

# COMPARACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR RIESGOS NATURALES EN NÚCLEOS DE POBLACIÓN CONSOLIDADOS Y NUEVAS ZONAS DE EXPANSIÓN URBANÍSTICA DE LA PROVINCIA DE ZARAGOZA

Y. SANJUÁN

Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Avda. Montañana 1005, Zaragoza 50.059. ysanjuan@ipe.csic.es

## RESUMEN

En este trabajo se realiza un análisis comparativo entre el grado de peligrosidad de los riesgos naturales que afectan a las áreas urbanas consolidadas y a las áreas de nueva expansión urbanística, entendiendo éstas como el suelo urbano no consolidado (SU-NC) y suelo urbanizable delimitado y no delimitado (SUZ-ND, SUZ-D), respectivamente. Se ha utilizado la información cartográfica disponible en el Sistema de Información Territorial de Aragón para establecer la peligrosidad de los riesgos por inundaciones, deslizamientos/desprendimientos, vientos fuertes y colapsos en los 294 municipios de la provincia de Zaragoza (España). Esta información ha sido tratada con un Sistema de Información Geográfica, extrayendo los datos concernientes al suelo urbano y urbanizable de dicha provincia, y la susceptibilidad y nivel de peligrosidad que presentan estos suelos en cuanto a los distintos riesgos naturales a los que se ven expuestos. La comparación entre la peligrosidad por riesgos naturales en suelo urbano consolidado (SU-C) y en nuevas áreas de expansión urbanística (SUZ-ND y SUZ-D) muestra cómo la expansión del suelo urbano en estas últimas se está realizando a expensas de la ocupación progresiva de áreas con mayores índices de peligrosidad. Cabe destacar la susceptibilidad del territorio en la provincia de Zaragoza a los vientos fuertes, siendo este fenómeno el que mayor peligrosidad presenta en toda la zona de estudio. Por otra parte, en lo concerniente al municipio de Zaragoza, el 75% de su superficie urbana o urbanizable es susceptible de riesgos por colapsos con un grado de peligrosidad alto o muy alto. Los resultados de este trabajo pueden servir para concienciar a las autoridades competentes de la importancia de un estudio riguroso sobre riesgos naturales, previo a la realización de nuevos planeamientos urbanísticos.

**Palabras clave:** Organización del territorio, riesgos naturales, urbanismo, uso del suelo, desarrollo urbanístico, vientos fuertes, cierzo, colapsos, Zaragoza, Aragón, política territorial, Sistema de Información Geográfica.

## ABSTRACT

A comparative analysis of the natural hazards that affect the consolidated urban areas and the new urban expansion areas, understanding these as non-consolidated urban land (SU-NC) and developable land (SUZ-ND, SUZ-D) as determined by the municipal development plans. The cartographic information on the Territorial Information System of Aragón (SITAR) has been used to establish the hazard levels

related to floods, landslides, strong winds, and soil collapses in the 294 municipalities of the province of Zaragoza (NE Spain). The hazard levels have been compared in areas defined as consolidated urban land and non-consolidated land, by standard GIS techniques. The results indicate that the planned expansion of the urban land will occur at the expense of occupying areas with increasing levels of natural hazard. The occurrence of strong winds poses the highest hazard overall in the studied region, although in the case of Zaragoza (the fifth Spanish city by population) the 75% of the land is susceptible to risks by collapses with a very high or high hazard level. The results of this study can serve to raise awareness of the importance of a rigorous study of the natural hazards before implementing new urban expansion plans.

**Key words:** *Organization of the territory, natural hazards, urban planning, land use, urban development, strong winds, the north wind, collapse, Zaragoza, Aragon, land policy, Geographic Information System.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Es conocida la importancia de un estudio previo de las características geográficas y geológicas del territorio de cara a la urbanización del mismo. Los riesgos naturales, su peligrosidad en función del uso antrópico del suelo y la susceptibilidad de ciertas áreas ante estos riesgos, deberían ser causa de restricción estricta en los planes de expansión urbana. En zonas urbanas o urbanizables el estudio del terreno adquiere un especial interés social por la necesaria convivencia con los riesgos naturales inherentes al territorio ocupado.

Conviene definir en este punto los principales conceptos ligados al análisis de riesgos. La peligrosidad se define, como se indica desde el Instituto Geográfico Nacional, como *“la probabilidad de que un lugar, durante un intervalo de tiempo determinado, sea afectado por un determinado evento”*. Que ocurra un fenómeno natural peligroso no implica necesariamente que exista un riesgo, pues para ello es necesario que dicho evento pueda afectar a un elemento vulnerable. Así, se define la vulnerabilidad como la probabilidad de que, si se produjera el evento peligroso, resultara dañado un elemento o elementos expuestos a dicho peligro. La exposición, por

tanto, se define como el inventario de los elementos potencialmente afectados por un evento peligroso. El riesgo, finalmente, se define como la integración de peligrosidad, vulnerabilidad y exposición.

A pesar de la existencia de una relación directa entre usos del suelo y vulnerabilidad, en los planes urbanísticos *“es común integrar (triple bottom line) criterios económicos, ecológicos y sociales, quedando los aspectos geocientíficos relegados a un segundo plano.”* (Lamelas, 2009). Según un estudio realizado por Burby *et al.* (2000), *“(...) si los gobiernos locales toman las decisiones correctas en la elaboración de los programas de uso del suelo de planificación, las comunidades serían menos propensas a sufrir graves pérdidas de vidas y bienes en caso de desastres naturales.”* No obstante, tal como se señala en el mismo estudio, ya se empieza a tomar conciencia de esta necesidad en lo que a desarrollo urbanístico se refiere.

Se puede concebir como hipótesis razonable que el proceso de urbanización en tiempos históricos ha tendido, de forma más o menos espontánea, a ir ocupando preferentemente los espacios que minimizan la exposición a fenómenos naturales peligrosos. Cabe preguntarse si la expan-

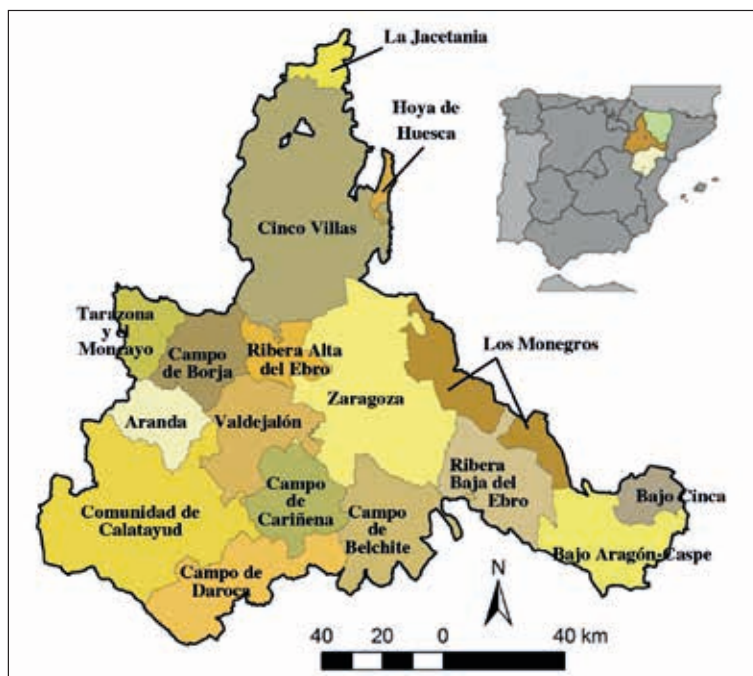


Fig. 1: Zona de estudio. (i) Mapa de la provincia de Zaragoza con sus divisiones comarcales, y (ii) Localización de la C.A. de Aragón dentro de la Península Ibérica quedando en color las provincias aragonesas: Zaragoza, Huesca (norte), y Teruel (sur).

sión urbana moderna se realiza con un criterio similar o conlleva la ocupación de espacios progresivamente más peligrosos, bien sea por un agotamiento de los espacios poco peligrosos o por otros motivos. El presente trabajo plantea un análisis comparativo de la peligrosidad por riesgos naturales en los planes de expansión urbanística de la provincia de Zaragoza, haciendo hincapié en las posibles diferencias entre las áreas urbanas consolidadas y las áreas de nueva expansión urbanística.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio abarca la totalidad de la provincia de Zaragoza, en el NE de España,

con una superficie de 17.274 km<sup>2</sup> (Fig. 1). Se han analizado los datos de peligrosidad por procesos naturales en relación a la clasificación de usos de suelos, para cada uno de los 294 municipios que integran el área de estudio. Los resultados generales del estudio se presentan con relación a la totalidad de la provincia de Zaragoza, y también y de forma específica para el municipio del mismo nombre. Los resultados detallados se presentan también agrupados por comarcas.

Se ha elegido esta zona de estudio por la diversidad de riesgos que confluyen en ella. Una gran parte de la provincia de Zaragoza se corresponde con un área de



Fig. 2: Desprendimientos de rocas en Moneva (comarca de Campo de Belchite), tras las fuertes lluvias de octubre de 2012.

clima semiárido muy vulnerable a la erosión (Sala *et al.*, 1991; García-Ruiz *et al.*, 1994; García-Ruiz, 2010; García-Ruiz *et al.*, 2012) y con una geología compuesta por la alternancia de estratos solubles y materiales fácilmente erosionables (yesíferos, margosos, evaporíticos, arcillosos,...), fondos de valle, conos de deyección, terrazas aluviales, etcétera, lo que favorece la aparición de dolinas y, por tanto, un elevado riesgo de colapsos. Evidentemente, esta geología varía en función de la zona de la provincia en que nos situemos, pero el riesgo por disolución de materiales es generalizado. Esta susceptibilidad a riesgos por colapsos ha sido motivo de trabajos de distinta índole, algunos descriptivos (Gutiérrez *et al.*, 2005 y 2007), otros relacionados con el planeamiento urbanístico (Pueyo Anchuela, *et al.*, 2008 y 2011a), con la comparación de técnicas geofísicas para el estudio de zonas de colapsos (Pueyo-Anchuela *et al.*, 2010 y 2011b; Galve *et*

*al.*, 2009), o con el desarrollo y validación de modelos espaciales del riesgo por disolución (Galve *et al.*, 2008).

Asimismo, de suma importancia es la peligrosidad por vientos fuertes en la zona. Aunque es un riesgo carente de estudios de detalle en lo que a vulnerabilidad en zonas urbanas se refiere, sí existe una descripción de diferentes regímenes de advección del viento frío y seco del noroeste, localmente conocido como cierzo (Jiménez *et al.*, 2009). Este viento alcanza tal magnitud que es capaz de destruir el mobiliario urbano, derribar árboles, o provocar daños en los edificios y otras instalaciones, con el consiguiente peligro para la población.

Por otra parte, la provincia de Zaragoza cuenta con una importante red hídrica dominada por el valle del Ebro, río que, en su tramo medio, atraviesa la zona de estudio de NO a SE. Además, otros ríos de menor

importancia transcurren por los distintos municipios. Asimismo, el terreno carece de grandes resaltes topográficos, lo que unido a la cercanía de los asentamientos humanos a los cauces explica la existencia de diversos núcleos de población con riesgo por inundaciones.

Finalmente, es escasa la bibliografía sobre deslizamientos o desprendimientos, dada la baja susceptibilidad que presenta la zona. No obstante, tras eventos extremos, el peligro existe. Así ocurrió, por ejemplo, en octubre de 2012, cuando, además de verse afectadas zonas urbanas del Pirineo aragonés (Serrano-Muela *et al.*, 2014), se produjeron grandes desprendimientos de rocas en municipios como Moneva, (Campo de Belchite), afectando a construcciones cercanas (Fig. 2). Otro municipio con riesgo de desprendimientos sobre el casco urbano es Los Fallos (Tarazona y el Moncayo), donde ya se han tomado medidas de protección ante este riesgo.

### 3. METODOLOGÍA

Esta investigación utiliza la información disponible en el Sistema de Información Territorial de Aragón (SITAR) y en el Sistema de Información Urbanística de Aragón (SIUA). Los datos sobre susceptibilidad por inundación, deslizamientos, vientos fuertes y colapsos han sido analizados en los 294 municipios de la provincia de Zaragoza en función de la clasificación del suelo urbano (consolidado o no), y urbanizable. Los resultados se presentan agrupados para las 17 comarcas en que se divide el territorio. Así mismo, por su importancia demográfica y continúa expansión urbana, se ha realizado un estudio individual del municipio de Zaragoza.

La clasificación del suelo en cada municipio viene dada por la Norma Técnica de Planeamiento de Aragón (NOTEPA) aprobada por el Decreto 54/2011 de marzo del Gobierno de Aragón, que establece la clasificación del suelo en base a la norma de metadatos ISO 19115 (Geographic information–Metadata, versión 2003). La clasificación consta de las siguientes categorías: suelo urbano consolidado (SU-C); suelo urbano no consolidado (SU-NC); suelo urbanizable delimitado (SUZ-D); suelo urbanizable no delimitado (SUZ-ND); suelo no urbanizable genérico (SNU-G); y suelo no urbanizable especial, incluyendo espacios naturales, espacios agropecuarios, cursos de agua, infraestructuras, etcétera (SNU-E). Una descripción de las características del tipo del terreno al que hace referencia cada uno de estos grupos, queda recogida en la Ley 4/2013, de 23 de mayo, por la que se modifica la Ley 3/2009, de 17 de junio, de Urbanismo de Aragón.

A continuación se describe la información contenida en las capas SIG extraídas del SITAR:

- La información territorial referente a los límites administrativos de Aragón: Provincias, Comarcas, Municipios y Poblaciones. Con ellas se ha verificado el área del territorio tras el tratamiento de las distintas capas temáticas. Su última actualización data del año 2006.
- La clasificación NOTEPA de 293 municipios de la provincia de Zaragoza. La capa correspondiente al propio municipio de Zaragoza no pudo ser obtenida en el SITAR con lo que se consiguió a partir de una combinación de capas de urbanismo, actualizadas en 2007 y la comparación de estas capas con la información

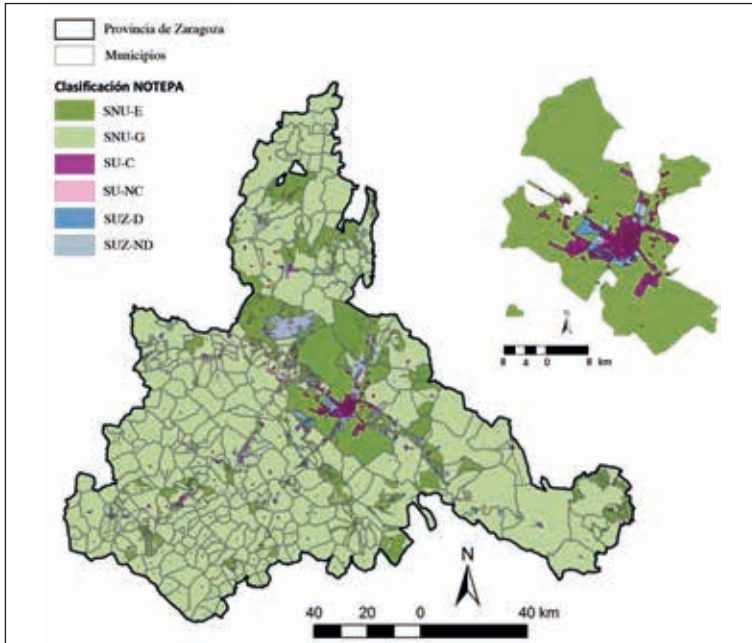


Fig. 3: Clasificación NOTEPA (i) Provincia de Zaragoza. (i.i.) Municipio de Zaragoza.

NOTEPA disponible en el Sistema de Información Urbanística de Aragón (SIUA), cuyos datos se actualizan anualmente. La escala de la cartografía disponible varía de 1:1000 a 1:4000 según el municipio.

- La categorización de la peligrosidad por riesgo de vientos fuertes, deslizamientos, colapsos e inundaciones. Estos mapas, publicados en 2011, se encuadran dentro del proyecto “Elaboración de mapas de susceptibilidad de movimientos de ladera, colapsos, vientos fuertes e inundaciones esporádicas en Aragón”. La escala de representación adoptada en los mapas finales es 1:50.000. Se asume una precisión en los datos en torno al 90%, basándonos en la hi-

pótesis de que el error admitido en la representación cartográfica del SITAR se asemejará al estándar del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en 1995 (Kenneth *et al.*, 1995). Este estudio está enfocado a evaluar la adecuación de los nuevos planes de desarrollo urbanístico y su relación con los riesgos naturales considerados, clasificando la peligrosidad en cinco grupos: muy alta, alta, media, baja y muy baja. Estos grupos se reducen a tres (alto, medio y bajo) en el caso de la susceptibilidad por riesgos de inundación. En este trabajo la peligrosidad se ha clasificado en tres grupos de riesgo: (i) muy alto/alto, (ii) medio, y (iii) bajo o muy bajo.

Tabla 1: Grado de peligrosidad por riesgos naturales en la provincia y municipio de Zaragoza (porcentaje sobre la superficie urbana y urbanizable).

PELIGROSIDAD		PROVINCIA DE ZARAGOZA			MUNICIPIO DE ZARAGOZA		
		Muy Alta / Alta	Media	Baja / Muy baja	Muy Alta / Alta	Media	Baja / Muy baja
Riesgos analizados:	Colapsos	30%	40%	30%	75%	21%	4%
	Inundación	35%	31%	34%	50%	41%	9%
	Vientos fuertes	57%	42%	1%	81%	19%	0%
	Deslizamientos / desprendimientos	0%	0%	100%	0%	0%	100%

La combinación de las capas descritas ha permitido establecer el porcentaje de áreas urbanas y urbanizables afectadas por los distintos grados de peligrosidad. En la Figura 3 se muestran las categorías clasificación del suelo en la provincia de Zaragoza. Es conveniente recordar que los resultados harán referencia, únicamente, al SU-C, SU-NC y al suelo urbanizable (SUZ-ND, SUZ-D) abarcando un total 638,37 km<sup>2</sup> de los 17.274 km<sup>2</sup> que forman la provincia de Zaragoza. En los resultados por comarcas se separa el SU-C, por un lado, y el resto de categorías por otro, lo que posibilita la comparación del porcentaje de suelo con niveles de peligrosidad elevados en nuevas zonas de expansión urbanística respecto a este porcentaje en zonas urbanas consolidadas.

#### 4. RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los porcentajes de la superficie urbana o urbanizable afectada por los distintos riesgos en la provincia y el municipio de Zaragoza. A nivel provincial destaca la importancia del

riesgo por vientos fuertes, afectando de forma alta o muy alta al 57% del territorio. A nivel del municipio el riesgo por viento fuerte se incrementa al 81% del territorio, siendo muy alto también el riesgo por colapsos (75%) y por inundación (50%).

Los resultados sobre peligrosidad por riesgos naturales que afectan al suelo urbano y urbanizable quedan recogidos en las Tablas 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4, y representados en los gráficos asociados a dichas tablas. Para comparar la peligrosidad que afecta a los núcleos de población más antiguos con respecto a la peligrosidad por riesgos naturales en las nuevas áreas residenciales o susceptibles de llegar a serlo, se ha diferenciado entre el suelo urbano consolidado, SU-C, y las áreas de nueva expansión urbanística (SU-NC, SUZ-D y SUZ-ND) a las que hemos identificado como 'SU-EXP'. Los resultados se presentan agrupados por comarcas. En los gráficos, el eje de ordenadas representa el porcentaje de territorio y los colores de las barras el nivel de peligrosidad para cada uno de los riesgos.

La peligrosidad por deslizamiento es, en su mayor parte, baja o muy baja, mientras que la peligrosidad por vientos fuertes es ubicua en la región, por lo que el análisis de los resultados se centrará en los riesgos por colapsos e inundaciones.

Globalmente, la peligrosidad por colapsos está presente en nivel alto o muy alto, en un 23% del terreno ocupado por SU-EXP en la provincia de Zaragoza. Este nivel de peligrosidad no se alcanza en ningún caso en SU-C. En ocho de las comarcas analizadas se aprecia un incremento en la peligrosidad en el suelo en expansión con respecto al suelo urbano consolidado. En siete de estas comarcas aparece por primera vez suelo con un nivel de peligrosidad alto-muy alto en las nuevas zonas de expansión urbana, siendo la peligrosidad inexistente en las zonas urbanas consolidadas. En seis de las comarcas el porcentaje de suelo urbano consolidado con nivel medio peligrosidad es mayor que el porcentaje de terreno con esta peligrosidad en las áreas de nueva expansión. En dos de las comarcas (Bajo Cinca y Hoya de Huesca) la peligrosidad por colapsos es baja o muy baja en la totalidad de las zonas analizadas.

En cuanto a la peligrosidad de riesgo por inundación, cabe destacar que la totalidad de las comarcas presentan, tanto en SU-C como en SU-EXP, cierto porcentaje de suelo con niveles altos o muy altos de peligrosidad. En diez de estas comarcas el SU-EXP presenta un mayor porcentaje de territorio afectado por mayores niveles de peligrosidad. No obstante, en tres de estas comarcas (Campo de Borja, Ribera Alta del Ebro y Zaragoza) lo que se produce es un aumento del porcentaje de zona en SU-EXP con niveles medios de peligrosidad,

reduciéndose el porcentaje con niveles altos-muy altos de peligrosidad, respecto a las zonas consolidadas. En las seis comarcas restantes se da la relación inversa, existiendo un mayor porcentaje de SU-C afectado por altos niveles de peligrosidad, que de SU-EXP. Aunque el número de comarcas con esta relación inversa coincide para la peligrosidad por riesgo de colapso y por riesgo de inundación, es importante mencionar que las comarcas no coinciden en su mayoría, para los distintos riesgos. Las únicas comarcas que presentan esta relación en ambos riesgos son Campo de Belchite y Tarazona del Moncayo; no obstante como se aprecia en los gráficos, para estas comarcas la diferencia entre el porcentaje de SU-C y SU-EXP con mayores niveles de peligrosidad, es muy baja.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo pretende servir de punto de partida hacia una organización territorial sostenible y segura en cuanto a la localización de nuevas zonas de expansión urbana y su relación con la susceptibilidad a riesgos naturales.

Los resultados del análisis muestran que la peligrosidad debida a vientos fuertes es la que mayor área abarca en la provincia de Zaragoza, siendo en algunas comarcas la que reviste mayor peligrosidad. No se aprecian diferencias entre las áreas urbanas consolidadas y en expansión con respecto al riesgo por vientos. Dada la escasa bibliografía existente sobre este riesgo, se deberían realizar estudios concretos sobre la virulencia que puede llegar a alcanzar el viento y la vulnerabilidad de los elementos urbanos y las construcciones, adaptando los materiales de construcción, mobiliario urbano, localización de zonas



verdes de las nuevas áreas residenciales, etcétera, a esta situación, por otra parte inevitable.

Con respecto a la susceptibilidad de riesgos por colapsos es destacable que, en el propio municipio de Zaragoza, el 75% de los suelos urbanos o urbanizables presentan una peligrosidad alta o muy alta, lo que es preocupante de cara al actual planteamiento urbanístico municipal. Por otra parte, en las comarcas de Ribera Alta del Ebro y Zaragoza, gran porcentaje de nuevas zonas de expansión urbana presentan una peligrosidad muy alta, en fuerte contraste con el resto de comarcas, que no sobrepasan el nivel medio en general. Trabajos como los de Pueyo Anchuela *et al.* (2008) y Galve *et al.* (2009) sobre técnicas geofísicas para el estudio de formación de dolinas deberían ser tomados en cuenta en el establecimiento de planes de expansión urbanística.

En el caso de susceptibilidad por riesgos de inundación el contraste más destacable entre las áreas urbanas consolidadas y las áreas de expansión urbana se da en la comarca de Campo de Daroca, donde más del 70% del SU-EXP presenta una peligrosidad alta o muy alta mientras que en SU-C el área con este nivel de peligrosidad se reduce al 30%. Dada la red hídrica existente en esta comarca se podría pensar que existe una inadecuada conciliación entre la expansión urbanística y los cursos naturales de agua, aunque confirmar esta hipótesis requeriría estudios de mayor nivel de detalle, a nivel municipal.

Por otra parte, los resultados muestran una peligrosidad por deslizamientos o desprendimientos baja o muy baja prácticamente en toda la zona de estudio, lo que no implica la inexistencia de este

riesgo en algunos lugares, como es el caso de los municipios de Moneva o Los Fallos entre otros.

Como confirmación de la hipótesis de partida, en la práctica totalidad de las comarcas, para alguno de los riesgos naturales considerados, el porcentaje de superficie con altos niveles de peligrosidad es mayor en zonas de expansión urbana que en zonas urbanas consolidadas. Esta situación es generalizada salvo en la comarca de Tarazona y el Moncayo donde los SU-C presentan mayores niveles de peligrosidad en todos los riesgos, y en Jacetania, donde no existen nuevas zonas urbanizables. Por tanto, salvo las excepciones mencionadas, los SU-NC y urbanizables tienden a presentar una peligrosidad mayor respecto a riesgos naturales que los SU-C.

## 6. REFERENCIAS

- Boletín Oficial de Aragón. Departamento de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes. DECRETO 54/2011, de 22 de marzo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba la Norma Técnica de Planeamiento (NOTEPA).
- Boletín Oficial del Estado. Disposiciones Generales. Comunidad Autónoma de Aragón. Ley 4/2013, de 23 de mayo, por la que se modifica la Ley 3/2009, de 17 de junio, de Urbanismo de Aragón.
- Burby, R.J., Deyle, R.E., Godschalk, D.R. & Olshansky, R.B. (2000): Creating hazard resilient communities through land-use planning. *Natural Hazards Review*, 1(2): 99-106.
- Foote, K.E. & Huebner, D.J. (1995): Error, exactitud y precisión Disponible en URL: [http://www.colorado.edu/geografia/gcraft/notas/error/error\\_ftoc.HTML](http://www.colorado.edu/geografia/gcraft/notas/error/error_ftoc.HTML). Consulta realizada el 13 de abril de 2014.
- Galve, J.P., Bonachea, J., Remondo, J., Gutiérrez, F., Guerrero, J., Lucha, P.,... & Sánchez, J.A. (2008): Development and validation of sink-hole susceptibility models in mantled karst settings. A case study from the Ebro valley

- evaporite karst (NE Spain). *Engineering Geology*, 99(3), 185-197.
- Galve, J.P., Gutiérrez, F., Remondo, J., Bonachea, J., Lucha, P. & Cendrero, A. (2009): Evaluating and comparing methods of sinkhole susceptibility mapping in the Ebro Valley evaporite karst (NE Spain). *Geomorphology*, 111(3): 160-172.
- García-Ruiz, J.M. (2010): The effects of land uses on soil erosion in Spain: a review. *Catena*, 81(1): 1-11.
- García-Ruiz, J. M. & Lana-Renault, N. (2012): Una revisión de los efectos hidrológicos y erosivos del abandono de tierras en España. *Geographicalia*, 59-60: 125-136.
- García-Ruiz, J.M. & Lasanta Martínez, T., Edts. (1994): *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras*. Sociedad Española de Geomorfología, Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) e Institución Fernando el Católico: 171 pp., Zaragoza.
- Gutiérrez, F., Galve, J.P., Guerrero, J., Lucha, P., Cendrero, A., Remondo, J.,... & Sánchez, J. A. (2007). The origin, typology, spatial distribution and detrimental effects of the sinkholes developed in the alluvial evaporite karst of the Ebro River valley downstream of Zaragoza city (NE Spain). *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(6): 912-928.
- Gutiérrez, F., Lucha, P. & Guerrero, J. (2005): Peligrosidad, daños y mitigación de inundaciones, subsidencia por disolución y movimientos de ladera en la localidad de Cadrete (Depresión del Ebro, Zaragoza). *Cuaternario y Geomorfología*, 19(1): 63-82.
- <http://sitar.aragon.es/> Consulta realizada en abril de 2014.
- <http://sitar.aragon.es/visorSIUa/> Consulta realizada en abril de 2014.
- <http://www.ign.es/> Consulta realizada en abril de 2014.
- Jiménez, P.A., González-Rouco, J.F., Montávez, J.P., García-Bustamante, E., & Navarro, J. (2009): Climatology of wind patterns in the northeast of the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 29(4): 501-525.
- Lamelas, M.T., Hoppe, A., de la Riva, J. & Marinoni, O. (2009): Modelling environmental variables for geohazards and georesources assessment to support sustainable land-use decisions in Zaragoza (Spain). *Geomorphology*, 111(1): 88-103.
- López, M. V., Gracia, R. & Arrúe, J. L. (2001): An evaluation of wind erosion hazard in fallow lands of semiarid Aragon (NE Spain). *Journal of Soil and Water Conservation*, 56(3): 212-219.
- Pueyo-Anchuela, Ó., Casas-Sainz, A.M., Pocovi Juan, A. & Ansón-López, D. (2011 a): Multi-disciplinary approach for urban planning in alluvial karstic zones: case study from the central Ebro basin (Spain). *Engineering Geology*, 122(3): 222-238.
- Pueyo-Anchuela, O., Casas-Sainz, A. M., Soriano, M.A. & Pocovi-Juan, A. (2010): A geophysical survey routine for the detection of doline areas in the surroundings of Zaragoza (NE Spain). *Engineering Geology*, 114(3), 382-396.
- Pueyo-Anchuela, Ó., Casas-Sainz, A.M., Soriano, M.A. & Pocovi-Juan, A. (2011 b): Geophysical techniques applied to urban planning in complex near surface environments. Examples of Zaragoza, NE Spain. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(16): 1211-1227.
- Pueyo Anchuela, Ó., Pocovi Juan, A., Casas-Sainz, A.M., Ansón-López, D. & Gil-Garbi, H. (2013): Actual extension of sinkholes: Considerations about geophysical, geomorphological, and field inspection techniques in urban planning projects in the Ebro basin (NE Spain). *Geomorphology*, 189: 135-149.
- Sala, M., Rubio, J.L. & García-Ruiz, J.M. (1991): *Soil erosion Studies in Spain*. Geoforma Ediciones, 228 pp., Logroño.
- Serrano-Muela, M.P., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., González-Hidalgo, J.C., López-Moreno, J.I., Beguería, S., Sanjuán, Y. & García-Ruiz, J.M. (2014): An excepcional rainfall event in the central western Pyrenees: spatial patterns in discharge and impact. *Land Degradation and Development*, DOI: 10.1002/ldr.2221.