

# Avaluació de la vulnerabilitat a la inundació de les construccions urbanes sota rasant de les àrees potencialment inundables de Sóller i Campos (Mallorca)

Alexandre MORAGUES i Maurici RUIZ

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Moragues, A. i Ruiz, M. 2023. Avaluació de la vulnerabilitat a la inundació de les construccions urbanes sota rasant de les àrees potencialment inundables de Sóller i Campos (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 66: 9-21. ISSN 0212-260X. e-ISSN 2444-8192. Palma.

Les regions mediterrànies estan patint un increment de la freqüència i intensitat de les inundacions, en gran mesura induïdes per l'escalfament global. És per això que s'estudia la vulnerabilitat física de les construccions dels nuclis afectats per la Cartografia Nacional de Zones Inundables a partir de la superfície sota el nivell de carrer de cada una de les construccions. Aquesta anàlisi es du a terme aplicant l'índex *Urban Underground Flood Vulnerability Index* (U2FVI) que extreu un resultat entre 0 i 100 per a cada una de les construccions del Cadastre. Aleshores, aplicant aquest índex als nuclis urbans de Campos i Sóller s'aprecia com el 4,6% de les construccions de Campos disposen de plantes per sota del nivell del carrer i en una zona potencialment inundable per a un període de retorn de 500 anys, mentre que per al període de retorn ordinari, de 10 anys, són el 3,3% de les construccions del nucli que es veurien afectades. Per la seva banda, en el cas de Sóller, el valor de construccions potencialment afectades dins del període de retorn de 500 arriba fins al 2,2%, i és del 0,3% en el cas del període de retorn ordinari. És així que queda palesa la vulnerabilitat dels espais urbans sota rasant d'aquests dos nuclis.

**Paraules clau:** vulnerabilitat, inundacions, soterranis, SIG.

FLOOD VULNERABILITY ASSESSMENT OF THE URBAN CONSTRUCTIONS UNDER STREET LEVEL IN THE FLOOD PRONE AREAS OF CAMPOS AND SÓLLER. Mediterranean regions are increasing flood frequency and intensity, mainly due to the global warming. That is why, physical vulnerability of the buildings located in areas which may be affected by the National Flood Zone Cartography is assessed using the surface under the street level. This analysis is done by applying the Urban Underground Flood Vulnerability Index (U2FVI), which gets a result between 0 and 100 for each cadastre building. So that, applying this index to the urban areas of Campos and Sóller, it is shown that a 4,6% of the buildings in Campos have floors under the street level and in a flood prone area in a period of 500 years, while for the ordinary flood period, of 10 years, 3,3% of the buildings would be affected. Moreover, in Sóller, potentially affected buildings in the return period of 500 years is up to a 2,2%, and a 0,3% for the ordinary period. Therefore, it is appreciated the vulnerability of the under street level buildings of these two urban areas.

**Key words:** vulnerabilty, floods, underground, GIS.

*Alexandre MORAGUES: Servei de Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció de la Universitat de les Illes Balears. Ctra. de Valldemossa, km 7.5. Palma (Illes Balears). alexandre.moragues@uib.cat . Autor de correspondència; Maurici RUIZ: Servei de Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció de la Universitat de les*

*Illes Balears. Ctra. de Valldemossa, km 7.5. Palma (Illes Balears).  
maurici.ruiz@uib.es*

*Recepció del manuscrit: 12-01-2023; revisió acceptada: 10-03-2023; publicació online: 7-06-2023.*

## **Introducció**

Les inundacions en espais urbans són una de les majors amenaces naturals per a moltes ciutats del món (Ahmad i Simonovic, 2012), un risc que s'ha incrementat degut a una major freqüència d'aquests episodis extrems (Barredo, 2007), i una major concentració de les persones a les ciutats (United Nations, 2018), el que implica un augment de les societats del risc. Aquestes societats del risc s'entenen com el conjunt de persones, una societat, que habiten un territori exposat a un o varis riscos naturals. Doncs aquestes societats habiten algunes de les zones potencialment afectades per un desastre natural com pugui ser una inundació, un incendi forestal, una esllavissada o un terratrèmol. A més, la consciència de la situació de risc en què viuen aquests col·lectius, és clau per a construir unes societats més resilients a l'hora de conviure amb el risc.

Gràcies a l'*International Strategy for Disaster Reduction* de les Nacions Unides, s'ha pogut dur a terme un gir en la forma de gestionar el risc d'inundació, passant des d'una visió més centrada en la perspectiva de l'enginyeria, cap a una visió més centrada en la resiliència que alhora integra les mesures per a reduir la vulnerabilitat (United Nations- ISDR, 2015). Des d'aquesta perspectiva es contemplen les anàlisis físiques del risc amb l'avaluació de la situació socioeconòmica davant d'una determinada amenaça.

L'increment de les societats del risc (Olcina, 2009) requereix que aquestes assimilïn la capacitat per a adaptar-se i

anticipar-se a aquests fenòmens climàtics adversos, amb la finalitat que es generi una cultura del risc que permeti una actuació proactiva de les persones afectades. És així doncs que aquest treball s'emmarca a l'àmbit científic de la prevenció davant una determinada amenaça d'inundació.

### ***Marc conceptual de la vulnerabilitat***

La vulnerabilitat és un concepte àmpliament emprat en el camp de la Geografia del risc, així com en altres disciplines que tracten d'explicar, entendre, avaluar o analitzar els diversos riscos que pateixen els sistemes antròpics i les seves estructures. A pesar d'això, el concepte de vulnerabilitat no disposa d'una definició generalment acceptada dins de la literatura existent, és per això que s'assimila la vulnerabilitat a l'exposició front a l'amenaça amb l'amenaça i la susceptibilitat davant aquesta (Erena i Worku, 2019; Müller *et al.*, 2011). Una segona visió és la social, la qual es basa en un component purament social i el condicionament humà com a la darrera causa dels impactes provocats per una amenaça, deixant de banda la visió física i estructural (Mileti, 1999; Wisner *et al.*, 2004). Basant-se en que la vulnerabilitat no és conseqüència d'una amenaça, sinó d'una situació social, econòmica i política (Maskrey, 1989). Finalment, existeix una visió holística que inclou tant els aspectes socials com els econòmics, considerant els impactes i les víctimes de l'amenaça, i no sols l'amenaça *per se* (Fuchs *et al.*, 2011).

Aleshores, en aquest treball es considerarà la vulnerabilitat des d'una perspectiva física i s'entén com com el

dany potencial al qual està exposat un territori amb unes determinades condicions de susceptibilitat front una amenaça, la qual cosa definirà una distribució territorial dels efectes derivats de l'amenaça. Vegi's doncs, la disgregació dels termes "exposició" i "susceptibilitat", ja que el primer fa referència als elements que poden ser potencialment danyats degut a la seva localització o les seves condicions físiques (Mileti, 1999; Wright, 2015), mentre que la "susceptibilitat" s'entén com la probabilitat de que els elements exposats es vegin afectats per una amenaça (Balica *et al.*, 2009).

## Objectius

L'objectiu d'aquest treball és l'avaluació de la vulnerabilitat física de les construccions dels nuclis urbans de Sóller i Campos mitjançant l'ús d'un índex de vulnerabilitat física front al risc d'inundació dels espais sota rasant dels entorns urbans, tot amb la finalitat de poder identificar les construccions més vulnerables i així contribuir a la millora de la resiliència dels territoris front a aquest risc. El coneixement d'aquests espais sota rasant serviria per a donar suport als plans de prevenció de riscos, així com les tasques d'ordenació del territori.

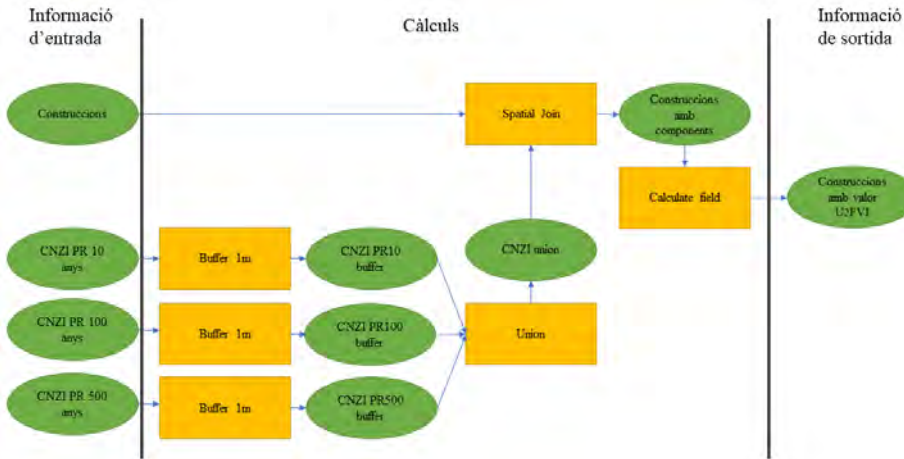
## Àrea d'estudi

Mallorca, així com la conca mediterrània, és una regió força susceptible a patir inundacions degut a la seva configuració hidrogeomfrològica, basada en cursos fluvials efímers o intermitents i caracteritzats per la seva fase seca deguda a aportacions pluviomètriques irregulars, temperatures elevades i un sòl en què s'infiltri una gran quantitat d'aigua (Estrany *et al.*, 2022), en el cas de Mallorca afavorit per les litologies

calcàries. Doncs és així que la imatge habitual de les lleres d'aquests cursos és d'un canal sec. Com a conseqüència d'aquesta idiosincràsia efímera, els recorreguts de nombrosos torrents han estat desviats, alterats, modificats, canalitzats o inclús eliminats, tot amb la finalitat de poder conrear sobre les planes al·luvials o construir a les vores dels torrents, donant una falta sensació de seguretat.

Doncs és així que episodis de precipitacions intenses i extremes poden causar el desbordament dels canals dels torrents i que l'aigua ocupi les planes al·luvials, causant grans impactes si aquestes han estat alterades a través de dics de contenció o altres infraestructures, així com si s'hi ha construït a sobre, posant en perill la vida de persones i els seus béns. Aquests episodis de precipitació intensa i el conseqüent desbordament no són, ni molt manco, fenòmens aliens a l'illa de Mallorca, ja que han estat nombroses les inundacions que han afectat diverses conques de l'illa, destacant *lo diluvi* que va desbordar el torrent de Sa Riera a Palma, encara per el seu traçat original, i que va acabar amb la vida d'entre 3.000 i 5.000 persones el 1403 (Grimalt-Gelabert, 1991). O més recentment, la inundació del Llevant de Mallorca del 9 d'octubre de 2018 que va acabar amb la vida de 13 persones, 52 edificacions malmeses que requeriren intervenció, 415 vehicles afectats de forma greu o total, i la retirada de 4.820 tones de runa i residus (Estrany *et al.*, 2020; Pol, 2019).

En aquest cas, l'estudi se centra en l'avaluació dels nuclis de Sóller i Campos, dos nuclis força dispersos però ambdós inclosos dins les Àrees de Risc Potencial Significatiu d'Inundació (Fig. 1), i per tant, susceptibles de patir episodis d'inundació.



**Fig 1.** Simplificació del model de càlcul a partir de les dades d'entrada, processos intermedis i informació de sortida per al càlcul de l' $U_2FVI$  en un SIG.

**Fig 1.** Simplification of the calculation model from the input data, intermediate processes and output information to calculate  $U_2FVI$  in GIS.

## Material i mètodes

### Fons d'informació

Per al desenvolupament del càlcul es faran servir les dades obertes de la Direcció General del Cadastre (Ministerio de Hacienda y Función Pública, 2022). Aquestes dades presenten un gran potencial degut a la seva escala a nivell de construccions i de parcel·les, a més de que es complementen amb informació temàtica associada a cada unitat territorial i que és de gran interès, com pugui ser la superfície útil, els usos detallats, l'any de construcció, etc. (García Martín, 2013; Pérez-Morales *et al.*, 2016).

Per al cas d'estudi, s'empraran exclusivament les construccions urbanes, obviant les construccions rústiques degut a l'escassetat de construccions rústiques per sota del nivell de rasant, així com per la manca de solidesa de les dada de l'any de construcció, el que pot derivar en uns resultats esbiaixats i irreal.

L'arxiu de parcel·les, en format vectorial, es compona pels polígons referents a cada una de les parcel·les definides al Cadastre i disposa d'una única referència cadastral, mentre que l'arxiu de construccions, també en format vectorial, comprèn cadascun dels volums construïts d'una edificació, de manera que dins d'una mateixa parcel·la existeixen diferents volums, *ergo* construccions.

És així com per al càlcul de l'índex utilitzat s'han emprat les alçades per sota del nivell de rasant disponibles a l'arxiu de construccions i que s'allotgen de forma codificada en números romans i usos individuals en el camp 'CONSTRU', juntament amb les alçades per sobre del nivell del carrer.

Per altra banda, per a avaluar el factor de susceptibilitat front a una inundació s'utilitza la cartografia de zones inundables del Sistema Nacional de Cartografia de Zones Inundables (SNCZI) del *Ministerio para la Transición*

*Ecológica y el Reto Demográfico* (2020), la qual segueix la Directiva 2007/60/CE del Parlament Europeu i del Consell de 23 d'octubre de 2007 relativa a l'avaluació i gestió dels riscos d'inundació, en què s'estableix que tots els Estats membres han de dur a terme mapes de perillositat i mapes de risc de les zones identificades en l'avaluació com a Àrees de Risc Potencial Significatiu d'Inundació (ARPSI).

Aleshores, l'Estat espanyol va transposar la Directiva mitjançant el Reial Decret 903/2020, de 9 de juliol, d'avaluació i gestió de riscos d'inundació, i en el qual s'estableixen tres escenaris d'ocurrència d'inundacions fluvials en funció de la probabilitat estadística: una probabilitat alta que s'associa a un període de retorn de 10 anys; una probabilitat mitjana que s'associa a un període de retorn de 100 anys; i una probabilitat d'esdeveniments extrems que s'associa a un període de retorn de 500 anys (*Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*, 2020), assumint que les zones inundables dels períodes de retorn es mantenen estables en temps.

A més, a aquestes àrees d'inundació se'ls generarà una àrea d'influència (*buffer*) d'un metre cap a l'exterior, pel fet que en algunes ocasions les delimitacions de les zones inundables segueixen el traçat dels carrers, pel que la làmina d'aigua no se solapa amb algunes de les construccions d'un dels dos costats del carrer (Pérez-Morales *et al.*, 2016), a pesar de que aquestes també es veurien afectades en cas de complir-se el model d'inundació emprat, pel fet que les plantes baixes i els soterranis són les primeres zones que afecta l'aigua que s'escapa del canal principal.

### **Metodologia**

Per al càlcul de l'Índex de Vulnerabilitat d'Inundació dels Soterranis Urbans (*Urban Underground Flood Vulnerability Index -U<sub>2</sub>FVI*) (Moragues, 2022), es parteix de la fórmula de Balica i Wright (2010) i Villagrán de León (2006) on l'índex de vulnerabilitat resulta del producte de l'exposició i la susceptibilitat, dividit per la resiliència. Tot i això, per al cas d'estudi, es considera una resiliència constant degut a que l'índex pretén avaluar exclusivament els factors físics urbans, podent així establir un valor de resiliència constant, equivalent a 1, pel que no altera el resultat de la fórmula. Aleshores, la fórmula de l'U<sub>2</sub>FVI per a cada construcció queda de la forma següent:

$$U_2FVI = Exposició * Susceptibilitat \quad (1)$$

On l'*Exposició* són les construccions, infraestructures i bens distribuïts en un territori i potencialment malmesos per una amenaça. I la *Susceptibilitat* s'entén com la probabilitat que tenen els elements exposats de ser danyats per una determinada amenaça.

Doncs és així com ambdós factors es consideren necessaris per a l'existència de la vulnerabilitat.

Amb la finalitat de poder comparar els resultats entre diferents unitats espacials i diferents unitats geogràfiques, es normalitzen els valors entre 0 i 1, fent així que el valor final es trobi en aquest rang i es multipliqui per 100 per a obtenir un resultat entre 0 i 100.

Per al cas de l'U<sub>2</sub>FVI, l'exposició es compon per la superfície construïda sota rasant, i l'edat de construcció. Aquests factors es ponderen pel 70 % i 30 %, respectivament, pel fet que es considera que la superfície potencialment afectada implica un major grau d'exposició física

front a l'amenaça, que no l'edat de construcció, la qual pot, en alguns casos, no ser un factor determinant en un procés de catàstrofe. Aquest factor d'exposició, un cop ponderat, s'eleva a la inversa del nombre d'alçades per sota del nivell de carrer, considerat que la quantitat de plantes soterrades és un valor clau i determinant en l'impacte que pugui tenir l'aigua dins d'una construcció, doncs per a una major profunditat, l'energia potencial de l'aigua s'incrementa i dificulta les tasques d'extracció o reparació dels danys causats.

Per al cas de la superfície construïda sota rasant (*Ssr*), s'estableixen els paràmetres de ponderació a partir dels 10.000 m<sup>2</sup>, pel que cada superfície construïda sota rasant s'haurà de dividir entre 10.000 per a identificar el valor relatiu de cada superfície (respecte d'una hectàrea), tenint en compte totes les plantes existents. Per a aquest procés s'empra la fórmula següent:

$$\text{superfície sota rasant (Ssr)} = \frac{\text{superfície construcció} \cdot \text{número de plantes sota rasant}}{10.000} \quad (2)$$

Es considerarà que en cas de sobrepassar el llindar dels 10.000 m<sup>2</sup>, el valor serà sempre 1.

Mentre que per a l'edat de construcció

(*Ec*), s'adopten els valors representats a la Taula 1.

Per a la realització de l'anàlisi s'ha emprat la data de l'antiguitat efectiva en el Cadastre (Ministerio de Hacienda y Función Pública, 2011) de cada una de les parcel·les per a estimar l'edat de cada construcció. Encara així, algunes parcel·les disposen de diferents etapes de construcció o la realització de reformes considerables, doncs en aquests casos es pren la data més antiga i superior a 1700, suposant que no hi ha propietats que hagin estat demolides o substituïdes (Pérez-Morales *et al.*, 2016), i amb la finalitat d'eliminar valors de dates de construcció errònies o extrems, tenint en compte que es poden ometre algunes construccions que veritablement fossin anteriors a l'any 1700.

En segon lloc, per al càlcul de la susceptibilitat s'utilitzen les zones inundables de la Cartografia Nacional de Zones Inundables del MITECO (2020). És així que les ARPSI es classifiquen entre 0 i 1 així com es mostra a la Taula 2.

període de retorn.

En darrer lloc, el valor obtingut del producte de l'exposició i la susceptibilitat es multiplicarà per 100. Fruit d'aquesta fórmula, el valor de l'U<sub>2</sub>FVI per a una construcció es calcula de la forma següent (Moragues, 2022):

Edat (anys)	>10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	<101
Valor	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

**Taula 1.** Valors per al camp '*Ec*' segons l'edat de construcció.

**Table 1.** Values for the field '*Ec*' depending on the building age.

Període de retorn (anys)	10	100	500
Valor	1	0,5	0,25

**Taula 2.** Valors per al camp '*ARPSI*' segons el període de retorn

**Table 2.** Values for the field '*ARPSI*' depending on the return period.

$$U_2FVI_i = \left[ [(Ssr * 0,7) + (Ec * 0,3)]^{\frac{1}{Alt}} * ARPSI \right] * 100 \quad (3)$$

Mentre que per a una unitat geogràfica de major entitat s'aplica la fórmula:

$$U_2FVI = \frac{\sum_i^n \left[ [(Ssr*0,7)+(Ec*0,3)]^{\frac{1}{Alt}} * ARPSI \right] * 100}{n} \quad (4)$$

On  $n$  fa referència al número d'unitats geogràfiques, sent  $i$  cada una d'aquestes unitats.  $Ssr$  és el valor de la superfície sota rasant seguint la fórmula de càlcul proposada,  $Ec$  correspon al valor relatiu per a cada edat de construcció. Aquests dos valors es multipliquen per 0,7 i 0,3, respectivament, per a ponderar la seva importància en el grau d'exposició.  $Alt$  fa referència al número de plantes sota rasant, i  $ARPSI$  són les Àrees de Risc Potencial Significatiu d'Inundació amb el valor relatiu corresponent.

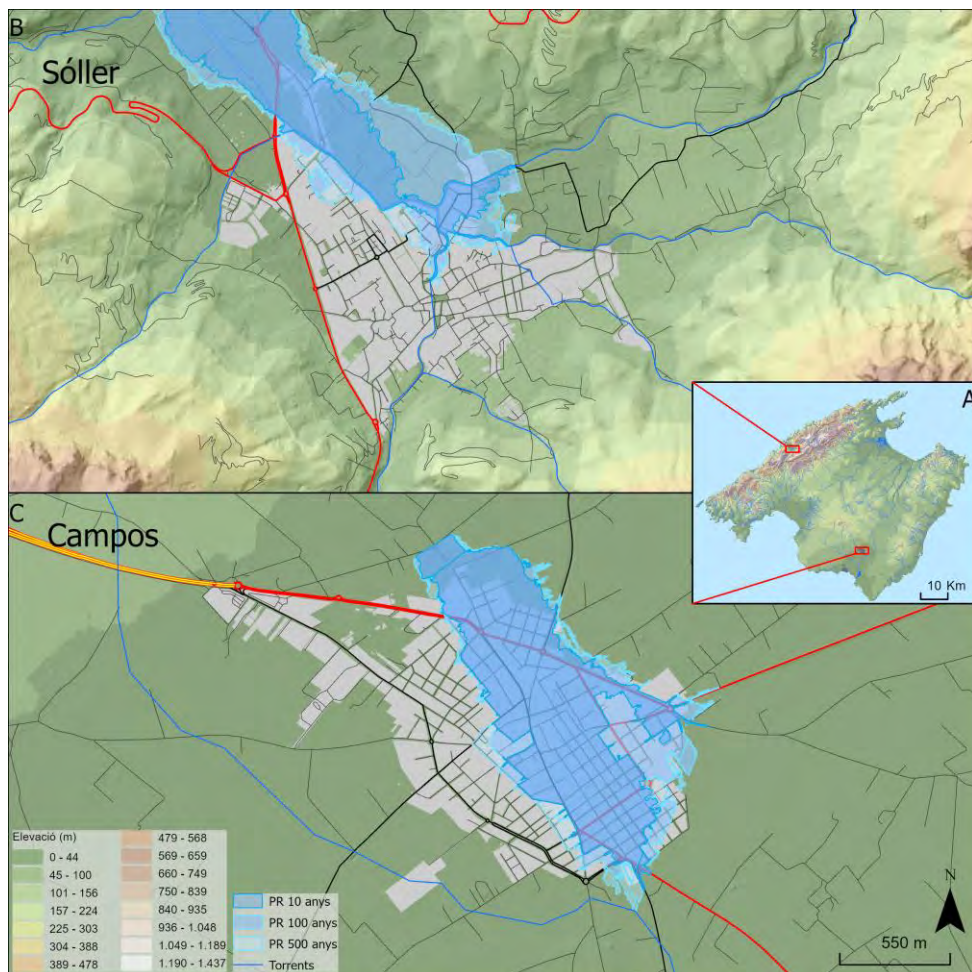
L'índex  $U_2FVI$  proporciona una magnitud escalar amb un valor mínim de 0 i un valor màxim de 100, que dependrà del grau d'exposició a partir de les característiques de cada edificació, i el grau de susceptibilitat davant el perill d'inundació. On 0 correspon a un escenari que no està exposat o bé que no és susceptible de patir un episodi d'inundació, mentre que aquest valor es va incrementant a mida que s'augmenta la superfície construïda sota rasant i l'antiguitat de la construcció, tot considerant el nombre d'alçades de forma exponencial. També és determinant el període de retorn en el qual es troba la construcció en qüestió. Aleshores, un valor 100 es correspon amb una construcció que és més susceptible de veure's afectada, i aquesta afectació tindria un major impacte

sobre aquesta construcció. El valor d'aquest índex aporta informació sobre la vulnerabilitat intrínseca de cada construcció i permet l'anàlisi comparada entre elements.

L'anàlisi espacial de les dades es du a terme en el SIG ArcGIS Pro v.2.8.<sup>®</sup>. En primer lloc, s'ha de disposar de la capa de construccions del Cadastre amb els atributs de: any de construcció, any vigent i número de plantes sota rasant; així com els arxius de la cartografia de zones inundables per als períodes de retorn de 10, 100 i 500 anys.

Un cop es disposa d'aquests arxius, així com es mostra en la Fig. 2, s'ha de realitzar un buffer d'un metre cap a l'exterior de les capes de la cartografia de zones inundables i, posteriorment s'uneixen mitjançant l'eina *Union*, que permet unir les geometries i els atributs que tinguin un mateix nom. Seguidament s'aplica una unió espacial o *Spatial Join* per a traslladar els atributs de cada una de les zones inundables a la capa de construccions, resultant així una capa amb tots els elements necessaris per a aplicar la fórmula de l'índex.

En primer lloc, Sóller es localitza al nord-oest de l'illa i al centre de la serra de Tramuntana, en la seva vessant nord. Aquesta vall longitudinal del relleu de la serra es veu travessada de forma transversal pel torrent Major, el torrent de Fornalutx i el torrent de Biniarix, que juts sumen una conca de 50 km<sup>2</sup>. A més, aquests torrents ja han patit diverses inundacions, doncs sols en el segle XX succeïren 5 esdeveniments d'inundacions extraordinàries (1918, 1919, 1933, 1942, 1971) i fins a 12 esdeveniments catastròfics (1924, 1925, 1955, 1958, 1959, 1972, 1973, 1974, 1978, 1986, 1994 amb un perill elevat per als habitants i un



**Fig 1.** A. Localització dels nuclis d'estudi a l'illa de Mallorca. B. Zones inundables de nucli de Sóller. C. Zones inundables del nucli de Campos (MITECO, 2020).

**Fig 1.** A. Location of the study areas in Mallorca. B. Flood prone areas in Sóller. C Flood prone areas in Campos (MITECO, 2020).

elevat cost econòmic (Rosselló-Geli, 2014).

Per la seva banda, Campos és un nucli situat al sud de l'illa i que es troba als peus d'un ventall al·luvial i en la confluència de diversos cursos fluvials, que en alguns casos es canalitzen pel viari urbà i rural (Grimalt-Gelabert, 1991). A més, es troba

en una de les zones més àrides de l'illa, pel que s'ha subestimat la importància d'algunes lleres així com el pas del temps n'ha difuminat algunes, augmentant-ne el perill d'aquestes, ja que fins a dos cops en el segle XX s'ha superat el llindar de 100 mm en 24 hores, arribant a 110 mm el 1932 i 190 mm el 1946 (Grimalt-Gelabert



et al., 2001), suposant el desbordament dels torrents, així com també succeí el 1974 i 1989 (Grimalt-Gelabert, 1991).

## Resultats i discussió

Fruit de l'aplicació de l'índex, s'obté un valor de l' $U_2FVI$  per a cada construcció, així com un valor mitjà pel període de retorn a cada nucli i el nombre de construccions i superfície afectada com a resultats intermedis, així com es mostra en la Taula 1.

Dins el període de retorn ordinari, de 10 anys, el nucli de Campos té fins a 465 construccions potencialment afectades, el que suposa un 3,3 % del total de les construccions del nucli, i una superfície construïda de 34.108 m<sup>2</sup>, el 2,4 % del nucli. Ja en el període de retorn de 100 anys, el número de construccions afectades arriba fins a les 582 i el 4,2 % del nucli, suposant un 2,8 % de la superfície construïda. Finalment, la totalitat de la zona inundable en un període extraordinari afecta el 4,6 % de les construccions del nucli de Campos i una superfície de més de 4,6 hectàrees, suposant un 3,2% de la superfície construïda. Aleshores, s'aprecia la importància de la zona de recurrència de

10 anys, ja que inclou pràcticament 3 de cada 4 construccions potencialment afectades del nucli. En termes de l' $U_2FVI$ , el valor més elevat es troba dins el període de retorn ordinari, doncs aquesta major recurrència augmenta la susceptibilitat i *ergo* la vulnerabilitat. El valor d'aquest índex segueix una escala exponencial degut a l'ús del nombre d'altures com a exponent, pel que valors baixos com és el cas de Campos, indiquen construccions amb poques plantes, en aquest cas no se superen mai les 2 plantes per sota del nivell del carrer, així com construccions de mides reduïdes, el que explica el baix valor de l'índex que és de 11,28 en el període de retorn de 10 anys, i disminueix fins a 9,02 en el període de retorn de 500 anys.

Sóller, per la seva banda, presenta un menor nombre de construccions potencialment afectades per les inundacions ordinàries, doncs sols el 0,3 %, 31 construccions, es veurien afectades, el que en termes de superfície es trasllada a 3.183 m<sup>2</sup> (0,3 %). Per al període de retorn de 100 anys les construccions afectades es tripliquen fins a les 90 i arribant a l'1 % del nucli, amb una superfície potencialment afectada de 6.181 m<sup>2</sup> (0,6 %).

	Construccions		Superfície		$U_2FVI$	
	Afectades	Afectades (%)	Afectada (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup> Afectats (%)		
T10	Campos	465	3,3 %	34 108	2,4 %	11,28
	Sóller	31	0,3 %	3 183	0,3 %	26,93
T100	Campos	582	4,2 %	40 123	2,8 %	9,76
	Sóller	90	1,0 %	6 181	0,6 %	17,89
T500	Campos	648	4,6 %	46 744	3,2 %	9,02
	Sóller	198	2,2 %	16 988	1,6 %	11,63

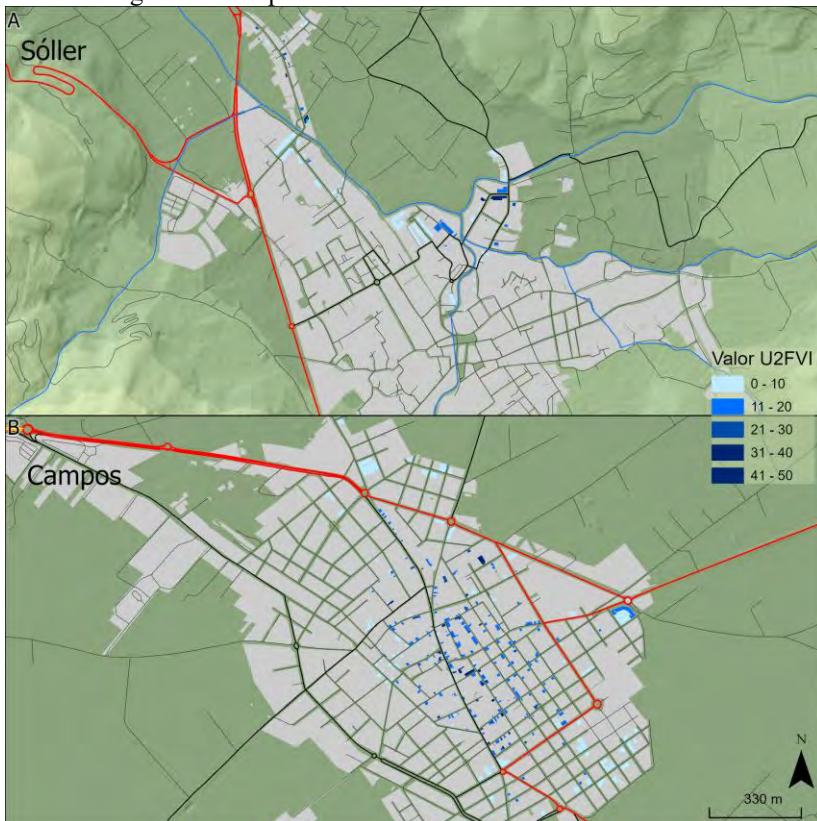
**Taula 3.** Número de construccions afectades, superfície afectada i valor de l' $U_2FVI$  per a cada període de retorn i per zones d'estudi.

**Table 3.** Number of buildings affected, surface affected and  $U_2FVI$  value for every return period and study area.

La major afectació es troba en la zona coberta per les inundacions extraordinàries, arribant a afectar a 198 construccions, un 2,2 % del total del municipi, multiplicant per 6 les construccions afectades en el període de retorn ordinari. En termes de superfície, es segueix la mateixa tendència, quintuplicant la superfície afectada pel període de retorn de 10 anys, i assolint l'1,6 % de la superfície construïda del nucli. El valor de l'índex en aquest cas, presenta valors força més elevats, arribant al 26,9 en el període de retorn de 10 anys, això es deu a una major antiguitat de les construccions, destacant-ne algunes de la primera meitat

del segle XX i fins i tot algunes del segle XIX que es troben dins l'àrea afectada per les inundacions de forma ordinària i que a més disposen d'una o dues plantes sota del nivell de rasant. Finalment, el valor de l'índex per al període de retorn de 500 és d'11,63, valor força semblant al valor de Campos dins el període de retorn de 10 anys.

Aquesta diferència en el valor s'explica per una major vulnerabilitat de les construccions al nucli de Sóller, tot i que al nucli de Campos n'hi hagi més de potencialment afectades, així com també es pot apreciar a la Fig. 3.



**Fig 3.** A. Resultats de l'U<sub>2</sub>FVI al nucli de Sóller. B. Resultats de l'U<sub>2</sub>FVI al nucli de Campos.  
**Fig 3.** A. Results of the U<sub>2</sub>FVI in Sóller. B. Results of the U<sub>2</sub>FVI in Campos.

En aquesta distribució espacial es pot apreciar la tendència ja esmentada anteriorment, doncs per al cas del nucli de Sóller les construccions afectades es limiten a l'àrea més pròxima a l'encreuament dels torrents Major, de Biniaraix i Fornalutx, així com a l'extrem nord. I és en aquesta zona del nord del nucli, al carrer Francesca Alcover, on es concentren els valors de vulnerabilitat més alts, amb una illota que aglutina construccions amb valors de l'índex propers a 50. Per altra banda, a l'encreuament dels tres torrents, i als voltats dels carrers Joan XXIII, Andreu Coll i avinguda Astúries, i camí de Cas Jurat i carrer Adela Oliver Llinàs és on es troben la vasta majoria de les construccions afectades, algunes d'elles amb valors per sobre de 20 d'U<sub>2</sub>FVI.

Per la seva banda, els resultats de Campos presenten una distribució de les construccions potencialment afectades pràcticament a dues terceres parts del nucli, destacant les construccions compreses entre el carrer de sa Síquia, camí de Mar, ronda de la Verge i ronda de Catalunya, i principalment en els voltants de l'eix que travessa aquesta àrea pels carrers de Plaça, des Convent i Santanyí. Sent la plaça Major, i els seus voltants, la zona on hi ha les construccions amb un índex més elevat, proper a 50.

## **Discussió i conclusions**

Aleshores, queda palesa la vulnerabilitat d'aquests dos nuclis de població de l'illa de Mallorca, en el cas de Sóller destacant-ne la intensitat d'aquesta vulnerabilitat que afecta les construccions urbanes sota nivell de rasant, i en el cas de Campos fent incís en l'extensió gairebé

per tot el nucli de les construccions vulnerables, centrant-se a la plaça Major.

Aquests resultats poden servir de complement per a altres tècniques o eines de prevenció del risc d'inundació, com puguin ser els sistemes d'alerta primerenca que serveixin per a alertar els serveis d'emergències i la població local del perill que s'acosta, per a que ambdós col·lectius puguin actuar en conseqüència i seguint les directrius establertes pels experts.

Ja enfocat en la prevenció, gestió i actuació de l'amenaça, aquest índex pot servir per a, en primer lloc, identificar quines són aquelles construccions potencialment més vulnerables i en les quals serien preferents les mesures preventives. Seguidament, en el moment de la gestió de l'amenaça, permetria identificar en quines construccions s'han donat, potencialment, els majors danys. El que alhora permetria testejar l'índex i avaluar-ne la seva precisió a través del treball de camp.

Finalment, aquest treball també pretén contribuir a l'autoconeixement de les societats del risc, fent saber quines són les construccions sota rasant que presenten una major vulnerabilitat i a les quals no s'hauria de tractar d'accedir en cas de que existeixi una amenaça de desbordament del torrent. Una tasca que requeriria la difusió dels resultats generats entre les persones potencialment afectades. Una proposta que es manté com a una línia de treball oberta de cara al futur, possiblement en coordinació amb altres entitats i organitzacions involucrades en la prevenció del risc d'inundació a les Illes Balears.

## Referències

- Ahmad, S. S. i Simonovic, S. P. 2012. Spatial and temporal analysis of urban flood risk assessment. *Urban Water Journal*, 10(1), 26-49. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2012.690437>
- Balica, S. F., Douben, N. i Wright, N. G. 2009. Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water Science and Technology*, 60(10), 2571-2580. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.183>
- Balica, S. F. i Wright, N. G. 2010. Reducing the complexity of the flood vulnerability index. *Environmental Hazards*, 9(4), 321-339. <https://doi.org/10.3763/ehaz.2010.0043>
- Barredo, J. I. 2007. Major flood disasters in Europe: 1950-2005. *Natural Hazards*, 42(1), 125-148. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9065-2>
- Erena, S. H. i Worku, H. 2019. Urban flood vulnerability assessments: the case of Dire Dawa city, Ethiopia. *Natural Hazards*, 97, 495-516. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03654-9>
- Estrany, J., Company, J., Fortesa, J., García-Comendador, J., Ruiz, M. i Molina, M. 2022, desembre 1. Los ríos siguen siendo ríos cuando se secan. *The Conversation*, 4.
- Estrany, J., Ruiz, M., Mutzner, R., Fortesa, J., Nácher-Rodríguez, B., Tomás-Burguera, M., García-Comendador, J., Peña, X., Calvo-Cases, A., & Vallés-Morán, F. J. 2020. Hydrogeomorphological analysis and modelling for a comprehensive understanding of flash-flood damage processes: The 9 October 2018 event in northeastern Mallorca. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(8), 2195-2220. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2195-2020>
- Fuchs, S., Kuhlicke, C. i Meyer, V. 2011. Editorial for the special issue: Vulnerability to natural hazards-the challenge of integration. *Natural Hazards*, 58(2), 609-619. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9825-5>
- García Martín, F. M. 2013. Una metodología para la delimitación y clasificación de las formas urbanas en las ciudades intermedias españolas durante el siglo XX basada en SIG. *Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo. «V Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Buenos Aires, junio 2013»*, 1199-1215.
- Grimalt-Gelabert, M. 1991. Tipologías de inundaciones en Mallorca. En A. Calvo-Cases (Ed.), *Sociedad y Territorio* (p. 167-172). Asociación de Geógrafos Españoles.
- Grimalt-Gelabert, M., Ruiz de Asúa, M. i Ruiz, M. 2001. Pautes espacials i temporals de distribució d' aiguades intenses al Llevant de Mallorca ( 1930-1995 ). En *I Jornades d'Estudis locals de Manacor* (p. 29-39).
- Maskrey, A. 1989. Disaster Mitigation: A Community Based Approach. *Oxfam Publishing*, 100. <http://policy-practice.oxfam.org.uk/publications/disaster-mitigation-a-community-based-approach-121119>
- Mileti, D. S. 1999. *Disasters by Design: A reassessment of natural hazards in the United States*. Joseph Henry Press.
- Ministerio de Hacienda y Función Pública. 2011. *Dirección General del Catastro-Fichero informático de remisión de catastro (bienes inmuebles urbanos, rústicos y de características especiales)*. [https://www.catastro.minhap.es/documento/s/formatos\\_intercambio/catastro\\_fin\\_cat\\_2006.pdf](https://www.catastro.minhap.es/documento/s/formatos_intercambio/catastro_fin_cat_2006.pdf)
- Ministerio de Hacienda y Función Pública. 2022. *Dirección General de Catastro - Sede Electrónica del Catastro*. <http://www.sedecatastro.gob.es/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2020). *Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/>
- Moragues, A. 2022. Evaluación de la vulnerabilidad a la inundación de las construcciones urbanas bajo rasante: el caso de Palma (Illes Balears). En J. De la Riva, M. T. Lamelas, R. Montorio, F. Pérez-Cabello, & M. Rodrigues (Ed.), *XIX*

- Congreso de Tecnologías de la Información Geográfica. TIG al servicio de los ODS* (p. 362-371). Universidad de Zaragoza-AGE.
- Müller, A., Reiter, J. i Weiland, U. 2011. Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach-a case study for Santiago de Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2107-2123. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2107-2011>
- Olcina, J. 2009. Cambio climático y riesgos climáticos en España. *Investigaciones Geográficas*, 49, 197-220.
- Pérez-Morales, A., Gil-Guirado, S. i Olcina, J. 2016. La información catastral como herramienta para el análisis de la exposición al peligro de inundaciones en el litoral mediterráneo Español. *Eure*, 42(127), 231-256. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612016000300010>
- Pol, J. 2019. *Informe del director tècnic operatiu (DTOP) Joan Pol Pujol sobre les accions de Protecció Civil realitzades per fer front als successos del passat 9 d'octubre a la comarca del Llevant de Mallorca.*
- Rosselló-Geli, J. 2014. Inundacions i torrentades a la vessant de Sóller en el segle XX: Assaig de classificació. En *VIII Jornades d'Estudis Locals de Sóller i Fornalutx* (p. 211-220).
- United Nations- ISDR. 2015. Sendai Framework for Disaster Reduction 2015-2030. *III UN World Conference on Disaster Risk Reduction*, 32. [https://www.unisdr.org/files/43291\\_sendaiframeworkfordrren.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf)
- United Nations. 2018). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. En *Economic & Social Affairs*.
- Villagrán de León, J. C. 2006. *Vulnerability: A conceptual and methodological review*. UNU-EHS.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. i Davis, I. 2004. *At risk: natural hazards, peoples vulnerability and disasters*. <https://doi.org/10.4324/9780203714775>
- Wright, D. B. 2015. Methods in Flood Hazard and Risk Assessment. En *World Bank*.

