a los que se encuentre en zonas donde se esperen movimientos de entre grado VI y VII, sumando 76 municipios más en la Comunidad, 67 de los cuales en Valencia.

Es necesario crear una estrategia para la prevención y atenuación del riesgo, trabajando sobre la exposición, identificando grupos y zonas vulnerables y diseñando medidas preventivas específicas para estos grupos. Siendo ineludible una mejor información y formación a la población, incluyendo los residentes extranjeros y los turistas, actuando directamente en este caso, sobre la vulnerabilidad social, creando de igual manera que en otros países, una cultura sísmica.

8. Presupuesto

COSTES DIRECTOS	CUADRO Nº 1. MANO DE OBRA				
	Unidad	Descripción	Nº de meses	Coste/mensual	Total
	Mensual	Becario, en calidad de técnico	7	800 €	5.600 €
		Tutor, en calidad de ingeniero	7	1.700 €	11.900 €
	TOTAL				17.500 €
	CUADRO Nº 2. EQUIPAMIENTO				
	Unidad	Descripción	Precio/unidad	Amortización (20%*)	Total
	Anual	Ordenador portátil HP	800,00 €	160	160,00 €
		Licencia "Microsoft Office"	69,00 €	13,8	13,80 €
		ArcGIS "uso personal"	100,00 €	(Precio anual)	100,00 €
TOTAL				17.773,80 €	
* Se fundamenta en la aplicación de los coeficientes de amortización fijados por la Ley 27/2014, de 27 de noviembre, del Impuesto sobre Sociedades.					
TOTAL				2.023,80 €	

COSTES INDIRECTOS	CUADRO Nº 3. VARIOS				
	Unidad	Descripción	Precio/unidad	Coste por servicio	Total
	Anual	Alquiler	650,00 €	6,5	6,50 €
		Limpieza	1.000,00 €	10	10,00 €
		Consumibles	500,00 €	10,00 €	10,00 €
				0	0,00 €
	TOTAL				20,00 €
TOTAL				20,00 €	

Total de gastos (Costes Directos + Costes Indirectos)	17.793,80 €
--	--------------------

9. Bibliografía

- [1] Aledo, A. y Sulaiman, S. (2015). *La incuestionabilidad del riesgo: vulnerabilidad social y riesgo sísmico en municipios turísticos*. Cuadernos De Turismo, (36), 17-37. DOI: 10.6018/turismo.36.230861.
- [2] Andalucía. Acuerdo de 13 de enero de 2009, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Plan de Emergencias ante el Riesgo Sísmico en Andalucía.
- [3] Ayuntamiento de Valencia. (2019). Plan Territorial de Emergencias de Valencia.
- [4] Cebrián, A. (2015). Políticas, acciones y gestión turística cultural. La ciudad de Lorca (Murcia, España). *Perspectiva Geográfica*, 20(2), 365-390.
- [5] Comisión Sismológica Europea. (1998). *Escala Macrosísmica Europea 1998*.
- [6] Comunidad Valenciana. Decreto 44/2011, de 29 de abril, del Consell, por el que aprueba el Plan Especial frente al Riesgo Sísmico en la Comunitat Valenciana.
- [7] FEMA/NIBS, HAZUS-MH MR3 Technical Manual, Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake model, Washington, D.C., USA, 2003.
- [8] Feriche, M. (2008). *Daños sísmicos en construcciones y su clasificación en la EMS-98*. Instituto Andaluz de Geofísica.
- [9] Franklin, R.; Caselles, J.A.; Canas, J.A.; Clapes, J.; Pujades, Lluís; Navarro, M.; García, F.; Pérez, M.V. (2006). *Estimación de la respuesta de sitio mediante el método del cociente espectral aplicado a ruido ambiental: aplicación a la Ciutat Vella de Valencia*. Revista internacional métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería, 22(2), p 169-191.
- [10] Giner, J.J.; Molina, S. y Jáuregui, P. J. (2003). *Sismicidad en la Comunidad Valenciana*. Alicante. Dpto. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante.
- [11] Guardiola, AP. y Basset, L. (2015). *Escenarios de riesgo sísmico del distrito del Eixample de la ciudad de Valencia*. Revista internacional métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería, 31(2), p 81-90. DOI: 10.1016/j.rimni.2014.01.002.
- [12] Instituto Geográfico Nacional. (2019). *Información sísmica*. <http://www.ign.es/web/sis-area-sismicidad>
- [13] Martínez, J.M.; Batlló, J.; (2017). *Terremotos de la Vega Baja del Segura*. Física de la Tierra, 29. DOI: 10.5209/FITE.57600.
- [14] Ministerio de Economía y Empresa. *Infoantenas*. <https://geoportal.minetur.gob.es/VCTEL/vcne.do>
- [15] Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. (2016). *Catálogo Nacional de Hospitales 2017*.
- [16] Ministerio para la Transición Ecológica. *Geoportal de gasolineras*. <https://geoportalgasolineras.es/#/Inicio>

- [17] Perepérez, B. (2014). *La peligrosidad sísmica y el factor de riesgo*. Informes de la Construcción 66 (534): e018, DOI: 10.3989/ic.13.018.
- [18] Ritta, R.; Suárez, L. y Pando, M.; (2012). *Determinación del período fundamental del suelo usando vibración ambiental y el cociente espectral horizontal/vertical*. Mecánica Computacional Vol XXXI, p 1399-1419.
- [19] Sánchez-sesma, F.; Bard, P.; Campillo, M., y Chávez-garcía, F. (1994). *El terremoto de Michoacán de septiembre de 1985: efectos de fuente, trayecto y sitio*. Física De La Tierra, 0(6), 157.
- [20] Sede Electrónica de Catastro. <https://www.sedecatastro.gob.es/>
- [21] UNDRO (Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator). (1979). *Natural disasters and vulnerability analysis*, Report of Expert Group Meeting. Ginebra.
- [22] Universidad de Alicante. (2018). *Unidad de Registro Sísmico*. <https://web.ua.es/es/urs/>

10. Cartografía

Plano 1. Distribución de los sismógrafos en Ciutat Vella.

Plano 2. Periodos de resonancia en Ciutat Vella.

Plano 3. Ubicación de los edificios según tipología constructiva.

Plano 4. Edificios con interacción suelo - estructura

11. Anexo

11.1. Fórmula 1

"RASTERVALU" >= 0.22 AND "RASTERVALU" <0.26 AND "ALTURA" >=4 AND "ALTURA" <=5
"RASTERVALU" >= 0.26 AND "RASTERVALU" <0.32 AND "ALTURA" >=6 AND "ALTURA" <=7
"RASTERVALU" >= 0.32 AND "RASTERVALU" <0.38 AND "ALTURA" >=8 AND "ALTURA" <=9
"RASTERVALU" >= 0.38 AND "RASTERVALU" <0.44 AND "MATERIAL" = 'H' AND "ALTURA" =10
"RASTERVALU" >= 0.38 AND "RASTERVALU" <0.44 AND "MATERIAL" = 'M' AND "ALTURA" >=10 AND
"ALTURA" <=12
"RASTERVALU" >= 0.44 AND "RASTERVALU" <0.50 AND "MATERIAL" = 'H' AND "ALTURA" >=11 AND
"ALTURA" <=12
"RASTERVALU" >= 0.44 AND "RASTERVALU" <0.50 AND "MATERIAL" = 'M' AND "ALTURA" >=13 AND
"ALTURA" <=14
"RASTERVALU" >= 0.50 AND "RASTERVALU" <0.56 AND "MATERIAL" = 'H' AND "ALTURA" >=13 AND
"ALTURA" <=14
"RASTERVALU" >= 0.50 AND "RASTERVALU" <0.56 AND "MATERIAL" = 'M' AND "ALTURA" >=15 AND
"ALTURA" <=17
"RASTERVALU" >= 0.56 AND "RASTERVALU" <0.62 AND "MATERIAL" = 'H' AND "ALTURA" >=15 AND
"ALTURA" <=16
"RASTERVALU" >= 0.56 AND "RASTERVALU" <0.62 AND "MATERIAL" = 'M' AND "ALTURA" >=18 AND
"ALTURA" <=19
"RASTERVALU" >= 0.62 AND "RASTERVALU" <0.68 AND "MATERIAL" = 'H' AND "ALTURA" >=17 AND
"ALTURA" <=18
"RASTERVALU" >= 0.62 AND "RASTERVALU" <0.68 AND "MATERIAL" = 'M' AND "ALTURA" >=20 AND
"ALTURA" <=22
"RASTERVALU" >= 0.68 AND "RASTERVALU" <0.74 AND "MATERIAL" = 'H' AND "ALTURA" >=19 AND
"ALTURA" <=20
"RASTERVALU" >= 0.68 AND "RASTERVALU" <0.74 AND "MATERIAL" = 'M' AND "ALTURA" >=23 AND
"ALTURA" <=25
"RASTERVALU" >= 0.74 AND "RASTERVALU" <0.80 AND "ALTURA" >=21 AND "ALTURA" <=22
"RASTERVALU" >= 0.80 AND "RASTERVALU" <0.86 AND "ALTURA" >=23 AND "ALTURA" <=24
"RASTERVALU" >= 0.86 AND "ALTURA" >=24

("RASTERVALU" >= 0.50 AND "RASTERVALU" <0.56 AND "MATERIAL" = 'H' AND "ALTURA" >=13 AND
"ALTURA" <=14) OR ("RASTERVALU" >= 0.44 AND "RASTERVALU" <0.50 AND "MATERIAL" = 'M' AND
"ALTURA" >=13 AND "ALTURA" <=14) OR("RASTERVALU" >= 0.44 AND "RASTERVALU" <0.50 AND
"MATERIAL" = 'H' AND "ALTURA" >=11 AND "ALTURA" <=12)OR("RASTERVALU" >= 0.38 AND
"RASTERVALU" <0.44 AND "MATERIAL" = 'M' AND "ALTURA" >=10 AND "ALTURA"
<=12)OR("RASTERVALU" >= 0.38 AND "RASTERVALU" <0.44 AND "MATERIAL" = 'H' AND "ALTURA"
=10)or("RASTERVALU" >= 0.32 AND "RASTERVALU" <0.38 AND "ALTURA" >=8 AND "ALTURA"
<=9)OR("RASTERVALU" >= 0.26 AND "RASTERVALU" <0.32 AND "ALTURA" >=6 AND "ALTURA"
<=7)OR("RASTERVALU" >= 0.22 AND "RASTERVALU" <0.26 AND "ALTURA" >=4 AND "ALTURA" <=5)