



Received: 03/3/2022
Accepted: 14/3/2022

Anales de Edificación
Vol. 8, Nº1, 27-33 (2022)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2022.5019

Aproximación a la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones mediante SIG: la serie sísmica de la Vega de Granada (2020-2021).

Approach to the seismic vulnerability of buildings through GIS: the seismic series of the Vega de Granada (2020-2021).

José Lázaro Amaro-Mellado^a; María Dolores Cobo-Collado^b; Antonio Martín-Cara^c

^aInstituto Geográfico Nacional. Servicio Regional en Andalucía (Sevilla). Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingeniería

^bDirección General de Catastro. Gerencia Territorial del Catastro en Jaén.

^cUniversidade da Coruña. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica

Resumen— La Vega de Granada es una de las comarcas españolas que presenta una mayor peligrosidad sísmica, donde se han registrado importantes eventos con intensidad macrosísmica ($I_0 \geq VIII$). A final de 2020 comenzó una serie sísmica (aún activa, en marzo de 2021), que ha alcanzado una $I_0 = V-VI$. En el marco de los estudios de riesgo sísmico, es necesario conocer la vulnerabilidad de las edificaciones. Así, esta investigación persigue estimar unos valores relativos de vulnerabilidad de las edificaciones. Para ello, partiendo de información proveniente de Catastro y del Instituto Geográfico Nacional, así como de las fechas de normativas sismorresistentes, se ha llevado a cabo un análisis multicriterio. Para la integración de los datos, los cálculos, la representación y el análisis de los mismos se ha empleado un sistema de información geográfica gratuito. Los resultados muestran que, principalmente, la zona oeste de Santa Fe es la que podría verse más afectada.

Palabras clave— vulnerabilidad sísmica; catastro; IGN; terremotos; SIG.

Abstract— La Vega de Granada is one of the Spanish regions with the highest seismic hazard, where important events with macroseismic intensity ($I_0 \geq VIII$) have been recorded. At the end of 2020 a seismic series began (still active, in March 2021), which has reached an $I_0 = V-VI$. In the framework of seismic risk studies, it is necessary to know the vulnerability of buildings. Thus, this research aims to estimate relative vulnerability values of buildings. For this purpose, a multi-criteria analysis was carried out based on information from the Cadastre and the National Geographic Institute, as well as on the dates of seismic-resistant regulations. A free geographic information system was used for data integration, calculations, representation and analysis. The results show that the area west of Santa Fe is the most likely to be affected.

Index Terms— seismic vulnerability; cadastre; NGI; GIS; earthquakes.

J.A.M. is associate professor from Departamento de Ingeniería Gráfica at Escuela Técnica Superior de Ingeniería from Universidad de Sevilla and Technician from Geographics National Institute. Pl. España, s/n, 41013 Sevilla MD. CC. is from National Cadastre. P.º de la Castellana, 272, 28046 Madrid

A.M.C. is assistant professor at Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica at Universidade da Coruña. Rúa da Fraga, 27, 15008 A Coruña.

I. INTRODUCCIÓN

EL riesgo sísmico puede ser expresado como los efectos que un terremoto puede ocasionar en los edificios, la población, medioambiente, etc. Este resulta de la convolución de la peligrosidad sísmica, la vulnerabilidad de los elementos afectados y la exposición. En primer lugar, la peligrosidad estima la ocurrencia de terremotos para un tamaño determinado, tanto temporal como espacialmente, así como la distribución de tamaños de estos. Es inherente a un espacio geográfico, en función del comportamiento de las placas tectónicas o fenómenos intraplaca. Por el contrario, la vulnerabilidad y la exposición sí son características de la actividad antrópica. La vulnerabilidad mide la respuesta, el grado de daño, ante una sacudida y está relacionada con el diseño de los elementos (edificios, infraestructuras), tanto en términos de materiales como de configuración geométrica de la planta. Finalmente, la exposición atiende al número de elementos que pueden sufrir potencialmente daños.

La Vega de Granada, en la zona central de las Béticas, es uno de los lugares de la península ibérica que presenta una mayor peligrosidad sísmica. A lo largo de la historia, la provincia de Granada ha sufrido terremotos destructivos como el de 1431 al Sur de Granada, el de Pinos Puente (Granada) en 1806, con una intensidad macrosísmica (I_0) de VIII en la Escala Macrosísmica Europea 1998 (EMS-98) o, sobre todo, el de Andalucía 1884 ($I_0 = IX-X$) (IGN, 2021). En los últimos 70 años, la Vega ha sido sacudida por varios eventos con intensidad igual o superior a V (Dañino, según la EMS-98), desde el terremoto de Dúrcal 1954 ($I_0 = V$), el de Albolote 1956 ($I_0 = VIII$) o el enjambre sísmico Santa Fe-Atarfe de 2021, donde dos eventos han alcanzado una intensidad de V-VI (IGN, 2021).

La construcción en las zonas donde la actividad sísmica es más notoria debe realizarse de una forma más concienzuda. En general, esta construcción debe seguir una normativa sismorresistente, que debe ser más restrictiva cuando mayor sea la peligrosidad de la zona. En la península ibérica, vienen considerándose normas desde los años 60 hasta nuestros días. Actualmente, la normativa al respecto data del año 2002 (NSRC-02) y está en un proceso de actualización para la adaptación al Eurocódigo 8. En términos de aceleración, en la zona se espera un pico máximo (PGA) de hasta 0,24 g para un período de retorno de 475 años (IGN-UPM, 2021).

La presente investigación se centra en el entorno de Granada y persigue estimar, a priori, los edificios que habría que revisar en el caso de un evento sísmico en la zona. Para ello, debido a que los terremotos más frecuentes para un período de retorno de 95 años dan como resultado una magnitud máxima menor de 5,5, se estima que la zona afectada será básicamente la epicentral (IGN, 2021). En concreto, el ámbito de estudio se circunscribe a municipios de la parte oeste del cinturón metropolitano de Granada. Este trabajo persigue hacer una aproximación a la identificación a priori de los edificios potencialmente más afectados por un evento sísmico a través de un análisis multicriterio llevado a cabo con un sistema de información geográfica (SIG) gratuito y de código abierto, QGIS (www.qgis.org).

Los SIG permiten integrar información proveniente de varias fuentes (heterogéneas) y que esté relacionada con el territorio. Esta herramienta posibilita un tratamiento riguroso de la información, así como una gestión, almacenamiento, análisis y representación de los datos, todo ello con una alta calidad.

II. AREA DE ESTUDIO

El área geográfica de este estudio está ligada a una serie sísmica que ha ocurrido en el entorno de Granada y cuyo inicio se puede datar a principios de diciembre de 2020. Para este trabajo, se van a considerar los eventos producidos hasta el 28 de febrero de 2021, aunque aún (12 de marzo de 2021) se esté produciendo el reajuste de esfuerzos. La cifra de eventos registrados por el Instituto Geográfico Nacional asciende a 2298, donde 210 han sido sentidos por la población (IGN-IS, 2021). Los tres terremotos principales, con una magnitud momento (M_w) de 4,4 y $I_0 \geq V$ han tenido su hipocentro a escasa profundidad (menor de 10 km) y se han generado al oeste de Granada, a unos 10-12 km del centro de la capital.

El contexto tectónico en el que se encuadra la península ibérica es resultado del acercamiento entre las placas tectónicas Euroasiática y Africana, con una tasa estimada de unos 2-5 mm/año en dirección NO-SE o ONO-ESE (IGN-UPM, 2021). Los terremotos de la Vega de Granada suelen ser debidos a fallas normales (de unos 10 km de longitud), dentro un régimen principalmente extensivo (IGN-IS, 2021).

En concreto, la zona considerada engloba los términos municipales de Albolote, Atarfe, Chauchina, Cúllar-Vega, Granada, Fuente Vaqueros, Las Gabias, Pinos Puente, Santa Fe, Vegas del Genil (Fig. 1).

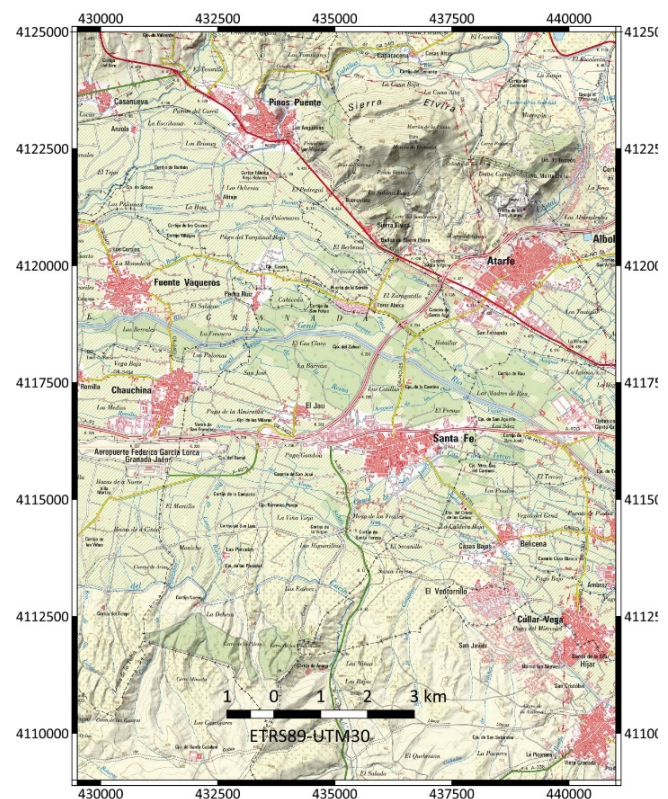


Fig. 1. Área de estudio sobre el WMS del mapa ráster del IGN.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presentan los datos de partida y se describe la metodología desarrollada.

Con el fin de clasificar las edificaciones en función de su vulnerabilidad a priori, esta investigación propone metodología para desarrollar un análisis multicriterio, mediante un SIG.

Como datos de partida se ha considerado la base de datos gráfica y alfanumérica de bienes inmuebles de la Dirección General de Catastro, la información perteneciente a la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (catálogo de terremotos y el tipo de suelo a efectos de amplificación de ondas sísmicas) y las normativas sismorresistentes.

A. Datos de partida

El Real Decreto Legislativo 1/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario (en adelante TRLCI), define en su artículo 1.1 que el Catastro Inmobiliario es un registro administrativo dependiente del Ministerio de Hacienda en el que se describen los bienes inmuebles rústicos, urbanos y de características especiales (Fig. 2).

Esta descripción catastral de los bienes inmuebles está formada por un conjunto de datos alfanuméricos y gráficos, los cuales definen sus características físicas, económicas y jurídicas. Según el artículo 3 del TRLCI, entre estos datos se podrán encontrar la localización espacial y la representación gráfica, la referencia catastral, la superficie, el uso o destino, la clase de cultivo o aprovechamiento, la calidad de las construcciones, el valor de referencia de mercado, el valor catastral, así como información de la titularidad catastral. Asimismo, se realiza la actualización y mantenimiento continuo de la base de datos catastral con el fin de asegurar su veracidad.

A través de la Sede Electrónica de la Dirección General del Catastro (<https://www.sedecatastro.gob.es>), se puede hacer una descarga masiva, a nivel de municipio, de los datos catastrales no protegidos (todos, excepto titularidad y valor catastral de los inmuebles, art. 51 del TRLCI).

- Descarga de Cartografía Vectorial

La información cartográfica catastral se divide en urbana y rústica. Cada cartografía tiene una escala de captura diferente, en el caso de urbana la escala está entre 1:500 y 1:1.000, y en rústica entre 1:2.000 y 1:5.000.

Esta información se proporciona por municipio en formato Shapefile (.shp), incluyendo separadamente las diferentes capas de la cartografía catastral. El parcelario catastral se representa mediante cuatro geometrías principales MASA, PARCELA, SUBPARCE y CONSTRU, siendo el resto de las capas descargables geometrías auxiliares o elementos cartográficos adicionales.

En este estudio se utilizará la capa PARCELA por ser la representación de la unidad básica catastral. Cada parcela estará identificada por su referencia catastral (campo REFCAT de 14 dígitos). La representación de las parcelas se refleja en la Fig. 2.

- Descarga de Información Alfanumérica

La información alfanumérica no protegida se proporciona en un fichero de intercambio en formato CAT. El fichero CAT es

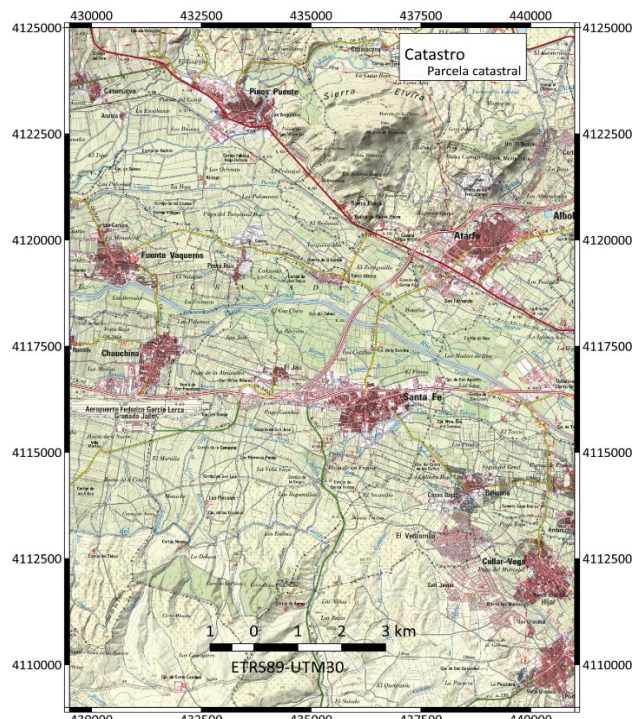


Fig. 2. Representación de las parcelas catastrales sobre el WMS del mapa ráster del IGN.

un fichero de texto donde cada registro tiene una longitud fija de 1000 caracteres clasificados por tipos.

Entre los campos que componen el fichero se extraerán para cada parcela catastral los referentes a año de antigüedad y categoría de las construcciones como elemento definitorio de las parcelas catastrales construidas. En los casos en que las parcelas tengan más de una construcción con diferentes valores para cada campo, se han escogido aquellas construcciones más representativas por tener mayor superficie.

De un lado, el año de antigüedad de la construcción considera para su cálculo la fecha de construcción, la fecha de reforma y el tipo de esta.

Por su parte, la categoría se determina por la calidad de la construcción, siguiendo las premisas establecidas reglamentariamente. De este modo, partiendo de la categoría 4 como la correspondiente al tipo de construcción media, la categoría constructiva se distribuye en un rango de 1 (mayor calidad) a 9 (menor calidad).

B. Dirección general del Instituto Geográfico Nacional

Según el Real Decreto 645/2020, de 7 de julio, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN) tiene como una de sus funciones, a través de la Red Sísmica Nacional, “La planificación y gestión de sistemas de detección y comunicación a las instituciones de los movimientos sísmicos ocurridos en territorio nacional y sus posibles efectos sobre las costas, así como la realización de trabajos y estudios sobre sismicidad y la coordinación de la normativa sismorresistente”.

En esta investigación emplearemos tanto el catálogo de terremotos, como la base de datos acelerógrafos.

- Catálogo de terremotos

El catálogo de terremotos es públicamente accesible (IGN, 2021) y recoge eventos desde 1373 (y anteriores cuya fiabilidad es menos cierta) hasta la actualidad.

En concreto, para este estudio solo vamos a reflejar los movimientos sísmicos producidos entre diciembre de 2020 y febrero de 2021 en la zona de trabajo y que presenten una I_0 de al menos III (Fig. 3).

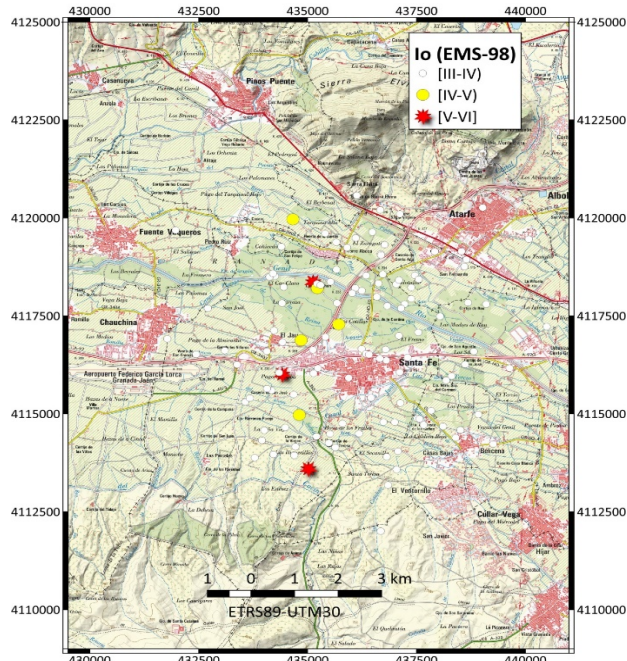


Fig. 3. Terremotos (con $I_0 \geq III$) en el área de estudio entre el 1 de diciembre de 2020 y el 28 de febrero de 2021 sobre el WMS del mapa ráster del IGN.

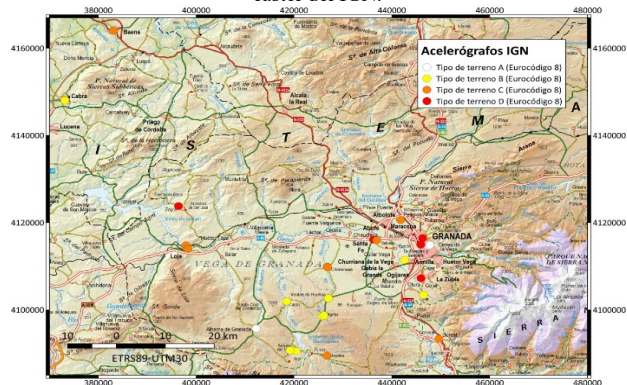


Fig. 4. Clasificación del tipo de terreno en el área de estudio según el Eurocódigo 8, sobre el WMS del mapa ráster del IGN

- Tipología de terreno

En la base de datos de acelerógrafos del IGN, podemos encontrar el tipo de terreno sobre el que se asienta cada uno de ellos, estimado a partir de documentación geológica. El conocimiento de dicho parámetro es fundamental a la hora de determinar la vulnerabilidad de los elementos afectados: si el suelo es blando amplificará el movimiento; si, por el contrario, el suelo es más duro, el terreno resistirá mejor la sacudida sísmica.

La Fig. 4 muestra los datos referentes al tipo de terreno que afectarán a la zona estudiada.

C. Normativas sismorresistentes

Dado que España es un país que ha sufrido importantes daños debidos a terremotos, después del terremoto de 1884 con epicentro en Alhama de Granada, se empezaron a definir una serie de “normas” sismorresistentes para minimizar los daños en las edificaciones.

A lo largo de la segunda mitad del siglo XX, se han aprobado distintas instrucciones y normas sismorresistentes. Cronológicamente, una orden ministerial en 1952, la Norma M.V.101-1962, la Norma Sismorresistente PGS-1 (1968), la Norma Sismorresistente PDS-1 (1974) y la norma NCSE-94, que fue publicada en 1995. La normativa actualmente vigente se corresponde con el Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: Parte general y edificación, y es conocida como NCSE-02 (Minist. Transp., 2021). También cabe citar el Eurocódigo 8, tanto en su parte general como su Anejo Nacional.

En definitiva, estas normas persiguen evitar (o reducir) las pérdidas debidas a los terremotos. En ellas, se recogen y consideran, entre otros, parámetros de diseño y de materiales. Por supuesto, los estándares de construcción son diferentes en función de la peligrosidad sísmica de la zona, por ejemplo, siendo más restrictivos en la zona de Granada que en la de Ciudad Real.

D. Metodología

En este apartado se presenta la metodología desarrollada a partir de los datos referidos en el apartado anterior. La obtención de los edificios potencialmente más vulnerables se obtiene a través de una serie de factores ponderados, integrados en un SIG. Los primeros están relacionados con los datos catastrales y los siguientes lo están con los datos provenientes del IGN.

- Catastro

Como se ha comentado en el apartado 3.1.1, dentro de la ingente información catastral disponible, se han considerado tanto el año de antigüedad como la categoría.

En primer lugar, las edificaciones se han ido construyendo de una forma cada vez más sismorresistente, por lo que en este trabajo se ha tenido en cuenta dicha circunstancia. Así, para la definición del índice de vulnerabilidad en función de la antigüedad (I_{Vant}), se han adaptado los valores temporales y de coeficientes del trabajo de Feriche et al. (Feriche., 2012), normalizados a los edificios construidos con la actual normativa sismorresistente (Tabla 1).

TABLA I

COEFICIENTE DE VULNERABILIDAD EN FUNCIÓN DE LA ANTIGÜEDAD (I_{Vant})		
Año de antigüedad	Coefficiente	Normativa aplicable
<1946	1,8	-
1946-1960	1,6	-
1961-1969	1,5	MV-101 (desde 1964)
1970-1976	1,4	PGS-1
1977-1996	1,3	PDS-1
1997-2004	1,1	NCSE-94
>2004	1	NCSE-02

Seguidamente, el otro factor proveniente de los datos catastrales ha sido la categoría del inmueble, tomando la categoría 4 como referencia (a mayor valor, peor calidad). De este modo, se establece un índice de vulnerabilidad por categoría (IV_c), que se obtiene a partir de la expresión (1):

$$IV_c = \frac{\text{Categoría} - 4}{20} \quad (1)$$

Finalmente, el índice de vulnerabilidad relacionado con los datos catastrales (IV_{cat}) se calcula como producto de los anteriores (2):

$$IV_{cat} = IV_{ant} \times IV_c \quad (2)$$

- Tipo de terreno

Uno de los condicionantes más importantes para determinar el daño potencial que un sismo puede producir en un elemento (edificio, infraestructura) está íntimamente relacionado con el suelo en el que se asienta.

En este estudio, para estimar el tipo de suelo, y por tanto el coeficiente del terreno a aplicar de acuerdo con la NCSE-04, se ha recurrido a la base de datos de la red de acelerógrafos del IGN. A partir de los datos puntuales (de los acelerógrafos), se han definido una serie de polígonos de Voronoi con el fin de dividir todo el espacio de forma cualitativa, al igual que se ha hecho en trabajos sísmicos recientes Barbosa; Pan, 2020).

En ese listado, se recoge la tipología de suelo (estimada de forma cualitativa) de acuerdo con el Eurocódigo 8 (A, B, C, D o E), lo que permitirá su adaptación al tipo de suelo recogido en la normativa sismorresistente nacional vigente, NCSE-02 (I, II, III, IV). Así, y según la adaptación de la norma establecida en IGN-UPM WG (2013) (IGN-UPM, 2021).

El coeficiente del terreno, C, toma los siguientes valores en función del tipo de suelo (Tabla 2):

TABLE II
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO SEGÚN LA NORMA NCSE-02.

Tipo de Terreno	Coficiente (C)	Descripción
I	1	Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso
II	1,3	Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros
III	1,6	Suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme
IV	2	Suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando.

Finalmente, dado que la aceleración sísmica básica máxima en la zona es 0,24 g, considerando una construcción de importancia normal (coeficiente de riesgo, ρ=1) el coeficiente de amplificación del terreno, S, se obtiene mediante la expresión (3):

$$S = 1 + 3,33 (1 - C)(0,24 - 0,4) \quad (3)$$

El índice de vulnerabilidad final (I_{vap}) es el resultado de modular el índice de catastro con el coeficiente de amplificación del terreno (4). Así:

$$IV_{ap} = IV_{cat} \times S \quad (4)$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras la exposición de la metodología planteada en la sección anterior, en esta se muestran, analizan y discuten los resultados obtenidos.

El primero de los resultados parciales obtenidos es la clasificación de los edificios en función del índice de vulnerabilidad relacionado con los datos catastrales, IV_{cat}, que queda representado en la Fig. 5.

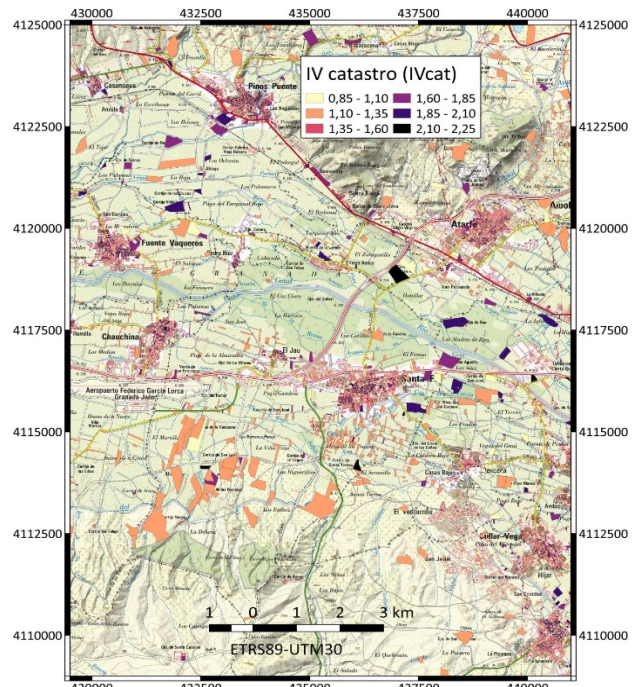


Fig. 5. Índice de vulnerabilidad relacionado con los datos catastrales (IV_{cat}) sobre el WMS del mapa ráster del IGN.

Según se desprende de la Fig. 5, tanto algunos edificios de Atarfe y Chauchina (al norte) como Gabia La Grande (Las Gabias), Pedro Ruiz y Santa Fe presentan un mayor índice.

Otro de los condicionantes es el tipo de suelo, resultado de la división según los polígonos de Voronoi. La configuración de estos en la zona de estudio queda reflejada en la Fig. 6.

Según la Fig. 7, la división de polígonos indica que la parte oeste de Santa Fe descansa sobre un suelo más propenso a la amplificación (terreno tipo IV), siendo este el núcleo de población potencial más afectado por un sismo, en términos de calidad del terreno. Por el contrario, la zona de Cúllar-Vega o Gabia La Grande (Las Gabias), que presentan la mayor aceleración básica (0,24 g) están situadas sobre un suelo más consistente (tipo II).

Finalmente, como resultado definitivo de la propuesta planteada, la Fig. 7 presenta el resultado del I_{vap} para la zona estudiada, a nivel de parcela catastral construida.

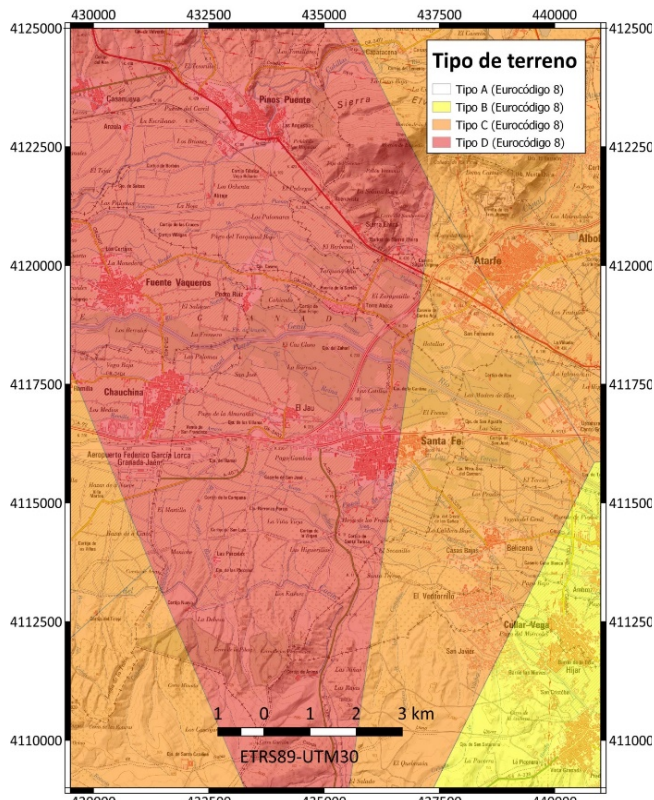


Fig. 6. Configuración de los polígonos de Voronoi según la clasificación del terreno según la NCSE02 sobre el WMS del mapa ráster del IGN.

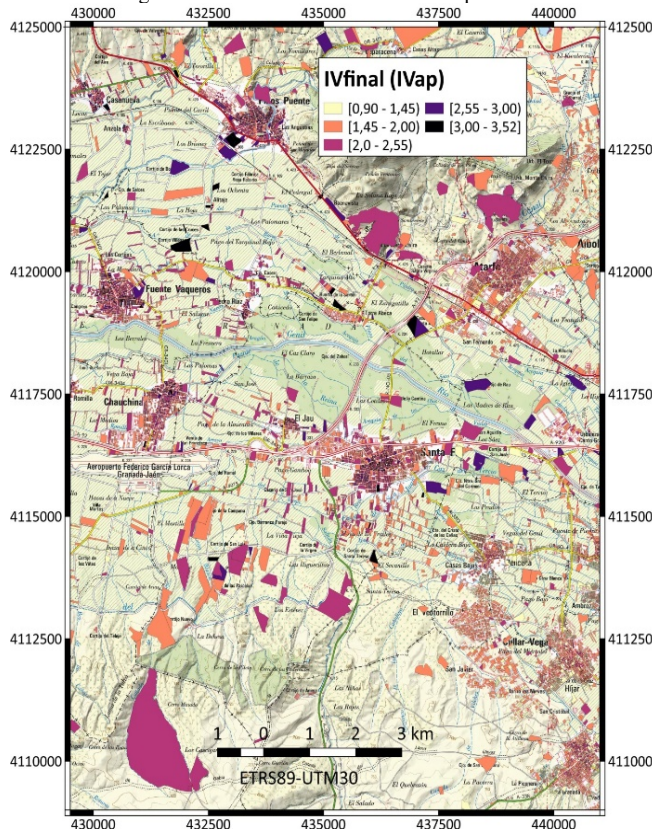


Fig. 7. Distribución del índice de vulnerabilidad propuesto (IV_{ap}) según la NCSE02 sobre el WMS del mapa ráster del IGN.

De la Fig. 7 se puede concluir que Santa Fe, especialmente su parte occidental, como El Jau y Chauchina, ambos en su segmento septentrional, presentan la mayor vulnerabilidad a priori. Lo primero es coherente con el hecho de que la aceleración pico máxima se ha registrado en Santa Fe (IGN-IS, 2021).

En cuanto a la discusión de los resultados, la categoría catastral está relacionada con la calidad y el estado de la construcción. En la metodología, este parámetro se asimila de una forma muy simplificada a la sismo-resistencia que pueden tener los edificios, por lo que los resultados pueden variar de notablemente. La elección de la categoría viene dada por su universalidad dentro del catastro lo que permite exportar la metodología a otras zonas del régimen común estatal (excluidos País Vasco y Navarra). Es de destacar la importancia de la actualización y el mantenimiento continuo de la base de datos catastral, tanto por medios propios como por agentes colaboradores.

Por otro lado, el disponer de muy pocos emplazamientos en los que se ha estimado el tipo de terreno puede conllevar interpolaciones poco acertadas. Por tanto, se da el caso de que zonas que se conoce que descansan sobre un terreno poco consolidado, como algunas de la población de Atarfe, no sean bien definidas por los polígonos de Voronoi. Actualmente, se están desarrollando campañas para el conocimiento de la velocidad de las ondas S en los 30 metros más superficiales de la corteza (V_{s30}) en la zona, de donde se puede derivar de forma más precisa el tipo de suelo. De esta forma, la metodología planteada sería misma, pero con los datos densificados, los resultados se asemejarían más a la realidad.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta una estimación a priori de los edificios que son potencialmente más vulnerables frente a terremotos en algunos municipios de la Vega de Granada, especialmente los más afectados por la serie sísmica que se inició en diciembre de 2020 y aún perdura.

Para ello, se ha desarrollado un análisis multicriterio mediante un SIG, y donde los datos de partida han provenido de fuentes oficiales. Estas han sido la Dirección General del Catastro y la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, ambas del Gobierno de España. Los factores considerados están relacionados con el año de antigüedad y la categoría de cada parcela catastral; así como el tipo de terreno (extraído de la base de datos de acelerógrafos del IGN).

Los resultados denotan que la zona oeste de Santa Fe, así como El Jau y Chauchina, obtienen un mayor índice de vulnerabilidad, donde lo primero es consistente con los datos registrados por los acelerógrafos de la zona.

A pesar de que algunos parámetros puede que no estén definidos con suficiente rigor, el uso del SIG ha mostrado su utilidad para generar representaciones de calidad, derivar estos índices de vulnerabilidad y, una vez los datos de partida sean mejorados, los resultados se aproximarán aún más a la realidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los Juan Manuel Alcalde Camino y Luis Cabañas Rodríguez, ambos ingenieros del Instituto Geográfico Nacional, por la colaboración prestada durante esta investigación.

REFERENCES

- S. Ahmari, K. Parameswaran, L. Zhang, Alkali activation of copper mine tailings and low-calcium flash-furnace copper smelter slag. *J. Mater. Civ. Eng.* 27(6), (2015) 04014193.
- K.S. Al-Jabri, M. Hisada, S.K. Al-Oraimi, A.H. Al-Saidy, Copper slag as sand replacement for high performance concrete (2009).
- ASTM, ASTM C373 – Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products. American Society for Testing and Materials (1994a.).
- A. Baziz, N. Bouzidi, D. Eliche-Quesada, Recycling of gold mining reject from Amesmesa mine as ceramic raw material: microstructure and mechanical properties. *J. Environ Sci Pollut Res* (2021).
- F. Bondioli, L. Barbieri, T. Manfredini, Grey ceramic pigment (Fe, Zn) Cr2O4 obtained from industrial fly-ash. *Journal of Tile & Brick Int.*, (2000), 16, 246-248.
- R. Borinaga- Treviño, J. Cuadrado J. Canales, E. Rojí, Lime mud waste from the paper industry as a partial replacement of cement in mortars used on radiant floor heating systems, *Journal of Building Engineering* Available online 13 March 2021, 102408.
- A. Carlos, I. Masumi, M. Hiroaki, M. Maki, O. Takahisa, The effects of limestone aggregate on concrete properties. *Construct. Build. Mater.*, (2010), 24 2363–2368.
- X. Elías, Reciclaje de residuos Industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. España: Díaz de Santos, (2009).
- D. Eliche-Quesada, F. A. Corpas-Iglesias, L. Pérez-Villarejo, F. J. Iglesias-Godino, Recycling of sawdust, spent earth from oil filtration, compost and marble residues for brick manufacturing. *Construction and Building Materials*, (2012), 34, 275 .
- European Commission. Report from the commission to the council and the European parliament on implementation of the community waste legislation. COM 2006, 406 (final, Brussels), (2006).
- P.T. Fernando, C.G. Joao, J. Said, Durability and environmental performance of alkali-activated Tungsten mine waste mud mortars. *J. Mater. Civ. Eng.* 22 (9), 897e904 (2010).
- S.M. Hameed, A.S. Sekar, Properties of green concrete containing quarry rock dust and marble sludge powder as fine aggregate. *ARNP Journal of Eng. and Applied Scie.* (2009), VOL. 4 (4) 83–89.
- C. Ince, Reusing gold-mine tailings in cement mortars: Mechanical properties and socio-economic developments for the Lefke-Xeros area of Cyprus. *Journal of Cleaner Production*, (2019), 238, 117871.
- T. Kaosol, Reuse Water Treatment Sludge for Hollow Concrete Block Manufacture. *International Concrete on Science. Technology and Innovation for Sustainable Well Being (STISWB)*, (2009), pp. 23–24.
- J. Kiventerä, L. Golek, J. Yliniemi, V. Ferreira, J. Deja, M. Illikainen, Utilization of sulphidic tailings from gold mine as a raw material in geopolymerization. *International Journal of Mineral Processing* (2016).
- K. Kunt, Utilization of Bergama Gold Tailings as an Additive in the Mortar. *Celal Bayar University Journal of Science*, Volume 11, Issue 3, (2015).
- F.A. Kuranchie, S.K. Shukla, D. Habibi, Mine wastes in western Australia and their suitability for embankment construction. In: Meehan, C.L. (Ed.), *Geo-Congress ASCE. Geotechnical Special Publications*, San Diego, California (2013).
- H. Li, H. Xiao, J. Yuan, J. Ou, Microstructure of cement mortar with nanoparticles, *Compos. B* 35 (2004), 185–189, Kustermann A., Keuser M., The influence of steel fibers content in concrete on the plastic properties of composite, 6th Symposium on Fibre-Reinforced Concretes 2004, 1217 – 1226.
- Z. Makhloufi, T. Bouziani, M. Bederina, M. Hadjoudja, Mix proportioning and performance of a crushed limestone sand-concrete. *Journal of Building Material and Structure* (2014), 10–22.
- Z. Ming, I. GuoTung-Cha, P. ChiSun, Highly-efficient green photocatalytic cementitious materials with robust weathering resistance: From laboratory to application, *J. Environmental Pollution*, (2021), Vol. 273, 116510.
- S. Roy, GR. Adhikari, RN. Gupta Use of gold mill tailings in making bricks: a feasibility study, *J. Waste Manag Res* (2007), 25:475–482.
- N., Toubal Seghir, M. Mellas, Ł. Sadowski, A. Krolicka, A. Zak, The Effect of Curing Conditions on the Properties of Cement-Based Composites Blended with Waste Marble Dust. *JOM* (2019), 71, 1002–1015.
- UNE EN 772-1, Methods of test for masonry units – Part 1: Determination of compressive strength (2002).
- C. Vandna, N. Satya Pal, Pt-sensitized MoO₃/mpg-CN mesoporous nanohybrid: A highly sensitive VOC sensor, *J. Microporous and Mesoporous Materials*. Volume 315, 110906.
- K. Youngjae, K. Minseuk, S. Jungsoo, P. Hyunsik, Applicability of gold tailings, waste limestone, red mud, and ferronickel slag for producing glass fibers. *Journal of Cleaner Production*, Volume 203, (2018). Pages 957-965.
- Z. Zhao, M. Benzerzour, N. E. Abriak, D. Damidot, L. Courard, D., Wang, Use of uncontaminated marine sediments in mortar and concrete by partial substitution of cement. *Cement and Concrete Composites*, 93, (2018), 155-162.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.