

## **VULNERABILIDAD TERRITORIAL FRENTE A DESASTRES NATURALES: EL CASO DE LA ISLA DE MALLORCA (BALEARES. ESPAÑA)**

MAURICI RUIZ PÉREZ <sup>1</sup>

Servei de SIG i Teledetecció. Universitat de les Illes Balears  
Cra. Valldemossa Km. 7,5, 07122 Palma (Baleares), España

<sup>1</sup> [maurici.ruiz@uib.es](mailto:maurici.ruiz@uib.es)

### **RESUMEN**

Se propone una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales en base a su descomposición en los siguientes componentes: la exposición territorial, la vulnerabilidad intrínseca y la vulnerabilidad social. El modelo propuesto, se fundamenta en el uso de un sistema de información geográfica combinado a instrumentos de simulación matemática y proporciona una valoración cuantitativa de la vulnerabilidad territorial expresada en unidades económicas. La metodología considera que no existen valores absolutos de vulnerabilidad territorial al incorporar un factor de incertidumbre en el cálculo varios de sus componentes. El sistema de cálculo puede ser aplicado sobre cualquier zona, a modo de ejemplo se ha elegido la isla de Mallorca (Baleares, España) como lugar de ensayo. Los resultados obtenidos dan prueba de su aplicabilidad en las tareas de planificación y gestión del riesgo y crean el precedente de un nuevo enfoque a los estudios de los riesgos territoriales.

Palabras clave: vulnerabilidad territorial, riesgos naturales, geografía del riesgo, desastres naturales

TERRITORIAL VULNERABILITY ANALYSIS FOR NATURAL DISASTERS. MALLORCA STUDY CASE. (BALEARIC ISLANDS, SPAIN).

### **ABSTRACT**

This paper presents a new methodology for natural risk territorial vulnerability assessment that integrates several components: the territorial exposure, the intrinsic vulnerability and the social vulnerability. The proposed model, based on the use of a geographical information system combined with mathematical simulation tools, provides a quantitative assessment of regional vulnerability of geographic space expressed in economic units. The results demonstrate the applicability of model-based planning and risk management, and proposed a new approach to

studies of regional risks. The proposed model can be applied at any geographical area. As study case has been chosen the island of Mallorca (Balearic Islands, Spain).

Keywords: territorial vulnerability, natural hazards, geography of risks, natural disasters

## 1. Introducción

El análisis de los riesgos territoriales es una disciplina científica transversal en la cual investigadores de diversas áreas (geografía, geología, ingeniería, sociología, economía, biología, etc.) convergen en un objetivo común: la reducción de los efectos de las catástrofes. Ello la convierte en una materia compleja en la que abundan más los enfoques temáticos que las visiones holísticas. Además, la gran trascendencia económica, social y ambiental de las catástrofes supone un tema de prioridad máxima en muchos países, especialmente en los más afectados en cuanto a número de eventos y coste de los mismos. En este sentido, la reducción de la vulnerabilidad territorial juega un papel clave en la reducción de los efectos de los desastres.

En este trabajo en primer término se realiza una introducción al concepto de vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales. En segundo lugar, se propone una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad territorial entendida como variable multifactorial y modelizada mediante el uso de sistemas de información geográfica, en combinación a técnicas de simulación matemática. Posteriormente, se realiza la aplicación de la metodología propuesta en la isla de Mallorca y finalmente se extraen las principales conclusiones.

## 2. Vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales

De forma tradicional, el análisis del riesgo, por parte de la comunidad científica, ha prologado una visión centrada en el estudio del peligro y la gestión de la emergencia (Hewitt, 1996; Calvo García-Tornel, 2000; Espejo & Calvo, 2004). Sin embargo, la experiencia ha demostrado que los episodios catastróficos han ido incrementando día a día sus efectos negativos, tanto en número de víctimas como en costes económicos, por lo que ha sido necesario replantearse este enfoque. No solo el peligro debería intervenir en la evaluación del riesgo, sino que existen otros muchos factores que pueden ser incluso más responsables de sus efectos. La vulnerabilidad es uno de dichos factores, la cual desempeña un papel determinante en las consecuencias de los desastres naturales (Olcina Cantos, 2002 y 2008).

Una de las principales consecuencias del cambio climático es el incremento de determinados tipos de amenazas naturales, especialmente ligadas a fenómenos atmosféricos (inundaciones, huracanes, etc.). En este marco, el estudio de la vulnerabilidad constituye una importante área de trabajo. En especial, es importante señalar las actividades del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2011) el cual dedica importantes recursos al estudio de la vulnerabilidad. En particular, resulta destacable la creación de un grupo de trabajo específicamente dedicado al estudio de Impactos; Adaptación y Vulnerabilidad (Parry *et al.*, 2007). Este grupo define la vulnerabilidad como: "...a function of the sensitivity of a system to changes in climate (the

degree to which a system will respond to a given change in climate, including beneficial and harmful effects), adaptive capacity (the degree to which adjustments in practices, processes, or structures can moderate or offset the potential for damage or take advantage of opportunities created by a given change in climate), and the degree of exposure of the system to climatic hazards"... Son muchas las aportaciones al concepto de vulnerabilidad al cambio climático que son extrapolables al ámbito concreto de la vulnerabilidad a los desastres naturales (Fussel, 2006, 2007; Jun *et al.*, 2011, Heltberg *et al.*, 2009). En el presente trabajo, nos centraremos en la vulnerabilidad frente al desastre natural, independientemente de si la etiología del fenómeno está vinculada al cambio climático.

Una de las definiciones más aceptadas y difundidas de la vulnerabilidad frente a desastres es la propuesta por la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de Naciones Unidas (ISDR, 2011) que la entiende como "*The characteristics and circumstances of a community, system or asset that make it susceptible to the damaging effects of a hazard.*". Sin embargo, se constata que en la literatura científica el término vulnerabilidad a peligros naturales es definido de formas muy diversas, llegando a hacerse confusa su interpretación (Ezell, 2007; Anderson-Berry, 2003; Fuchs, Heiss, *et al.*, 2007; Blaikie, Cannon *et al.*, 1994). Del análisis de diversas definiciones analizadas se extraen tres enfoques principales:

- Interpretarla como la exposición a los peligros naturales. Algunos autores proponen la fusión de vulnerabilidad intrínseca al concepto de exposición (condiciones que hacen a las personas o a los lugares vulnerables (Burton, Kates *et al.*, 1996; Anderson, 2000).
- Entenderla como una propiedad física intrínseca (normalmente ligada a elementos del territorio: edificios, construcciones e infraestructuras) dependiente del tipo de peligro.
- Concebirla como una componente de base social, descartando el enfoque físico y apostando por el condicionamiento social como última causa de la vulnerabilidad (entendida como una medida de la resiliencia y capacidad de adaptación a los peligros) (Blaikie *et al.*, 1994).

Los métodos de evaluación de la vulnerabilidad territorial frente a los desastres naturales son escasos y en su mayoría provienen del desarrollo de experiencias prácticas adaptadas específicamente al estudio de casos concretos, no existiendo métodos generalistas de evaluación. En su estudio es habitual el uso de indicadores que ayudan a la caracterización y conjugación de sus diversas componentes, como la exposición, susceptibilidad o la capacidad de hacer frente al desastre entre otros factores (Clark *et al.*, 1998; Polsky, Schroter *et al.*, 2003; Alexander, 2002; Peduzzi *et al.*, 2001; D'Ercole & Metzger, 2004; Dwyer *et al.*, 2004; Fussel & Klein, 2006; Taubenbock *et al.*, 2008; Kumpulainen, 2006).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han demostrado ser una tecnología adecuada para el estudio de los riesgos naturales y de la vulnerabilidad territorial por sus capacidades de análisis integrado de la información geográfica, para la modelización de los fenómenos naturales, como sistemas de ayuda a la decisión, etc. (Gitis, 1995; Kauahikaua *et al.*, 1995; Palacios Estremera *et al.*, 1996; Carrara *et al.*, 1999; Bonachea Pico, 2006; Conesa, 2004, 2011; Marquinez *et al.*, 2002; Metternich *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2003; Diez Herrero, 2002; Carrara *et al.*, 1995; Rashed & Weeks, 2003). A pesar de ello, existen escasas referencias

propiamente de aplicación de los SIG al análisis de la vulnerabilidad territorial a los desastres naturales.

Para el estudio de la vulnerabilidad territorial, el enfoque que proponemos integra aspectos de diversos marcos conceptuales existentes acerca de la vulnerabilidad frente a desastres naturales (Adger, 2006; Chambers & Chambers, 2006; Watts & Bohle, 1993; Blaikie *et al.*, 1994; Wisner *et al.*, 2004; Birkmann, 2006; Turner *et al.*, 2003; Cutter, 1996; Carreño *et al.*, 2004).

### 3. Material, datos y métodos

#### 3.1. Zona de estudio y unidades geográficas de análisis

El ámbito geográfico sobre el que vamos desarrollar el análisis de la vulnerabilidad territorial es la isla de Mallorca, excluyendo el municipio de Palma. Las especiales características de Palma, como principal núcleo de población de la isla con más de 400.000 habitantes y la concentración de una gran parte de las grandes infraestructuras y equipamientos, hacen aconsejable que sea objeto de un estudio específico de mayor detalle por lo que no se ha considerado oportuno incluirla en este trabajo. La isla de Mallorca es la de mayor tamaño del Archipiélago Balear junto a las islas de Menorca, Ibiza y Formentera. Está situada en el Mediterráneo Occidental, posee una superficie de 3.367 Km<sup>2</sup>. Se localiza a unos 160 Km de la Península Ibérica. Una forma romboidal flanqueada por dos entrantes correspondientes a las Bahías de Alcúdia y Pollença al Norte y a la Bahía de Palma al Sur. La distancia máxima de Norte (Cap de Formentor) a Sur (Cap de ses Salines) es de unos 79 Km, mientras de Oeste (Sant Elm) a Este (Capdepera) es de unos 96 Km. La isla de Mallorca cuenta con 53 municipios ([figura 1](#)).

#### 3.2. Vulnerabilidad Territorial Integrada frente a desastres naturales

La aproximación al estudio de la vulnerabilidad territorial que proponemos asume las siguientes premisas:

- El ámbito geográfico objeto de análisis debe dividirse en unidades espaciales, sean municipios o unidades espaciales homogéneas (retículas). Se obtiene un valor de vulnerabilidad para cada unidad de forma independiente. Para el análisis de la vulnerabilidad de Mallorca se distinguen dos unidades geográficas de análisis:
  - El término municipal (**EL**: escala local). La utilización del término municipal como unidad geográfica de análisis es adecuada para la planificación del riesgo a un nivel regional, pero es poco operativa a otros niveles que exijan mayor precisión.
  - Píxeles de tamaño variable (**EP**: Escala Pixel). Este tipo de unidad geográfica puede proporcionar mayor precisión geográfica, pero tiene la desventaja de que la disponibilidad de información socioeconómica es mucho menor. Se han tomado dos niveles de precisión

(retículas de 5x5 Km y de 1x1 Km) con objeto de dar respuesta a una planificación de riesgos tanto de tipo local como zonal.

- El espacio geográfico se divide en un conjunto de componentes interrelacionadas entre las que se incluyen: la población, las infraestructuras, las construcciones, la ocupación del suelo y el medio ambiente natural. La vulnerabilidad frente a los desastres es una propiedad manifestada por cada una de dichas componentes y su integración da lugar a una propiedad territorial holística. El modelo admite que puedan incluirse nuevas componentes o descartarse alguna por falta de información.
- La consideración de la vulnerabilidad frente a desastres naturales como un atributo multifactorial en el que intervienen factores ligados a la localización geográfica (exposición), así como factores físicos de los elementos territoriales (vulnerabilidad intrínseca) y también factores sociales vinculados a la población y su capacidad de hacer frente al desastre (vulnerabilidad social).
- La consideración de la incertidumbre en la valoración en determinados factores de la vulnerabilidad. Se asume que los valores de vulnerabilidad (en términos económicos) para una unidad geográfica no son exactos sino que su distribución sigue una función de probabilidad de forma que oscila entre un rango de valores.

Se han propuesto diversas expresiones para el análisis del riesgo territorial. En las mismas, la vulnerabilidad suele aparecer como un factor clave del riesgo. Sin embargo, son escasas las expresiones matemáticas específicas para el cálculo de la vulnerabilidad frente a desastres.

Proponemos la siguiente expresión para representar la vulnerabilidad territorial integrada frente a desastres naturales (VTI) de cada unidad geográfica:

$$VTI_{(x)} = ETR_{(x)} \cdot Vi_{(x)} \cdot Vs_{(x)} \quad (1)$$

Siendo:

- *VTI*: La vulnerabilidad territorial integrada. Se expresa en unidades económicas.
- *(x)*: La unidad geográfica (municipio, retícula).
- *ETR*: La exposición territorial. Entendida como la población y bienes localizados en la unidad geográfica (*x*) expuestos a los peligros naturales (e.g. edificaciones o cultivos ubicados en una zona en peligro de inundación). Esta variable se expresa en unidades económicas.
- *Vi*: La vulnerabilidad intrínseca. Entendida como la susceptibilidad de una determinada población y bienes ubicados en la unidad geográfica (*x*) a los diferentes peligros naturales a los que se halle expuesto (e.g. una edificación de madera tiene una alta vulnerabilidad intrínseca frente al incendio forestal). Se expresa en porcentaje.
- *Vs*: La vulnerabilidad social. Entendida como el conjunto de capacidades específicas de la población de un ámbito geográfico de hacer frente a un potencial desastre natural. Se expresa en valor porcentual.

La Exposición Territorial la descomponemos en dos componentes:

$$ETr_{(x)} = Tp_{(x)} Va_{(x)} \quad (2)$$

Tal que:

- *ETr*: Exposición Territorial. Se expresa en unidades económicas.
- *Tp*: Representa el porcentaje de territorio expuesto de la unidad geográfica (*x*) que está expuesto a los peligros naturales. (Territorio Expuesto). Se expresa en porcentaje.
- *Va*: Representa el valor territorial de la unidad geográfica (*x*) expresado en unidades económicas (Valor).

Si reformulamos la expresión (1), descomponiendo la exposición territorial en sus componentes:

$$VTI_{(x)} = (Tp_{(x)} Va_{(x)} Vi_{(x)} Vs_{(x)}) \quad (3)$$

*VTI*: Vulnerabilidad territorial integrada (euros)  
*x*: unidad geográfica de estudio(municipio/retícula)  
*Va*: Valor Territorial (euros)  
*Tp*: Territorio expuesto (%)  
*Vi*: Vulnerabilidad intrínseca (%)  
*Vs*: Vulnerabilidad social (%)

Vamos a considerar que el valor territorial (*Va*) y la vulnerabilidad social (*Vs*) no son variables discretas sino continuas. Para su representación utilizaremos funciones estadísticas de probabilidad (e.g. normal, triangular, beta, etc.) (Apéndice 1). El cálculo del valor territorial o la vulnerabilidad social de cada unidad geográfica se obtendrá mediante un proceso de simulación matemática (*Montecarlo, Hypercube, etc.*) que dará lugar a un rango de valores (mínimo, medio, máximo).

La utilización de funciones de densidad para expresar distintos factores de la vulnerabilidad ayuda a representar la incertidumbre asociada a su valoración. Es decir, la vulnerabilidad territorial de un ámbito geográfico no va a adquirir un valor absoluto, sino un rango de valores expresados por una función de densidad.

Si consideramos los distintos tipos de peligros naturales a los que se haya potencialmente expuesta cada unidad geográfica considerada y los diversos factores territoriales que convergen en la misma, la expresión de la vulnerabilidad territorial integrada frente a desastres naturales (3) se podría expresar de la siguiente forma (Ruiz Pérez, 2011):

$$VTI_{(x)} = \sum_{ft=1}^m \left( \frac{\sum_{p=1}^n ((Tp_{p(x)} Va'_{ft(x)}) Vi_{p ft(x)}) Vs'_{(x)}}{n} \right) \quad (4)$$

*x*: unidad geográfica  
*ft*: factor territorial (población, infraestructuras/equipamientos, construcciones, ocupación suelo, medio natural.)  
*m*: número de factores territoriales considerados  
*p*: peligro natural (inundación, deslizamientos, incendios, terremoto, tsunami, etc.)  
*n*: número de peligros considerados  
*Tp*: Territorio en peligro (%)  
*Va'*: Valor de los factores territoriales (Función de probabilidad) (euros)  
*Vi*: Vulnerabilidad Intrínseca (%)  
*Vs'*: Vulnerabilidad social (Función de probabilidad) (%)

### 3.3. Metodología para el cálculo de las componentes de la vulnerabilidad territorial integrada en la isla de Mallorca

#### 3.3.1. Exposición territorial (Vulnerabilidad por Exposición).

A partir del producto del Territorio Expuesto a los diferentes peligros territoriales considerados (inundación, deslizamiento, incendio, sísmico) y el Valor Territorial Integrado obtenemos el grado de exposición territorial, que se expresa en unidades económicas (2) ([figura 3](#)).

La exposición territorial cuantifica la relación entre el valor de la unidad geográfica (euros) y los peligros a los que se haya expuesta (%). Esto supone una limitación geográfica del modelo ya que se evalúa el porcentaje de peligro a la que se encuentra expuesta una unidad geográfica (municipio, retícula) y de forma independiente su valor económico integrado. El producto del territorio expuesto (%) por el valor (euros), da lugar a un valor económico que consideramos la Exposición Territorial.

A mayor tamaño de unidad territorial considerada, mayor error potencial podrá cometerse en su cálculo. En este sentido, puede ser habitual que los valores territoriales de una unidad geográfica (e.g. municipio) se distribuyan en una zona que no esté expuesta ningún peligro, sin embargo, en otra zona de la misma unidad geográfica si exista exposición. En este caso la unidad geográfica contaría con un valor económico y un porcentaje de territorio expuesto que darían lugar a un falso valor de vulnerabilidad por exposición<sup>1</sup>. A pesar de que el modelo cuenta con este nivel de incertidumbre implícita, sus resultados son adecuados para tener una primera aproximación al nivel de exposición. Hay que considerar, que no siempre las cartografías de peligros son suficientemente precisas, que la integración territorial de los peligros tampoco suele ser considerada, así como la existencia de peligros cuya distribución geográfica sea generalizada para todo un ámbito territorial (e.g. peligro sísmico). Consideramos que conocer el valor de una unidad geográfica y de los peligros potenciales a los que puede estar expuesta, es un primer paso para el análisis y la gestión de riesgos territoriales.

#### A) Cálculo del Territorio en Peligro ( $T_p$ )

No equivale propiamente peligro, representa el porcentaje de la unidad geográfica expuesto. El modelo propuesto no considera una variación en la magnitud del peligro, simplemente identifica si una unidad está o no expuesta y evalúa su proporción respecto al total de la unidad ([figura 2](#)).

La función de análisis espacial utilizada para el cálculo del territorio en peligro es la superposición cartográfica de las cartografías de peligros, con las unidades geográficas (peligros x municipios, peligros x retículas).

Se han considerado cuatro tipos de peligros: inundación, deslizamientos, incendios forestales, terremotos.

El mapa de peligro de inundación que se ha tomado de referencia para el estudio del territorio expuesto es el realizado por la Dirección General de Emergencias de la Consejería de Interior del Gobierno de las Islas Baleares para la elaboración del Plan Especial frente al Riesgo de Inundaciones que fue aprobado por el Decreto 40/2005 de 22 de abril de 2005 y publicado en el Boletín Oficial de la Comunidad Autónoma de las Islas Baleares el día 23 de septiembre de 2005 (BOIB núm. 141 Ext.). Dicho mapa se realizó en base al *Atlas de las redes de drenaje y planas de inundación de las Islas Baleares* de la Dirección General de Recursos Hídricos del Gobierno Balear, 2001. El total de superficie expuesta a peligro de inundación en la isla de Mallorca es de 16.051,3 hectáreas, lo que supone un 4,43 % del territorio insular

El mapa de peligro de deslizamientos que se va a considerar es el que el Plan Territorial de Mallorca (Consell de Mallorca, 2004) utiliza para la identificación de las zonas de protección urbanística frente al riesgo.

El mapa de peligro de incendios utilizado de base es el de Peligro de Incendio del III Plan General de Defensa contra Incendios Forestales de las Islas Baleares, aprobado por Acuerdo del Consejo de Gobierno el día 22 de marzo de 2002 y publicado en el Boletín Oficial de las Islas Baleares de 11/07/2002.

El mapa de peligro sísmico utilizado ha sido el realizado por la Dirección General de Emergencias de la Conselleria de Interior y Función Pública del Govern de les Illes Balears y empleado para la redacción del Plan especial frente al riesgo Sísmico (Decreto 39/2005, de 22 de abril, BOIB. En esta investigación vamos a considerar todo el territorio de Mallorca expuesto al peligro sísmico de forma global, a pesar de que se pueden dar variaciones significativas en cuanto a su intensidad.

Se ha creído oportuno, integrar la exposición al conjunto de peligros para cada unidad territorial, a lo que hemos llamado *Territorio Expuesto*. Para ello se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\text{Territorio Expuesto} = 0,25 * \% \text{ Exposición Territorial al peligro inundación} + 0,25 * \% \text{ Exposición Territorial al peligro de deslizamiento} + 0,25 * \% \text{ Exposición Territorial al peligro de incendio} + 0,25 * \% \text{ Exposición Territorial al peligro de terremoto} \quad (5)$$

Multiplicamos el valor de exposición a cada peligro por un peso de 0,25 para que el valor máximo de territorio expuesto sea la unidad (puesto que se evalúa la exposición a 4 peligros naturales, se da el mismo peso a cada uno de ellos, y se obtiene el valor promedio de exposición). Un valor máximo 100% significaría que la unidad geográfica está globalmente afectada por los cuatro peligros naturales considerados ([tabla 1](#)).

## B) Cálculo del Valor Territorial (Va')

El modelo territorial de vulnerabilidad que se propone, simplifica el espacio geográfico en cinco factores: la población (POB), las infraestructuras/equipamientos (IN), las construcciones

(CON), la ocupación agrícola del suelo (OA) y el medio ambiente natural (MAN). El valor territorial de cada unidad geográfica es función del sumatorio del valor que alcanza cada uno de dichos factores para cada unidad geográfica.

$$\text{Valor Territorial Integrado} = \sum POB + IN + CON + OA + MAN \quad (6)$$

- Valor de la población

Valor de la población para la unidad geográfica municipal. En primer lugar se obtiene la población municipal a partir del Padrón de Habitantes de 2008 del Instituto Nacional de Estadística. La información representa la población de derecho de los municipios por lo que no se ajusta adecuadamente a la realidad dinámica de la población en los municipios de Mallorca. El pequeño tamaño de la isla y el carácter turístico de una gran parte de municipios supone una gran variabilidad en la población municipal. Por ello, se ha considerado necesario corregir dicha población con la población vinculada, tal y como se entiende en el Censo del INE (2001) así como también tener en cuenta la población turística derivada del número de plazas turísticas existentes en cada municipio.

Para la corrección con la población vinculada se obtiene un coeficiente de corrección (porcentaje de población vinculada) según la siguiente expresión:

$$\text{Coeficiente de población vinculada (CPV)} = (\text{Población vinculada} - \text{Población de derecho}) / \text{Población de derecho} \quad (7)$$

La aplicación de dicho coeficiente sobre la población de derecho, se realiza según la expresión siguiente:

$$\text{Población municipio} = \text{Población de derecho} + \text{Población de derecho} * \text{CPV} \quad (8)$$

La incorporación de la población turística se realiza a partir de la consideración de las plazas turísticas por municipio. El número de plazas turísticas se obtiene del Instituto de Estadística de las Islas Baleares (IBESTAT, 2011).

Puesto que tanto los datos de población vinculada, como el número de plazas turísticas a nivel municipal no se conoce con suficiente precisión para el año 2008 (por estar referido a 2001/2005) se ha creído oportuno desarrollar un modelo de simulación, en el que el porcentaje de población vinculada y el número de plazas turísticas se exprese mediante una función estadística de densidad de tipo triangular acotada. Para el cálculo de la población turística potencial se calcula un coeficiente de plazas turísticas, obtenido a partir de la población residente del municipio. El valor mínimo se asimila a la población de derecho menos una variación del 20%, el valor medio vendría definido por la población de derecho y el valor máximo incluiría la población de derecho más la población vinculada y la población turística.

$$\text{Población Total} = \text{RiskTriang} (\text{Min}; \text{Med}; \text{Max})$$

$$M : \text{Población Residente} - 0.2 * \text{Población Residente}$$

$$\text{Med: Población Residente}$$

$$\text{Max: Población Residente} + \text{Población Residente} * \text{Coef. Población vinculada} + \text{Población Residente} * \text{Coef. Plazas Turísticas}$$

(9)

Se realiza una simulación de tipo *Latin Hypercurve* de diez mil casos, obteniendo un modelo de distribución de la población específico para cada uno de los municipios de Mallorca. De esa forma se obtiene un valor máximo, mínimo y medio de población en cada municipio.

Con objeto de poder integrar la información referente a la población como un factor económico en el modelo de valoración se ha optado por asignar un valor económico relativo a cada persona que oscila entre 70.000 € mínimo, 90.000 € media y 120.000 € máximo. Obviamente, la vida no tiene precio y podría optarse por realizar un tratamiento separado de esta variable. Sin embargo, la realidad es que las compañías de seguros y la propia administración asignan un valor económico a las vidas y que utilizan para compensar a los familiares de las víctimas de accidentes. Hemos basado nuestra propuesta metodológica en la normativa establecida en esta materia, en concreto en la Resolución de 24 de enero de 2006, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, por la que se da publicidad a las cuantías de las indemnizaciones por muertes, lesiones, permanentes e incapacidad temporal que resultaron de aplicar durante 2006, el sistema para valoración de los daños y perjuicios causados a las personas en accidentes de circulación (Ministerio de Economía y Hacienda, BOE nº 29, 3 de febrero de 2006).

Dada la gran variabilidad existente en el territorio de Mallorca en cuanto a número de personas y su localización hemos realizado un modelo de simulación matemático ([figura 4](#)) que permite conocer en cada unidad geográfica el rango de variabilidad potencial de la población y de su valor económico. Para ello se cuenta con los datos de población de derecho y población máxima potencial en cada municipio. Se ajusta una función estadística del tipo triangular para cada unidad geográfica (nivel municipal) ([figura 4](#)) según las siguientes expresiones:

$$\text{Población Unidad Geográfica} = \text{Triang} (\text{pob. mínima}, \text{pob. media}, \text{pob. máxima})$$

$$\text{Pob. mínima: Población de derecho unidad U1 menos una variación de un 20 \%}$$

$$\text{Pob. media: Población de derecho unidad U1}$$

$$\text{Pob. máxima: Población de derecho, más población vinculada, más población turística de la unidad U1.}$$

$$\text{Valor Población:}$$

$$\text{Valor Unidad (U1) Triang (mínimo pob., pob. Media, pob máxima) x Triang (70.000, 90.000, 120.000)}$$

(10)

Población en retículas de 5 Km / 1 Km. Se parte de información de la población proporcionada por el Padrón del INE 2008 para secciones censales. Se asume que la población se localiza en las construcciones y se calcula la población potencial en cada construcción. Para ello, se utiliza la capa de construcciones de la Cartografía Topográfica de la Conselleria de Movilidad y Ordenación del Territorio del Gobierno Balear del año 2006. Dicha capa contiene un fichero de tipo vectorial de polígonos que representa la planta de cada construcción. Se ha creído conveniente

realizar la corrección de la superficie de las edificaciones incorporando el número de plantas, en especial para las zonas urbanas. Para ello se han identificado las construcciones ubicadas en zonas urbanas a partir de la cartografía de núcleos de población de la Encuesta de Infraestructuras y Equipamiento Local (EIEL) (MHAP, 2011) y se ha multiplicado su superficie por un coeficiente de 2,0 para todos los núcleos urbanos a excepción de Inca y Manacor que se ha utilizado un coeficiente de 2,5 por entender que el promedio de número de plantas es mayor en estos municipios.

Para asignar una población a cada edificación, calculamos el total de superficie edificada para cada sección censal. A partir de dicho valor dividimos la población total de la sección censal entre los metros cuadrados de superficie edificada y calculamos un índice de población por metro cuadrado edificado para cada sección censal (*Habitantes/m<sup>2</sup>*). A partir de dicha información es posible calcular la población potencial de cada construcción:

$$\text{Población por construcción} = \text{Superficie construcción (m}^2\text{)} \times \text{Habitantes/m}^2 \quad (11)$$

También se ha considerado relevante integrar la población vinculada y la población turística potencial en cada una de las construcciones. Para el análisis de la población vinculada se aplica el porcentaje de población vinculada obtenido para cada municipio (comentada anteriormente) y se aplica a cada una de las construcciones.

Para el análisis de la población turística, hay que considerar que se dispone como única fuente de datos del número de plazas hoteleras por municipio del Instituto de Estadística Balear para el año 2008. El procedimiento realizado es la identificación de las zonas turísticas de Mallorca a partir de la cartografía del Plan de la Oferta Turística y asignar a las construcciones de su interior el número de turistas derivado de las plazas hoteleras.

A partir de la información de la población localizada en cada píxel (5x5 Km, 1x1 Km) realizamos el cálculo de su valor económico en base a la aplicación de la misma metodología utilizada para la estimación del valor de la población municipal. Para ello, asignamos un valor variable a cada persona entre 70.000 y 120.000 euros, mediante la utilización de una función estadística de tipo triangular. A continuación realizamos sendos modelos de simulación para obtener la distribución probable de la población en cada retícula.

#### - Valor de las infraestructuras y los equipamientos

Las infraestructuras y equipamientos son elementos territoriales que proporcionan los medios adecuados para el desarrollo correcto de las actividades que los seres humanos desarrollan en el territorio. Algunas de dichas infraestructuras son consideradas esenciales por el papel que juegan en dotar de calidad de vida a las personas (suministro energético, suministro y depuración de aguas, transporte y comunicaciones, telefonía, equipamiento sanitario, equipamiento escolar, equipamiento de seguridad, etc.).

El inventario y valoración de las infraestructuras existentes en el territorio de Mallorca se ha realizado en base a la información cartográfica proporcionada por el Consell de Mallorca de la

Encuesta de Infraestructuras y Equipamientos Locales (EIEL, 2005).

Las infraestructuras que se han tenido en cuenta atendiendo a su tipología y entidad cartográfica representativa han sido las siguientes:

- Información de tipo puntual: aliviaderos, depósitos, bocas de riesgo, captaciones, puntos de luz, registro pozos, hidrantes, válvulas, tratamiento potabilización, sumideros, puertos deportivos, centrales eléctricas.
- Información de tipo lineal: colectores, conducciones, red distribución agua, red alcantarillado, red eléctrica, red carreteras, red ferroviaria.
- Información de tipo poligonal: emisarios, depuradoras, bombas impulsión, equipamientos municipales.

El valor económico de las infraestructuras se ha obtenido mediante un modelo de simulación cuyo funcionamiento consta de las siguientes fases:

- En primer lugar se ha proporcionado un valor estandarizado mínimo, medio y máximo para cada unidad de medida de las infraestructuras consideradas:
  - Infraestructuras representadas por entidades puntuales: valor mínimo, medio y máximo por infraestructura.
  - Infraestructuras representadas por entidades lineales: valor mínimo, medio y máximo por metro lineal.
  - Infraestructuras representadas por entidades poligonales: valor mínimo, medio y máximo por metro cuadrado.

El coste económico asignado a cada infraestructura es un valor aproximado obtenido a partir de tablas de precios de equipamientos y construcciones (Ruiz Pérez, 2011, pp. 386).

Mediante una operación de superposición cartográfica, se computa el número de unidades, metros lineales o metros cuadrados de cada infraestructura para cada unidad geográfica considerada: municipio, retícula 5 Km, y retícula de 1 Km.

Para incorporar un factor de incertidumbre en el valor económico de cada elemento, se construye una función estadística de densidad de tipo triangular que representa el valor económico de cada elemento. La función se acota en los extremos a un valor mínimo igual a la mitad del valor propuesto y máximo al doble del valor propuesto.

$$\text{Valor Infraestructuras} = \text{RiskTriang}(\text{Min}; \text{Med}; \text{Max})$$

(12)

Finalmente se realiza el cálculo del valor económico de cada infraestructura contenido en cada unidad geográfica mediante el producto del número de unidades, metros lineales o metros cuadrados por la función estadística que representa su respectivo valor. Para ello se implementa un modelo de simulación de obteniendo un valor máximo, mínimo y medio para cada retícula

Los valores obtenidos deben entenderse como una aproximación al coste de las infraestructuras. Sin duda arrastran un error considerable que podrá subsanarse a medida que se

refine el valor medio asignado a cada infraestructura. A pesar de ello, aportan una valiosa información del modelo de distribución de las infraestructuras en el territorio lo cual es de gran utilidad para el cálculo de la exposición a los peligros naturales.

- *Valor de las construcciones*

La valoración económica de las construcciones se ha realizado utilizando el método del cálculo de presupuesto de referencia en base a los costes de la construcción tipo de las Islas Baleares propuesto por el Colegio de Arquitectos de Baleares 2007 (COAIB, 2011). Se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Valor Construcción} = \sum (\text{superficie en m}^2 \times \text{Coeficiente } Q \times \text{Coeficiente } M \times \text{Coeficiente } C) \times \text{Módulo Mes}$$

*Q: Coeficiente de calidad. Nivel de calidad de edificaciones. Oscila entre 0,8 (viviendas protección oficial) y 1,2 (nivel superior al estándar).*

*M: Coeficiente moderador. Superficie de la promoción, oscila entre 0,85 (superficie mayor a 5.000 m<sup>2</sup>) y 1 (superficie hasta 2.000m<sup>2</sup>).*

*C: Coeficiente de tipología constructiva. Oscila entre 1,4 (garajes planta baja) a 3,5 hospitales.*

*Módulo Mes: Euros asignados por actuación para cada mes del año.*

(13)

A partir de la base cartográfica 1:5.000 del año 2006 de la Consejería de Movilidad y Ordenación del Territorio del Gobierno de las Islas Baleares se ha seleccionado la capa de construcciones y a partir de los datos de la EIEL, se obtiene la cartografía de núcleos de población. Tal como se hizo para el análisis de la población, se identifican las construcciones sobre zona rústica y las construcciones sobre núcleos de población y se corrigen sus superficies en base a un número de alturas promedio. A continuación, por superposición cartográfica se realiza el cálculo de la superficie construida en núcleos de población y zonas no urbanas o para cada unidad geográfica considerada (municipio, retículas 5x5 Km, retículas 1x1 Km).

$$\text{Superficie construida Unidad Geográfica} = \text{Superficie Construida Núcleos población} + \text{Superficie Construida diseminada}$$

(14)

El cálculo del valor de las construcciones se realiza a partir de la implementación de un modelo de simulación matemático en el que se utiliza una función estadística de tipo triangular para representar cada uno de los coeficientes que incorpora la fórmula de valoración utilizada:

$$\text{Coste económico} = \sum (\text{superficie en m}^2 \times \text{Coeficiente } Q \times \text{Coeficiente } M \times \text{Coeficiente } C) \times \text{Módulo Mes}$$

*Coeficiente Moderador Q. Se establece un coeficiente de calidad variable 0,8 a 1,2*

*Coeficiente M. Se establece un coeficiente moderador también variable 0,85 a 1.*

*Coeficiente C. Se establece un coeficiente de tipología constructiva variable entre 1,5 mínimo a 3.*

*Número de Plantas. Se establece una altura edificatoria variable de 1 a 3 alturas para las zonas urbanas y de 1 a 2 alturas para las zonas diseminadas. Se ajusta a una función de distribución estadística triangular zonas urbanas (mínimo 1, media 2, máximo 3), zonas rústicas (mínimo 1, media 1,5, máximo 2).*

*Módulo Mes: Euros asignados por actuación para cada mes del año. Se ha tomado el valor para el mes de Diciembre de 2008 de 685 euros.*

(15)

Como resultado del proceso de simulación se obtiene el valor económico mínimo, máximo y medio por unidad geográfica para las construcciones en suelo urbano y para construcciones en suelo rústico.

- *Valoración económica suelo rústico*

Para la evaluación del valor económico del suelo rústico se toma como base la Instrucción 3/2007 de 21 de diciembre, de la Conselleria de Economía, Hacienda e Innovación del Gobierno de las Islas Baleares por la cual se establecen los criterios que los órganos competentes deben considerar para la comprobación del valor real de los bienes inmuebles situados en el territorio de las islas Baleares en el impuesto sobre transmisiones patrimoniales. En dicha norma se establece un método de valoración económica del suelo rústico que aplica la siguiente fórmula <sup>2</sup>:

$$\text{Valor Real} = \text{Valor Básico} \times \text{Coef. tipo de cultivo} \times \text{Coef. Clasificación Territorial} \times \text{Coef. de Acceso} \times \text{Coef. del Entorno} \quad (16)$$

Se crea una capa de información geográfica para el valor territorial y para cada uno de los coeficientes considerados. El cálculo del valor del suelo rústico se realizó mediante un modelo de integración cartográfica SIG. El valor final se obtiene por integración de los mapas y obtiene así el mapa de Valor Territorial del Suelo Rústico.

- *Medio Natural*

El medio ambiente natural juega un papel fundamental en el desarrollo de la actividad humana. Un medio natural degradado a causa de un desastre natural es una pérdida del patrimonio territorial de gran relevancia. El modelo de desarrollo económico actual exige el mantenimiento de unos niveles aceptables de calidad ambiental. La biodiversidad, la calidad del paisaje, el valor de la vegetación o de la fauna, son valores importantes a preservar. La consideración del medioambiente como componente de la vulnerabilidad territorial tiene su explicación en el papel que juega como soporte de la actividad humana. En el caso de Mallorca, es especialmente relevante la importancia del medio natural en el mantenimiento de su actividad turística.

La valoración del medio ambiente es una tarea compleja, si cabe más aún que las infraestructuras y los usos del territorio ya que los métodos de valoración se basan más en una evaluación de valores intangibles que en una valoración directa. En este trabajo vamos a hacer uso de los resultados publicados del trabajo de Brenner (Brenner, G., 2007) que realiza un estudio del valor de las coberturas del suelo en función de los servicios que proporcionan sus ecosistemas a partir de un minucioso análisis bibliográfico. A partir de la construcción de una cartografía de ocupación del suelo con las categorías propuestas en la metodología de Brenner será posible el cálculo del valor económico de los ecosistemas. Obtenemos así un valor económico para cada unidad geográfica.

#### - Valor Territorial integrado

A partir de la suma de los valores del conjunto de factores territoriales considerados podemos obtener el Valor Territorial Integrado por unidad geográfica. Dado que alguno de los valores se expresa en forma de funciones de probabilidad, se ha realizado una simulación de 10.000 casos según un modelo de muestreo *LatinHypercube* y se obtiene así un modelo de distribución para el cálculo del valor de cada unidad geográfica. El modelo de distribución obtenido da lugar a un valor máximo, un valor medio y un valor mínimo para cada unidad geográfica (6).

#### 3.3.2. La vulnerabilidad territorial intrínseca ( $V_i$ )

La  $V_i$  hace referencia a las características individuales de los elementos del territorio en relación a su susceptibilidad frente a los distintos peligros. Se distinguen dos niveles: las características intrínsecas propias del territorio expuesto relacionadas con su localización geográfica (e.g. accesibilidad territorial, proximidad a centros de emergencia, visibilidad territorial, etc.) y las características intrínsecas de los elementos expuestos que les hace vulnerables (e.g. tipo de material constructivo, tipologías edificatorias, capacidad resistencia al viento por parte de cultivos, etc.). La  $V_i$  se expresa en valor porcentual (tanto por uno) indicando un nivel de vulnerabilidad 1 para aquellos elementos que presentan máxima vulnerabilidad. En este trabajo no vamos a considerar este factor, a efectos de simplificación.

#### 3.3.3. Vulnerabilidad social ( $V_s$ )

Este factor integra el conjunto de aspectos sociales que describen la capacidad de adaptación y respuesta de la población al evento catastrófico. Su cálculo se realiza en las siguientes fases:

- Identificación de los factores que intervienen en la vulnerabilidad social y selección de sus indicadores, en base a las referencias existentes y la información disponible. En el caso que nos ocupa se han tenido en cuenta diversos factores: factores demográficos (e.g. edad población, población inmigrante), factores sociales de la comunidad (e.g. nivel formación de la población, grado de cohesión de la comunidad, etc.), factores económicos (nivel económico de la población, valor territorial, etc.), factores infraestructurales (e.g. acceso a tecnologías de la información, centros sanitarios, características de las viviendas, etc.).

$$V_s = \text{Factor } 1 + \text{Factor } 2 + \dots + \text{Factor } n$$

$$\text{Factor } 1 = \text{Valor Indicador } 1.1. + \dots + \text{Valor indicador } m$$

- Asignación de un peso representativo de cada factor y a cada indicador.
- Para ello se ha realizado una encuesta a un panel de 25 expertos que proponen un peso numérico a cada uno de los factores propuestos en una escala 1/10 que representa la

importancia de dicho parámetro en la vulnerabilidad social. El panel estuvo formado por un grupo multidisciplinar de especialistas de diversas materias relacionadas con la vulnerabilidad frente a desastres naturales.

Los indicadores y pesos se normalizan con objeto de poder ser integrados, de forma que el valor máximo de la vulnerabilidad social sea como máximo la unidad.

$$VS(x) = w1 v1 + w2 v2 + \dots + wm vm$$

(x) Unidad geográfica  
m es el número de factores  
w1... wm. es el peso de los factores  
v1... vm unidades de vulnerabilidad ambiental asignadas a cada factor  
w1+w2 +...+wm = 1  
1 >= VS >= 0  
(16)

Consideramos que el peso de las variables no es constante (ya que podrían establecerse unos márgenes de variabilidad, en base a los pesos asignados en la encuesta realizada al panel de expertos) por lo que también podría ajustarse a una función de probabilidad:

$$Vs = f(w1) v1 + f(w2) v2 + \dots + f(wm) vm$$

f(w): funciones de densidad  
(17)

El valor de las variables v1, v2... vm se expresa en porcentaje de vulnerabilidad social.

### 3.3.4. Vulnerabilidad Territorial Integrada

Calcularemos la vulnerabilidad territorial integrada a partir producto del la Vulnerabilidad por Exposición y la Vulnerabilidad Social de cada unidad geográfica. Dado que disponemos de un valor mínimo, máximo y medio para cada unidad geográfica, procederemos realizando un modelo de simulación matemática (ajustando una función estadística triangular, como las anteriormente explicadas) para cada unidad geográfica y obteniendo un valor mínimo, medio y máximo de vulnerabilidad territorial integrada para cada unidad geográfica ([figura 5](#)) ([tabla 3](#)).

### 3.4. Instrumentos tecnológicos utilizados

La puesta en marcha del modelo de vulnerabilidad propuesto se ha realizado a partir de la utilización de diversos programas informáticos:

- El programa de SIG utilizado ha sido ArcMap vers. 9.3/ver. 10.0 ESRI ©. [Consulta: 12.10.2011]. Disponible en: <http://www.esri.com/>
- Sistema de simulación. Se ha hecho uso del programa @ Risk Pallisade © [Consulta: 12.08.2011] (Disponible en: <http://www.palisade.com/>) para el desarrollo de los modelos de

simulación de vulnerabilidad. Su uso se realiza desde la hoja de cálculo Microsoft Excel ©. Para el desarrollo de los modelos se ha utilizado la versión demostrativa gratuita pero con toda su funcionalidad, descargable desde la Web del programa.

- Sistema de encuestas on-line. Para la realización de un formulario de valoración de la vulnerabilidad social a través de internet se ha configurado el programa LimeSurvey [Consulta: 12.08.2011]. (Disponible en: <http://www.limesurvey.org/>)

#### 4. Descripción y análisis de resultados

##### 4.1. Territorio expuesto

En general, puede decirse que en la isla de Mallorca se observa un nivel de territorio expuesto a inundación de escasa relevancia. Solo los municipios de Campos, Muro y sa Pobla superan el 20% de territorio expuesto. Este hecho se produce porque Muro y sa Pobla se encuentran en la zona de influencia de la Albufera de Mallorca (la principal zona húmeda de la isla) y el municipio de Campos incluye el Salobrar. Ambos enclaves son susceptibles de anegarse frecuentemente por lo que sus valores de exposición son muy elevados ([tabla 1](#)).

La exposición a los peligros de deslizamientos se relaciona de forma directa a la topografía. Los municipios que presentan mayores pendientes son los que también manifiestan mayor exposición al peligro por deslizamiento. Destacan en especial los municipios ubicados en la Serra de Tramuntana: Deià, Fornalutx, Estellencs, Banyalbufar, Escorca, Sóller, Valldemossa, todos ellos superan el 50% del territorio expuesto. En segundo término, habría que señalar algunos municipios del Raiguer, como Campanet, Lloseta y Santa Maria y de las Serres de Llevant como Artà, así como el municipio de Calvià cuya superficie expuesta oscila entre el 10 y el 30%. Escorca concentra el 16% de las zonas en peligro de deslizamiento de Mallorca, seguido por Pollença con el 11,35 % y Bunyola con el 7,06 % y el resto de municipios de la Serra de Tramuntana.

El modelo de distribución de la exposición municipal al peligro de incendio forestal parece seguir una pauta relacionada a la topografía, ya que la localización de las zonas de matorral, pinar y encinar que concentran el peligro suelen ubicarse en zonas con topografía significativa. Destacan significativamente los municipios la Serra de Tramuntana, como Escorca, Fornalutx y Banyalbufar superando el 80% de su territorio, o Andratx, Bunyola, Esporles, Estellencs, Puigpunyent, Pollença, Sóller y Valldemossa que superan el 65%.

Entre los municipios con mayor nivel de Territorio Expuesto están al frente una gran parte de municipios de la Serra de Tramuntana por el hecho de acumular peligros de deslizamiento e incendios (Fornalutx, Escorca, Deià, Banyalbufar, Estellencs, Sóller, Valldemossa, Puigpunyent). En segundo término destacan los municipios de Artà y Capdepera al Noroeste de de la Isla. En los cuales coinciden también los peligros de deslizamiento e incendios en las Serres de Llevant. Las áreas menos expuestas se localizan en el Raiguer y Pla de Mallorca (Binissalem, Consell, Llubí, Montuïri) ([figura 6](#)).

#### 4.2. Valor territorial

Valor población. Los resultados de la simulación muestran la mayor valoración económica derivada de la población de los municipios turísticos costeros: Calvià (3.000-14.000 millones de euros), Manacor, Lluçmajor, Alcúdia, Capdepera, Santa Margalida, Felanitx, Santanyí. En segundo término, aparecen municipios interiores cuya población residente es elevada: Marratxí, Inca. Posteriormente, aparecen el resto de municipios de Mallorca, mostrándose, en último lugar, los menos poblados, ubicados en la Serra de Tramuntana.

Valor infraestructuras. La distribución geográfica de las infraestructuras y equipamientos en Mallorca sigue unas pautas que reproducen en parte el modelo de distribución de la población. Existe una correlación elevada entre población y valor de las infraestructuras. Sin embargo, la naturaleza supramunicipal de algunos equipamientos desequilibra esta tendencia. De hecho, la instalación de algunas infraestructuras/equipamientos (depuradoras, potabilizadoras, escuelas, puertos, autopistas, etc.) en municipios pequeños, puede dar lugar a resultados de difícil interpretación cuando la unidad geográfica de análisis es el municipio.

A nivel municipal se observa que el municipio de Marratxí es el que experimenta una mayor valoración. Esto se debe principalmente a su carácter eminentemente urbano y a la existencia de grandes infraestructuras de comunicación (autopistas, metro, tren,..).

Las infraestructuras se distribuyen de forma mayoritaria en los núcleos de población. En este sentido destacan los núcleos de Marratxí, Manacor, Lluçmajor, Artà, Alcudia y Pollença. También se observan valores elevados en las zonas costeras al Norte (Alcudia y Pollença), Este (Capdepera, Cala Millor, Porto Cristo, Porto Colom, sa Rápita), y al Oeste (costa de Calvià, y Sóller). Se puede observar un gran foco de infraestructuras en torno al eje Palma-Inca-Alcudia, y al eje Inca-Manacor-Cala Millor. Existen amplias zonas en la Serra de Tramuntana, Muro y Santa Margalida sin ninguna clase de equipamiento.

Valor construcciones. Los municipios que presentan mayor valor en cuanto a sus construcciones son: Manacor, Calvià, Lluçmajor, Marratxí, Felanitx, Inca y Santanyí. Se trata mayoritariamente de municipios que comparten un núcleo urbano interior con un núcleo turístico, municipios con un núcleo urbano de gran magnitud (Inca) o se encuentran en la periferia de Palma y son utilizados como ciudades dormitorio (Marratxí). En la Serra de Tramuntana y el Pla de Mallorca aparecen los municipios con menor valor del patrimonio constructivo. En especial destacan, Escorca, Fornalutx, Deià, Banyalbufar y Estellencs, etc. Sin embargo, la unidad territorial municipal no permite realizar la comparación relativa de los municipios, ya que en general los municipios de pequeño tamaño, suelen también coincidir escasa valoración de sus construcciones.

Existe una importante variabilidad en el valor del patrimonio constructivo urbano y diseminado. En general, la valoración de las construcciones urbanas es más elevada en la mayoría de los casos. Si bien en algunos municipios agrícolas o en aquellos que poseen un elevada ocupación residencial del suelo rústico llega a equilibrarse (e.g. Ariany, Búger, Lloret, Llubí, Montuiri, Santa Eugènia, etc.). Resulta especialmente significativo el caso de Calvià, en que el valor

de las construcciones urbanas supera de forma extraordinaria a las construcciones en diseminado.

La distribución del valor del suelo rústico en Mallorca según los criterios considerados a nivel municipal muestra que los municipios que obtienen mayor valoración son: Lluçmajor, Manacor, Pollença, Felanitx, Campos y Calvià. En segundo nivel se encuentran Sa Pobla, Inca, Santanyí, y posteriormente Sóller, Marratxí, Alcudia, Muro, Santa Margalida, Artà, y Sant Llorenç.

Los resultados obtenidos muestran que la valoración económica realizada está basada más en el potencial urbanizador del suelo rústico que en su propio valor agrícola. El escaso peso de la agricultura en el producto interior bruto balear provoca que la valoración del suelo rústico tiene más en cuenta factores relacionados con su urbanización potencial que propiamente sus valores agrológicos.

Valor medio natural. En el modelo de distribución del valor económico del medio natural en la isla de Mallorca a nivel municipal destacan los municipios de tamaño grande, en los que la vegetación natural ocupa un porcentaje significativo. De esta forma aparecen con máximos valores los municipios de Lluçmajor, Manacor, Escorca, Pollença, Bunyola, Artà. Los mínimos valores se ubican en municipios pequeños que poseen escasa superficie ocupada por áreas naturales, e.g. Consell, Búger, Costitx, Villafranca.

La distribución del valor integrado en la isla de Mallorca se caracteriza por las siguientes pautas:

- Elevado valor territorial en las zonas urbanas. En especial, destacan los núcleos urbanos de los distintos municipios así como las zonas costeras.
- Máximos valores en el eje Palma-Inca. En base a la valoración de las edificaciones, la población residente y las infraestructuras este sector destaca de forma clara sobre el resto de zonas.
- Las zonas naturales con menor grado de influencia antrópica (población, construcciones e infraestructuras) son las que alcanzan menores valores. Éstas se localizan en la Serra de Tramuntan, Serres de Llevant (Artà), y áreas del torrent de na Borges, marina de Lluçmajor y áreas naturales de Santanyí.

La distribución municipal del valor integrado muestra que los municipios que concentran mayor valoración son los siguientes: Calvià, Manacor, Lluçmajor, Marratxí, Alcudia, Inca, Felanitx, Santa Margalida, Santanyí, Muro, Pollença. El grado de variabilidad del valor económico que pueden tomar dichos municipios es también proporcional a su propia magnitud ([figura 6](#)).

#### 4.3. Exposición Territorial

Los resultados obtenidos señalan al municipio de Calvià como el que presenta mayor grado de exposición territorial. Ello se debe fundamentalmente a dos circunstancias, en primer lugar a que es uno de los municipios que concentra mayor valor territorial y en segundo término a que también es el municipio que posee mayor porcentaje de territorio expuesto. A su vez en Calvià se observa que existe una gran incertidumbre en cuanto al valor exacto de vulnerabilidad por exposición, con valores que oscilan entre 4.938 y 13.513 millones de euros. Es decir, el margen de exposición a

peligros naturales es muy amplio ([tabla 2](#)) ([figura 6](#)).

Después de Calvià, aparecen a cierta distancia los municipios de Manacor, Lluçmajor, Marratxí, Alcúdia, Pollença, Bunyola y Capdepera, cuyos valores expuestos dibujan una recta que va reduciendo el valor de bienes expuestos llegando hasta el municipio de Búger que presenta el menor nivel de exposición.

#### 4.4. Vulnerabilidad social

El proceso de cálculo desarrollado para el análisis de la vulnerabilidad social ha dado lugar a unos resultados de compleja interpretación. De hecho, es difícil encontrar una pauta clara en los valores de vulnerabilidad social en base a un patrón concreto: población, actividad turística, infraestructuras, nivel económico, etc. La integración de las variables normalizadas da lugar a un modelo de distribución particular. Es importante señalar que los valores obtenidos para los municipios muestran una escasa variabilidad ya que sus valores oscilan entre 0,46 a 0,66 (máximo 1). Ello nos argumenta a decir que los municipios de la isla de Mallorca a nivel de vulnerabilidad social frente a desastres naturales responden de forma bastante similar ([tabla 3](#)) ([figura 6](#)).

Los resultados muestran que la máxima vulnerabilidad la adquiere el municipio de Ariany, seguido de Porreres, Capdepera y Marratxí. La mínima vulnerabilidad social se sitúa en los municipios de Escorca, Bunyola, Artà, Valldemossa y Banyalbufar .

Se advierte una tendencia a que los municipios de la Serra de Tramuntana y las Serres de Llevant adquieran valores menores de vulnerabilidad social frente a los desastres naturales. Probablemente este hecho se deba a la revalorización generalizada de las zonas de montaña en los últimos años por sus valores ambientales, así como por su reducida población y su elevado nivel de renta. Los resultados también dejan patente una mayor vulnerabilidad de las zonas agrícolas motivada por el abandono que en los últimos decenios ha tenido la agricultura en la isla, así como por el envejecimiento de su población.

Los municipios más turísticos de la isla como Calvià, Santa Margalida, Muro, Andratx, Alcúdia, Capdepera, tienen una respuesta variable en cuanto a vulnerabilidad social que no permiten su agrupación. Ello viene motivado por su gran heterogeneidad en cuanto a población residente, recursos económicos, número de turistas, etc.

#### 4.5. Vulnerabilidad territorial integrada<sup>3</sup>

Los resultados obtenidos de VTI para la isla de Mallorca tanto a nivel municipal como a nivel de retícula de 5x5 km y 1x1 km muestran la enorme importancia de la distribución de los recursos territoriales y su exposición a los peligros naturales<sup>4</sup>. A pesar de que la vulnerabilidad social, como vimos en el capítulo anterior alcanza unos valores muy heterogéneos y difíciles de prever en los municipios, el peso de la vulnerabilidad por exposición a pesar de ser corregida mantiene sus tendencias principales manteniendo los municipios más poblados/turísticos o bajo la

influencia de Palma a la cabeza de la vulnerabilidad (Calvià, Manacor, Lluçmajor, Marratxí, Alcúdia, Pollença). En los valores más bajos de vulnerabilidad territorial integrada también se encuentran las áreas que concentran menores valores territoriales ([tabla 3](#)) ([figura 6](#) y [figura 7](#)).

## 5. Discusión y valoración de hallazgos

El análisis de la vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales de una zona es una tarea compleja que por su importancia y trascendencia en la reducción de los efectos de los episodios catastróficos debería requerir mayor dedicación por parte de la comunidad científica. El modelo de cálculo de la vulnerabilidad territorial integrada propuesto (VTI) asume la subdivisión de la misma en diversas componentes: el territorio expuesto a los peligros territoriales, el valor territorial, la vulnerabilidad intrínseca y la vulnerabilidad social. Cada uno de dichas componentes proporciona información relevante, de forma independiente, desde la perspectiva de la prevención de los riesgos territoriales. Su análisis integrado, además puede ayudar al desarrollo de instrumentos para la reducción de las pérdidas potenciales ocasionadas por un posible desastre natural sobre los diferentes componentes territoriales considerados: población, infraestructuras, construcciones, ocupación del suelo, medio natural. El modelo propuesto permite localizar dónde actuar, sobre qué factor territorial operar de forma prioritaria, qué peligros pueden causar mayores pérdidas, qué tipo de medida tomar sobre la población para reducir los potenciales efectos de un desastre, así como responder a otras muchas cuestiones en relación a la gestión del riesgo.

Se ha enfatizado el conocimiento del valor territorial de un área geográfica (municipio, retícula) ya que supone importantes beneficios para mejorar la gestión de riesgos. En este sentido, una de las principales aportaciones metodológicas de este trabajo es la representación del valor territorial mediante funciones de probabilidad. Ello, permite incorporar la incertidumbre en su valoración y aportar resultados más realistas de la vulnerabilidad territorial. A pesar, de que la precisión de los valores económicos obtenidos sea cuestionable, si es un instrumento útil para saber dónde se localiza la población, las infraestructuras y en general la riqueza en el territorio y por tanto ayuda a saber dónde y qué hay que prevenir.

El análisis integrado de la vulnerabilidad social propuesto, también facilita la consideración la evaluación de la actitud y aptitud de la población a enfrentarse a los desastres, y por tanto argumenta el desarrollo de políticas de información y formación de la población frente a los desastres y a la forma de mitigar sus efectos.

Respecto a la aplicación del modelo a la isla de Mallorca, son muchas las cuestiones relevantes que se han puesto en relieve en la interpretación de los diversos resultados cartográficos y estadísticos obtenidos, en relación con la vulnerabilidad territorial: dónde se concentra el peligro, qué componentes del territorio manifiestan mayor exposición, que zonas poseen mayor valor económico, qué población está mayormente expuesta, etc.

La VTI es una variable de síntesis cuya interpretación aporta una información combinada de dónde se ubican los valores territoriales, cuáles de ellos están expuestos a los peligros naturales y a su vez, qué capacidades tiene la población de dichos lugares para responder a un desastre. La

combinación de conceptos es clave, ya que ayuda a detectar dónde debería actuarse de forma más inmediata desde la perspectiva de la prevención: zonas de máximo valor/zonas expuestas/ zonas cuya población es muy vulnerable desde el punto de vista social. El modelo utilizado proporciona los resultados en unidades cuantitativas monetarias (euros) mediante el producto de los valores territoriales expuestos por un porcentaje de vulnerabilidad.

La precisión del modelo es proporcional al tamaño de las unidades de análisis, por lo que es recomendable la utilización de unidades geográficas del menor tamaño posible. Sin embargo, los resultados obtenidos a nivel municipal evidencian su aplicabilidad para disponer de una visión integral del territorio, acerca de la distribución de sus peligros y sus valores, lo cual sin duda contribuye a la mejora en la gestión del riesgo.

En general se evidencia que Mallorca es una isla muy poblada y con elevado patrimonio territorial en sus costas, que se encuentra moderadamente expuesta a diversos peligros naturales. Las zonas de mayor vulnerabilidad corresponden a zonas turísticas expuestas a peligros de inundación, e incendios forestales. Se evidencia también un equilibrio en cuanto a vulnerabilidad social frente a los desastres, principalmente debido al pequeño tamaño de la isla y a la distribución proporcionada de equipamientos e infraestructuras entre los municipios.

## 6. Conclusiones

El estudio de la vulnerabilidad es un tema de creciente actualidad y que por su trascendencia social y económica ocupa y preocupa a los gobiernos y organizaciones en todos sus niveles (local, regional, nacional, internacional, global). De forma creciente se desarrollan políticas, planes y proyectos en el ámbito de la prevención y mitigación de desastres naturales, especialmente en países expuestos a peligros naturales, las cuales se orientan en su mayoría a la reducción de la exposición a peligros, a la gestión eficaz de la emergencia y en los últimos años se han incrementado las actuaciones para la reducción de la vulnerabilidad social y el estímulo de capacidades para hacer frente a los desastres. El análisis de la vulnerabilidad a los desastres naturales, especialmente la relacionada con las consecuencias del cambio climático, ha emergido como una línea de investigación prioritaria de la comunidad científica internacional en la que convergen distintas disciplinas científicas (geografía, sociología, economía, ingeniería civil, etc.). Sin embargo, a pesar de su relevancia, se constata todavía cierta inmadurez conceptual y metodológica, testimoniada por una diversidad de marcos teóricos, ausencia de metodologías normalizadas de evaluación, así como también una falta de consenso terminológico.

El modelo metodológico propuesto es una aportación original y relevante en esta temática en base al desarrollo de una orientación preventiva del riesgo. Su aplicabilidad en la gestión eficaz del riesgo territorial está garantizada, ya que aporta respuestas clave para ayudar a la localización y cuantificación de la exposición de población y bienes expuestos a los diversos peligros naturales (ver expresión matemática 4).

Pensamos que las posibles mejoras del modelo podrían orientarse hacia las siguientes cuestiones:

- Mayor precisión en la delimitación de las unidades geográficas de análisis, en base a las cartografías de peligros.
- La mejora en los métodos de valoración económica de los factores territoriales.
- La integración de la vulnerabilidad intrínseca territorial.

La geografía del riesgo es un área científica que se interesa por los distintos aspectos territoriales relacionados con el riesgo y en el que el estudio de la vulnerabilidad territorial ocupa un lugar destacado. A pesar de la gran importancia del componente geográfico en la planificación, análisis y gestión de los riesgos y desastres, la realidad es que no ha recibido una atención singular. El estudio de la vulnerabilidad territorial a los desastres naturales debería ser un tema preferente en la geografía del riesgo ya que aporta una visión geográfica a la problemática del riesgo y puede contribuir de forma efectiva a la reducción de las consecuencias de los desastres.

### Agradecimientos

El presente trabajo resume alguna de las conclusiones extraídas en tesis doctoral del autor "Vulnerabilidad Territorial y Evaluación de Daños Postcatástrofe. Una aproximación desde la Geografía del Riesgo" (Departamento de Geografía Humana, Universidad Complutense de Madrid.), dirigida por los Dr. Javier Gutiérrez Puebla y Dr. Miquel Grimalt Gelabert, por lo que quiero agradecer a ellos su apoyo y dedicación a este proyecto. El trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación del Ministerio de Economía y Competitividad con referencia CGL2011-29263-C02-02.

### Referencias bibliográficas

- Adger, W.N. (2006): "Vulnerability", *Global Environmental Change*, 16, pp. 268-281.
- Alexander, D. E. (2002): *Principles of Emergency Planning and Management*. Hertfordshire, UK. Terra Publishing.
- Anderson, M.B. (2000): "Vulnerability to disaster and sustainable development: A general framework for assessing vulnerability", en Pielke, Jnr., R.A., Pielke, Snr., R. A. Snr. (Ed.): *Storms*, vol. 1, London, Routledge.
- Anderson-Berry L. J. (2003): "Community Vulnerability to Tropical Cyclones: Cairns, 1996-2000", *Natural Hazards*, 30, pp. 209-232.
- Birkmann J. (2006): *Measuring vulnerability to natural hazards. Towards disaster resilient societies*. New York. United Nations University Press.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., and Wisner, B. (1994): *At Risk: Natural Hazards People's Vulnerability and Disasters*. London, Routledge.
- Brenner Guillermo, J. (2007): *Valuation of ecosystem services in the Catalan coastal zone*. Barcelona, Laboratori d'Enginyeria Marítima. Universitat Politècnica de Catalunya. Tesis Doctoral. [Consulta 10-10-2011]. Disponible en <http://hdl.handle.net/10803/6398>.
- Bonachea Pico, J. (2006): *Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la*

Ruiz Pérez, M. (2012): "Vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales: el caso de la isla de Mallorca (Baleares, España)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 12, p 16-52. ISSN: 1578-5157

---

*evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos*. Santander, Universidad de Cantabria. [Consulta 10-10-2011]. Disponible en <http://hdl.handle.net/10803/10610>.

Burton, I., Kates, R.W. y White, G.F. (1996): *The environment as hazard*. New York, Guildford.

Calvo García-Tornel, F. (2000): "Panorama de los estudios sobre riesgos naturales en la geografía española", *Boletín de la AGE*, 30, pp. 21-35.

Carrara, A., Cardinalli, M.G.F. y Reichenbach, P. (1995): "GIS Technology in mapping landslide hazard", en Carrara, A. y Guzzetti, F. (Ed.): *Geographical information systems in assessing natural hazards*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Carrara, A., Guzzetti, F. y Cardinali, M. (1999): "Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard", *Natural Hazards*, 20, pp. 117-135.

Carreño, M.L., Cardona, O.D. y Barbat, A.H. (2004): *Metodología para la evaluación del desempeño de la gestión del riesgo*. Monografía CIMNE IS-51, Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya.

Chambers, R. (2006): "Vulnerability, Coping and Policy", *Institute of Development Studies (IDS) Bulletin*, 37, 4, pp. 33-40.

Chen, K., Blong, R., and Jacobson, C. (2003): "Towards an Integrated Approach to Natural Hazards Risk Assessment Using GIS: With Reference to Bushfires", *Environmental Management*, 31, pp. 546-560.

Clark, E.G., Moser, C.S., Ratick, J.S., Kirstin, D., Meyer, B.W., Srinivas, E., Weigen, J., Kasperson, X.J., Kasperson, E.R. y Schwarz, E.H. (1998): "Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, MA, USA", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 3, pp. 59-82.

Conesa García, C. y García Lorenzo, R. (2011): "Factores e índices de peligrosidad de las aguas de avenida en cruces de carreteras con ramblas: estudio aplicado a la vertiente litoral sur de la Región de Murcia", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 57, pp. 195-218.

Conesa García, C. (2004): "Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección", en Conesa García, C., Alvarez Rogen, y Martínez Guevara, J.B. (Ed.): *Medio Ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección: aportaciones al XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección*, Murcia, Universidad de Murcia, 20-23 de septiembre, 2004, vol. 1, pp. 11-21.

Consell de Mallorca (2004): *Pla Territorial de Mallorca*. Palma. Consell de Mallorca. [Consulta: 10.11.2011]. Disponible en: <http://www.conselldemallorca.cat/platerritorial/>.

COAIB (Colegio Oficial Arquitectos de las Islas Baleares) (2007): *Costes de la construcción tipo de las Islas Baleares*. Documento interno.

Cutter, S.L. (1996): "Vulnerability to environmental hazards", *Progress in Human Geography*, 20,

pp. 229-239.

Diez Herrero, A. (2002): "Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica al análisis del riesgo de inundaciones fluviales", en Lain Huerta, L. (Ed.): *Los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión de los Riesgos Geológicos y el Medio Ambiente*. Madrid. Instituto Geológico y Minero de España.

D'ercole, R. y Metzger, P. (2004): *La vulnerabilidad del distrito metropolitano de Quito*. Quito, Institut de Recherche pour le Developpement (IRD). [Consulta: 10.11.2011]. Disponible en: <http://www.ecuador.ird.fr/la-mEDIATECA/las-co-ediciones-en-ecuador/la-vulnerabilidad-del-distrito-metropolitano-de-quito>.

Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S., y Roberts, S. (2004): *Quantifying social vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards*. Record 2004/14. Camberra. Geoscience Australia. Australia Government. [Consulta: 10.11.2011]. Disponible en: [http://www.ga.gov.au/image\\_cache/GA4267.pdf](http://www.ga.gov.au/image_cache/GA4267.pdf).

Espejo Marín, C. y Calvo García-Tornel, F. (2003): "Bibliografía sobre riesgos con origen en procesos naturales publicada en España (1975-2002)", *Biblio3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. VIII, 4. [Consulta: 10.11.2011]. Disponible en: <http://www.ub.es/geocrit/b3w-455.htm>

Ezell, B.C. (2007): "Infrastructure vulnerability assessment model (I-VAM)", *Risk Analysis*, 27, pp. 571-583.

Fuchs, S., Heiss, K. y Hübl, J. (2007): "Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, pp. 495-506.

Fussel, H.M., Klein y R.J.T. (2006): "Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking", *Climate Change*, 75, pp. 301-329.

Fussel, H.M. (2010): "How inequitable is the global distribution of responsibility, capability, and vulnerability to climate change: A comprehensive indicator-based assessment", *Global Environmental Change*, 20, 4, pp. 597-611.

Fussel, H.M. (2007): "Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research", *Global Environmental Change*, 17, 2 pp. 155-167.

Gitis, V.G. (1995): "GIS Technology for the design of computer-based models in seismic hazard assessment", en Carrara, A. y Guzzetti, F. (Ed.): *Geographical information systems in assessing natural hazards*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Hewitt, K. (1996): "Daños ocultos y riesgos encubiertos: haciendo visible el espacio social de los desastres", en Mansilla, E. (Ed.): *Desastres, Modelo para Armar*. Colección de Piezas de un Rompecabezas Social. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La Red). [Consulta: 10.11.2011]. Disponible en: <http://www.desenredando.org/public/libros/1996/dma/DesastresModeloParaArmar-1.0.0.pdf> . pp. 11-29.

Heltberg, R., Siegel, P.B. y Jorgensen, S.L. (2009): "Addressing human vulnerability to climate change: Toward a 'no-regrets' approach", *Global Environmental Change*, 19, 1, pp. 89-99.

Kauahikaua, J., Margriter, S. y Moore, R.B. (1995): "GIS-Aided volcanic activity hazard analysis for the Hawaii Geothermal Project Environmental Impact Statement", en Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.): *Geographical information systems in assessing natural hazards*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 235-257.

Jun, K.S., Chung, E. y Sung, J.Y. (2011): "Development of spatial water resources vulnerability index considering climate change impacts", *Science of The Total Environment*, 409, 24, 15 pp. 5228-5242.

Ibestat (2011): Instituto Balear Estadística. [Consulta: 11.11.2011]. Disponible en: <http://www.ibestat.es/ibestat/page> .

Instituto Nacional de Estadística (2011):[Consulta: 11.11.2011] Disponible en: <http://www.ine.es>

Kumpulainen, S. (2006): "Vulnerability concepts in hazard and risk assessment", en Schmidt-Thome, P. (Ed.): *Natural and Technological Hazards and Risks Affecting the Spatial Development of European Regions*. Finland, Geological Survey of Finland. ESPOO.

Marquínez, J., Fernández, E., Lastra, J., Humara, J. L., Adrados, L. y Wozniak, E. (2002): "Flood risk indicators in Asturias using GIS and historical data", en "*International Workshop: Paleofloods, Historical Data & Climatic Variability. Applications in Flood Risk Assessment*, Barcelona.

Metternich, G., Hurni, L. y Gogu, R. (2005): "Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments", *Remote Sensing of Environment*, 98, 2-3, pp. 284-303.

Meyer, V. y Messner, F. (2005): *National Flood Damage Evaluation Methods. A Review of Applied Methods in England, the Netherlands, the Czech Republic and Germany*. UFZ-Discussion Papers. Leipzig. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle. [Consulta: 11.11.2011]. Disponible en: [www.ufz.de/export/data/1/26214\\_dp212005.pdf](http://www.ufz.de/export/data/1/26214_dp212005.pdf)

Ministerio De Hacienda y Administraciones Públicas (2011):[Consulta: 11.11.2011]. Disponible en: <http://www.seap.minhap.gob.es/>.

Olcina Cantos, J. (2002): "Riesgos Naturales y Ordenación del Territorio", en Ayala-Carcedo, F. J. y Olcina Cantos, J. (Ed.): *Riesgos Naturales*, Barcelona, Ariel, pp. 1215-1226.

Olcina Cantos, J. (2008): "Cambios en la consideración territorial, conceptual y de método de los riesgos naturales", en Universidad de Barcelona (Ed.): *Diez años de cambios en el Mundo, en la Geografía y en las Ciencias Sociales, 1999-2008*. Actas del X Coloquio Internacional de Geocrítica, Universidad de Barcelona, 26-30 de mayo de 2008. [Consulta: 11.11.2011]. Disponible en: <http://www.ub.es/geocrit/-xcol/62.htm>].

Palacios Estremera, D. y Marcos García, J. (1996): "La elaboración de la cartografía de riesgos geomorfológicos y su aplicación en áreas de alta montaña", *Serie Geográfica*, 6, pp. 59-98.

Parry, M. L. et al. (2007): "Impacts, adaptation and vulnerability", en *Working Group Report II, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, UNEP. [Consulta: 11.11.2011]. Disponible en: [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/).

Peduzzi, P., Dao, H. y Herold, C. (2005): "Mapping disastrous natural hazards using global datasets", *Natural Hazards*, 35, pp. 265-289.

Polsky, C., Schroter, D., Patt, A., Gaffin, S., Martello, M. L., Neff, R., Pulsipher, A. y Selin, H. (2003): *Assessing Vulnerabilities to the Effects of Global Change: An Eight-Step Approach*. Belfer Center for Science & International Affairs. Harvard University.

Polsky, C., Schroter, D., Patt, A., Gaffin, S., Martello, M.L., Neff, R., Pulsipher, A. y Selin, H. (2003): *Assessing Vulnerabilities to the Effects of Global Change: An Eight-Step Approach*, Discussion Paper, 2003-05, Kennedy School of Government, Harvard University.

Rashed, T. y Weeks, J. (2003): "Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas", *Int. J. Geographical Information Science*, 17, 6, pp. 547-576.

Ruiz Pérez, M. (2011): *Vulnerabilidad territorial y evaluación de daños postcatástrofe. Una aproximación desde la geografía del riesgo*. Madrid. Universidad Complutense de Madrid [Consulta: 10.10.2011]. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/12850/>.

Taubenbock, H., Post, J., Roth, A., Zosseder, K., Strunz, G. y Dech S. (2008): "A conceptual vulnerability and risk framework as outline to identify capabilities of remote sensing", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, pp. 409-420.

Turner, B. L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy R.W *et al.* (2003): "A framework for vulnerability analysis in sustainability science", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, pp. 8074-8079.

Watts, M. y Bohle, H.G. (1993): "The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine", *Human Geography*, 17, pp. 43-67.

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. y Davis I. (2004): *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. London, Routledge.

## TABLAS

**Tabla 1. Territorio expuesto a los peligros naturales (Nivel municipal)**

MUNICIPIO	Superficie Total (Ha)	Superficie peligro de inundación (Ha)	% municipio peligro inundación (Ha)	Superficie peligro deslizamiento (Ha)	% municipio peligro deslizamiento	Superficie peligro incendio (Ha)	% municipio riesgo de incendio	Superficie peligro sísmico (Ha)	% Municipio peligro sísmico	Exposición Total (%)
Alaró	4.568,51	69,49	1,52	2.352,65	51,50	2.212,21	48,42	4.568,51	100,00	50,36
Alcúdia	5.985,96	634,93	10,61	1.221,64	20,41	2.424,45	40,50	5.984,50	100,00	42,88
Algaida	8.970,24	132,49	1,48	381,71	4,26	1.976,90	22,04	8.970,24	100,00	31,94
Andratx	7.868,59	153,16	1,95	4.408,18	56,02	5.478,29	69,62	7.866,57	100,00	56,90
Ariany	2.298,17	230,60	10,03	0,00	0,00	470,78	20,49	2.298,17	100,00	32,63
Artà	13.963,20	209,84	1,50	3.372,66	24,15	8.362,15	59,89	13.962,14	100,00	46,39
Buger	827,86	71,45	8,63	0,00	0,00	80,08	9,67	827,86	100,00	29,58
Banyalbufar	1.804,30	0,00	0,00	1.496,34	82,93	1.478,83	81,96	1.803,92	100,00	66,22
Binissalem	2.975,12	0,00	0,00	85,94	2,89	78,85	2,65	2.975,12	100,00	26,38
Bunyola	8.463,34	117,29	1,39	4.757,89	56,22	5.242,51	61,94	8.463,34	100,00	54,89
Calvià	14.473,90	389,53	2,69	3.959,93	27,36	8.168,55	56,44	14.459,34	100,00	46,62
Campanet	3.462,51	206,35	5,96	1.226,36	35,42	1.732,47	50,04	3.462,51	100,00	47,85
Campos	14.948,91	3.015,31	20,17	0,00	0,00	3.498,09	23,40	14.948,56	100,00	35,89
Capdepera	5.491,57	145,54	2,65	1.116,08	20,32	2.505,57	45,63	5.489,88	100,00	42,15
Consell	1.368,88	3,12	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	1.368,88	100,00	25,06
Costitx	1.535,35	0,00	0,00	1,00	0,07	274,76	17,90	1.535,35	100,00	29,49
Deià	1.511,86	0,00	0,00	1.352,00	89,43	1.178,57	77,95	1.511,48	100,00	66,85
Escorca	13.933,36	14,23	0,10	10.904,99	78,27	12.517,96	89,84	13.932,00	100,00	67,05
Esporles	3.526,72	114,10	3,24	2.073,99	58,81	2.263,29	64,18	3.526,72	100,00	56,55
Estellencs	1.339,14	0,00	0,00	1.172,14	87,53	944,17	70,51	1.338,86	100,00	64,51
Felanitx	17.059,96	123,72	0,73	507,01	2,97	3.386,26	19,85	17.059,14	100,00	30,89
Fornalutx	1.948,53	0,00	0,00	1.712,69	87,90	1.711,32	87,83	1.948,50	100,00	68,93
Inca	5.829,24	155,26	2,66	74,00	1,27	726,01	12,45	5.829,24	100,00	29,10
Lloret de Vistalegre	1.742,72	3,57	0,20	0,00	0,00	456,88	26,22	1.742,72	100,00	31,61
Lloseta	1.208,72	90,84	7,51	359,98	29,78	245,67	20,32	1.208,72	100,00	39,41
Llubí	3.489,77	150,84	4,32	1,00	0,03	316,24	9,06	3.489,77	100,00	28,35
Llucmajor	32.785,67	130,74	0,40	372,15	1,14	12.254,21	37,38	32.784,26	100,00	34,73
Manacor	26.000,47	680,97	2,62	917,96	3,53	6.137,63	23,61	25.999,22	100,00	32,44
Mancor de la Vall	1.987,45	50,87	2,56	1.292,49	65,03	1.098,50	55,27	1.987,45	100,00	55,72
Maria de la Salut	3.049,36	211,48	6,94	0,00	0,00	758,25	24,87	3.049,36	100,00	32,95
Marratxí	5.417,59	297,86	5,50	4,00	0,07	645,95	11,92	5.417,59	100,00	29,37
Montuïri	4.109,54	186,69	4,54	11,76	0,29	477,70	11,62	4.109,54	100,00	29,11
Muro	5.854,96	2.029,49	34,66	0,00	0,00	513,15	8,76	5.854,59	100,00	35,86
Palma	19.535,06	2.624,24	13,43	1.002,37	5,13	4.517,50	23,13	19.532,46	100,00	35,42
Petra	7.012,81	322,42	4,60	229,51	3,27	1.852,21	26,41	7.012,81	100,00	33,57
Pollença	15.129,00	585,49	3,87	7.642,18	50,51	10.400,81	68,75	15.125,64	100,00	55,78

Ruiz Pérez, M. (2012): "Vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales: el caso de la isla de Mallorca (Baleares, España)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 12, p 16-52. ISSN: 1578-5157

<b>Porreres</b>	8.684,40	0,00	0,00	113,65	1,31	1.836,92	21,15	8.684,40	100,00	30,62
<b>Puigpunyent</b>	4.228,17	64,84	1,53	2.610,76	61,75	3.175,92	75,11	4.228,17	100,00	59,60
<b>Pobla</b>	4.855,37	1.159,22	23,87	382,62	7,88	811,53	16,71	4.855,37	100,00	37,12
<b>Sant Joan</b>	3.850,55	78,53	2,04	44,31	1,15	561,06	14,57	3.850,55	100,00	29,44
<b>Sant Llorenç</b>	8.198,43	128,43	1,57	768,67	9,38	1.782,07	21,74	8.198,03	100,00	33,17
<b>Sta Eugènia</b>	2.023,28	0,00	0,00	109,45	5,41	740,02	36,58	2.023,28	100,00	35,50
<b>Sta Margalida</b>	8.646,31	337,61	3,90	0,00	0,00	3.061,72	35,41	8.645,84	100,00	34,83
<b>Sta Maria</b>	3.759,13	7,19	0,19	733,12	19,50	1.348,72	35,88	3.759,13	100,00	38,89
<b>Santanyí</b>	12.652,15	180,42	1,43	0,00	0,00	3.105,75	24,55	12.650,45	100,00	31,49
<b>Selva</b>	4.870,86	134,97	2,77	1.801,45	36,98	2.084,51	42,80	4.870,86	100,00	45,64
<b>Sencelles</b>	5.281,60	11,92	0,23	0,00	0,00	778,72	14,74	5.281,60	100,00	28,74
<b>Salines</b>	3.893,57	169,62	4,36	0,00	0,00	976,86	25,09	3.893,18	100,00	32,36
<b>Sineu</b>	4.769,80	247,14	5,18	7,86	0,16	917,34	19,23	4.769,80	100,00	31,14
<b>Sóller</b>	4.271,16	132,58	3,10	3.134,25	73,38	2.962,16	69,35	4.270,69	100,00	61,46
<b>Son Servera</b>	4.255,99	67,75	1,59	460,33	10,82	1.276,26	29,99	4.255,62	100,00	35,60
<b>Vallde-mossa</b>	4.283,41	52,22	1,22	2.932,53	68,46	2.965,40	69,23	4.283,09	100,00	59,73
<b>Vilafranca de Bonany</b>	2.394,13	126,98	5,30	0,00	0,00	132,73	5,54	2.394,13	100,00	27,71

**Tabla 2. Vulnerabilidad por exposición. Millones de Euros. (Nivel municipal)**

Municipio	Exposición Inundación	Exposición Deslizamiento	Exposición Incendio	Exposición Terremoto	Exposición Media
Alaró	29,92	1.013,06	952,59	1.967,22	990,70
Alcúdia	901,03	1.733,62	3.440,51	8.494,63	3.642,45
Algaida	39,45	113,65	588,61	2.670,82	853,13
Andratx	89,73	2.582,62	3.209,57	4.609,97	2.622,97
Ariany	98,41	0,00	200,91	980,77	320,02
Artà	67,89	1.091,23	2.705,58	4.517,80	2.095,62
Banyalbufar	0,00	343,71	339,69	414,45	274,46
Binissalem	0,00	109,74	100,68	3.798,96	1.002,35
Buger	43,78	0,00	49,06	507,21	150,01
Bunyola	77,31	3.136,00	3.455,42	5.578,32	3.061,76
Calvià	517,11	5.256,84	10.843,84	19.214,26	8.958,01
Campanet	73,04	434,08	613,23	1.225,60	586,49
Campos	1.092,08	0,00	1.266,93	5.414,17	1.943,30
Capdepera	188,78	1.447,67	3.249,99	7.123,14	3.002,39
Consell	2,76	0,00	0,00	1.213,01	303,94
Costitx	0,00	0,42	115,89	647,58	190,97
Deià	0,00	376,53	328,23	421,05	281,45
Escorca	0,63	485,33	557,12	620,11	415,80
Esporles	47,37	861,11	939,70	1.464,27	828,11
Estellens	0,00	205,02	165,15	234,23	151,10
Felanitx	59,34	243,17	1.624,09	8.182,15	2.527,19
Fornalutx	0,00	302,19	301,95	343,81	236,99
Inca	241,54	115,12	1.129,46	9.068,65	2.638,69
Lloret de Vistalegre	1,36	0,00	174,39	665,19	210,24
Lloseta	133,49	529,01	361,03	1.776,29	699,95
Llubí	70,99	0,47	148,83	1.642,35	465,66
Llucmajor	51,13	145,55	4.792,77	12.822,88	4.453,09
Manacor	431,56	581,76	3.889,70	16.477,71	5.345,18
Mancor de la Vall	12,23	310,70	264,06	477,76	266,19
Maria de la Salut	77,95	0,00	279,47	1.123,93	370,34
Marratxí	698,64	9,38	1.515,10	12.707,28	3.732,60
Montuïri	72,50	4,57	185,52	1.596,00	464,65
Muro	1.712,30	0,00	432,94	4.939,88	1.771,28
Petra	103,88	73,94	596,75	2.259,41	758,50
Pobla	1.210,62	399,59	847,52	5.070,69	1.882,10
Pollença	247,18	3.226,41	4.391,06	6.387,23	3.562,97
Porreres	0,00	36,38	588,02	2.779,97	851,09
Puigpunyent	14,34	577,62	702,66	935,47	557,53
Salines	127,47	0,00	734,14	2.926,13	946,94
Sant Joan	23,33	13,16	166,67	1.143,88	336,76
Sant Llorenç	85,94	514,39	1.192,56	5.486,36	1.819,81
Santanyí	98,32	0,00	1.692,47	6.894,74	2.171,38
Selva	48,17	642,88	743,89	1.738,24	793,29
Sencelles	4,49	0,00	293,28	1.989,17	571,74
Sineu	110,53	3,52	410,26	2.133,21	664,38
Sóller	121,86	2.880,83	2.722,65	3.925,81	2.412,79
Son Servera	73,12	496,84	1.377,49	4.593,54	1.635,25
Sta Eugènia	0,00	48,53	328,12	897,12	318,44
Sta Margalida	286,27	0,00	2.596,19	7.331,65	2.553,53
Sta Maria	4,09	417,07	767,29	2.138,56	831,75
Valldemossa	12,05	676,71	684,30	988,44	590,38
Vilafranca de Bonany	92,84	0,00	97,05	1.750,48	485,09

Ruiz Pérez, M. (2012): "Vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales: el caso de la isla de Mallorca (Balears, España)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 12, p 16-52. ISSN: 1578-5157

**Tabla 3. Valor Territorial. Exposición Territorial (€Vmin/€Vmed/€Vmax). Vulnerabilidad Social (% Vs.max,% Vs.min,% Vs.med). Vulnerabilidad Territorial Integrada(€Vi.max, €Vi.min, €Vi.med)**

Municip	V.min	V.med	V.max	E.max	E.min	E.med	Vs.max	Vs.min	Vs.med	Vi.max	Vi.min	Vi.med
Alaro	1.274,7	1.967,2	2.752,6	1.364,8	614,3	990,7	0,65	0,44	0,54	887,1	270,3	535,0
Alcúdia	4698,1	8494,6	13838,1	5885,9	1999,4	3642,3	0,65	0,53	0,59	3825,8	1059,7	2149
Algaida	1672,9	2670,8	3763,9	1213,3	533,7	853,1	0,65	0,44	0,54	788,7	234,8	460,7
Andratx	2800,9	4610	6585,2	3682,8	1630,6	2623,1	0,65	0,47	0,56	2393,8	766,4	1468,9
Ariany	564,8	980,8	1413,8	453,4	193	320	0,76	0,54	0,66	344,5	104,2	211,2
Artá	2850,5	4517,8	6348,3	2947,2	1338	2095,6	0,59	0,38	0,49	1738,9	508,4	1026,9
Banyalbufar	239,9	414,4	592,8	416	167,9	274,5	0,60	0,38	0,49	249,6	63,8	134,5
Binissalem	2468,2	3799	5410,6	1432,5	607,2	1002,4	0,63	0,41	0,52	902,5	249	521,2
Buger	333,4	507,2	703,2	211,2	101,9	150	0,66	0,45	0,56	139,4	45,8	84
Bunyola	3458,8	5578,3	7802,3	4231,8	1880,6	3061,7	0,61	0,38	0,48	2581,4	714,6	1469,6
Calvià	11021,5	19214,3	29828,9	13513,7	4938,1	8957,2	0,58	0,43	0,51	7837,9	2123,4	4568,2
Campanet	720,1	1225,6	1789,9	828,8	373,2	586,5	0,67	0,42	0,55	555,3	156,7	322,6
Campos	3380,7	5414,2	7724,6	2791,5	1181,7	1943,4	0,64	0,44	0,54	1786,6	520	1049,4
Capdepera	3945,4	7123,1	11063,6	4736,3	1574,6	3003,4	0,69	0,54	0,62	3268	850,3	1862,1
Consell	804,1	1213	1685,9	434,5	198	303,9	0,66	0,42	0,53	286,8	83,2	161,1
Costitx	384,2	647,6	937,1	267,5	112,2	191	0,64	0,41	0,53	171,2	46	101,2
Deià	254,8	421	606,3	402,6	172,8	281,4	0,65	0,45	0,55	261,7	77,8	154,8
Escorca	387,2	620,1	861,5	575,5	261,9	415,8	0,57	0,33	0,46	328	86,4	191,3
Esporles	966,2	1464,3	2092,5	1182,6	552,4	828,2	0,64	0,39	0,51	756,8	215,4	422,4
Estellencs	140,9	234,2	325,5	213,5	94,4	151,1	0,63	0,42	0,53	134,5	39,6	80,1
Felanitx	4827,3	8182,2	12228	3709,9	1458,4	2527	0,66	0,49	0,58	2448,5	714,6	1465,7
Fornalutx	217,5	343,8	488,2	333,7	149,2	237	0,63	0,40	0,52	210,2	59,7	123,2
Inca	5577	9068,7	12865,8	3882,7	1611,7	2638,7	0,68	0,47	0,58	2640,3	757,5	1530,4
Lloret	422,5	665,2	941,1	302,7	134	210,2	0,71	0,50	0,61	214,9	67	128,2
Lloseta	1145,3	1776,3	2481,5	974,5	442,8	700	0,65	0,43	0,55	633,4	190,4	385
Llubi	1065	1642,3	2346,1	654,2	300,9	465,7	0,71	0,48	0,61	464,5	144,4	284,1
Lluçmajor	7953,5	12822,9	18236,6	6595,6	2838	4453	0,63	0,44	0,54	4155,2	1248,7	2404,6
Manacor	9883,1	16477,7	23584,1	7867,5	3306,1	5345,5	0,64	0,47	0,56	5035,2	1553,9	2993,5
Mancor	298,2	477,8	678	384,7	163,2	266,2	0,64	0,41	0,54	246,2	66,9	143,7
Maria	637,4	1123,9	1693,2	552,8	225,3	370,4	0,69	0,48	0,60	381,4	108,2	222,2
Marratxí	8239,8	12707,3	17568,4	5198,5	2479,4	3732,7	0,70	0,52	0,62	3638,9	1289,3	2314,3
Montuiri	997,5	1596	2259	659,1	289,4	464,7	0,63	0,41	0,53	415,3	118,7	246,3
Muro	2776,2	4939,9	7971,3	2704,4	1013,3	1771,1	0,64	0,45	0,54	1730,8	456	956,4
Petra	1435,6	2259,4	3261,9	1102,1	475,1	758,5	0,66	0,42	0,55	727,4	199,5	417,2
Pobla	3171,2	5070,7	7189,1	2682,3	1121,2	1882,1	0,64	0,47	0,56	1716,7	527	1054
Pollença	4129,8	6387,2	9250,4	5172,8	2287,9	3563	0,67	0,46	0,56	3465,8	1052,4	1995,3
Porreres	1811	2780	3996,4	1211	538,4	851,1	0,70	0,52	0,62	847,7	280	527,7
Puigpunyent	587,7	935,5	1312,3	790,5	345,1	557,5	0,65	0,45	0,55	513,8	155,3	306,6
Salines	1581	2926,1	4559,5	1457,8	531,4	946,8	0,65	0,46	0,56	947,6	244,4	530,2
Sant Joan	663,7	1143,9	1639,4	497,4	206,5	336,8	0,62	0,43	0,53	308,4	88,8	178,5
Sant Llorenç	2904,5	5486,4	9032,2	2880,1	962	1819,8	0,57	0,38	0,49	1641,7	365,6	891,7
Santanyi	3815,1	6894,7	10890,4	3309	1223,5	2171,6	0,65	0,45	0,55	2150,8	550,6	1194,4
Selva	1079,3	1738,2	2473,2	1140,5	494,9	793,3	0,61	0,41	0,53	695,7	202,9	420,4
Sencelles	1250,2	1989,2	2951,8	841,4	342,2	571,7	0,63	0,42	0,52	530,1	143,7	297,3
Sineu	1325,5	2133,2	3069,8	957,1	417,7	664,4	0,63	0,49	0,56	603	204,7	372
Sóller	2592,9	3925,8	5487,5	3452	1565,9	2412,8	0,68	0,47	0,58	2347,4	736	1399,4
Son Servera	2827,4	4593,5	6639	2451,6	1023,8	1635,1	0,65	0,46	0,55	1593,5	470,9	899,3
Sta Eugènia	572,9	897,1	1293,4	441,8	204,5	318,4	0,64	0,44	0,54	282,8	90	172
Sta Margalida	4402,3	7331,7	10994,3	3786,5	1523	2553,4	0,64	0,44	0,54	2423,4	670,1	1378,9
Sta Maria	1443,9	2138,6	2977,5	1152,3	534	831,7	0,68	0,48	0,59	783,5	256,3	490,7
Valldemossa	619	988,4	1396,6	869,6	376,9	590,4	0,61	0,39	0,49	530,5	147	289,3
Vilafranca	1092,6	1750,5	2428,2	673,5	304	485,1	0,65	0,42	0,54	437,8	127,7	262

Ruiz Pérez, M. (2012): "Vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales: el caso de la isla de Mallorca (Balears, España)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 12, p 16-52. ISSN: 1578-5157

### FIGURAS

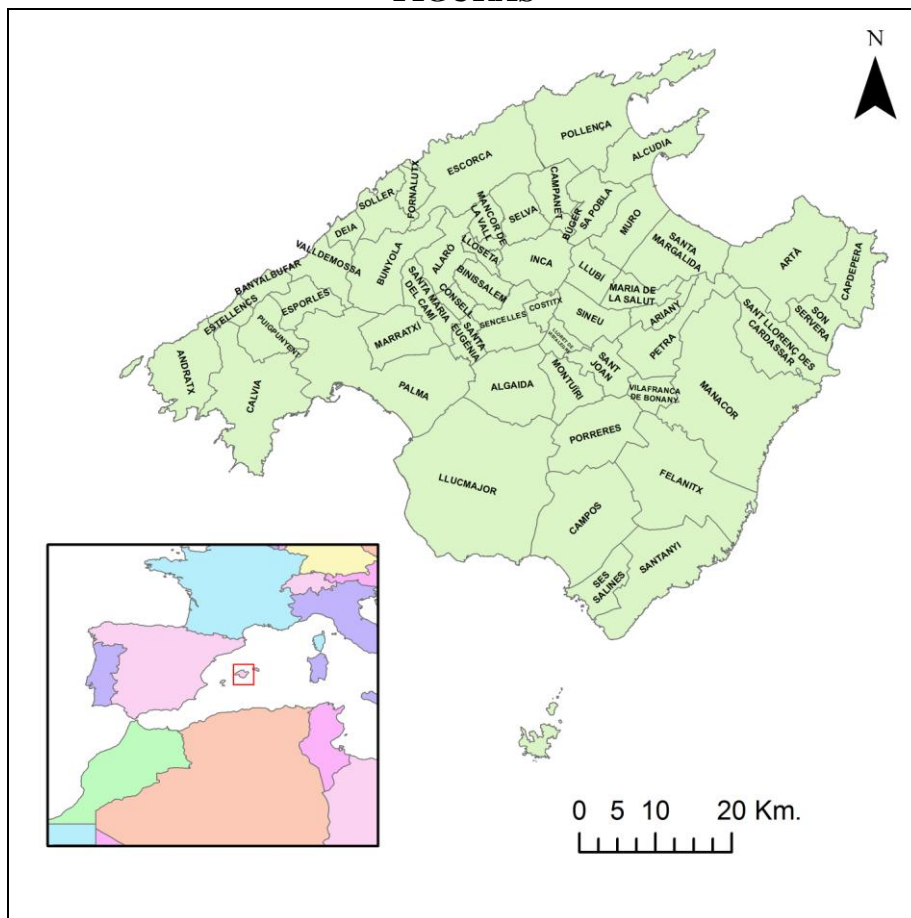


Figura 1. Localización de la isla de Mallorca en la Cuenca Mediterránea.

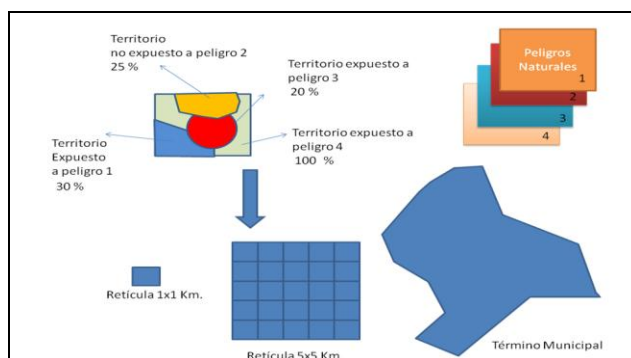


Figura 2. Proceso de obtención del valor de territorio expuesto de las unidades geográficas.

Ruiz Pérez, M. (2012): "Vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales: el caso de la isla de Mallorca (Balears, España)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 12, p 16-52. ISSN: 1578-5157

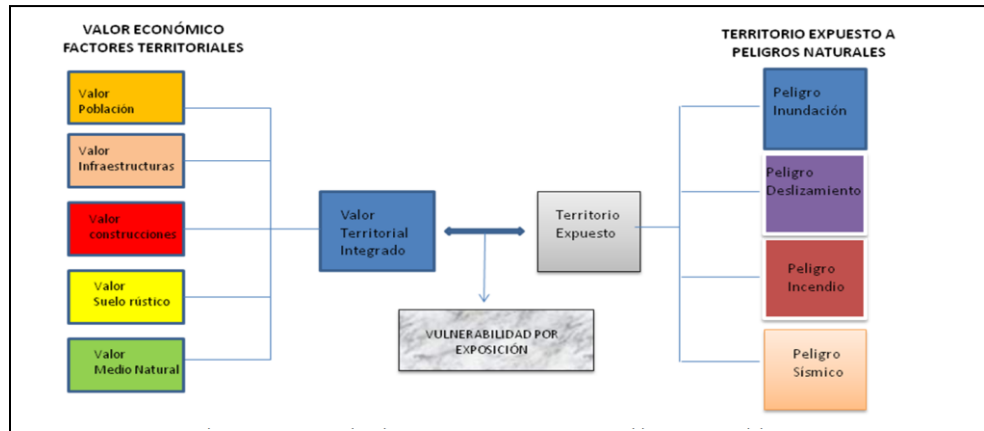


Figura 3. Factores implicados en el cálculo de la vulnerabilidad por exposición.

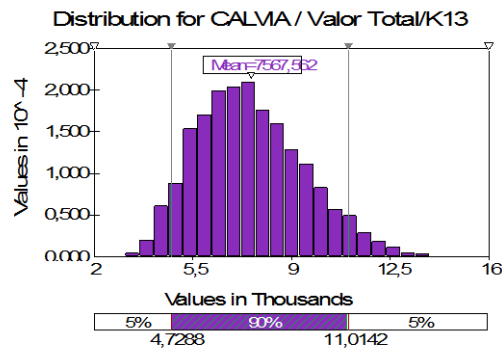


Figura 4. Simulación matemática. Valor Territorial Municipal.  
Detalle de la distribución del valor del municipio de Calvià.

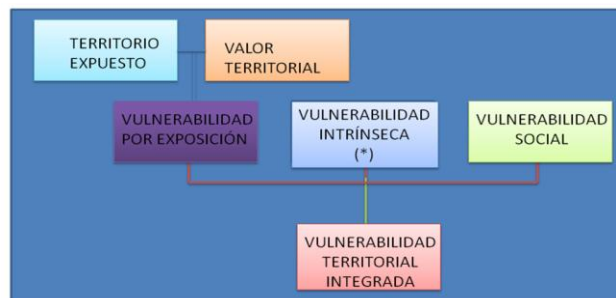


Figura 5. Vulnerabilidad Territorial Integrada.  
(\* ) La vulnerabilidad intrínseca no será considerada en este estudio.

Ruiz Pérez, M. (2012): "Vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales: el caso de la isla de Mallorca (Balears, España)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 12, p 16-52. ISSN: 1578-5157

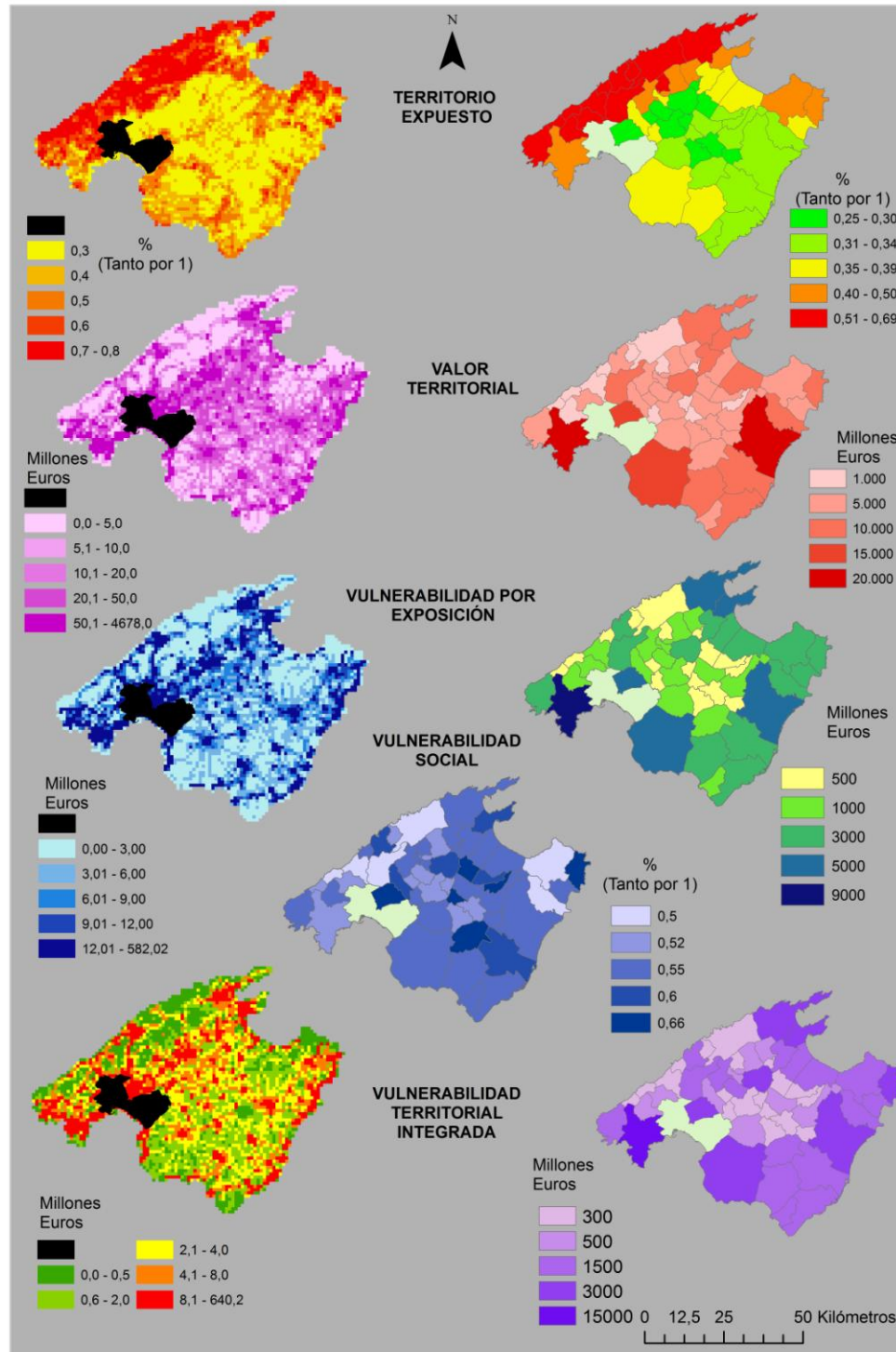


Figura 6. Vulnerabilidad Territorial de Mallorca.

Ruiz Pérez, M. (2012): "Vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales: el caso de la isla de Mallorca (Balears, España)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 12, p 16-52. ISSN: 1578-5157

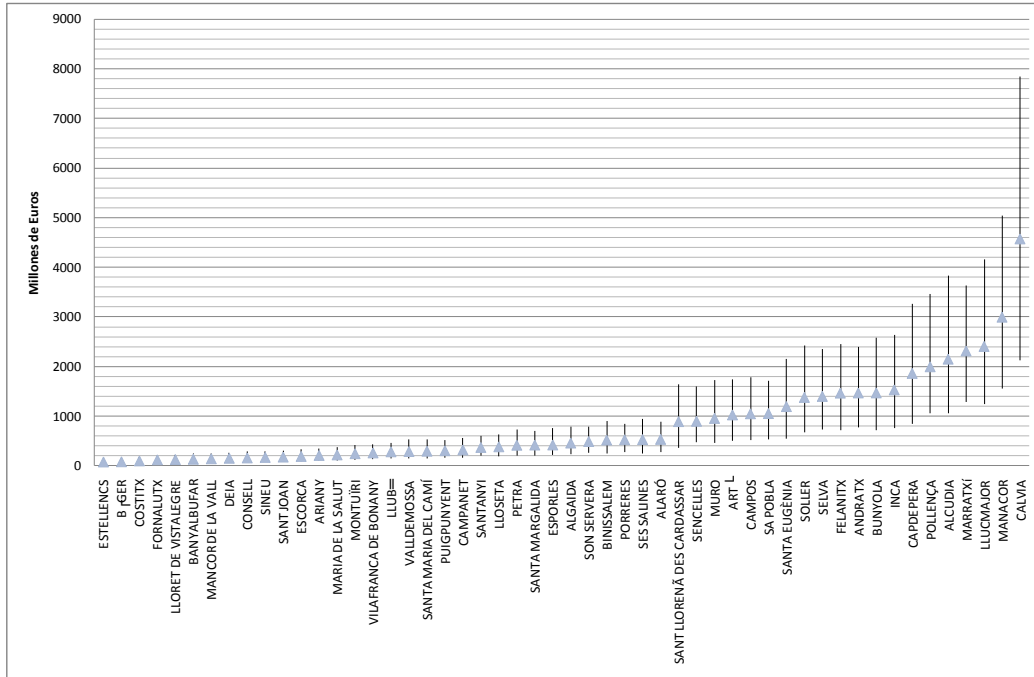


Figura 7. Vulnerabilidad territorial integrada de Mallorca.

## APÉNDICE 1

Distribución normal. Representada mediante una media y una desviación típica. Diremos que la variable aleatoria **Vat** con función densidad de probabilidad normal.

$$f(\text{Vat}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(\text{Vat} - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]}$$

Tiene distribución normal con parámetros  $\mu$  (media) y  $\sigma$  (desviación típica). El valor  $\mu$  determina el centro de la función mientras que  $\sigma$  determina la dispersión.

De esa forma, podremos expresar la exposición territorial como:

$$ETr = \left( \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(\text{Vat} - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \right) T_p$$

El valor económico del territorio quedaría expresado no por un valor absoluto sino por una función de probabilidad que permitiría expresar la variabilidad de este valor entorno a un valor medio y una desviación

típica. Sin embargo, una de las principales condiciones de las funciones normales es que el valor de su media oscile entre  $-\infty < \mu < +\infty$  y  $\sigma > 0$ . Una solución a este problema podría ser acotar la función en sus extremos.

Distribución Triangular. Es más sencilla ya que sólo necesita contar con expectativas acerca de tres valores: el mínimo posible, el máximo posible y el más probable.

$$ETr = \text{Triang} (\text{mínimo}, \text{moda}, \text{máximo}) * Tp$$

El proceso utilizado para aproximar soluciones a un modelo mediante la aplicación aleatoria y repetitiva del algoritmo se conoce como análisis o simulación *MonteCarlo*. Se trata de un método que utiliza técnicas estadísticas de muestreo para obtener una aproximación probabilística de la solución de una ecuación matemática. El sistema consiste en la generación de valores de forma aleatoria con una función de probabilidad dada. El método de muestreo aleatorio simple habitual es el *Montecarlo*, pero también existen otros como el método *Latin Hypercube*, que utiliza un esquema estratificado de muestreo diseñado para asegurar la correcta representación de los extremos inferior y superior de una distribución. Las simulaciones facilitarán el cálculo a partir de distribuciones de probabilidad de los factores de la vulnerabilidad territorial.

---

<sup>1</sup> Por ejemplo, el municipio X cuenta con un núcleo de población y unas infraestructuras que le proporcionan un valor económico de 100 millones de euros. El territorio expuesto al peligro de inundación en dicho municipio (según la cartografía de peligros existente) es del 30 %, sin embargo, la zona inundable no afecta propiamente al núcleo, ni a sus infraestructuras. Según el modelo propuesto, la exposición territorial a la inundación, para dicho municipio sería de 30% de 1.000 millones de euros (ME), es decir 300 ME. El error que se arrastra el modelo por tanto es directamente proporcional al tamaño de la unidad geográfica utilizada. Si el peligro que valoramos es el sísmico, cuya su delimitación geográfica, es prácticamente toda la unidad geográfica. La exposición territorial calculada sí se ajustaría más a esa cifra de 300 ME de exposición territorial. Si se consideran ambos peligros (el sísmico y la inundación) de forma simultánea, los valores de exposición global han ganado en precisión. Cuando se incrementa el número de peligros, progresivamente se alcanza mayor detalle.

<sup>2</sup> El valor real del suelo rústico es el resultado de multiplicar el valor básico (VB) que tiene el suelo rústico en función del término municipal en el que se encuentra situado por los coeficientes siguientes: coeficiente del tipo de cultivo, coeficiente de clasificación territorial, coeficiente de accesibilidad y el coeficiente de entorno.

El valor básico viene definido según la normativa mencionada por los siguientes parámetros: Estudios de mercado en los diferentes términos municipales, Interpolación del valor de los terrenos declarados o aceptados con características similares a los que sean objeto de comprobación.

Coficiente tipo de cultivo: A partir de la cartografía de ocupación del suelo procedente del proyecto europeo Corine Land Cover para el año 2.006 se realiza una reclasificación de los distintos tipos de ocupación del suelo asignando un valor del coeficiente a cada categoría de usos en función de sus características.

Coficiente de clasificación territorial: A partir de la cartografía urbanística del Plan Territorial de Mallorca, la cartografía de la Ley de Espacios Naturales se realiza una reclasificación en base al nivel de presión antrópica.

Coficiente de Acceso. Se calcula un área de influencia de 250 metros desde las carreteras comarcales, municipales y caminos asfaltados. Para ello se utiliza la capa de información de carreteras de Mallorca que suministra la empresa TeleAtlas (<http://www.teleatlas.com>) en formato vectorial a la que se le aplica una función de creación de área de influencia de 250 metros.

Coficiente de entorno: A partir de las prescripciones de la normativa utilizada se realiza una reclasificación

Ruiz Pérez, M. (2012): “Vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales: el caso de la isla de Mallorca (Balears, España)”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 12, p 16-52. ISSN: 1578-5157

---

de los mapas de ocupación del suelo y del plan territorial para la obtención de los valores. También se genera un área de influencia a la costa de 1 Km

<sup>3</sup> El lector puede tener acceso a los resultados cartográficos del estudio en la web <http://geoportal1.uib.es:8399/VULNERABILIDAD>

<sup>4</sup> Es importante señalar, la influencia del tamaño de la unidad geográfica considerada en los resultados obtenidos. A pesar de que el comentario, artículo se ha centrado mayoritariamente en los resultados para las unidades geográficas municipales, en la [figura 5](#), se observa la gran variabilidad de resultados para cada unidad geográfica kilométrica.