

**Interreg**



**Sudoe**



Desarrollo de  
herramientas para  
prevenir y gestionar  
los riesgos en la costa  
ligados al cambio  
climático

**Actividad E2.2.2: Informe técnico sobre los elementos  
expuestos en las zonas de estudio  
ESPAÑA**

**GT2: Cartografías de riesgo para la planificación urbanística y territorial**

**Due date of deliverable:** 30/09/2020

**Actual submission date:** 16/10/2020

**Lead contractor for this deliverable:** IGME

**Autores**

Roberto Sarro, Mónica Martínez-Corbella, Eduardo Peña, Cristina Reyes-Carmona, Miquel Àngel Coll, Marc Fuster, Héctor Aguilera, Jorge Pedro Galve, José Miguel Azañón, Agustín Millares, Marina Cantalejo, Juan Martín, Pedro Martín, Santiago Martín, Anna Barra, Oriol Monserrat, Rosa María Mateos.

Project funded by the Interreg Sudoe Programme through the European  
Regional Development Fund (ERDF)

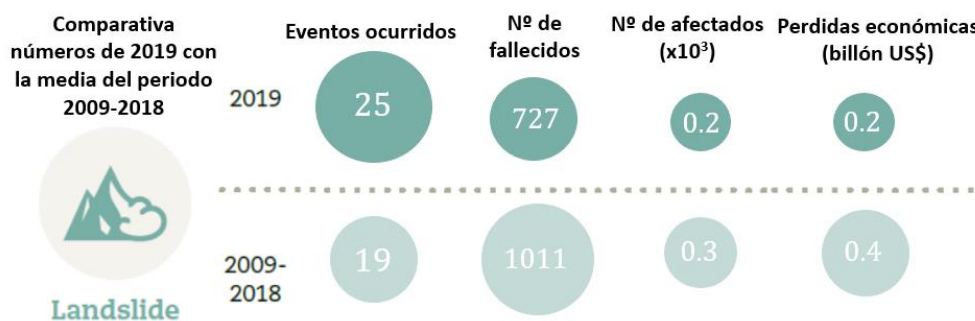


## Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DATOS ESPACIALES.....</b>	<b>5</b>
2.1	Modelos digitales.....	6
2.2	Elementos expuestos .....	6
2.3	Cartografía de apoyo .....	8
<b>3</b>	<b>USOS DEL SUELO.....</b>	<b>10</b>
3.1	Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE)..	10
3.2	Exposición a los desprendimientos según los usos del suelo .....	11
<b>4</b>	<b>INFORMACIÓN ESTADÍSTICA.....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>FACTOR TURÍSTICO .....</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>INDICE DE ELEMENTOS EXPUESTOS .....</b>	<b>20</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>24</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>26</b>
	Anexo I: Mapas de distribución de la población .....	27
	Anexo II: Mapas de niveles de educación .....	32
	Anexo III: Mapas de distribución de viviendas.....	37
	Anexo IV: Mapas exposición considerando usos del suelo por municipio.....	41
	Anexo V: Mapas exposición según estacionalidad turística .....	42
	Anexo VI: Mapas de grado de exposición .....	50

## 1 INTRODUCCIÓN

Los movimientos del terreno suponen un serio problema tanto para la seguridad humana como para las infraestructuras. Así se evidencia en las cifras que aporta el informe del *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)* sobre los desastres naturales acontecidos durante el 2019 (CRED, 2020). En los datos que ofrece este informe se observa que, durante el año 2019, ha aumentado el número de movimientos de terreno respecto a la media establecida en el periodo de tiempo entre los años 2009 y 2018. En cuanto a la afección a personas, se ha producido una ligera disminución. Sin embargo, los datos aún son preocupantes, con más de 700 víctimas por este tipo de procesos. En cuanto a las pérdidas, también han sufrido una disminución respecto a la media del periodo anterior, pero aún se cuantifica con la impactante cifra de 200.000 millones de dólares para el 2019.



**Figura 1.** Movimientos del terreno en cifras durante el 2019

En cuanto a la disposición espacial, la experiencia de científicos y gestores de emergencias, unido a la existencia de bases de datos, permiten conocer de manera aproximada las zonas del mundo más expuestas a este tipo de procesos inestables. Las decisiones donde realizar acciones para gestionar y mitigar eventos futuros también deben de basarse en el contexto social, considerando la población expuesta y las infraestructuras que pueden verse afectadas.

Se entiende por exposición aquellos elementos que pueden sufrir algún tipo de daño por un riesgo concreto. Lee and Jones, (2004) evalúan la exposición como la proporción del valor total del elemento en riesgo que sea susceptible de sufrir un impacto adverso, lo que supone una diferencia respecto del concepto de vulnerabilidad, que es la proporción del valor total del elemento en riesgo de verse afectado. Por tanto, a la hora de evaluar la exposición de elementos que pueden verse afectados por un riesgo geológico, es necesario evaluar la proporción de los activos que se encuentran en zonas peligrosas. El análisis de exposición puede considerarse como una etapa intermedia de la evaluación de

riesgos. En la bibliografía actual, no existen muchos estudios focalizados en metodologías con las que evaluar la exposición a los movimientos del terreno; en general, se considera una parte de la evaluación del riesgo (Lee and Jones, 2004; Pellicani et al., 2014; Santangelo et al., 2020; Sassa et al., 2005).

Generalmente, para estudiar la exposición a movimientos del terreno, tanto de las personas como de viviendas e infraestructuras, se realiza mediante la superposición de mapas de densidad de población, construcciones, etc. con cartografía específica sobre la susceptibilidad a los movimientos de ladera (ver entregable *Actividad E.2.1.2: Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la provincia de Granada*). Sin embargo, este tipo de evaluación proporciona solo una imagen cualitativa de la exposición. La evaluación de la vulnerabilidad es un proceso más complejo que debe considerar múltiples dimensiones y aspectos, incluidos los factores físicos y socioeconómicos (Rahmati et al., 2019). La vulnerabilidad física de las infraestructuras depende principalmente de la intensidad del evento, pero también es necesario tener en cuenta otros aspectos como la tipología, tipo de construcción y el uso al que se destina (Budetta et al., 2017). Por otra parte, la vulnerabilidad social y el nivel de resiliencia de una comunidad, están relacionadas con factores como la demografía, niveles de preparación, memoria de eventos pasados y capacidad de gestión de emergencias frente a estos desastres (Martínez-Gomariz et al., 2019; Tascón-González et al., 2020; Țîncu et al., 2018). Aunque existe una bibliografía que analiza la vulnerabilidad social a los peligros naturales, pocos estudios abordan específicamente la vulnerabilidad social y económica a los movimientos del terreno. En el proyecto RISKCOAST, se han planteado una serie de indicadores para evaluar los niveles de exposición económica, infraestructural y social. Para ello se ha propuesto una nueva metodología para determinar lo que se ha denominado **Índice de Elementos Expuestos (IEE)**. Los indicadores seleccionados representan los elementos/factores que influyen en la capacidad de la sociedad para hacer frente a los daños asociados con los desprendimientos de roca y recuperarse de ellos. Para llevar a cabo este análisis, se ha tomado como piloto, una de las zonas seleccionadas en el proyecto RISKCOAST, la Serra de Tramuntana (Mallorca) (Mateos et al., 2016, 2013; Sarro et al., 2014). La información necesaria para obtener estos indicadores se ha recopilado de diferentes bases de datos, que se detallarán en los siguientes apartados de este entregable.

## 2 DATOS ESPACIALES

Los primeros datos que se han recopilado de cara a establecer los indicadores para la zona de la Serra de Tramuntana, corresponden a información cartográfica digital obtenida de la base de datos del Servei d'Informació Territorial de les Illes Balears (SITIBSA).

SITIBSA es el ente Público del Gobierno de las Islas Baleares, adscrito a la Conselleria de Medi Ambient i Territori, cuya actividad está centrada en el campo de la cartografía y la información territorial. Dentro de las tareas que realiza destaca la elaboración de productos cartográficos de alta calidad y precisión, como mapas, ortofotografías, etc. Hay que destacar la elaboración del Mapa Topográfico de las Islas Baleares, a escala 1:5000, y que tiene la consideración de cartografía básica oficial según la normativa vigente. También elabora mapas de las zonas urbanas, a escala 1:1000 y cartografía temática, como diferentes mapas de usos del suelo. Esta información cartográfica se destina a ser explotada en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) por medio de su base de datos, y sirve de base para el conocimiento, la planificación y la gestión del territorio de las Islas Baleares.

Con este objetivo, el Gobierno de las Islas Baleares tiene encomendado a SITIBSA el desarrollo de la IDEIB (Infraestructura de Datos Espaciales de las Islas Baleares), dentro del marco de la Directiva europea INSPIRE y la IDEE (Infraestructura de Datos Espaciales de España). Este sistema facilita la distribución y difusión de la información geográfica del Gobierno de las Islas Baleares con la utilización de medios telemáticos.

Para facilitar la recopilación de esta información, así como del resto que se utilizará como indicadores de la exposición, se ha utilizado un sistema de base de datos, donde es posible la integración, gestión, almacenamiento y análisis de diferentes fuentes y tipos de información temática. Se considerarán dos tipos de estructuras gráficas: raster y vectorial. En la estructura raster, la información gráfica se almacena en un sistema matricial georreferenciado, organizado en filas y columnas, y con un valor asociado a cada celda. Para la estructura vectorial (es decir, shapefile), los elementos gráficos están representados por tres entidades geométricas básicas: puntos, líneas y polígonos. Todos los shapefiles (puntuales, lineales o poligonales) tienen asociada una tabla de atributos, donde se detalla la información de cada elemento.

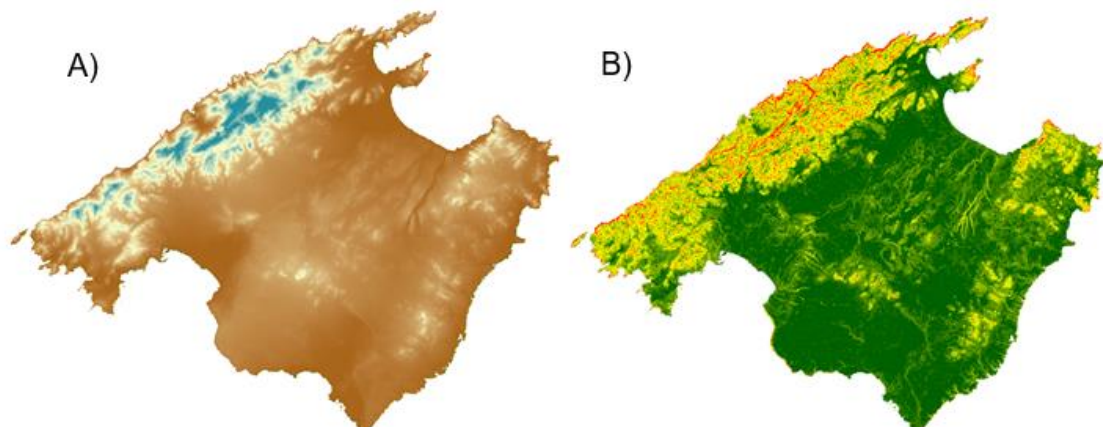
De cara a presentar la información obtenida en SITIBSA, se ha desglosado en función de: (i) Modelos digitales, (ii) Elementos expuestos y (ii) Cartografía de apoyo.

## 2.1 Modelos digitales

En relación a la estructura raster, SITIBSA facilita principalmente varios modelos generados a partir del vuelo LIDAR, con una escala de 1:2000 y una resolución de 2x2 metros de tamaño de pixel.

Los datos LIDAR se obtuvieron gracias al proyecto PNOA-LIDAR cuyo objetivo es cubrir todo el territorio nacional mediante nubes de puntos con coordenadas X, Y, Z obtenidas mediante sensores LiDAR aerotransportados, con una densidad de 0,5 puntos/m<sup>2</sup>. La precisión altimétrica obtenida es mejor de 20 cm RMSE Z. Para el caso de las Islas Baleares, la cobertura LiDAR se ha realizado mediante colaboración con el Instituto Geográfico Nacional.

A partir del modelo de puntos se ha obtenido: (i) MDT: modelo digital de terreno (ii) MDS: modelo digital de superficies (iii) Modelo digital de pendientes (iii) Modelo digital de orientaciones (iv) Imagen del relieve (sombreado).



**Figura 2.** A) Modelo digital del terreno. B) Modelo digital de pendientes

## 2.2 Elementos expuestos

Los elementos expuestos son los elementos que se utilizarán para determinar los indicadores de exposición con los que cuantificar los elementos que hay expuestos por municipio de la Serra de Tramuntana (Mallorca) y para estimar las pérdidas potenciales por desprendimientos en los siguientes entregables del proyecto.

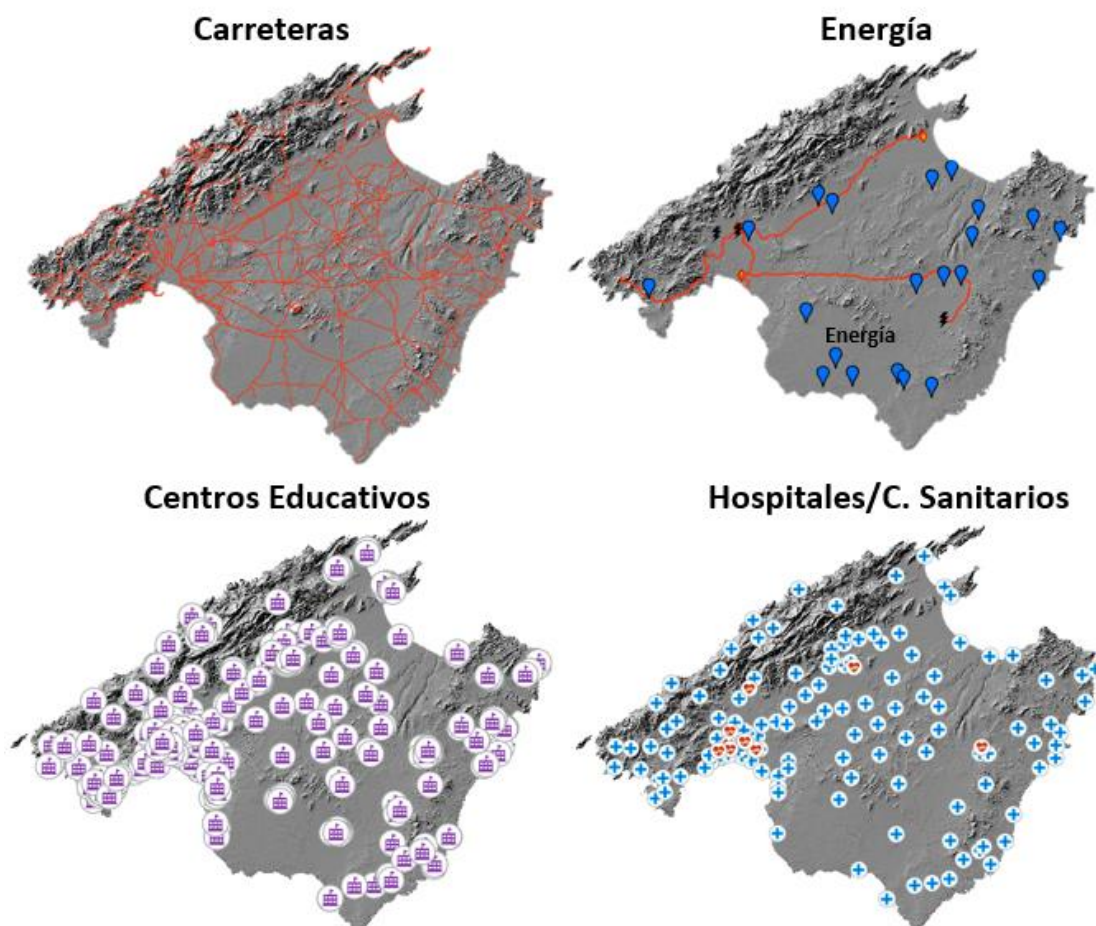
La información que se engloba en este apartado, está formada, tanto por elementos puntuales o lineales como pueden ser centros sanitarios o la red ferroviaria, así como áreas o zonas sobre las que el impacto de un desprendimiento puede tener especial repercusión, como, por ejemplo, zonas de interés turístico o áreas industriales.



Dentro de los elementos puntuales la primera de las capas que se ha recopilado es la red de carreteras de la isla de Mallorca. Dado que incluye diferentes tipologías, se ha decidido tener en cuenta únicamente la red de carreteras de primer, segundo y tercer nivel, que son por las que transitan más del 97% de los vehículos. Dentro de las redes de comunicación, también se ha recopilado la información de las vías ferroviarias y de las estaciones de tren.

Además, también se han incluido aquellas infraestructuras críticas que pueden verse afectadas durante una emergencia por desprendimientos rocosos. Así, se han localizado centros Sanitarios, Hospitales, Centros Educativos, Centros Deportivos y oficinas de Administración Pública (Figura 3).

Por último, se ha tenido en cuenta el sistema energético de la isla, en la que se incluyen 21 estaciones de energía renovable, 3 centrales de cogeneración, 2 centrales térmicas y una red de gaseoductos.



**Figura 3.** Ejemplos de elementos para determinar el nivel de exposición

Dentro de las áreas y zonas que se han estudiado, destacan aquellas relativas al turismo, a la industria, y aquellas con algún tipo de protección medioambiental. La capa de las zonas turísticas *maduras* de Mallorca, delimita aquellas sobre las que se otorgarán una serie de ventajas para la reconversión y la modernización de las instalaciones hoteleras y turísticas. De esta manera, los empresarios de estos sectores podrán gozar de ciertos beneficios para incrementar ocupaciones y usos, como aumentar el número de plazas hoteleras. Las otras zonas que se han recopilado son aquellas destinadas a polígonos industriales uso industrial. En la isla de Mallorca, estas zonas se localizan principalmente en los alrededores de la ciudad de Palma y en la zona sur de la Serra de Tramuntana.

Finalmente se ha contemplado la información de áreas con denominación Natura 2000 y Espacios Naturales Protegidos. La Red Natura 2000 consta de Zonas Especiales de Conservación (ZEC), designadas de acuerdo con la Directiva Hábitat, así como de Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) establecidas en virtud de la Directiva Aves y su objetivo es conservar la biodiversidad de estos espacios. Por otra parte, los espacios naturales protegidos son las zonas terrestres y marinas de las Islas Baleares declaradas como tales en la forma prevista a la Ley 5/2005, de 26 de mayo, debido a su representatividad, singularidad, fragilidad o interés de sus elementos o sistemas naturales.

### **2.3 Cartografía de apoyo**

Como cartografía de apoyo, el servicio del SITIBSA, ofrece información correspondiente a las unidades administrativas de la isla, municipales, Consells y Comunidad Autónoma. Otras divisiones interesantes para considerar posibles indicadores que puedan incrementar la exposición a los desprendimientos, son la base de datos censales y los núcleos del INE, que se explicarán en apartados siguientes.

Por último, también se han incluido en la base de datos las ortofotos de la Serra de Tramuntana con el objetivo de tomar una visión más general de los desprendimientos de rocas en la zona de estudio, definiendo las zonas más afectadas y la evolución de estos desde el año 2006 hasta 2018. Estas imágenes apoyarán el análisis espacio-temporal realizado con el inventario de eventos, a partir de la identificación de indicadores geomorfológicos de desprendimientos en fotografías aéreas y ortofotos para este periodo de tiempo.





**Figura 4.** Comparativa de las ortofotos de los años 2010 y 2015 en las que se observa el desprendimiento de Son Poc de marzo del 2013

### 3 USOS DEL SUELO

En este apartado se analizará el nivel de afección por desprendimientos de los 13 municipios que conforman la Serra de Tramuntana (Mallorca) en función de los indicadores relativos a la ocupación del suelo. Los municipios que han sido objeto de este estudio son: Andratx, Pollença, Escorca, Banyalbufar, Bunyola, Fornalutx, Esporles, Deià, Calvià, Puigpunyent, Estellencs, Sóller y Valldemossa. Para este trabajo, se ha partido de la información recopilada en la base de datos SIOSE, en su versión actualizada del año 2014, la cual se encuentra disponible en Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

#### 3.1 Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE)

SIOSE es una base de datos de ocupación del suelo de todo el territorio español a escala cartográfica de referencia 1:25.000, la cual integra la información disponible de las Comunidades Autónomas y la Administración General del Estado. Se enmarca dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio en España (PNOT), que coordina y gestiona el IGN y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). El Sistema Geodésico de Referencia es el ETRS 89 (European Terrestrial Reference System 1989).

SIOSE establece una gran infraestructura de información geográfica de uso multidisciplinar y actualizada periódicamente que permite su integración en otras bases de datos de ocupación del suelo, tanto europeas (como el CORINE Land Cover) como mundiales (por ejemplo, Global Cover). Hoy en día, el SIOSE es un referente español y europeo en materia de información geográfica, armonizada en sus bases de datos y normalizada en sus procedimientos. La primera versión de SIOSE consta del año 2005, tras la que se han ido actualizando nuevas versiones hasta la última en 2014, la cual ha sido la empleada para este trabajo.

SIOSE divide el territorio en una malla continua de polígonos, teniendo cada uno de ellos una o varias coberturas con su correspondiente porcentaje de ocupación y atributos. La superficie mínima que representa un polígono SIOSE varía en función de la cobertura del suelo del mismo:

- Agua, cultivos forzados, coberturas húmedas, playas, vegetación de ribera y acantilados marinos: 0,5 ha.
- Zonas urbanas: 1 ha.
- Zonas agrícolas, forestales y naturales: 2 ha.

Cuando la superficie de un polígono está ocupada al 100% por un único tipo de cobertura hablamos de cobertura simple. Por el contrario, cuando un polígono

contiene dos o más coberturas simples y/o compuestas, hablamos de cobertura compuesta.

Siguiendo la Directiva europea INSPIRE, cuyo objetivo es fijar las normas generales para establecer una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea, en España las coberturas del suelo se definen siguiendo la clasificación del Consejo Directivo de la Infraestructura de Información Geográfica de España (CODIIGE). Por ello, la clasificación que se ha seguido ha sido en base a CODIIGE, de forma que se tienen las coberturas reflejadas en la Tabla 1.

CODIIGE	DESCRIPCIÓN
111	Casco
112	Ensanche
113	Discontinuo
114	Zona verde urbana
121	Instalación agrícola y/o ganadera
122	Instalación forestal
123	Extracción minera
130	Industrial
140	Servicio dotacional
150	Asentamiento agrícola y huerta
161	Red viaria o ferroviaria
162	Puerto
163	Aeropuerto
171	Infraestructura de suministro
172	Infraestructura de residuos
210	Cultivo herbáceo
220	Invernadero
231	Frutal cítrico
232	Frutal no cítrico
233	Víñedo
234	Olivar
235	Otros cultivos leñosos
236	Combinación de cultivos leñosos
240	Prado
250	Combinación de cultivos
260	Combinación de cultivos con vegetación
311	Bosque de frondosas
313	Bosque mixto
312	Bosque de coníferas
320	Pastizal o herbazal
330	Matorral
340	Combinación de vegetación
351	Playa, duna o arenal
352	Roquedo
353	Temporalmente desarbolado por incendios
354	Suelo desnudo
411	Zona húmeda y pantanosa
412	Turbera
413	Marisma
414	Salina
514	Lámina de agua artificial
511	Curso de agua
512	Lago o laguna
513	Embalse
515	Mar
516	Glaciar y/o nieve perpetua

**Tabla 1.** Clasificación CODIIGE de coberturas del suelo.

### 3.2 Exposición a los desprendimientos según los usos del suelo

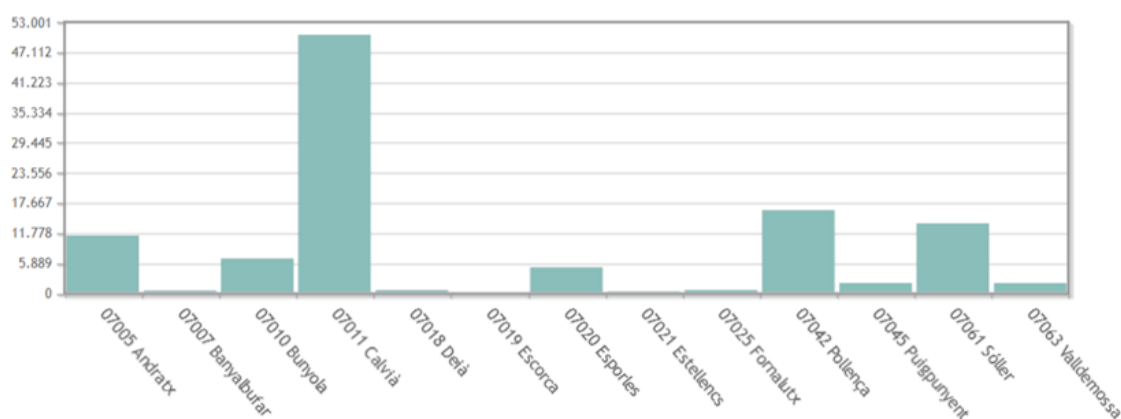
La metodología seguida para llevar a cabo esta cartografía, ha comenzado con una reclasificación de las coberturas del suelo de cada uno de los municipios seleccionados, asignándole a cada una de las zonas un índice de susceptibilidad a la afección por desprendimientos. Para ello se han considerado factores como la concentración de personas en esas zonas, el tipo de actividad económica que se desarrolla, o que formen parte de sistemas de servicios sobre los que cualquier alteración puede producir un efecto cascada que afecte seriamente a la población. (ver Tabla 2).

Posteriormente, se han sumado aquellas áreas de las coberturas con la misma susceptibilidad y se ha calculado el porcentaje de área para cada categoría respecto al área del municipio.

El resultado final es un mapa que refleja el nivel de afección por desprendimientos según los usos del suelo (*ver Anexo IV*) por municipios en la comarca de la Serra de Tramuntana, representando las proporciones de cada nivel mediante un diagrama de sectores.

Se puede observar que en todos los términos municipales son mayoritarias las coberturas del suelo con un bajo índice de susceptibilidad; sin embargo, caben destacar algunas particularidades.

Los resultados obtenidos muestran cómo los municipios que tienen una mayor posible afección a los desprendimientos rocosos (alta-moderada) son, Calvià, Sóller, Fornalutx, Pollença y Bunyola. En el municipio de Calvià, este índice se debe principalmente a la existencia de varios núcleos urbanos que conforman el anillo que rodea la ciudad de Palma, y en las que se concentran varias áreas turísticas. Además, desde el punto de vista de tamaño de núcleos urbanos, hay que destacar los existentes en los municipios de Sóller y Pollença. Por tanto, se muestra la relación entre estos resultados y los obtenidos con los datos de densidad de población de los distintos municipios (*ver Anexo I*), siendo aquellos municipios con mayor densidad de población los que ofrecen una mayor probabilidad de afección a los desprendimientos. Por el contrario, aquellos municipios con menor densidad de población presentan un menor índice de susceptibilidad.



**Figura 5.** Padrón oficial en los municipios de la Serra de Tramuntana (población en municipio) (2019)

En los municipios de Sóller, Fornalutx, Pollença y Bunyola, estos valores además de tener relación con la concentración de núcleos urbanos, también

están condicionados por el tipo de actividad económica. Dejando de lado el principal sector de la economía en esta zona, el turismo, tradicionalmente en la Serra de Tramuntana, se ha desarrollado una actividad agrícola importante en el pasado. Este tipo de actividad está organizada, según diferentes tipos: (i) las localizadas frecuentemente en el fondo de los valles, destinadas al cultivo de cereales, principalmente el trigo; (ii) tierras dedicadas a cultivos arbóreos, como los olivos, por medio de marjadas asentadas en el piedemonte; (iii) terrenos dedicados a algún tipo de frutal para el consumo de cercanía. Un ejemplo claro de este tipo de economía agraria lo ofrece el municipio de Sóller, cuyo núcleo urbano principal se localiza en un fértil valle de naranjos.

Cobertura	Susceptibilidad	Cobertura	Susceptibilidad
Casco	alta	Combinación de cultivos leñosos	baja
Ensanche	alta	Bosque de frondosas	baja
Discontinuo	alta	Bosque mixto	baja
Zona verde urbana	alta	Bosque de coníferas	baja
Extracción minera	alta	Pastizal o herbazal	baja
Industrial	alta	Matorral	baja
Servicio dotacional	alta	Combinación de vegetación	baja
Red viaria o ferroviaria	alta	Roquedo	baja
Puerto	alta	Temporalmente desarbolado por incendios	baja
Aeropuerto	alta	Suelo desnudo	baja
Infraestructura de suministro	alta	Zona húmeda y pantanosa	baja
Playa, duna o arenal	alta	Marisma	baja
Embalse	alta	Lámina de agua artificial	baja
Cultivo herbáceo	moderada	Curso de agua	baja
Invernadero	moderada	Mar	baja
Frutal cítrico	moderada		
Frutal no cítrico	Moderada		
Viñedo	moderada		
Olivar	moderada		
Combinación de cultivos	moderada		
Combinación de cultivos con vegetación	moderada		
Asentamiento agrícola y huerta	moderada		

**Tabla 2.** Clasificación de las coberturas del suelo CODIIGE en la Serra de Tramuntana según el índice de susceptibilidad a desprendimientos.



## 4 INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

El siguiente tipo de información para evaluar el nivel de elementos vulnerables es la información estadística facilitada por el Instituto Nacional de Estadística (INE). El INE es un organismo autónomo de carácter administrativo, con personalidad jurídica y patrimonio propio, adscrito al Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital a través de la Secretaría de Estado de Economía y Apoyo a la Empresa. Se rige, básicamente, por la Ley 12/1989, de 9 de mayo, de la Función Estadística Pública (LFEP), que regula la actividad estadística para fines estatales.

Por tanto, el INE, dispone de un catálogo de datos estadísticos muy extensos; en el que destacan variables de tipo social. De cara a identificar las variables con las que evaluar la exposición, se ha llevado a cabo una revisión del catálogo existente a través de la consulta directa tanto desde su página web oficial ([www.ine.es/datosabiertos](http://www.ine.es/datosabiertos)), como a través del portal [datos.gob.es](http://datos.gob.es).

Por medio de esta revisión, se ha buscado la uniformidad, armonización y unificación de las variables que también van a ser estudiadas en el resto de zonas de estudio del proyecto RISKCOAST. El objetivo principal de manejar datos similares es poder aplicar una metodología en el que coincida el mayor número de variables, para posteriormente ofrecer un análisis y una discusión sobre cuáles son los factores que más influyen en cada uno de los países del consorcio RISKCOAST. Las variables de tipo geográfico (hospitales, centros de salud y educativos, red de infraestructuras viarias, etc.), en formato Inspire con metadatos y atributos asociados ya se han presentado en el apartado anterior.

Con este punto de partida, en primer lugar, se procedió a revisar el catálogo completo de datos del INE para identificar las variables que se seleccionarían para el estudio. Una vez identificadas estas variables, se procedió a la descarga de la información en formato xls como paso intermedio para poder emplearlas como dato de entrada en el estudio de la exposición y vulnerabilidad de diversos elementos frente a la ocurrencia de desprendimientos rocosos.

A continuación, se describe el procedimiento que se ha seguido para la obtención de estas variables que posteriormente servirán de base para los mapas incluidos en los *Anexos I a III*.

Tal y como puede verse en la figura 6, los datos existentes en el portal web del INE (<https://www.ine.es/index.htm>) están agrupados por temáticas

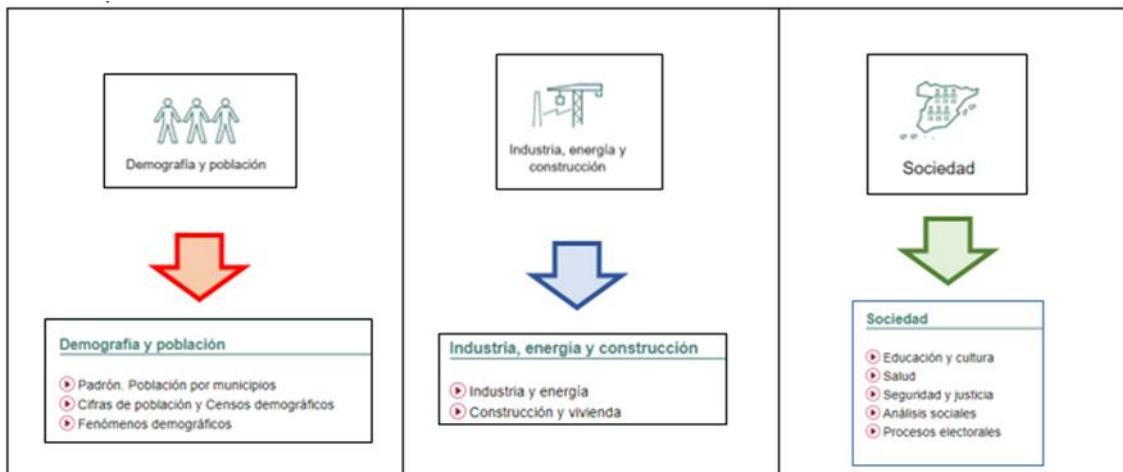


Datos por temas



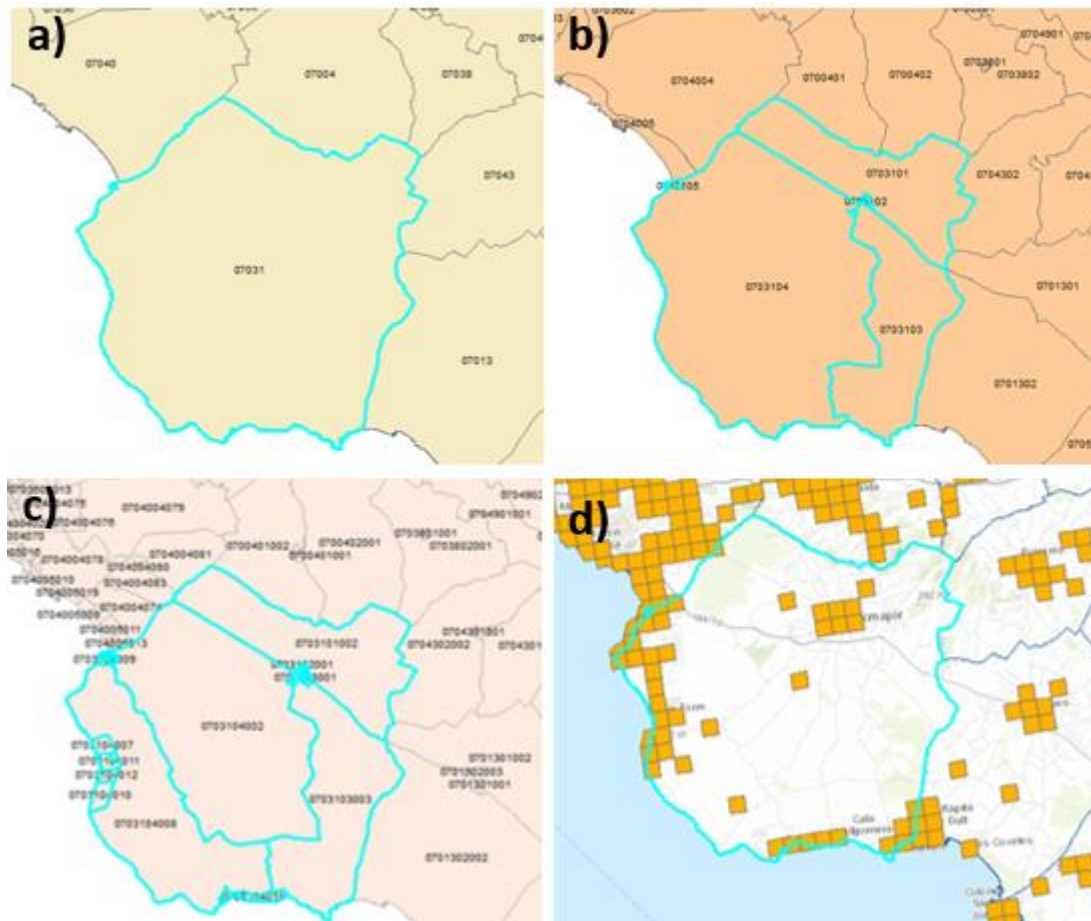
**Figura 6. Distribución de datos en la web del INE**

Las variables que se han seleccionado para este estudio corresponden a las temáticas de: Demografía y población, Industria, energía y construcción, y Sociedad. En cada una de las temáticas seleccionadas a su vez existen diferentes grupos de datos, tal y como se aprecia en la Figura 7:



**Figura 7. Grupos de datos dentro de las temáticas seleccionadas**

A partir de la inspección detallada de todas las variables, se ha observado que la información estadística de cada una de estas variables no está definida, en cuanto nivel de detalle o escala, de forma homogénea. Los niveles o escalas encontrados -ordenados de menor a mayor escala de detalle- son: Escala/Nivel de Comunidad Autónoma, Escala/Nivel de Provincias, Escala/Nivel de Municipios, Escala/Nivel de Distrito censal, Escala de Sección censal y Cuadrícula europea normalizada (1 km<sup>2</sup>) (ver Figura 8).



**Figura 8.** Representación a escala de a) municipio, b) distrito, c) sección censal y d) cuadrícula.

De la subtemática de Demografía y población, se han seleccionado las cifras de población por municipio. Así, se ha obtenido una tabla en la que desglosa el nº de población total, de hombres y mujeres para cada municipio de las Islas Baleares y para un periodo de tiempo que oscila entre los años 1996 y 2019.

Para el caso de la subtemática de industria, energía y construcción, se ha procedido a la descarga de la información del Censo de Viviendas del año 2011 para las islas Baleares. Se trata del último censo disponible, ya que el censo se actualiza desde 1900 cada diez años, por tanto, está previsto que la próxima edición se llevará a cabo en 2021.

La relación de información disponibles en los datos estadísticos se recopila en un listado de 22 tablas codificadas desde la T1 a la T22. Las tablas T1 a T15 pertenecen a población. Las tablas T16 a T20 corresponden a viviendas y las tablas T21 a T22 pertenecen a hogares. Al final de cada una de estas tablas entre paréntesis se indica la cantidad de datos/variables existentes de tal forma que,

por ejemplo, para el caso de la tabla T2 que corresponde a la población total por sexo, hay 2 subtablas: la tabla t2\_1 que corresponde a hombres y la tabla t2\_2 que corresponde a mujeres.

Una vez se han analizado las tablas existentes en el INE, se seleccionaron aquellos datos que cumplían con los requisitos establecidos al principio del apartado, homogeneidad, unificación y fiabilidad, además de ser las más representativas para llevar a cabo el estudio de elementos expuestos. En la siguiente tabla se enumeran aquellas que se han seleccionado.

Relación de indicadores	
Tabla	Indicador
T1_1	Población total
T3_1	Personas menores de 16 años
T3_3	Personas con más de 64 años
T12_1	Personas analfabetas
T12_2	Personas sin estudios
T12_3	Personas con estudios de primer grado
T12_4	Personas con estudios de segundo grado
T12_5	Personas con estudios de tercer grado
T16_1	Total viviendas
T18_4	Viviendas en alquiler
T19_1	Viviendas de menos de 30 m <sup>2</sup>
T19_10	Viviendas de más de 180 m <sup>2</sup>
T21_1	Total Hogares

**Tabla 3.** Listado de variables seleccionadas.

El resultado final son un listado de elementos o variables de exposición desglosado por niveles de detalle. En los *Anexos I a III* se muestran la representación geográfica de las variables obtenidas a partir del Censo del 2011 del INE a una escala de sección censal.

## 5 FACTOR TURÍSTICO

Una de las consideraciones más olvidadas en territorios turísticos es la temporalidad del turismo. Cuando coinciden zonas de interés turístico con zonas de alta susceptibilidad a los riesgos geológicos, se produce una variación en la consideración de los elementos expuestos (Fuchs et al., 2012). Este escenario puede verse modificado si se incluye otro tipo de variables, como por ejemplo: la recurrencia de estos fenómenos debido al cambio climático. Ejemplos que evidencian esta situación pueden encontrarse realizando una breve indagación: en 2018, siete turistas resultaron heridos en un desprendimiento de rocas en la playa de Navagio, en la isla griega de Zante; los 12 muertos por las inundaciones de San Lorenzo de Cardassar y Llorenc en Mallorca (2018); y los 33 fallecidos y los más de 500 turistas extranjeros y sus guías que tuvieron que ser rescatados en Nepal después de un deslizamiento de tierras en agosto del 2014. Todos estos fenómenos tienen como denominador común la agravación del riesgo geológico por una mayor exposición debida al turismo.

En la zona mediterránea de las regiones SUDOE, estos sucesos son cada vez más recurrentes como se evidenció en el entregable 1.1.1, incrementando la peligrosidad geológica derivada del cambio climático por el aumento de sequías, el incremento de intensidad de las precipitaciones, así como por las variaciones del nivel del mar.



**Figura 9.** Daños causados por los fenómenos de gota fría del 2018 y 2020 en Mallorca.

Por otra parte, en la actualidad el turismo tiene una gran influencia sobre la economía de los destinos turísticos, como factor de desarrollo y competitividad. Esta circunstancia ha provocado que el análisis de los impactos de la estacionalidad, hayan sido abordados con mayor intensidad dentro de un contexto socio-económico y ocupacional (Nadal et al., 2004). Desde el proyecto RISKCOAST, se ha fomentado que este factor también se tenga en cuenta a la hora de analizar la exposición a los riesgos geológicos, en particular a los desprendimientos de rocas.





**Figura 10.** Relación del turismo en las Islas Baleares y el riesgo por desprendimientos

En la bibliografía existen multitud de referencias que buscan el medir la estacionalidad a partir del desarrollo del turismo de masas tanto a nivel internacional como nacional (Baum and Lundtorp, 2001; Cunado et al., 2005; Duro and Farré, 2015; Koenig and Bischoff, 2003). Este fenómeno también ha sido ámbito de estudio en las Islas Baleares, destacando los trabajos llevados a cabo por Capó et al. (2007), Murray Mas et al. (2017), Ramis Coll (2018) o Riera Font et al. (2011). Estos estudios han permitido observar que la evaluación de este fenómeno se ha realizado a partir de diferentes variables del sistema turístico (nivel de ocupación, período, estancia media, etc.). Sin embargo, la mayor parte de ellos se basan en variables relacionadas con el comportamiento de la demanda, dejando de lado la variable de la oferta. En el proyecto RISKCOAST se ha estudiado la estacionalidad teniendo en cuenta los aspectos de ambas variables.

Como datos para cuantificar el nivel de exposición a los desprendimientos rocosos relacionados con el turismo se han seleccionado las siguientes variables: total plazas turísticas por municipio (datos 2019), Número de Viviendas de Uso Turístico por municipio (datos 2019), Grado de ocupación de alojamientos turísticos por temporada turística (Baja, Media, Alta), y el Índice de Presión Humana (turistas+residentes) por temporada turística (Baja, Media, Alta) y municipio. La representación de estos datos puede verse en el Anexo V.

## 6 ÍNDICE DE ELEMENTOS EXPUESTOS

En este último apartado, a partir de la información recopilada se han seleccionado los indicadores que se utilizarán para calcular el Índice de Elementos Expuestos (IEE). Partiendo de la información, se ha desarrollado una metodología que consta de los siguientes pasos: (i) selección de los indicadores, (ii) procesado de los datos, (iii) normalización de los indicadores (iv) determinación del peso específico de los indicadores, (v) obtención del Índice de Elementos Expuestos mediante la suma de los índices de tipología social, infraestructural y medioambiental, y, por último, (vi) obtención del mapa de elementos expuestos por municipio, ajustando los índices a la función de distribución beta y haciendo una clasificación en grados de exposición.

Para la selección de estos indicadores se han tenido en cuenta diversos criterios, pero principalmente se ha priorizado su relevancia en caso del riesgo de desprendimientos rocosos y la disponibilidad de los datos de base a una escala municipal. En este sentido, se han seleccionado un conjunto de 10 indicadores que engloban la exposición de tipo social, infraestructural y medioambiental. Estos indicadores se han obtenido a partir de la información y las formulas establecidas en la *Tabla 4*:

ID	Tipo	Indicador	Fórmula
1	Social	Densidad de población por municipio	Número de habitantes / área del municipio (km <sup>2</sup> )
2	Social	Población en edad vulnerable por municipio	Número de habitantes >64 y <16 / Habitantes del municipio
3	Social	Población con bajo nivel de estudios por municipio	Número de habitantes analfabetos, sin estudios, o estudios primarios / Habitantes del municipio
4	Infraestructural	Densidad de viviendas por municipio	Número total de viviendas / área del municipio (km <sup>2</sup> )
5	Social	Nivel ocupacional de las viviendas por municipio	(Número total de viviendas - Número de viviendas vacías) / Habitantes del municipio
6	Infraestructural	Superficie expuesta según usos del suelo	Porcentajes de los usos del suelo catalogados como alta + moderada por municipio
7	Infraestructural	Longitud de red de transporte por municipio	Media ponderada de la Longitud de vías según tipología / área del municipio (km <sup>2</sup> )
8	Infraestructural	Densidad de infraestructuras críticas	Media ponderada del número de infraestructuras críticas / área del municipio (km <sup>2</sup> )
9	Ambiental	Densidad de Espacios Naturales Protegidos	Área de espacio natural protegido / área del municipio (km <sup>2</sup> )
10	Infraestructural	Densidad de alojamiento turístico por municipio	(Número de plazas de alojamiento + Viviendas de uso turístico) / área del municipio (km <sup>2</sup> )
	Social	Grado de presión humana por temporada turística	Número Personas por km <sup>2</sup> en cada municipio en temporada baja, media y alta

**Tabla 4.** Indicadores utilizados para calcular el Índice de Elementos Expuestos (IEE)



A continuación, y dado que los 10 indicadores seleccionados en la tabla anterior se encuentran en diferentes unidades de medida, se ha realizado su normalización. Gracias a este paso, se ha conseguido armonizar todos los indicadores utilizados, expresándolos en valores adimensionales en un rango entre 0 y 1. La relación entre los indicadores y la exposición puede ser de dos tipos directa o indirecta. En el primer caso los elementos expuestos aumentan con el valor del indicador, mientras que, con la segunda, estos elementos expuestos disminuyen con el valor del indicador. Las fórmulas para el caso de una normalización de relación directa es la siguiente:

$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Mientras que para la normalización de relaciones inversas se utilizaría esta otra:

$$X_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde, en ambas ecuaciones:  $X_i$  es el valor normalizado de los valores del indicador  $x_i$ ;  $x_{\min}$  y  $x_{\max}$  son los valores mínimo y máximo del conjunto de datos del indicador  $x_i$ , respectivamente. De los 10 indicadores que se han estudiado en este trabajo, todos tienen una relación directa con el Índice de Elementos Expuestos.

Una vez obtenidos los valores normalizados de los indicadores, se calculó el peso de cada uno de ellos con el objetivo de que grandes variaciones de uno o más indicadores, no dominen la contribución del resto de los indicadores. Para esta ponderación se aplicó la fórmula de la media armonizada ya que se ve poco influenciada por la existencia de valores muy grandes en el conjunto de los datos, siendo en cambio sensible a los valores más pequeños. La ecuación aplicada es la siguiente:

$$P_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde,  $P_i$  es el peso del indicador normalizado  $i$ ;  $x_i$  es la media del conjunto de valores del indicador  $i$ ; y  $n$  es el número de indicadores seleccionados.

Seguidamente, se han calculado los Índices de Elementos Expuestos de tipo social, infraestructural y ambiental (IS, II e IA, respectivamente), para posteriormente hacer una media ponderada para obtener el Índices de Elementos Expuestos Global (IEE). Para ello se ha aplicado la siguiente formula:

$$IS, II, IA = \sum_{i=1}^n X_i P_i \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde,  $X_i$  es el valor del indicador  $i$ ;  $P_i$  es el peso del indicador normalizado  $i$ ;  $n$  es el número de indicadores correspondientes a cada tipo de exposición.

De cara a calcular el obtener el Índice de Elementos Expuestos Global (IEE) se ha decidido aplicar un método heurístico en el que se ha dado más importancia a los aspectos sociales, seguido de los infraestructurales y finalmente las ambientales. Para ello, en el cálculo del sumatorio de los Índices anteriores se ha aplicado una media ponderada (ver ecuación 5), en el que la IS esta multiplicado por 0.6, la IE por 0.3 y IA por 0.1.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{x_1 w_1 + x_2 w_2 + x_3 w_3 + \dots + x_n w_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n} \quad \text{Ecuación 5}$$

Por último, el Índice de Elementos Expuestos Global se ha calculado siguiendo la fórmula:

$$IEE = \frac{(0.6 \times IS) + (0.3 \times II) + (0.1 \times IA)}{3} \quad \text{Ecuación 6}$$

Como última fase de la metodología, se ha clasificado en categorías el IEE, por medio de la distribución probabilística beta, distribución que es la más adecuada para este caso de estudio, y que toma valores en el intervalo (0,1). La densidad de probabilidad de la función beta está definida por la siguiente ecuación:

$$f(z) = \frac{z^{a-1}(1-z)^{b-1}}{\int_0^1 z^{a-1}(1-z)^{b-1} dz}; \quad 0 < z < 1; \text{ y } a, b > 0 \quad \text{Ecuación 7}$$

En la cual la media  $\mu$  y la varianza  $\sigma^2$  de la variable se determinan por medio de:

$$\mu = \frac{a}{a+b} \quad \text{Ecuación 8}$$

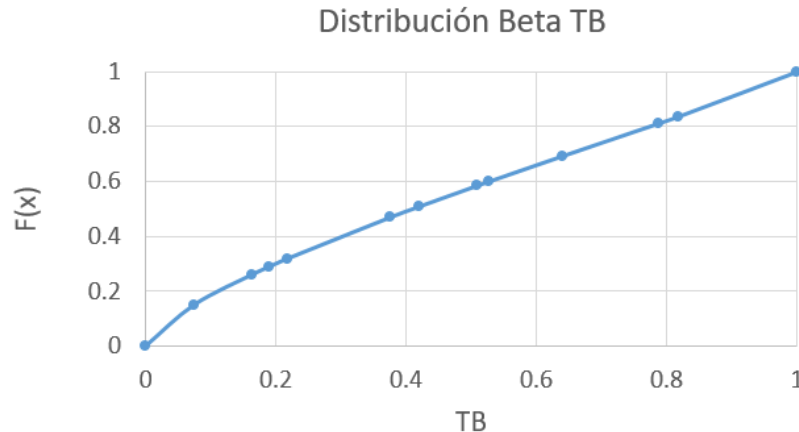
$$\sigma^2 = \frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)} \quad \text{Ecuación 9}$$

Al simplificar ambas expresiones para conocer los parámetros a y b, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$a = \alpha = \mu \left\{ \frac{\mu(1-\mu)}{\sigma^2} - 1 \right\} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$b = \beta = a \left\{ \frac{1-\mu}{\mu} \right\} \quad \text{Ecuación 12}$$

El resultado obtenido son las gráficas de distribución beta como podemos observar en la figura siguiente para el caso de temporada baja.



**Figura 11.** Función distribución beta para la temporada baja

Estos resultados se han utilizado para clasificar el IEE con base en su probabilidad de ocurrencia, definiéndose 5 categorías formadas con los intervalos 0-15 /15-35 /35-55 /55-75 /75-100 correspondientes a grado de elementos expuestos Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto, según puede observarse en el Anexo VI.

## BIBLIOGRAFIA

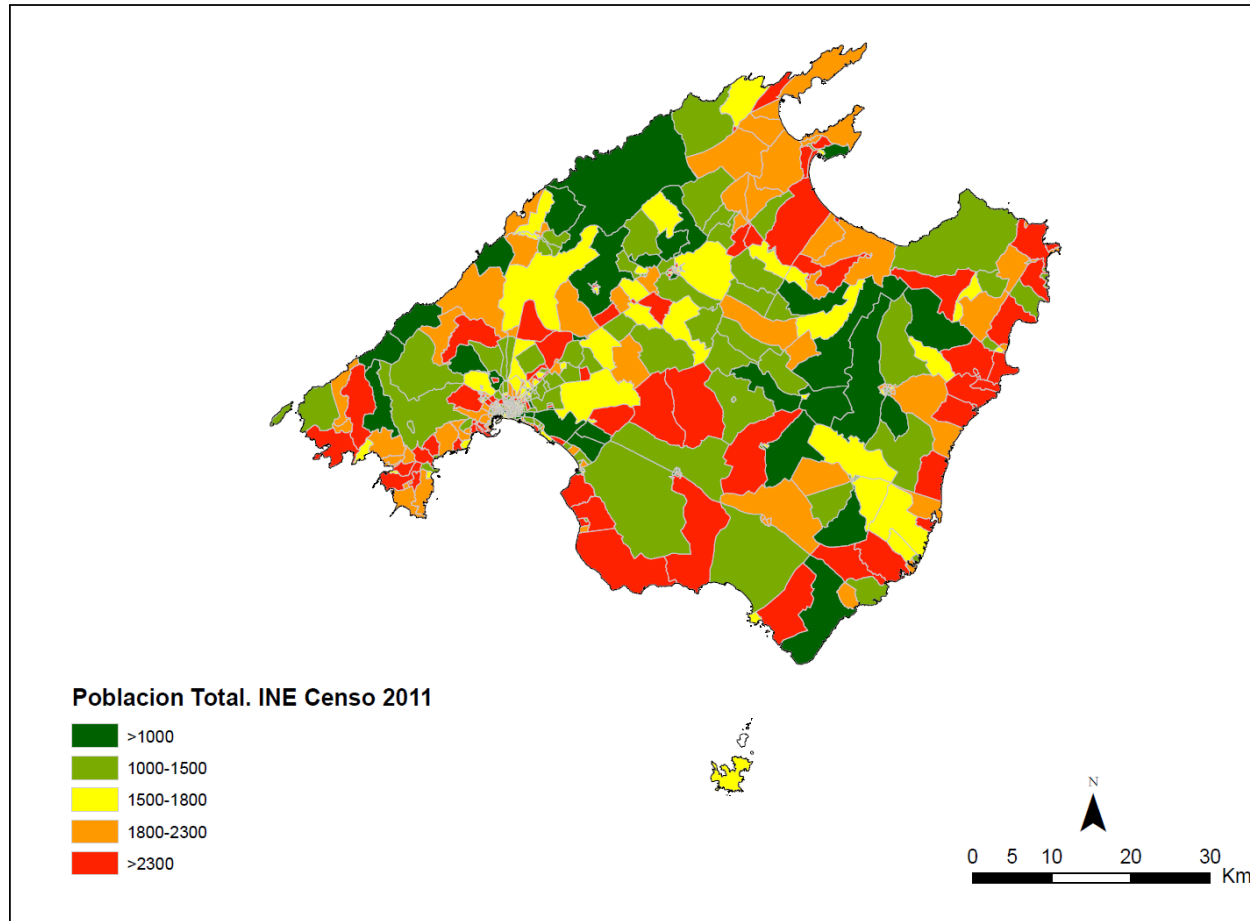
- Baum, T., Lundtorp, S., 2001. *Seasonality in Tourism*. Routledge.
- Budetta, P., Forte, G., Nappi, M., 2017. Loss of life risk due to impacts of boulders on vehicles traveling along a very busy road, in: Dell'Acqua, G., Wegman, F. (Eds.), *Transport Infrastructure and Systems*. CRC Press, pp. 27–32. <https://doi.org/10.1201/9781315281896-5>
- Capó, J., Font, A.R., Nadal, J.R., 2007. Dutch Disease in Tourism Economies: Evidence from the Balearics and the Canary Islands. *Journal of Sustainable Tourism* 15, 615–627. <https://doi.org/10.2167/jost698.0>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters CRED, 2020. *Natural disasters 2019: Now is the time to not give up*.
- Cunado, J., Gil-Alana, L.A., de Gracia, F.P., 2005. The Nature of Seasonality in Spanish Tourism Time Series. *Tourism Economics* 11, 483–499. <https://doi.org/10.5367/000000005775108764>
- Duro, J.A., Farré, F.X., 2015. Estacionalidad turística en las provincias españolas: medición y análisis. *Cuadernos de Turismo* 157–174. <https://doi.org/10.6018/turismo.36.230921>
- Fuchs, S., Birkmann, J., Glade, T., 2012. Vulnerability assessment in natural hazard and risk analysis: current approaches and future challenges. *Nat Hazards* 64, 1969–1975. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0352-9>
- Koenig, N., Bischoff, E.E., 2003. *Seasonality of Tourism in Wales: A Comparative Analysis: Tourism Economics*. <https://doi.org/10.1177/135481660300900301>
- Lee, E.M., Jones, D.K.C., 2004. *Landslide Risk Assessment*. Thomas Telford.
- Martínez-Gomariz, E., Locatelli, L., Guerrero, M., Russo, B., Martínez, M., 2019. Socio-Economic Potential Impacts Due to Urban Pluvial Floods in Badalona (Spain) in a Context of Climate Change. *Water* 11, 2658. <https://doi.org/10.3390/w11122658>
- Mateos, R.M., García-Moreno, I., Herrera, G., Mulas, J., 2013. Losses caused by recent mass-movements in Majorca (Spain), in: *Landslide Science and Practice: Social and Economic Impact and Policies*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31313-4-14>
- Mateos, R.M., García-Moreno, I., Reichenbach, P., Herrera, G., Sarro, R., Rius, J., Aguiló, R., Fiorucci, F., 2016. Calibration and validation of rockfall modelling at regional scale: application along a roadway in Mallorca (Spain) and organization of its management. *Landslides* 13, 751–763. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0602-5>
- Murray Mas, I., Yrigoy Cadena, I., Blázquez-Salom, M., 2017. The role of crises in the production, destruction and restructuring of tourist spaces. The case of the Balearic Islands. *INTURI*. <https://doi.org/10.14198/INTURI2017.13.01>
- Nadal, J.R., Font, A.R., Rosselló, A.S., 2004. The economic determinants of seasonal patterns. *Annals of Tourism Research* 31, 697–711. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2004.02.001>

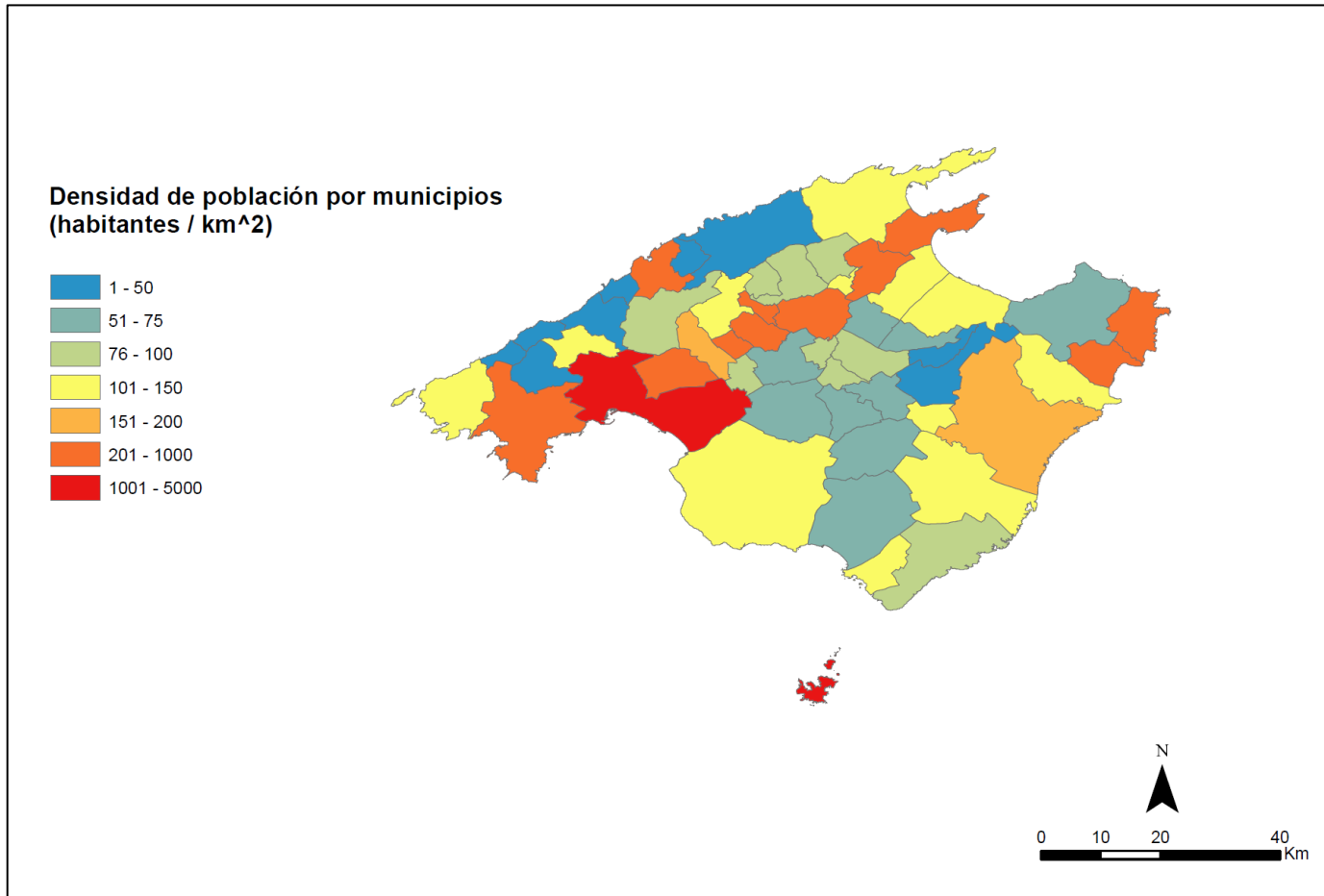
- Pellicani, R., Van Westen, C.J., Spilotro, G., 2014. Assessing landslide exposure in areas with limited landslide information. *Landslides* 11, 463–480. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0386-4>
- Rahmati, O., Yousefi, S., Kalantari, Z., Uemaa, E., Teimurian, T., Keesstra, S., Pham, T., Tien Bui, D., 2019. Multi-Hazard Exposure Mapping Using Machine Learning Techniques: A Case Study from Iran. *Remote Sensing* 11, 1943. <https://doi.org/10.3390/rs11161943>
- Ramis Coll, M., 2018. Análisis socio-espacial de la estacionalidad turística en Mallorca.
- Riera Font, A., Ripoll Penalva, A.M., Juaneda Sampol, C.N., 2011. Efficiency and Seasonality in the Balearic Hospitality Industry/Eficiencia y estacionalidad en la industria hotelera balear. *Estudios de Economía Aplicada* 29, 845–862.
- Santangelo, M., Marchesini, I., Bucci, F., Cardinali, M., Cavalli, M., Crema, S., Marchi, L., Alvioli, M., Guzzetti, F., 2020. Exposure to landslides in rural areas in Central Italy. *Journal of Maps* 0, 1–9. <https://doi.org/10.1080/17445647.2020.1746699>
- Sarro, R., Mateos, R.M., García-Moreno, I., Herrera, G., Reichenbach, P., Laín, L., Paredes, C., 2014. The Son Poc rockfall (Mallorca, Spain) on the 6th of March 2013: 3D simulation, *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0487-8>
- Sassa, K., Fukuoka, H., Wang, F., Wang, G. (Eds.), 2005. *Landslides: Risk Analysis and Sustainable Disaster Management*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-28680-2>
- Tascón-González, L., Ferrer-Julà, M., Ruiz, M., García-Meléndez, E., 2020. Social Vulnerability Assessment for Flood Risk Analysis. *Water* 12, 558. <https://doi.org/10.3390/w12020558>
- Țîncu, R., Zêzere, J.L., Lazar, G., 2018. Identification of elements exposed to flood hazard in a section of Trotus River, Romania. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 9, 950–969. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1486891>

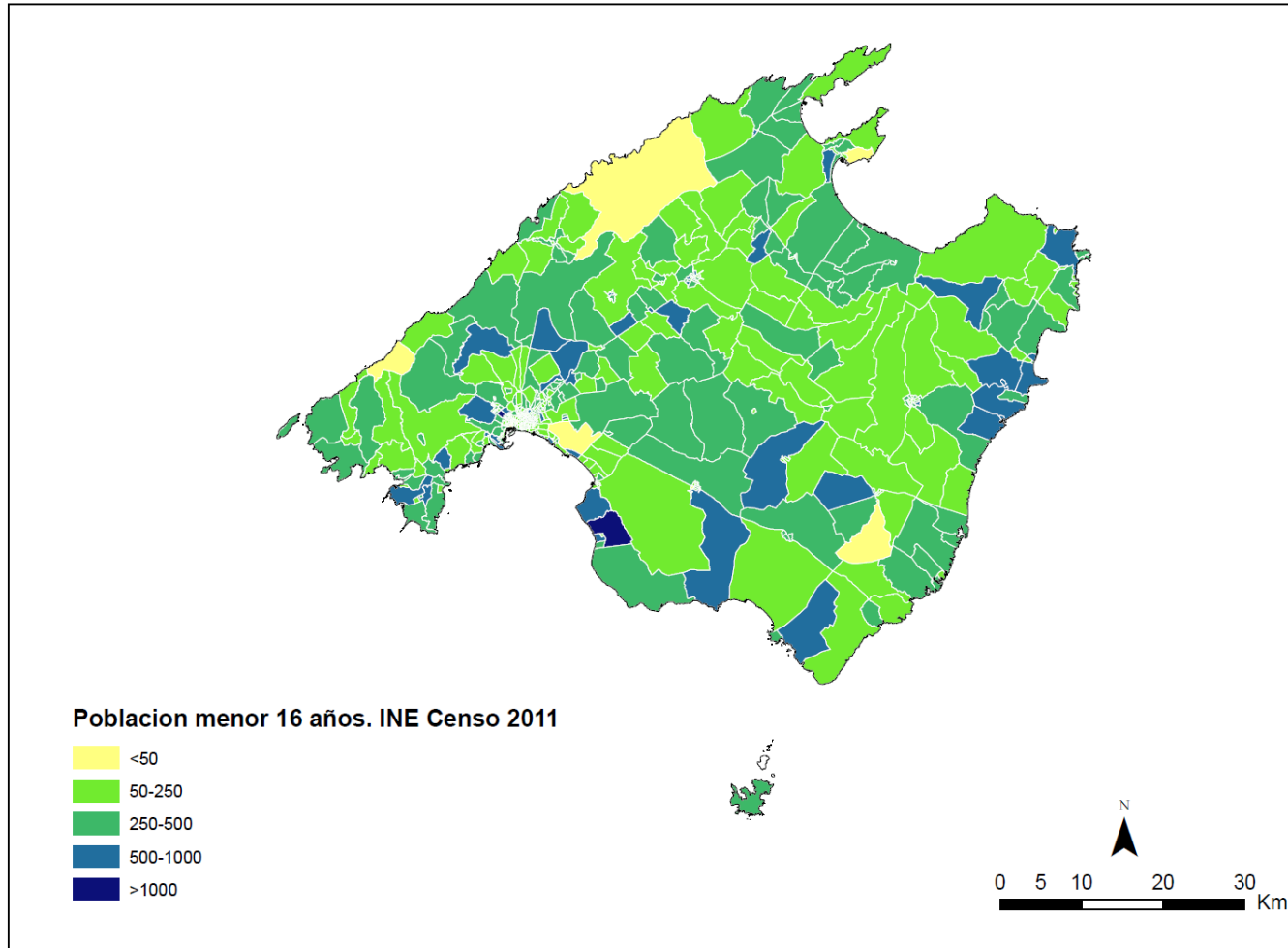
## **ANEXOS**

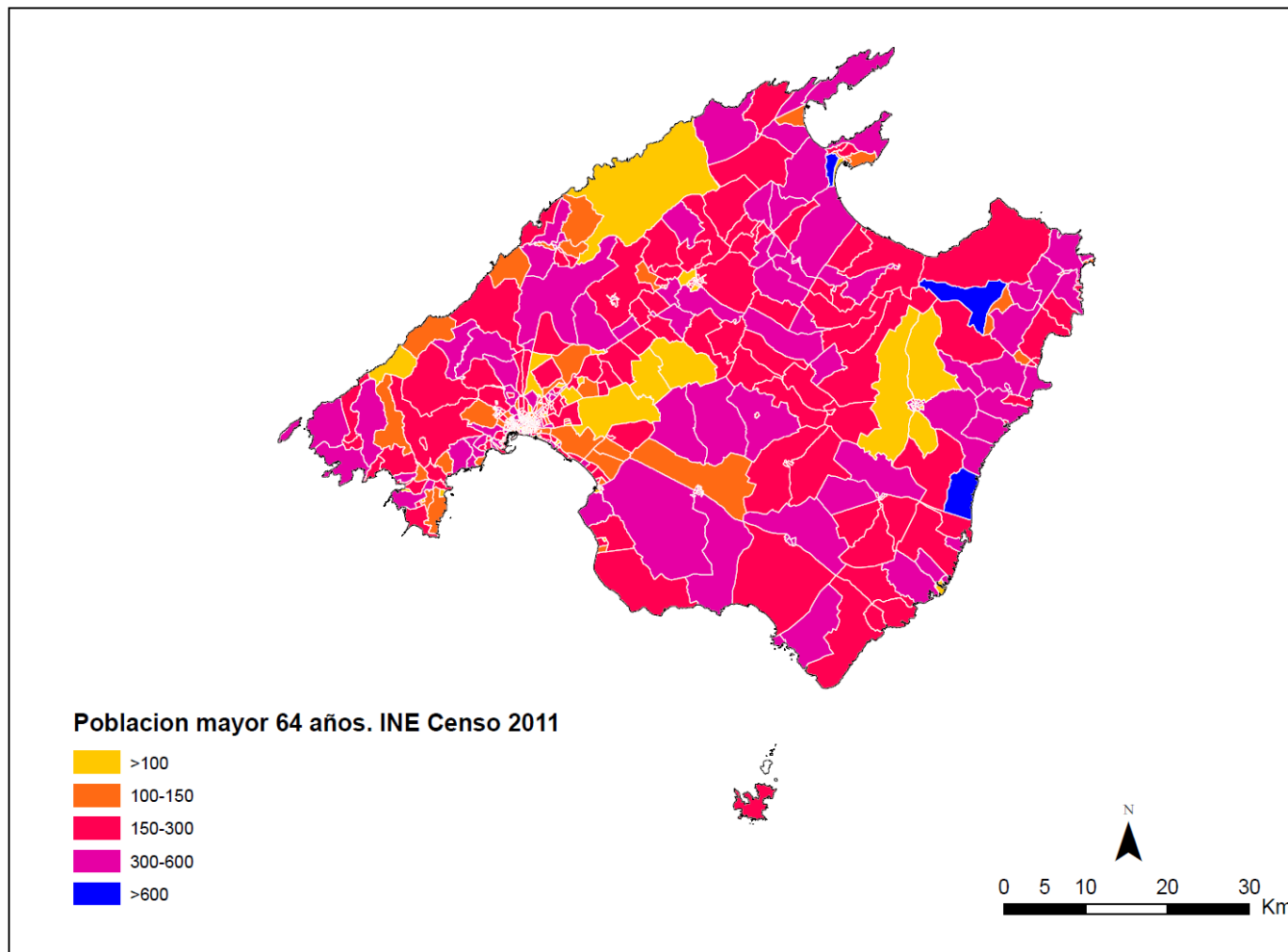


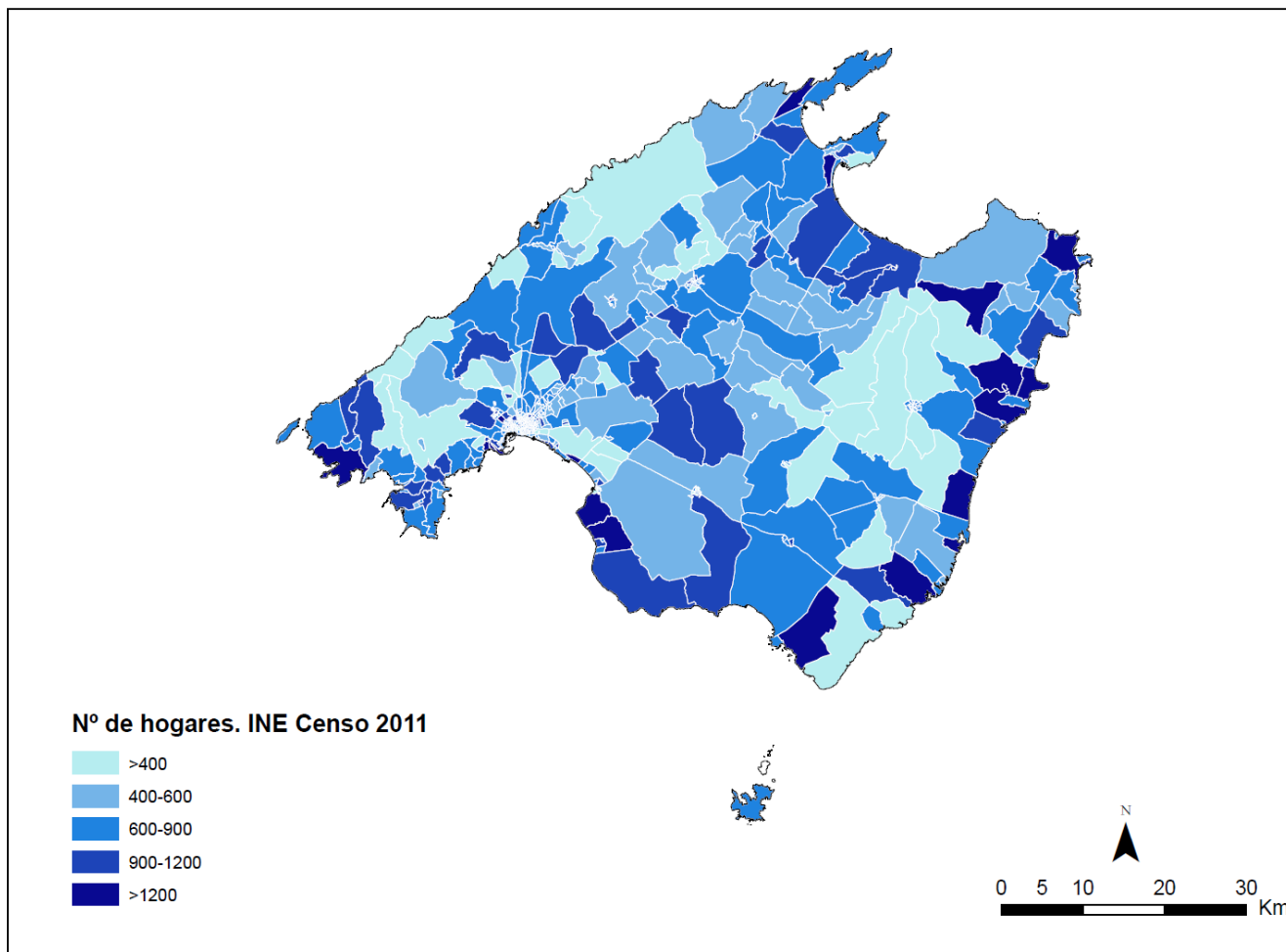
### Anexo I: Mapas de distribución de la población



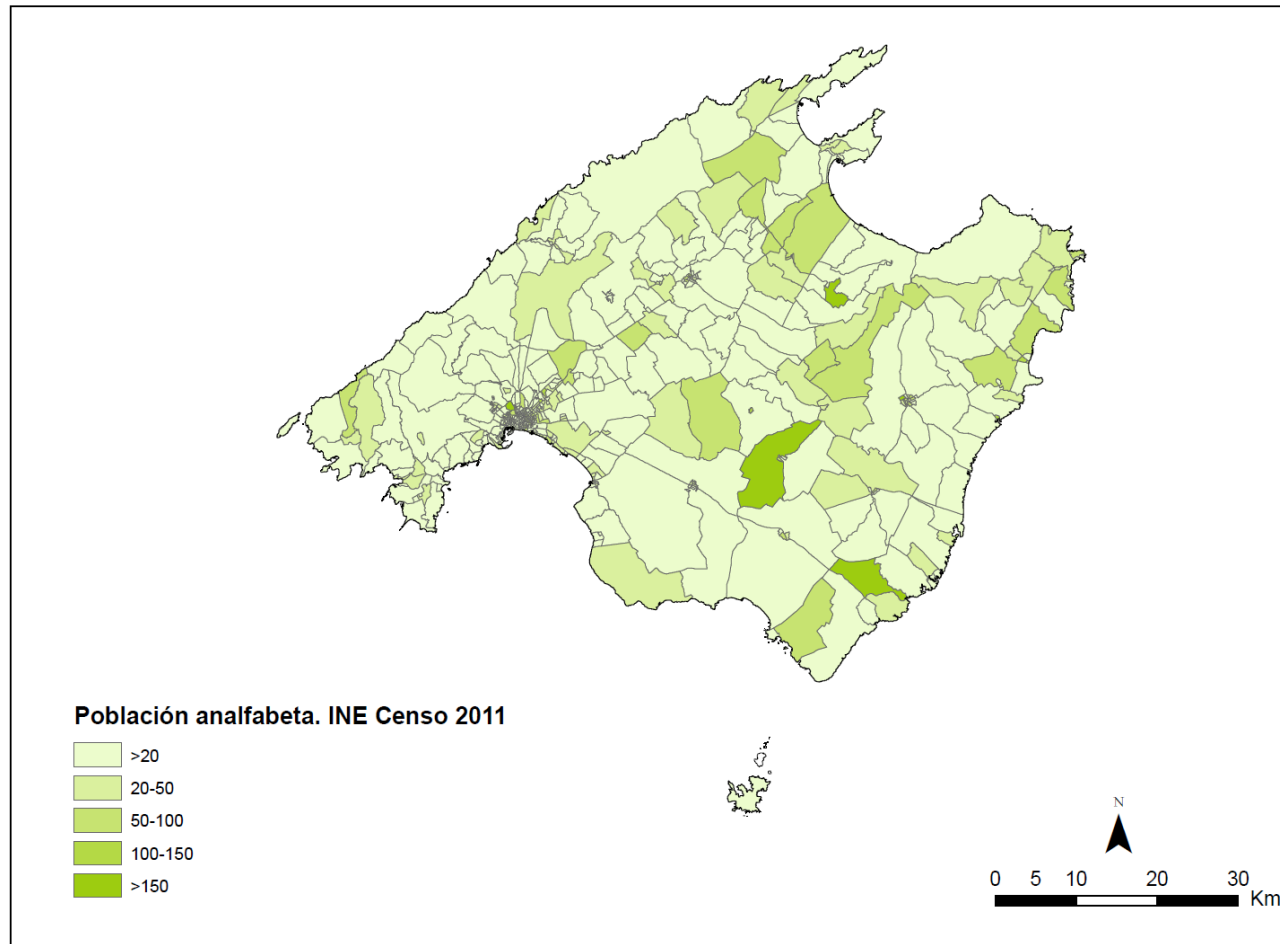




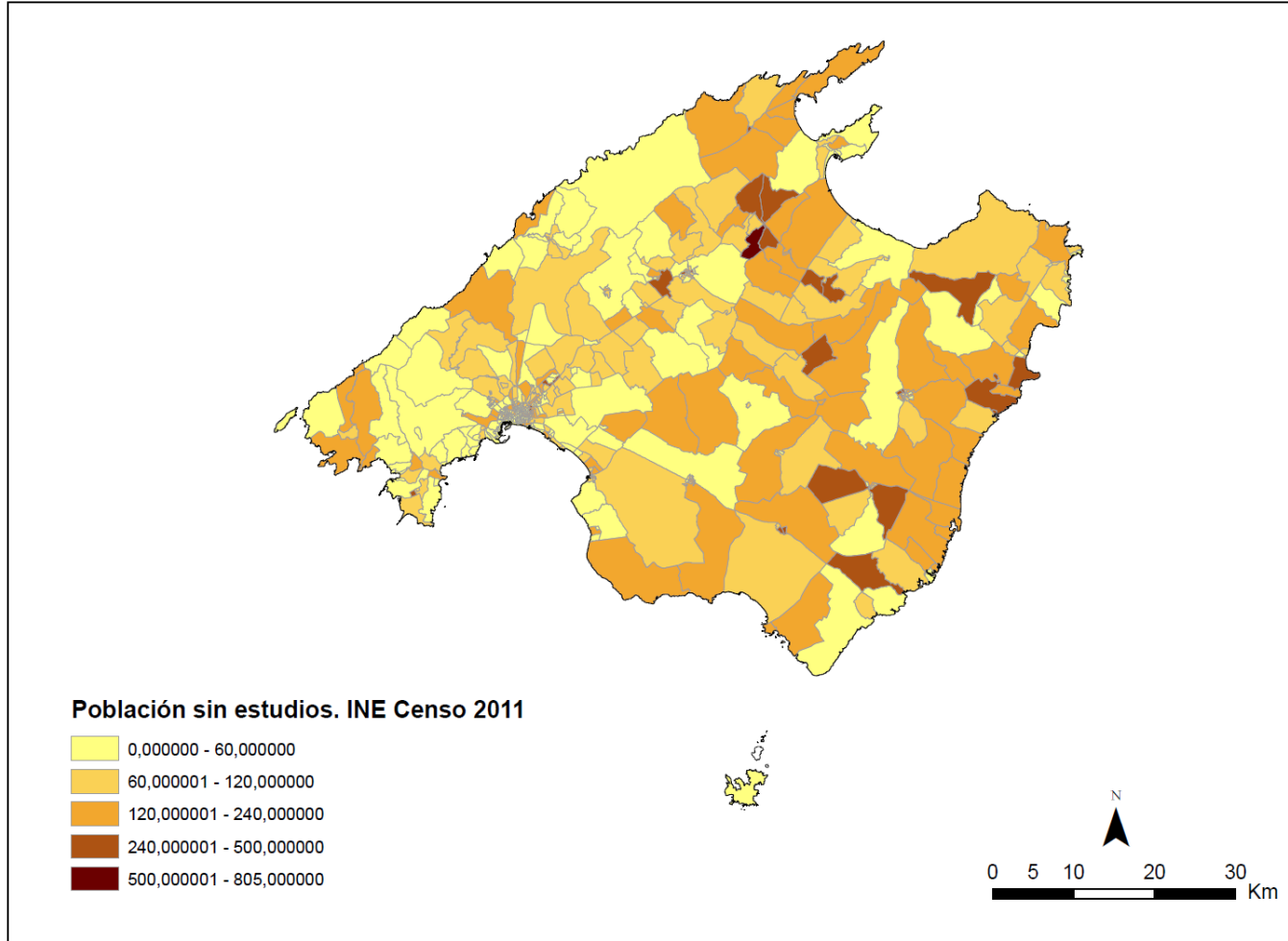


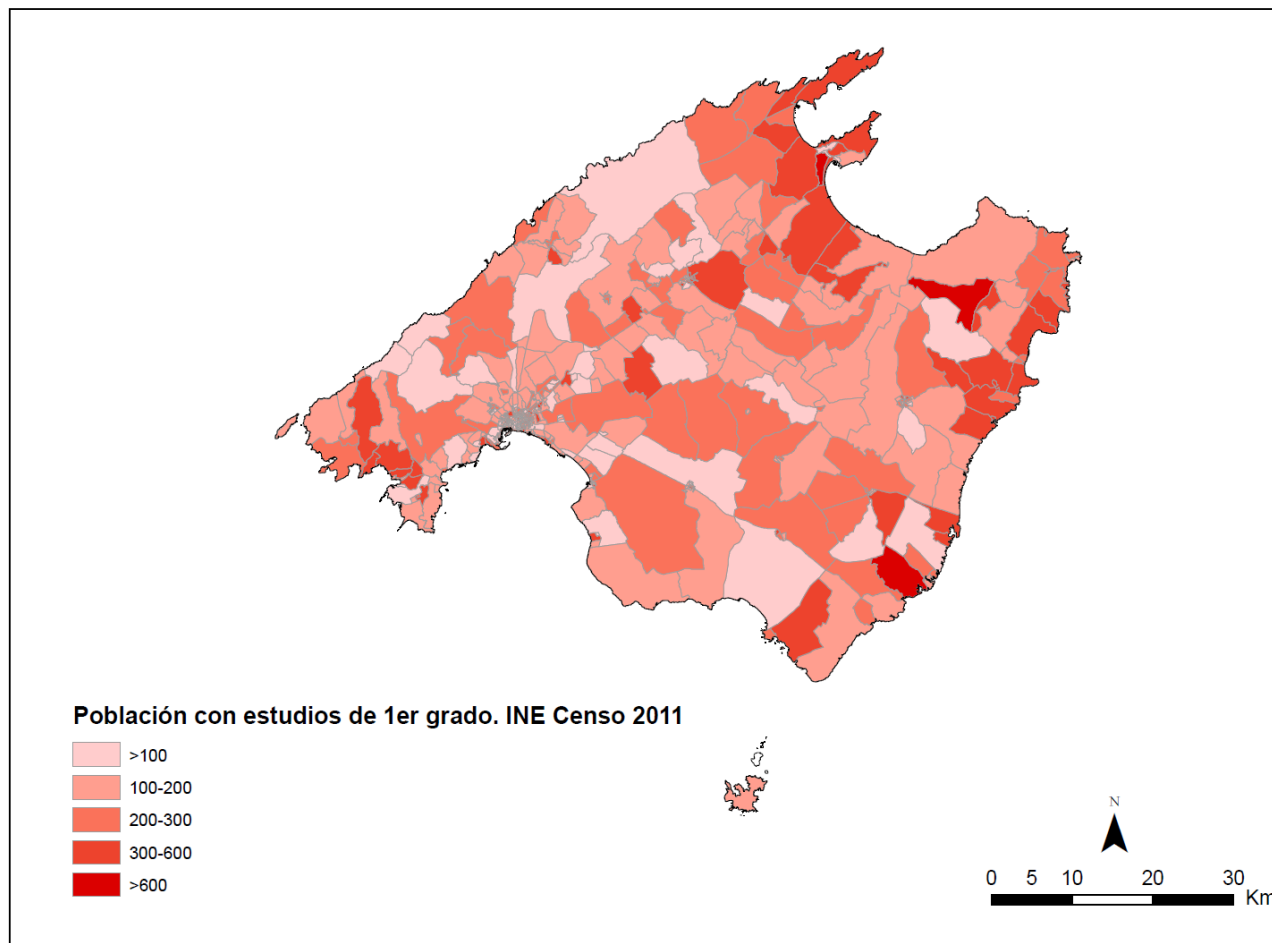


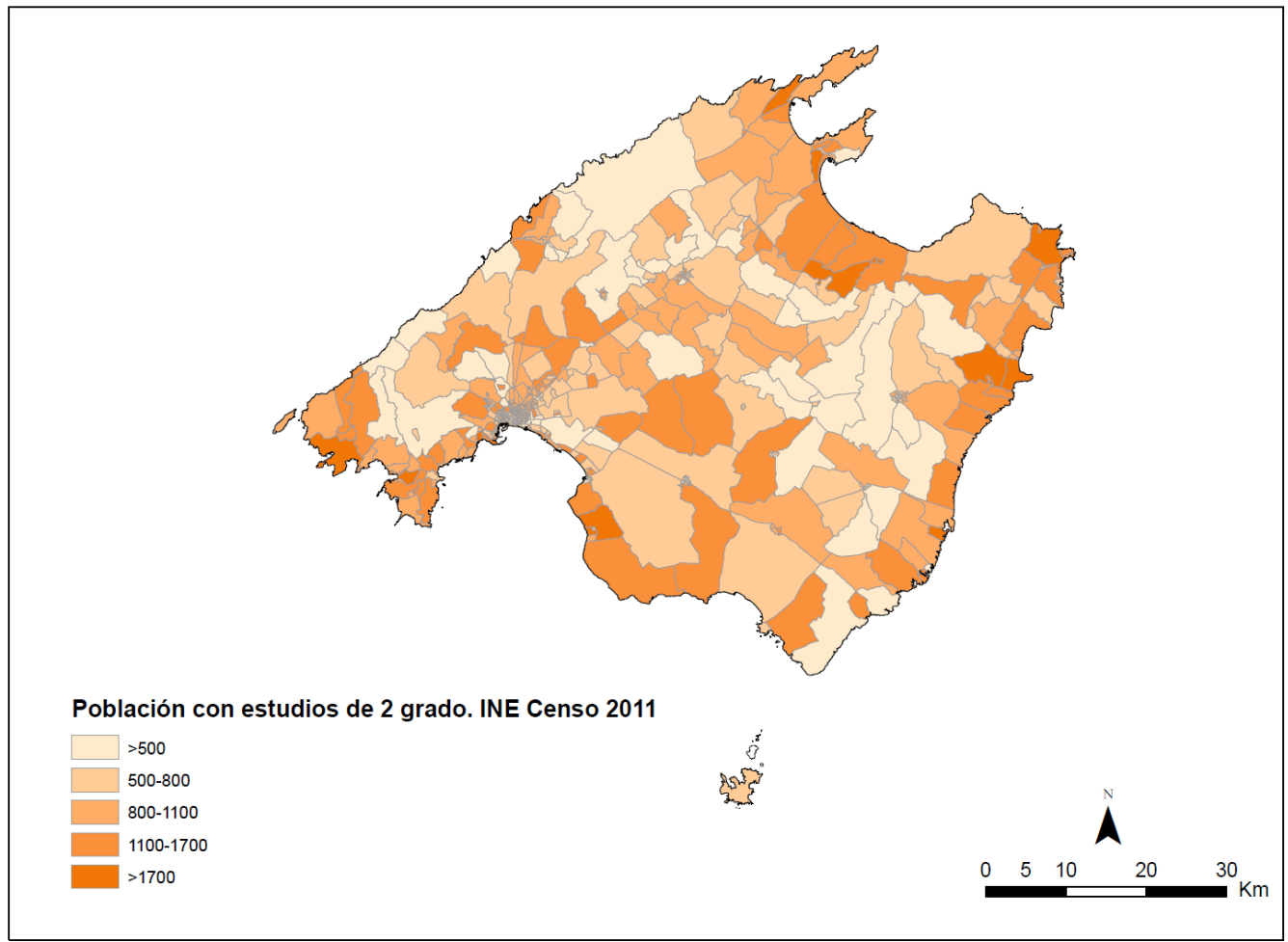
## Anexo II: Mapas de niveles de educación

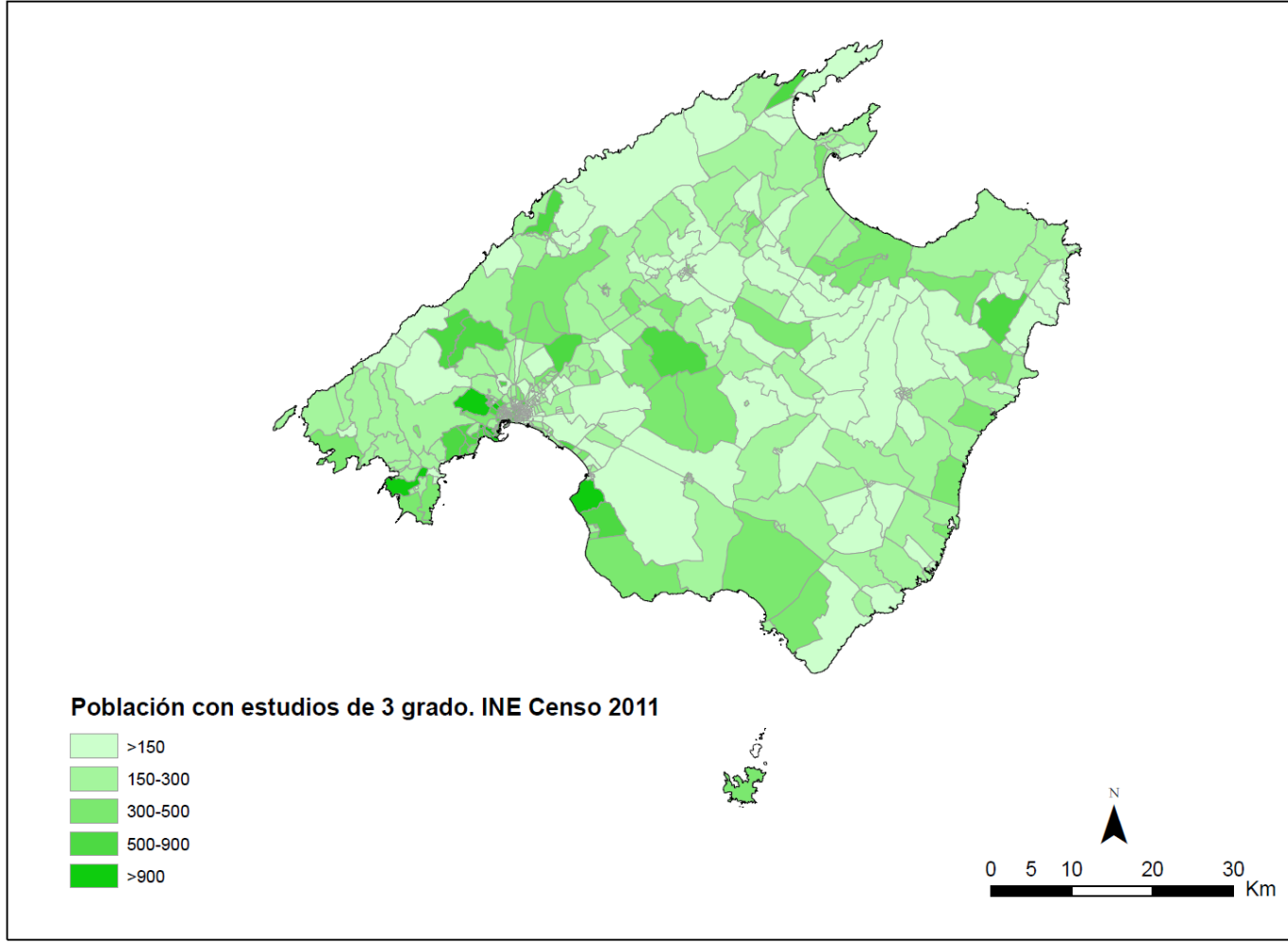




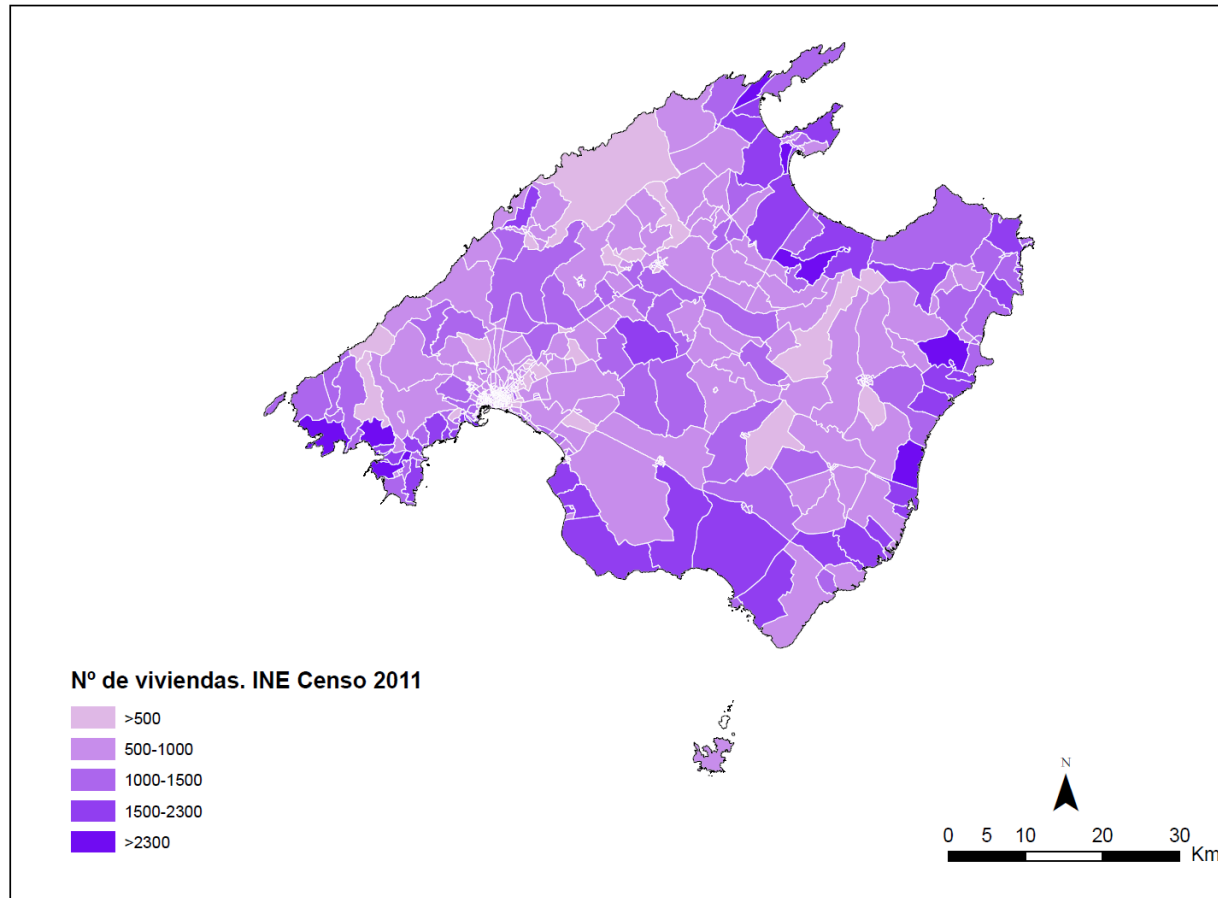


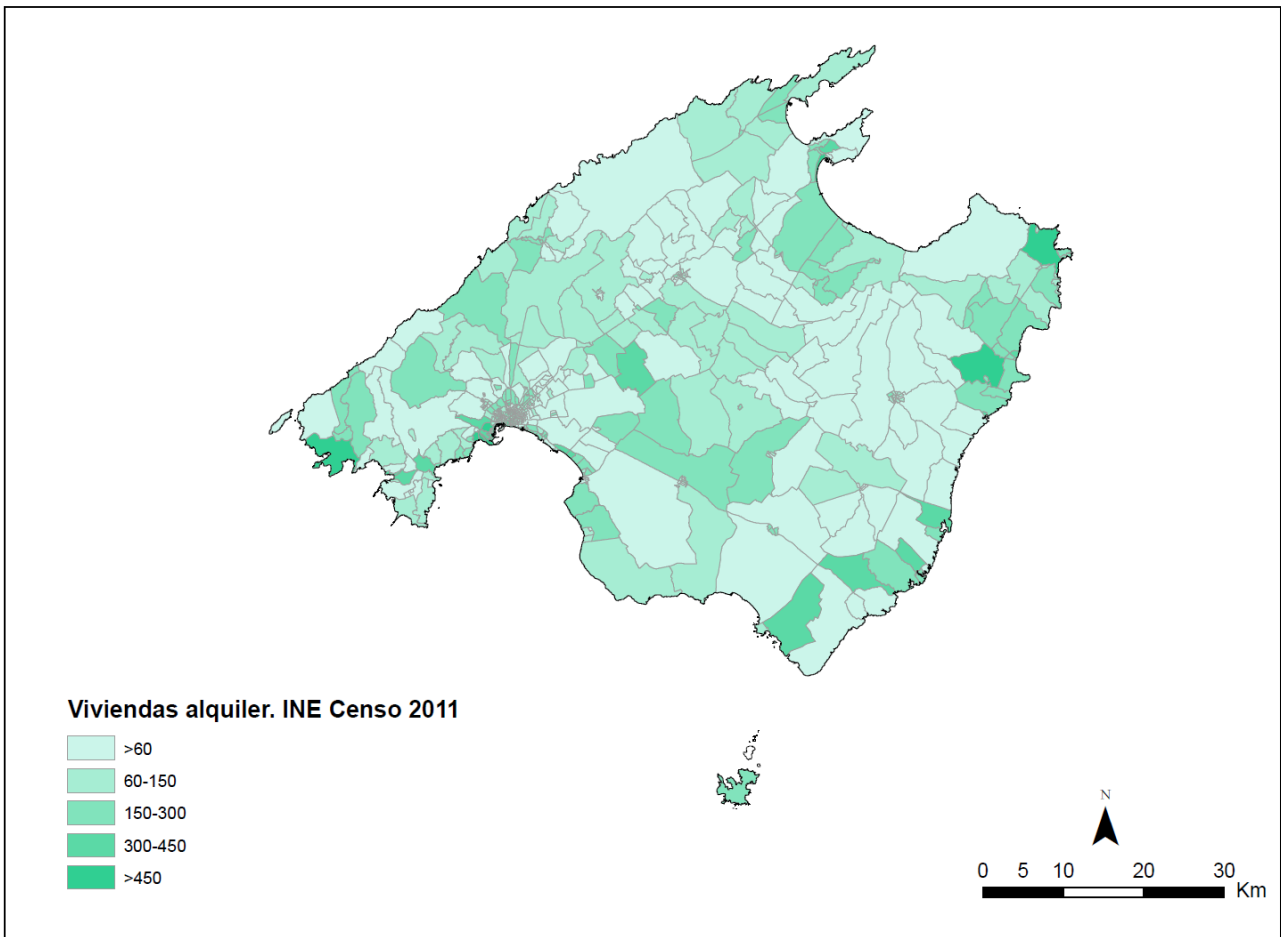


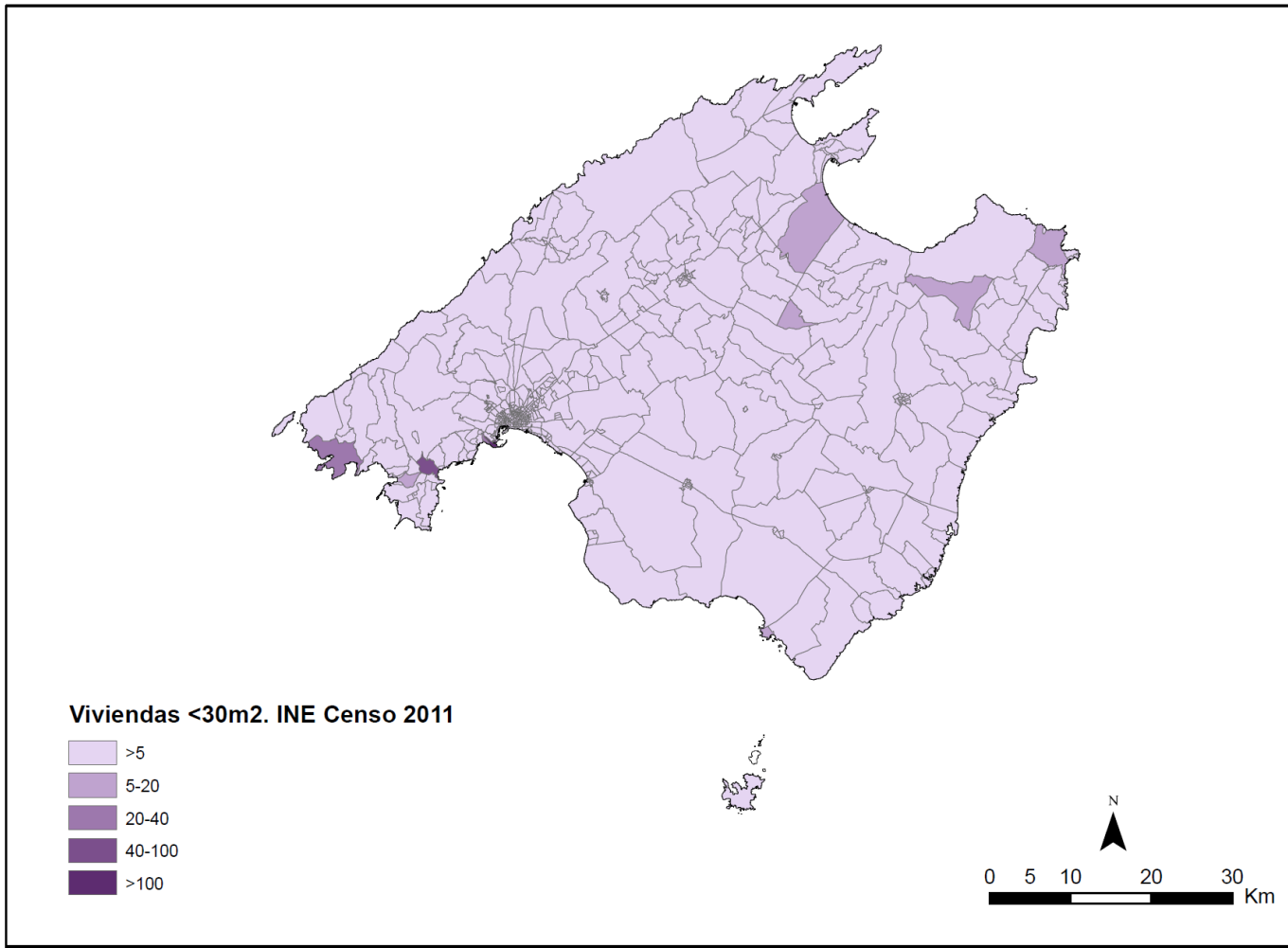




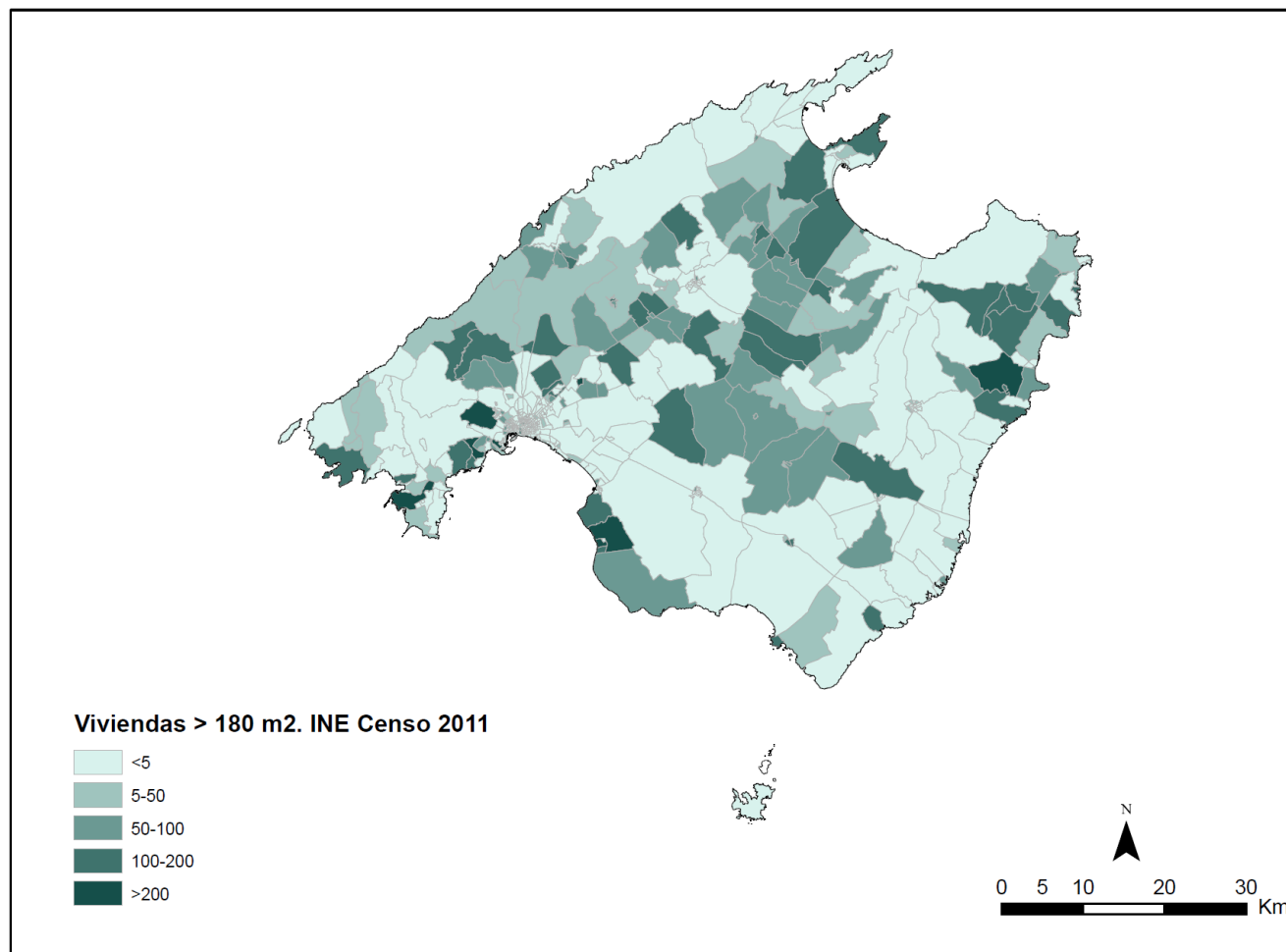
### Anexo III: Mapas de distribución de viviendas





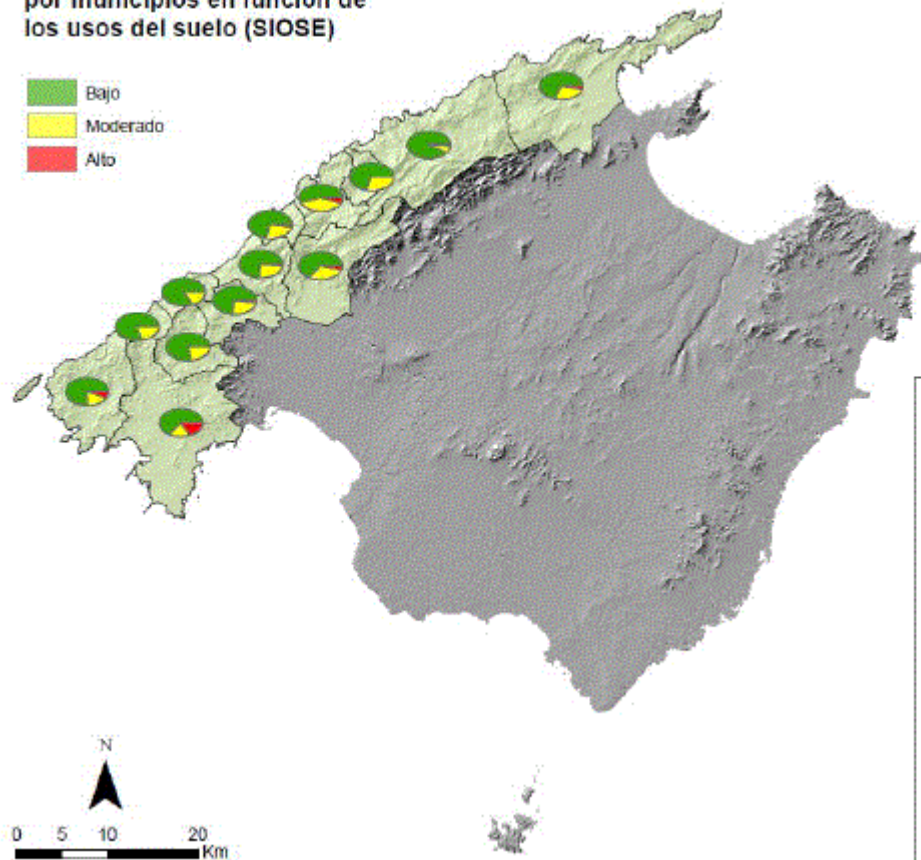
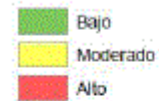






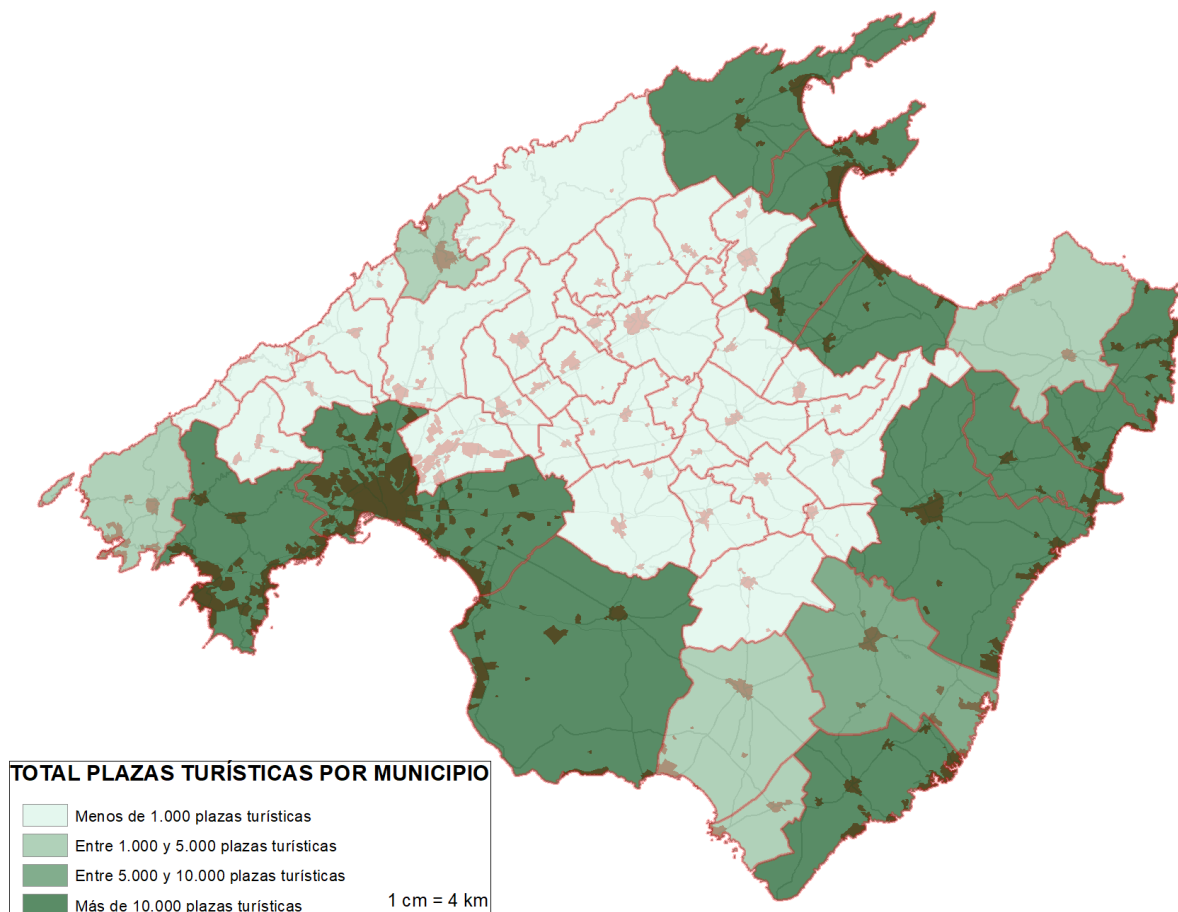
### Anexo IV: Mapas exposición considerando usos del suelo por municipio

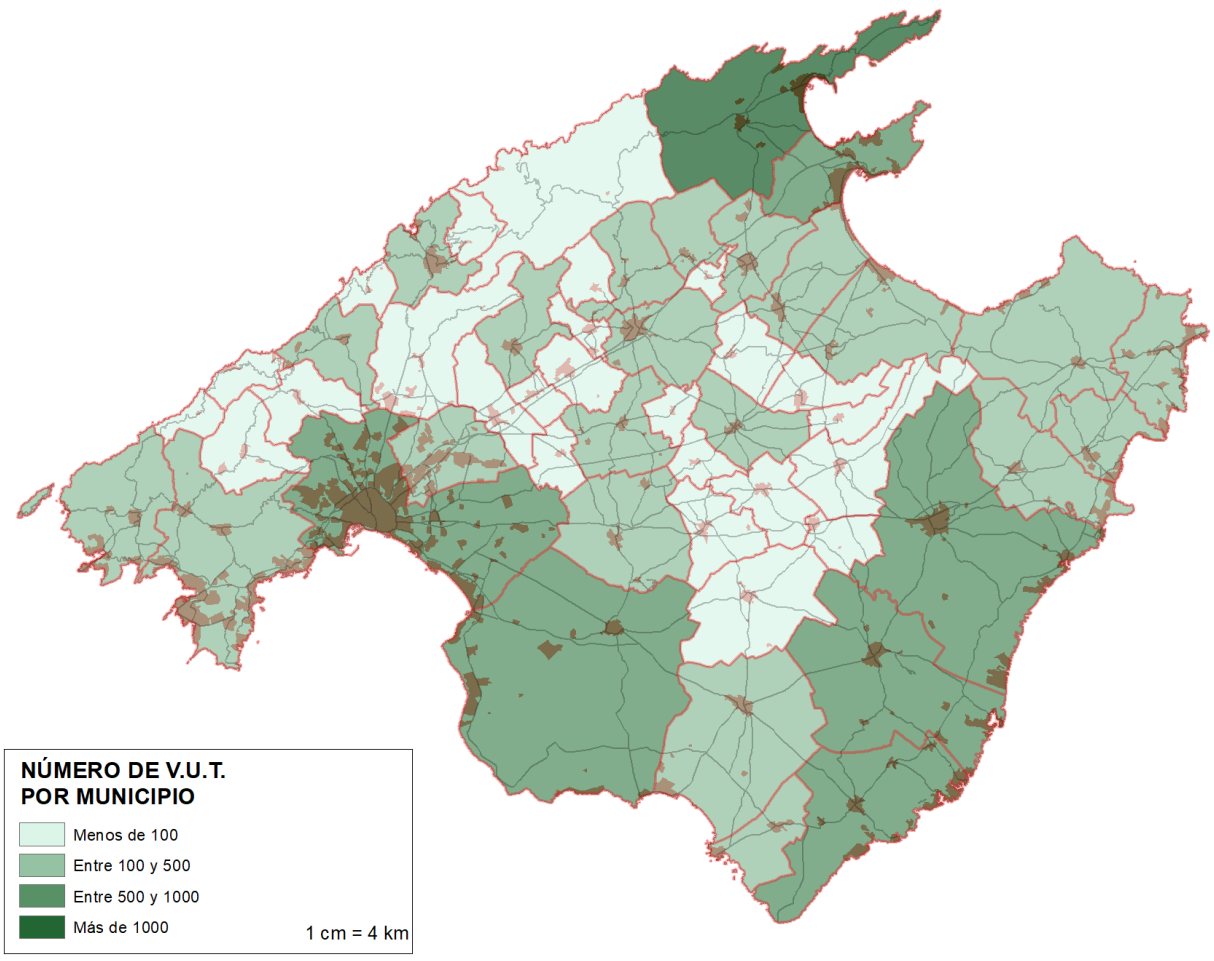
Índice de susceptibilidad por municipios en función de los usos del suelo (SIOSE)

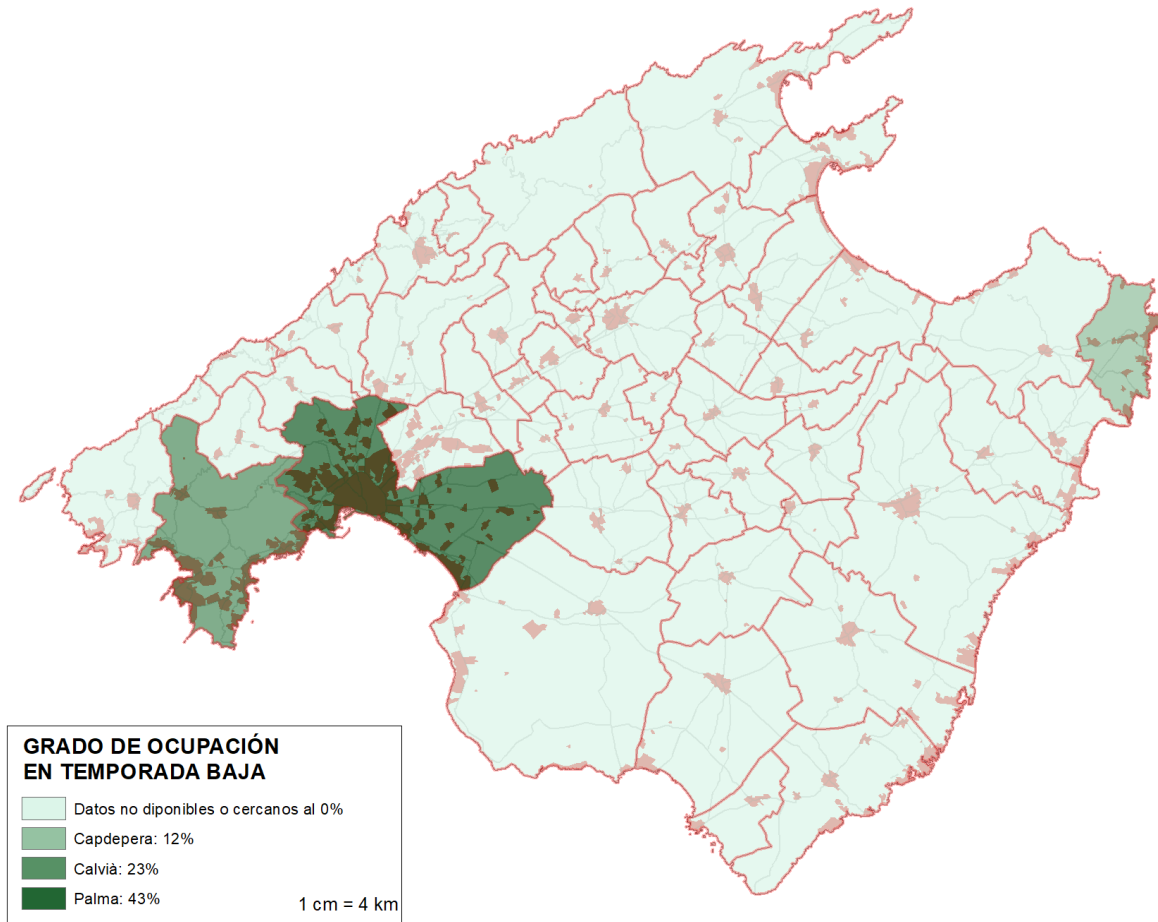


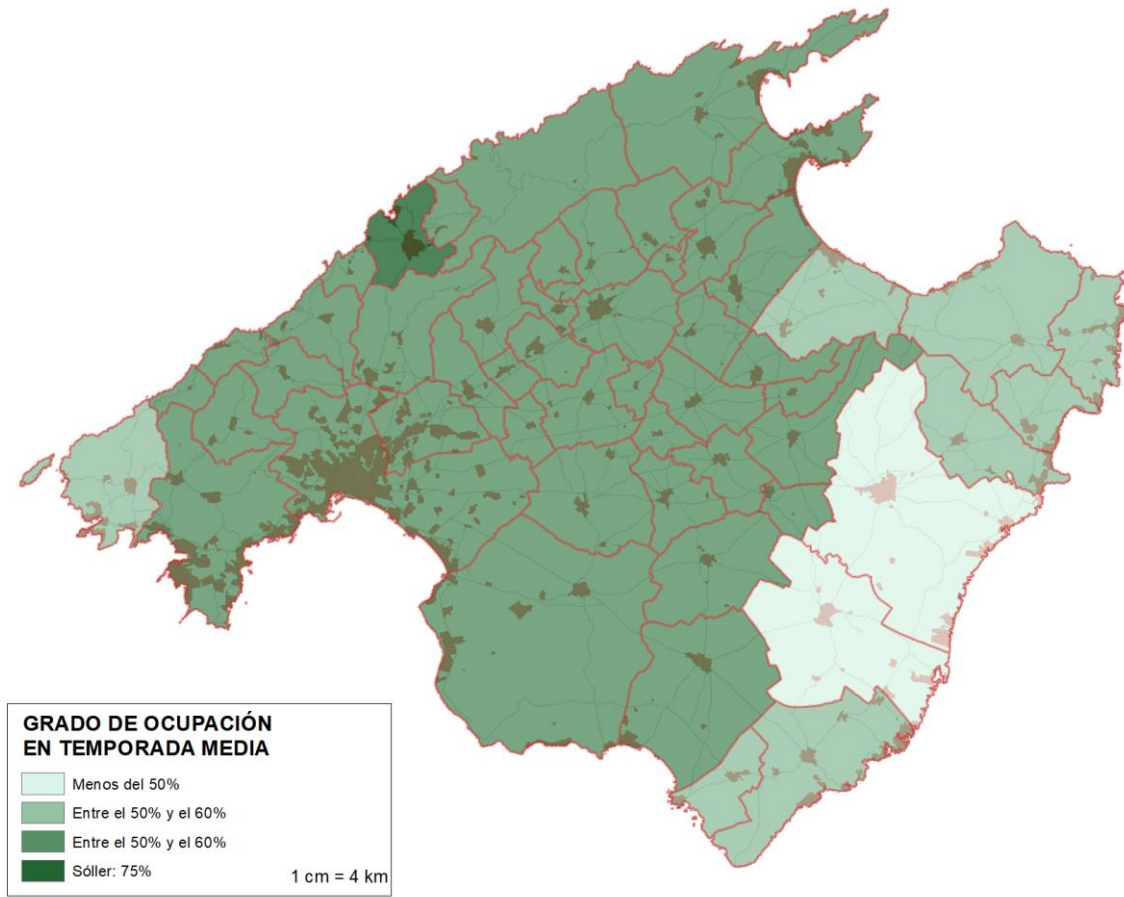
Municipio	% de área con susceptibilidad			
	Alta	Moderada	Baja	<i>Alta+Moderada</i>
Andratx	6,59	17,47	75,94	24,06
Banyalbufar	0,50	16,55	82,95	17,05
<b>Bunyola</b>	<b>3,62</b>	<b>32,44</b>	<b>63,94</b>	<b>36,06</b>
<b>Calvià</b>	<b>16,68</b>	<b>19,15</b>	<b>64,16</b>	<b>35,83</b>
Deià	2,08	25,86	70,13	27,94
Escorca	1,12	6,36	92,52	7,48
Esportles	1,92	25,85	72,22	27,77
Estellencs	0,61	19,75	79,64	20,36
Fornalutx	<b>0,59</b>	<b>30,35</b>	<b>69,05</b>	<b>30,94</b>
Pollença	<b>3,61</b>	<b>28,13</b>	<b>68,26</b>	<b>31,74</b>
Puigpunyent	0,42	21,43	78,15	21,85
<b>Sóller</b>	<b>4,94</b>	<b>40,73</b>	<b>54,33</b>	<b>45,67</b>
Valldemossa	1,89	24,54	73,56	26,43

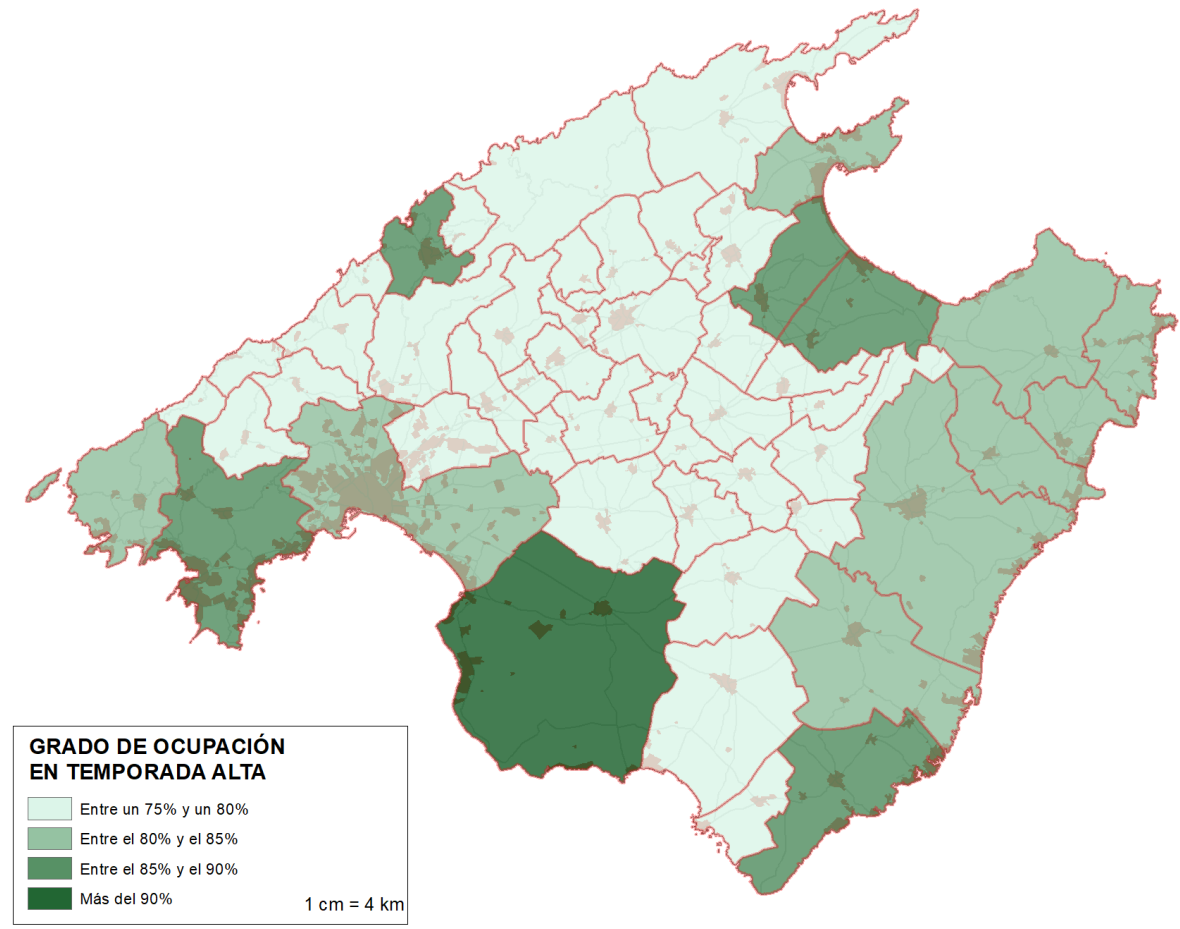
### Anexo V: Mapas exposición según estacionalidad turística



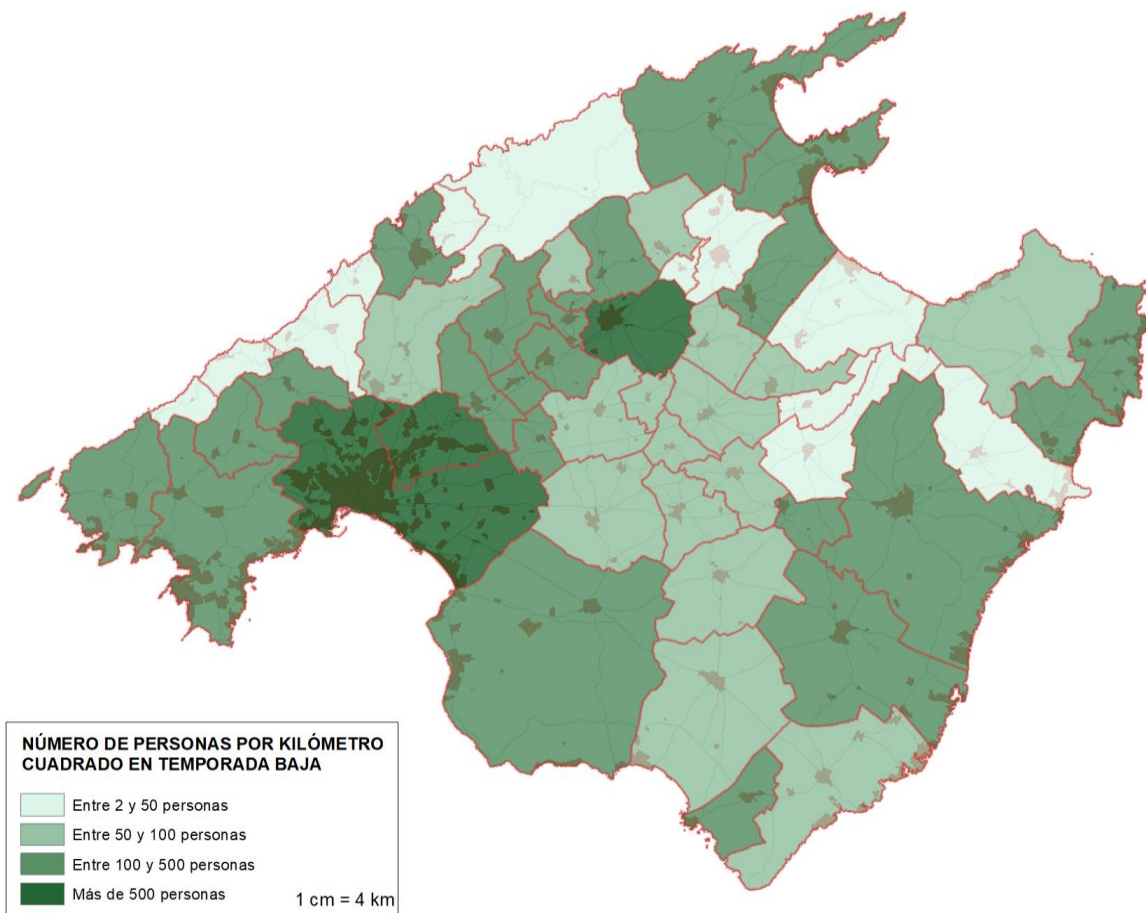


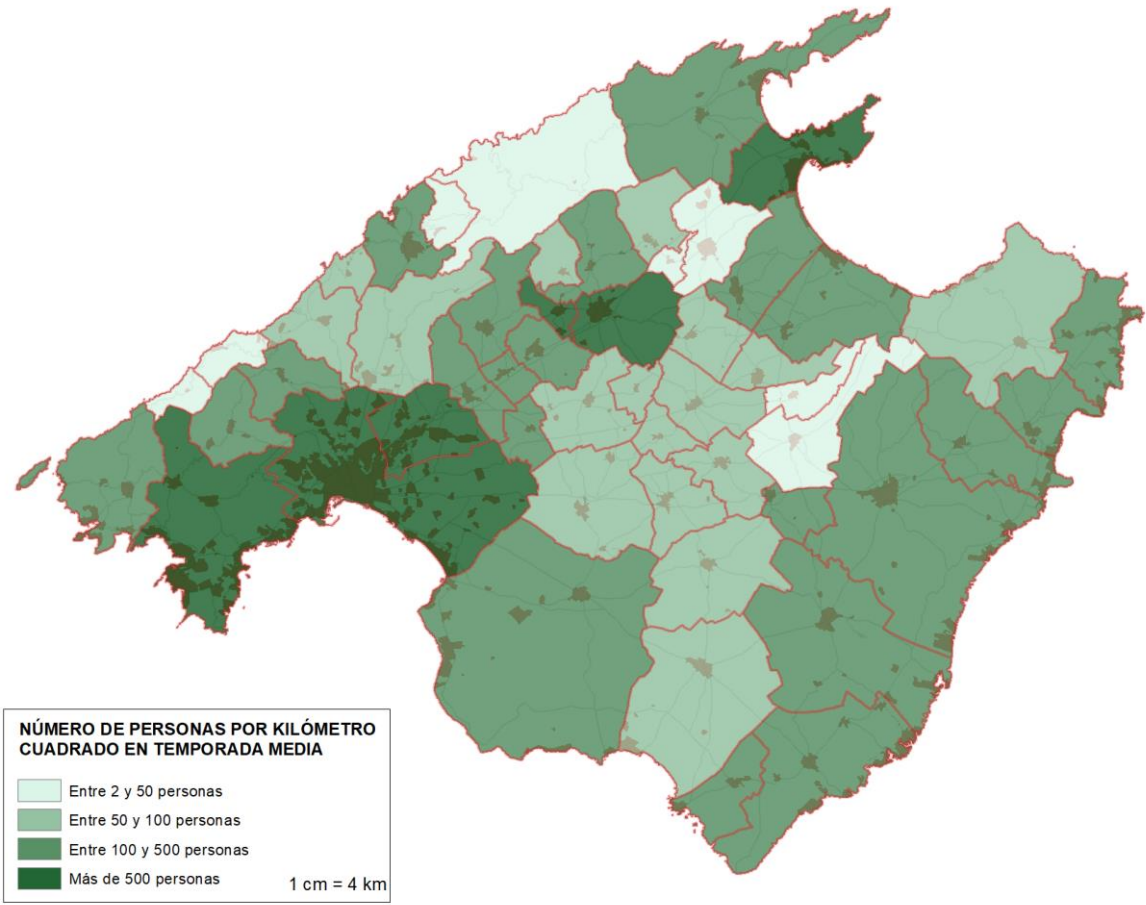


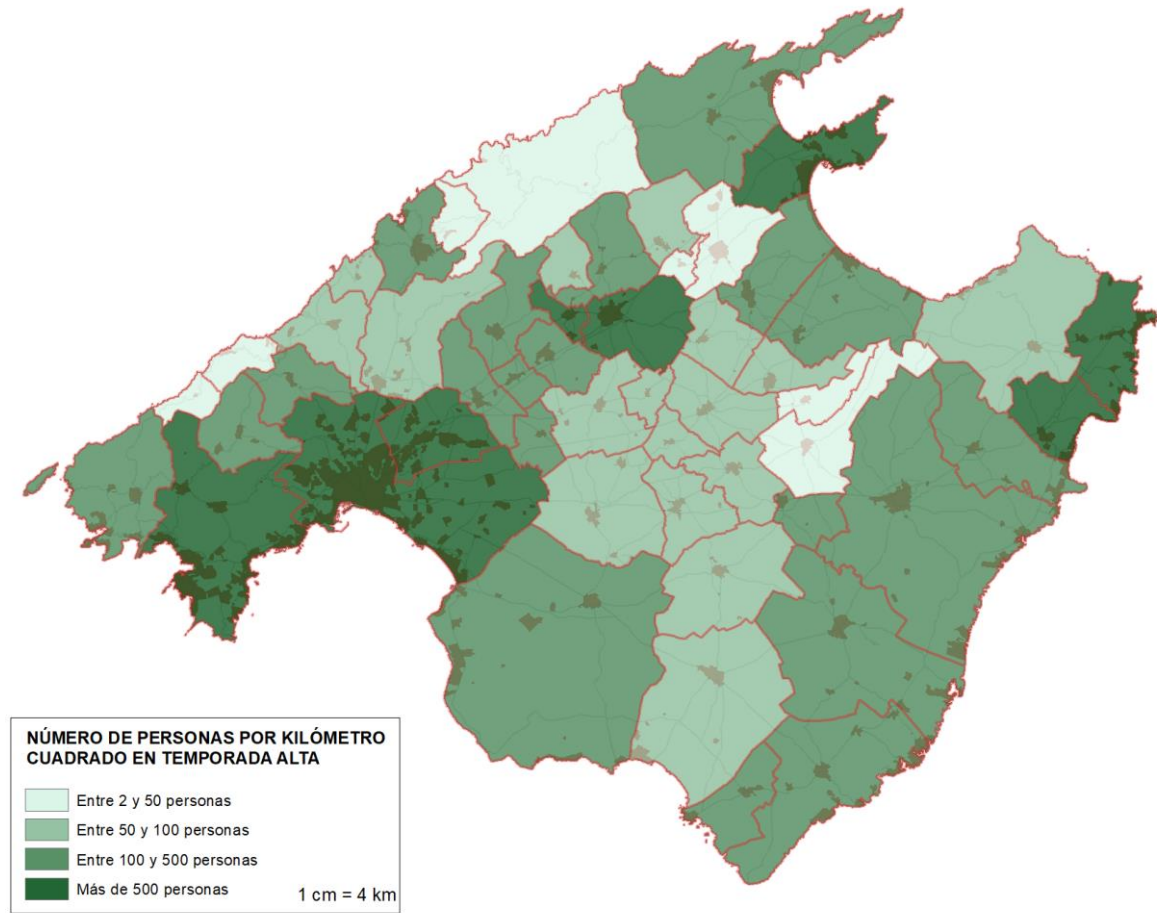












### Anexo VI: Mapas de grado de exposición

