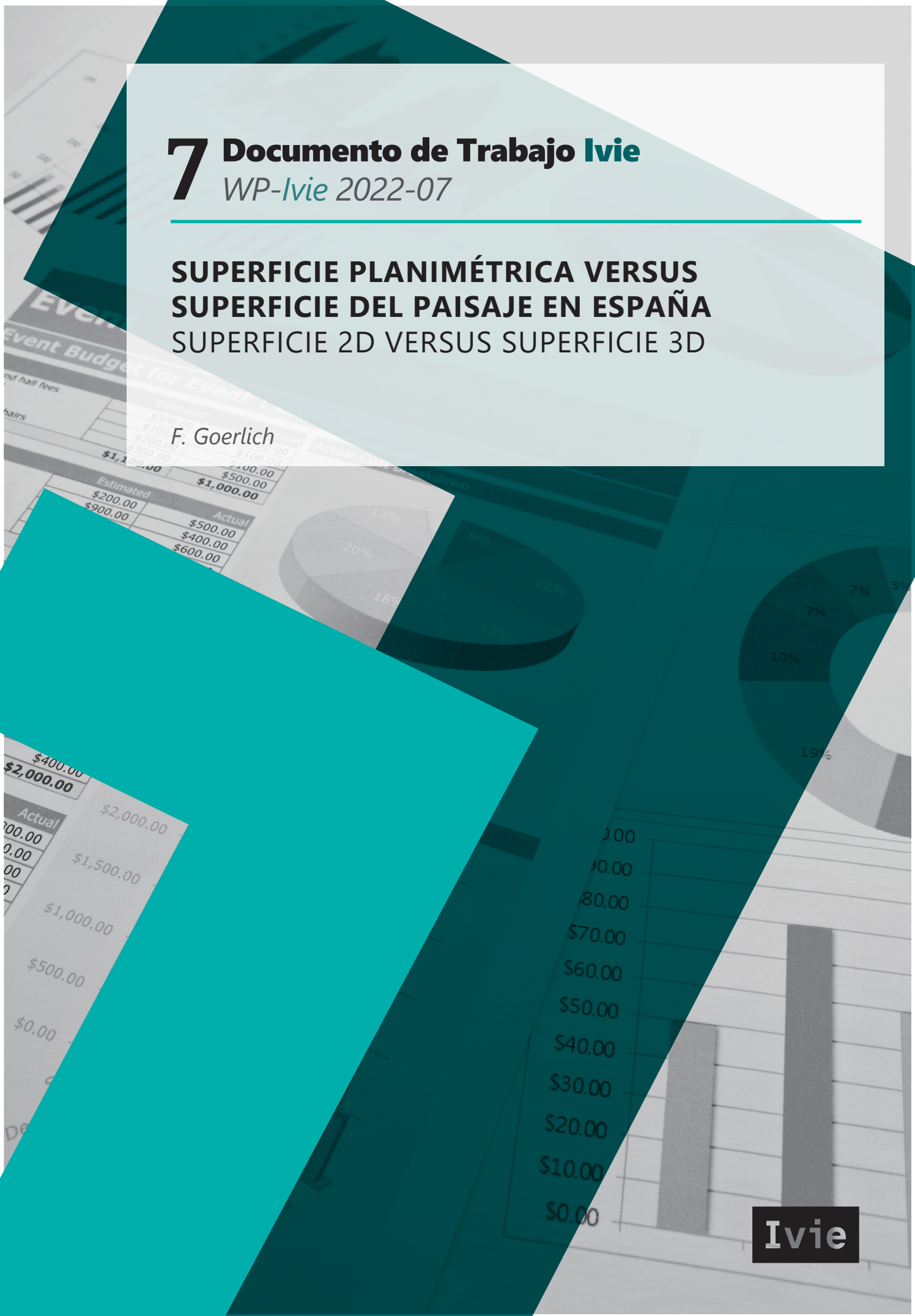


7 **Documento de Trabajo Ivie**

WP-Ivie 2022-07

SUPERFICIE PLANIMÉTRICA VERSUS SUPERFICIE DEL PAISAJE EN ESPAÑA

SUPERFICIE 2D VERSUS SUPERFICIE 3D

F. Goerlich

Ivie

Los documentos de trabajo del Ivie ofrecen un avance de los resultados de las investigaciones económicas en curso o análisis específicos sobre debates de actualidad, con objeto de divulgar el conocimiento generado por diferentes investigadores.

Ivie working papers offer a preview of the results of economic research under way, as well as an analysis on current debate topics, with the aim of disseminating the knowledge generated by different researchers.

La edición y difusión de los documentos de trabajo del Ivie es una actividad subvencionada por la Generalitat Valenciana, Conselleria de Hacienda y Modelo Económico, en el marco del convenio de colaboración para la promoción y consolidación de las actividades de investigación económica básica y aplicada del Ivie.

The editing and dissemination process of Ivie working papers is funded by the Valencian Regional Government's Ministry for Finance and the Economic Model, through the cooperation agreement signed between both institutions to promote and consolidate the Ivie's basic and applied economic research activities.

Todos los documentos de trabajo están disponibles de forma gratuita en la web del Ivie http://www.ivie.es. A**l publicar este documento de trabajo, el Ivie no asume responsabilidad sobre su contenido.**

Working papers can be downloaded free of charge from the Ivie website http://www.ivie.es. Ivie's decision to publish this working paper does not imply any responsibility for its content.

Cómo citar/How to cite:
Goerlich, F. (2022). «Superficie planimétrica versus superficie del paisaje en España. Superficie 2D versus superficie 3D ». Working Papers Ivie n.º 2022-7. València: Ivie. Disponible en: http://doi.org/10.12842/WPIVIE_0722

Versión: septiembre 2022 / Version: September 2022

Edita / Published by:

Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas, S.A.

C/ Guardia Civil, 22 esc. 2 1º - 46020 València (Spain)

DOI: http://doi.org/10.12842/WPIVIE_0722

WP-Ivie 2022-7

Superficie planimétrica versus superficie del paisaje en España

Superficie 2D versus superficie 3D

Francisco Goerlich[1]

Resumen

Este trabajo ofrece una estimación de la superficie del paisaje de España, y de sus comunidades autónomas y provincias. La superficie, tal y como se ofrece en las estadísticas, hace referencia a la superficie planimétrica, es decir, una vez se realizan los ajustes necesarios en términos del sistema de referencia geodésico y la proyección utilizada, se asume un mundo plano, y se calcula la superficie correspondiente sobre dicho plano. Por tanto, el procedimiento habitual no tiene en cuenta la orografía o rugosidad del terreno. El sentido común sugiere que caminar por terreno ondulado implica recorrer más distancia que por terreno plano. Idéntico razonamiento se aplica a la superficie.

Los objetivos del trabajo son, básicamente, dos. Uno de carácter metodológico, relacionado con el procedimiento de estimación y la sensibilidad de los resultados a la resolución de la información de partida. En este sentido se ensayan dos métodos de estimación y cuatro Modelos Digitales del Terreno con diferente información y resolución. Otro de carácter práctico, relacionado con estimaciones de la superficie del paisaje a diferentes niveles de resolución geográfica: España, comunidades autónomas y provincias. Ello puede ser de interés a efectos de cuantificar la rugosidad del terreno a esta escala y como medida cuantitativa de lo orografía.

Palabras clave: Superficie del paisaje, superficie 3D, modelos digitales del terreno, modelo *raster*, rugosidad del terreno.

Clasificación JEL: R00

Abstract

This work offers an estimation landscape surface of Spain, its Autonomous Communities, and provinces. The surface, as it is offered in the statistics, refers to the planimetric surface, that is, once the necessary adjustments are made in terms of the geodetic reference system and the projection used, a flat world is assumed, and it is calculated the corresponding surface on that plane. Therefore, the usual procedure does not consider the orography or roughness of the terrain. Common sense suggests that walking on undulating terrain involves more distance than walking on flat terrain. The same reasoning applies to the surface.

The objectives of the paper are basically two. One of a methodological nature, related to the estimation procedure and the sensitivity of the results to the resolution of the basic information. In this sense, two estimation methods and four Digital Terrain Models with different information and resolution are tested. Another of a practical nature, related to estimates of the surface of the landscape at different levels of geographical resolution: Spain, Autonomous Communities, and provinces. This may be of interest to quantify the roughness of the terrain at this scale and as a quantitative measure of the orography.

Keywords: Landscape surface, 3D surface, digital terrain models, raster model, terrain roughness.

JEL classification: R00

[1] Universitat de València e Ivie.

El autor agradece los comentarios realizados sobre una versión inicial de este trabajo a Enrique Sordo Marsal. Cualquier error que subsista es responsabilidad del autor.

1.

Introducción

Este trabajo ofrece una **estimación** de la **superficie del paisaje de España**, y de sus comunidades autónomas (CC. AA.) y provincias. La superficie, tal y como se ofrece en las estadísticas, hace referencia a la **superficie planimétrica**, es decir, una vez se realizan los ajustes necesarios en términos del sistema de referencia geodésico y la proyección utilizada, se asume un **mundo plano**, y se calcula la superficie correspondiente sobre dicho plano. Por tanto, **el procedimiento habitual no tiene en cuenta la orografía o rugosidad del terreno**. A estos efectos Nepal puede compararse con España o el Reino Unido, sin tomar en consideración que Nepal es mucho más montañoso que los otros dos países, o dicho de otra forma, presenta una orografía mucho más complicada.

El sentido común sugiere que caminar por terreno ondulado implica recorrer más distancia que por terreno plano. Idéntico razonamiento se aplica a la superficie, como tendremos ocasión de comprobar. Con anterioridad a la disponibilidad de cartografía digital, y el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (*GIS*), cálculos de distancias y superficies que tuvieran en cuenta la orografía del terreno eran prácticamente imposibles de realizar, ¡los mapas en papel son planos! Actualmente la situación ha cambiado de forma drástica, y este tipo de cálculos son factibles a partir de información pública y gratuita. ¡Y pueden ser realizados en un ordenador doméstico!

Más allá de la curiosidad de ofrecer una estimación de la **superficie del paisaje de España**, que tome en cuenta el relieve y pueda ser comparada con la superficie planimétrica, el **trabajo** tiene fundamentalmente **dos objetivos**. **Uno** de carácter **metodológico**, relacionado con el procedimiento de estimación y la sensibilidad de los resultados a la resolución de la información de partida. **Otro** de carácter **práctico**, relacionado con el problema particular que suscitó el interés sobre esta exótica cuestión y que expondremos en el siguiente apartado.

La estructura del trabajo es la siguiente. A **continuación** revisamos brevemente la literatura y la relevancia de disponer de estimaciones de superficie que tengan en cuenta la orografía. Los **tres apartados siguientes** -tercero, cuarto y quinto– versan sobre **cuestiones técnicas**. **Primero**, la extraña dificultad de encontrar estimaciones oficiales de la superficie de España y sus unidades territoriales básicas –comunidades autónomas, provincias y municipios–, así como la falta de uniformidad de dichas estimaciones. **Segundo**, exponemos la problemática de la estimación de superficies para grandes áreas –países o regiones–, e introducimos alguna terminología básica en la manipulación de información geográfica que será útil posteriormente. **Tercero**, mencionamos brevemente los **métodos** disponibles para la estimación de la **superficie del paisaje**. El **sexto apartado** relaciona con detalle la **información** utilizada y el **séptimo** ofrece los **resultados** obtenidos. Finalmente volvemos sobre el problema práctico que originó el trabajo, concluyendo con unas breves reflexiones. Un **anexo** ofrece la información del texto, que se muestra a nivel de CC. AA., a escala provincial.

2.

¿Es la superficie del paisaje una cuestión relevante?

Existen muchas razones por las que podríamos pensar que disponer de estimaciones de la superficie que tengan en cuenta la orografía del terreno es relevante. Sin embargo, las referencias a esta cuestión no abundan en la literatura.

Por una parte, la superficie del paisaje puede ser más apropiada que la superficie planimétrica en el estudio de hábitats salvajes (Jennes 2004). Al mismo tiempo esta superficie puede ser más relevante que la superficie plana si queremos estimar las necesidades de pesticida para acabar con la maleza en terrenos abruptos, estimar la cantidad de semillas para la reforestación o realizar cálculos de infiltración y porosidad sobre terrenos accidentados (Berry 2002).

Por otra parte, la ratio de entre la superficie del paisaje y la planimétrica proporciona una medida topográfica de la rugosidad del terreno. Y la rugosidad si se ha mostrado relevante en numerosos campos. Algunas especies parecen ser más eficientes, desde el punto de vista biológico, en terrenos abruptos que en terrenos planos (Gionfriddo y Krausman 1986; Wakelyn 1987), o al contrario (Wiggers y Beasom 1986; Warrick y Cypher 1998). La rugosidad del terreno condiciona la expansión urbana (Burchfield *et al.* 1999) o el desarrollo actual de África a través de su influencia sobre el comercio de esclavos en épocas pasadas (Nunn y Puga 2012). La rugosidad es claramente distinta de la altitud (Goerlich y Cantarino 2010b) y juega un papel diferente a esta última variable como condicionante geográfico de la distribución de la población (Goerlich y Cantarino 2010a).

Sin embargo, índices de rugosidad del terreno hay muchos, y la mayoría de ellos no necesitan, para su construcción, de una estimación de la superficie del paisaje, aunque todos parten de un **modelo digital de elevaciones**.[2]

Con la única excepción que se indica a continuación no hemos encontrado en la literatura española ninguna referencia a la estimación de la superficie del paisaje en nuestro país en ningún campo del conocimiento. No parece, pues, que esta haya sido una cuestión de especial relevancia en nuestro contexto.

El único ejercicio del que tenemos conocimiento en esta dirección procede de un informe del Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021) sobre propuestas de modificación del cálculo de la **población ajustada** en el contexto del **Sistema de Financiación Autonómica (SFA)**. Aunque no entraremos en los detalles del cálculo de la población ajustada (De la Fuente 2019, 2021; Pérez y Pérez 2022), baste señalar que en su cómputo entra la superficie de las CC. AA., además de otras variables geográficas, aunque no una medida cuantitativa de la orografía. Sin embargo, el apartado 6.4 del mencionado informe exa-

[2] La mayoría de ellos son índices de dispersión de las altitudes entre una celda central y las de sus 8 vecinas. Uno de los más populares es el *Terrain Ruggedness Index* (*TRI*) de Riley, DeGloria y Elliot (1999). Objeto de atención para España por parte de Goerlich y Cantarino (2010a, 2010b).

mina hasta que punto algunas variables representativas de la orografía podrían ser incorporadas al sistema de reparto de fondos autonómico, y entre ellas investiga si la superficie del paisaje podría sustituir a la superficie planimétrica como variable a considerar en el cálculo de la población ajustada.

El interés en el cálculo de la superficie del paisaje, en lugar de un índice de rugosidad se debe, con seguridad, a que el procedimiento mecánico de cálculo de la población ajustada busca variables que puedan expresarse en términos porcentuales, es decir, lo que realmente entra en la fórmula no es la superficie en sí misma, sino el porcentaje de superficie de cada Comunidad Autónoma, de forma que se trata de examinar si sería razonable sustituir los porcentajes de la superficie planimétrica por los porcentajes de la superficie del paisaje.

El informe del Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021) estima la superficie del paisaje, a nivel de CC. AA., a partir de la superficie plana dividida en 13 tramos según la pendiente media de cada tramo. El método empleado es el más sencillo posible, y se basa en el primero de los expuestos en el apartado 5 de este trabajo. Por tanto, la estimación utiliza, para cada CC. AA., tan solo 13 puntos. A nivel agregado[3] la superficie se incrementa en tan solo un 1,62% –equivalente a una pendiente media del 18%-. A nivel regional los aumentos oscilan entre un 0,52% en Extremadura –pendiente media del 10%– y un 20.14% en Canarias –pendiente media del 67%–. Por detrás de Canarias le sigue el Principado de Asturias, con un incremento del 5,59% –pendiente media del 34%-.[4] Esta variabilidad, que no es excesiva salvo en el caso de Canarias, no genera diferencias sustanciales cuando se calcula la distribución porcentual de la superficie del paisaje entre las diferentes CC. AA., por lo que la **conclusión** del informe es que **esta no es una variable relevante para cuantificar la orografía**, al menos **en este contexto y a este nivel de agregación**.

Los cálculos del informe del Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021) son excesivamente burdos. **Estimar la superficie del paisaje con 13 observaciones por CC. AA. es una simplificación excesiva para la información actualmente disponible**. Este fue el hecho principal que motivó la presente investigación. El **trabajo** es, pues, fundamentalmente **metodológico**, pero con un ojo puesto en las implicaciones de la variable superficie sobre el cálculo de la población ajustada en el SFA.

[3] El SFA solo considera las comunidades de régimen común, es decir, 15. Excluye País Vasco, Navarra y las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla.

[4] Los cálculos realizados a partir de la información contenida en el informe del Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021) están disponibles si se solicitan al Ivie (publicaciones@ivie.es).

3.

¿Dónde podemos encontrar la superficie (oficial) de España, sus comunidades autónomas, provincias y municipios?

Antes de efectuar estimaciones de la superficie del paisaje conviene preguntarse por la superficie planimétrica de nuestro país. Sin embargo, resulta que esta es una estadística básica que no es fácil encontrar de forma sistematizada. ¡Además no existe una coincidencia de cifras! En principio parece raro, pero es así, ¡💩!

En organismos oficiales de ámbito estatal, encargados de la producción y difusión de estadísticas, esta información no parece que esté disponible, a nivel agregado, con demasiada facilidad.[5]

El **primer sitio** al que acudir es el Instituto Geográfico Nacional (IGN), donde encontramos, en su *web*, la superficie de las CC. AA., de las provincias y de los municipios de más de 20.000 habitantes, en todos los casos con precisión de km^2. La superficie del país no parece que esté disponible. Si sumamos la superficie de las CC. AA. obtenemos **505.962 km^2**, pero si sumamos la superficie de las provincias obtenemos **505.992 km^2**. ¡Una diferencia pequeña, pero curiosa!

En el Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), dependiente del IGN, encontramos dentro de la Información Geográfica de Referencia (IGR) el **Nomenclátor Geográfico de Municipios y Entidades de Población (NGMEP)**, y en la tabla correspondiente a los municipios figura, entre los diferentes atributos, la superficie. El agregado de superficies municipales arroja un valor de **504.751,66 km^2**.[6] La razón de obtener una cifra tan baja, en comparación con las anteriores, se debe a que ¡sumar la superficie de los municipios no proporciona la superficie de España!, ❓. Existen territorios que no pertenecen a ningún municipio –condominios o territorios mancomunados–, pero forman parte de las provincias, de las CC. AA. y de España. Una anomalía en la división administrativa del estado que simplemente existe (Goerlich *et al.* 2015, apéndice). La tabla de condominios del NGMEP incluye también la superficie de estos, que sumada a la cifra anterior proporciona un valor de **506.011,27 km^2**, algo superior a las anteriores. Curiosamente en el NGMEP existe una tabla de provincias que, sin embargo, no incluye como atributo la superficie de las mismas.

El **segundo sitio** al que acudir es el Instituto Nacional de Estadística (INE), pero aquí hay que remontarse hasta el *Anuario Estadístico de España 2008* para encontrar la superficie de España, sus CC. AA. y provincias. Según dicha publicación la superficie nacional es de **505.990 km^2**, citando como fuente la Dirección General del IGN. Es cierto que el INE

[5] Naturalmente en Wikipedia si encontramos esta información con facilidad en la entrada de España. Esta publicación ofrece una superficie total de **505.944 km^2** citando como fuente la publicación *España en Cifras 2017* del Instituto Nacional de Estadística (INE), que a su vez cita como fuente a Eurostat. En la misma publicación aparece un mapa con la superficie de las provincias españolas en km^2, citando como fuente el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Consultado el 14/06/2022.

[6] Los datos fueron descargados el 15/09/2022.

también ofrece esta información en su publicación *España en Cifras 2022*, según la cual la superficie nacional es de **505.983 km²** en 2021, citando como fuente Eurostat.

Hace algún tiempo el INE disponía de una ***Sección de Territorio*** referente a estadísticas relacionadas con esta temática, en la que se ofrecía las superficies de los municipios y otras unidades administrativas, pero dicha sección desapareció en una remodelación de su *web*. En la actualidad, una información similar es ofrecida por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO) en su Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), y por tanto se ofrece en formato *GIS*, pero curiosamente aunque es posible descargar una capa de población y otra de densidad municipal, ¡**no** se dispone de la superficie!, que debemos obtenerla a partir de la fórmula de la densidad.

En **tercer lugar** podemos acudir al *Registro de Entidades Locales* (*REL*) que, en su sección de datos, ofrece la superficie de las provincias y de los municipios españoles, en todos los casos con precisión de hectárea.[7] El dato para las CC. AA. o para el conjunto de España debe obtenerse por agregación. Si sumamos la superficie de las provincias obtenemos una superficie para España de **505.964,06 km²**,[8] muy similar –pero no idéntica– a la que obtenemos de la *web* del Instituto Geográfico Nacional (IGN)–. ¡Sin embargo, Ceuta y Melilla no están incluidas en la relación de provincias del *REL*!, lo que ciertamente agranda las diferencias.[9]

Finalmente, encontramos la superficie de España en la página *web* de La Moncloa, que ofrece una cifra notablemente más baja que las anteriores, **504.642 km²**.[10]

[7] Durante el proceso de elaboración de este trabajo fue presentado –julio 2022– el *Sistema Integrado de Datos Municipales* (*SIDAMUN*) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), que incluye datos municipales de superficie con precisión de km². De acuerdo con la metodología, el origen de esta información es el IGN mediante «*petición a medida*». Desafortunadamente dichos datos están disponibles para consulta, pero no para descarga.

[8] Los datos fueron descargados el 28/06/2022.

[9] El agregado de la superficie de los municipios proporciona una superficie notablemente mayor, en concreto de **506,669.01 km²**. La razón se puede rastrear hasta un error de bulto en la superficie del municipio Chiclana de la Frontera –11015–, en la provincia de Cádiz, a la que el *REL* le atribuye una superficie de algo más de 2,000 km², cuando su superficie real es de unos 200 km².
Los datos del *REL* tienen algunas peculiaridades. El error de Chiclana de la Frontera –11015– se debe, probablemente, a un error tipográfico al consignar los decimales. Pero además llama la atención que Ceuta y Melilla no aparezcan en el listado de provincias, aunque sí en el de municipios. Que provincias y municipios no se identifiquen por su código oficial, sino por un número de inscripción dentro del cual aparece enmascarado dicho código. O que en la relación de municipios aparezcan 8.132 municipios cuando actualmente existen 8.131. La discrepancia se debe a que en el *REL* aparece Tharsis –21901–, provincia de Huelva, que fue un municipio cuyo decreto de segregación de Alosno –21006– fue suspendido por el Tribunal Supremo –la sentencia es firme– y nunca ha aparecido en el listado de municipios de Padrón que ofrece el INE. No queda claro si la superficie de Alosno –21006– en el *REL* incluye o no la Tharsis –21901–, que también tiene consignada superficie en dicho registro.
La *web* del *REL* no indica el origen de las superficies, pero correspondencia privada con el IGN indica que el origen de las mismas es el *Registro Central de Cartografía*, dependiente del IGN y tienen la consideración de «*…datos oficiales de superficie… Se calculan sobre la línea límite oficial de cada municipio a fecha de la certificación de superficie, en proyección azimutal equivalente de Lambert…*» –*mail* del 23/06/2022 del *Registro Central de Cartografía*–. Correspondencia anterior con el IGN indica que «*…no se dispone en un informe público que detalle todas las superficies municipales…*» –*mail* del 01/04/2013 del *Servicio de Delimitaciones Territoriales*–. Aunque más recientemente debemos concluir que estas superficies se distribuyen a través del *REL*.

[10] Consultado el 15/06/2022. La intuición sugiere que se trata de la suma de las superficies municipales, y que excluye los condominios, cuya superficie agregada es de unos 1.260 km².

Así pues, existe una variedad de cifras de superficie procedentes de organismos oficiales no totalmente coincidentes, lo que hace difícil saber cual es la superficie estimada de España con cierta precisión. ¡Debemos concluir que la superficie es algo más aproximado de lo que un lego en esta materia podría intuir a primera vista! Es cierto que cuando varían las líneas de límite de cualquier municipio su superficie, y quizá también la de sus vecinos, se ve alterada. En algunos casos esto puede hacer variar las superficies provinciales o de las CC. AA., pero a nivel nacional es difícil encontrarle justificación a esta maraña de cifras.

También llama la atención la ausencia de información sobre los criterios metodológicos seguidos por el IGN para el cálculo de superficies, ya que, como veremos en el apartado siguiente, este no es un problema trivial.[11]

Si la superficie de las CC. AA. es importante para el SFA, ¿de dónde se toman las superficies de las CC. AA. para la estimación de la población ajustada? En este caso es el IGN, y en concreto el Jefe de Área del ***Registro Central de Cartografía***, el que certifica las superficies oficiales de las CC. AA. y las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla, y lo hace con una precisión a nivel de hectárea. Dichas superficies, así como su distribución porcentual, fechadas a 1 de enero de 2019, se ofrecen en la tabla 1. El certificado no incluye la superficie total de España, que se ha obtenido por agregación. En dicha tabla se ofrece también la información de las superficies derivadas del *REL*, tanto las obtenidas a partir de las superficies provinciales, como de las municipales, así como las distribuciones porcentuales en todos los casos.

La tabla 1 muestra que, a pesar de las discrepancias en los valores de las superficies en algunos casos, la distribución porcentual, que es todo lo que importa en el cálculo de la población ajustada del SFA, no se ve prácticamente afectada por estas diferencias.

[11] En algunos casos es posible intuir la metodología seguida en la determinación de superficies. Por ejemplo, la información del *Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España* (*SIOSE*), incluye como campo calculado la superficie de cada polígono de la base de datos –en hectáreas y con una precisión de 4 decimales–. Según consta en la metodología de *SIOSE* (Equipo Técnico Nacional SIOSE 2011) esta superficie ha sido obtenida sobre la proyección original en que fueron digitalizados los polígonos, proyección *UTM* (*Universal Tranverse Mercator*) en el huso correspondiente de cada CC. AA..

La misma correspondencia mencionada en la nota anterior indica que «*…en cuanto a la metodología de cálculo, tampoco se dispone de un documento que la describa.*» –*mail* del 01/04/2013 del *Servicio de Delimitaciones Territoriales*–. Si bien más recientemente el *Registro Central de Cartografía* indica que «*se calculan sobre la línea límite oficial de cada municipio a fecha de la certificación de superficie, en proyección azimutal equivalente de Lambert…*» –*mail* del 23/06/2022 del *Registro Central de Cartografía*. Por tanto, no parece que el IGN aplique un criterio unificado en el cálculo de superficies.

Tabla 1. Superficie de las comunidades autónomas: Certificadas por el IGN y del Registro de Entidades Locales

Código	Comunidad autónoma	Certificadas		Registro de Entidades Locales			
		IGN[1]		Provincias[2]		Municipios[3]	
		km²	%	km²	%	km²	%
01	Andalucía	87.588,72	17,310	87.599,66	17,313	89.497,66	17,664
02	Aragón	47.720,38	9,431	47.720,27	9,432	47.699,14	9,414
03	P. de Asturias	10.604,09	2,096	10.603,57	2,096	10.605,00	2,093
04	Illes Balears	4.991,70	0,987	4.991,68	0,987	4.991,71	0,985
05	Canarias	7.445,11	1,471	7.446,95	1,472	7.445,84	1,470
06	Cantabria	5.329,51	1,053	5.321,39	1,052	5.261,97	1,039
07	Castilla y León	94.223,14	18,622	94.224,03	18,623	93.865,66	18,526
08	Castilla-La Mancha	79.460,78	15,704	79.461,85	15,705	79.410,85	15,673
09	Cataluña	32.109,59	6,346	32.113,25	6,347	32.115,70	6,339
10	C. Valenciana	23.259,14	4,597	23.260,15	4,597	23.264,50	4,592
11	Extremadura	41.634,40	8,228	41.634,58	8,229	41.640,88	8,219
12	Galicia	29.576,41	5,845	29.573,96	5,845	29.576,28	5,837
13	C. de Madrid	8.027,49	1,587	8.027,92	1,587	8.021,60	1,583
14	Región de Murcia	11.313,87	2,236	11.313,98	2,236	11.316,17	2,233
15	C. F. de Navarra	10.390.38	2,053	10.390,72	2,054	9.801,06	1,934
16	País Vasco	7.232.96	1,429	7.234,83	1,430	7.092,70	1,400
17	La Rioja	5.045.03	0,997	5.045,27	0,997	5.028,18	0,992
18	C. a. de Ceuta	19.87	0,004			19,87	0,004
19	C. a. de Melilla	14.24	0,003			14,24	0,003
España		**505.986,81**	**100,000**	**505.964,06**	**100,000**	**506.669,01**	**100,000**

[1] Certificación a fecha 1 de enero de 2019.
[2] Agregación de superficies provinciales.
[3] Agregación de superficies municipales.
Fuente: Registro Central de Cartografía (RCC) y Registro de Entidades Locales (REL).

4.

Sobre la medición de la superficie en grandes áreas

La superficie de un país o región no parece una estadística fácil de obtener. ¡No podemos ir con el metro! Este apartado trata de explicar, en lenguaje sencillo, algunas de las cuestiones a las que debemos enfrentarnos si queremos estimar, por ejemplo, la superficie de España.

Lo primero que necesitamos es disponer de una representación del área para la cual queremos determinar su superficie y tener en cuenta que, si el área es suficientemente grande, quizá debamos tomar en consideración la curvatura de la tierra.

Existen básicamente dos tipos de modelos de representación de la realidad: (*i*) el **modelo vectorial**, y (*ii*) el **modelo *raster***.

El **modelo vectorial** define los objetos geográficos –puntos, líneas y polígonos– mediante la codificación explícita de sus coordenadas.[12] Los puntos se codifican mediante un par de coordenadas en el espacio, las líneas como una sucesión de puntos conectados y los polígonos como líneas que cierran una determinada área. Si las coordenadas son geográficas –longitud y latitud–, estas se proyectan sobre un plano, obteniendo de esta forma coordenadas proyectadas. Tenemos ahora un **mapa**, ¡un dibujo!, y el cálculo del **área** se basa en ecuaciones de la **geometría plana**. De esta forma obtendríamos la **superficie planimétrica** de España.

En el camino hay muchas decisiones que afectan a la precisión con la que obtenemos esta superficie.

Por una parte, es necesario tomar **decisiones prácticas** sobre la escala, resolución y unidad mínima de mapeo, que acabarán afectando a la estimación. También es necesario que las líneas de frontera sean conocidas de forma precisa, lo que no siempre sucede, y que haya una convención clara sobre la definición de la línea de costa.[13] Todas estas decisiones afectarán a la cifra final de superficie que obtengamos.

Por otra parte, es necesario tomar **decisiones técnicas**. Debemos decidir como proyectar las coordenadas geográficas –longitud y latitud–. A título de ejemplo, si tomamos la capa del contorno de España disponible en el Centro de Descargas del CNIG –descrita en el apartado 6– en coordenadas geográficas y la proyectamos a *LAEA* (*Lambert Azimutal Equal Area*) obtendremos una superficie para España de **506.027,25 km²**. Ligeramente superior a la certificada por el IGN –tabla 1–.

Esta es una proyección conveniente para este propósito, ya que representa de forma precisa el área en todas las regiones de una es-

[12] Se trata, obviamente, de una explicación muy simplificada. En la práctica el **modelo vectorial** puede representar otros tipos de geometrías más complejos.

[13] Por ejemplo, el CNIG ofrece una línea de costa doble, compuesta por la línea de pleamar y la línea de bajamar. Tomar una, otra, o una intermedia en la elaboración de nuestro mapa vectorial no es indiferente a efectos del cálculo de superficie. ¡Y las discrepancias aquí pueden ser muy grandes!

fera. De hecho esta es la proyección recomendada por INSPIRE en sus especificaciones sobre Sistemas de Referencia de Coordenadas (*CRS*) para el análisis estadístico espacial y presentación de resultados cuando se requiera la verdadera área de los polígonos en la representación, y también la utilizada por el IGN en el cálculo de las superficies municipales del *REL*.

Dos observaciones son **importantes** aquí.

1. **Primero**, la **superficie** obtenida **depende de la proyección**. Por ejemplo, si hubiéramos proyectado nuestra capa a coordenadas *UTM* (*Universal Tranverse Mercator*) en el huso 30N, *UTM30N*, hubiéramos obtenido una superficie de **506.529,74 km²**. Esta proyección es apropiada para el centro de la península ibérica, pero no para los extremos –Illes Balears, Cataluña o Galicia–, ni tampoco para Canarias. Tampoco es la más apropiada para el cálculo de áreas. Podemos ver como el efecto de la proyección sobre la superficie obtenida no es despreciable.[14]

2. **Segundo**, **nos hemos abstraído de la curvatura de la tierra**, ya que **la superficie ha sido obtenida a partir de una representación plana**. Esta es una convención muy asentada en el mundo de la cartografía y en los *GIS*. De hecho algunos programas de *GIS*, como ArcGIS, no efectúan cálculos geométricos –áreas, perímetros o longitudes– si las capas de partida no están proyectadas. ¡La superficie es esencialmente un concepto plano!

   ¿Podríamos calcular la superficie sin dependencia de la proyección?, es decir, a partir de coordenadas geográficas. Lo cierto es que **sí**, 👍. En este caso es necesario trabajar con **geometría esférica**, pero existen librerías, accesibles desde *R* (Dunnington, Pebesma y Rubak 2021), que permiten realizar este tipo de cálculos con (casi) la misma sencillez con la que trabajamos con coordenadas proyectadas. Si efectuáramos este cálculo para la capa del contorno de España, cuyas coordenadas geográficas están en el sistema geodésico *ETRS89* (*European Terrestrial Reference System 1989*), que es el sistema de referencia europeo, obtendríamos una superficie de **505.471,57 km²**.[15]

Introducimos esta observación para enfatizar que nuestras medidas de la superficie no tienen relación directa con la cuestión de la curvatura de la tierra –más allá de que dicha curvatura está incorporada en una determinada proyección–, sino con la orografía u ondulación del terreno, que todavía no ha sido introducida formalmente en el análisis. En **ambos casos**, tanto la **superficie planimétrica** como la **superficie del paisaje** hacen referencia a superficies proyectadas. ¡La curvatura

[14] Si la proyección hubiera sido al huso 31N, *UTM31N*, la superficie obtenida habría sido **510.629,21 km²**. Mientras que en el huso 29, *UTM29N*, sería de **508.985,06 km²** y en huso 28 *UTM28N*, apropiada solo para Canarias, de **518.068,03 km²**. El **mensaje** debe quedar claro, **elegir la proyección adecuada es importante para el cálculo de áreas**.

[15] Este cálculo es independiente de la proyección, es decir, la superficie se obtiene a partir de coordenadas geográficas mediante el uso de **geometría esférica**, pero ello no quiere decir que sea independiente del sistema geodésico de referencia –*datum*– puesto que las coordenadas geográficas van referidas a un elipsoide. Si cambiamos de elipsoide de referencia, la medida de superficie cambiará. Así, por ejemplo, si la capa del contorno de España estuviera en coordenadas geográficas referidas al antiguo sistema de referencia geodésico *ED50* (*European Datum 1950*) la superficie obtenida hubiera sido **505,434.97 km²**. Por tanto, **la medición de la superficie de un área extensa siempre depende del Sistema de Referencia de Coordenadas (*CRS*)**, con o sin proyección.

de la tierra, como tal, no es incorporada en nuestras estimaciones!

Hecha esta salvedad, a partir de ahora consideraremos como **sinónimos superficie planimétrica o superficie *2D***, y **superficie del paisaje o superficie *3D***. Esta última es la terminología utilizada en las estimaciones del Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021) y es habitual en la literatura (Berry 2002; Jennes 2004). Debe quedar claro, sin embargo, que la superficie *3D* **no** hace referencia a la curvatura de la tierra, de la que nos abstraemos mediante una proyección, sino a tomar en consideración la orografía del terreno en el cálculo de la superficie. El apartado siguiente dejará claras las diferencias.

El **modelo *raster*** divide el espacio –continuo– en un conjunto regular de celdas o *pixeles*. Cada una de estas celdas almacena un número o código que puede identificar un objeto o ser el valor de una variable –continua o discreta–. El número o código se considera representativo de toda la superficie abarcada por la celda. Tenemos ahora una **imagen** y el cálculo del **área** se basa en **sumar la superficie de cada celda**. En el caso más común, en el que las celdas son cuadradas y representan, por tanto, la misma superficie, basta con contar el número de pixeles de nuestra imagen y multiplicar el resultado por el área de cada celda individual.[16] De esta forma obtendríamos, en este caso, la superficie planimétrica de España.

Este formato cubre la totalidad del espacio y es muy eficiente en el almacenamiento y tratamiento de grandes volúmenes de información. Su manipulación es muy diferente al **formato vectorial**, pero está sujeto al mismo tipo de limitaciones.

Por una parte, debemos tomar idénticas **decisiones prácticas** sobre la escala, resolución y unidad mínima de mapeo que en el marco del **modelo vectorial**. También deberemos fijar con precisión los bordes de la región de interés –fronteras o líneas de costa–. Bordes que ahora aparecerán pixelados, en lugar de estar constituidos por líneas rectas, ya que las celdas del **modelo *raster*** normalmente se superponen con las líneas que determinan el polígono en el **modelo vectorial**.

Por otra parte, el **modelo raster** puede estar en coordenadas geográficas o proyectadas. En el primer caso el tamaño de las celdas se define en distancias angulares, y cada una de ellas representa una superficie diferente. En el segundo caso el tamaño de las celdas se define en distancias euclídeas, y las celdas serán, normalmente, del mismo tamaño, ¡aunque no tiene porque ser necesariamente así! 😄

Así pues, sea cual sea el modelo de datos elegido para representar la realidad, los problemas a efectos del cálculo de la superficie planimétrica de un país son esencialmente los mismos.

Aunque resulta obvio que medir la superficie de grandes áreas es una tarea difícil, y que depende de multitud de decisiones prácticas y técnicas, no parece que sea más complicado que la elaboración de la Contabilidad Nacional, sobre la que existe un amplio consenso metodológico para elaborar estimaciones consistentes y comparables en el tiempo y entre países. Los cálculos geográficos no deberían ser una excepción, y en este sentido no

[16] Naturalmente se trata de una explicación simplificada. En la práctica el **modelo *raster*** puede representar otros tipos de particiones del espacio mucho más complejas.

deberíamos encontrar la variabilidad en las estimaciones de superficie que observamos en la práctica. De hecho, Eurostat (1999) ofrece algunas indicaciones de homogeneización, sin entrar en las decisiones más técnicas. Aunque resulta curioso, sin embargo, que INSPIRE, la directiva de la Unión Europea para la creación de una infraestructura europea de datos espaciales, sea silenciosa respecto a las especificaciones técnicas para el cálculo de superficies, mientras que no lo es respecto al cálculo de elevaciones (INSPIRE Thematic Working Group Elevation 2013).

5.

Estimación de la superficie del paisaje –3D– en grandes áreas

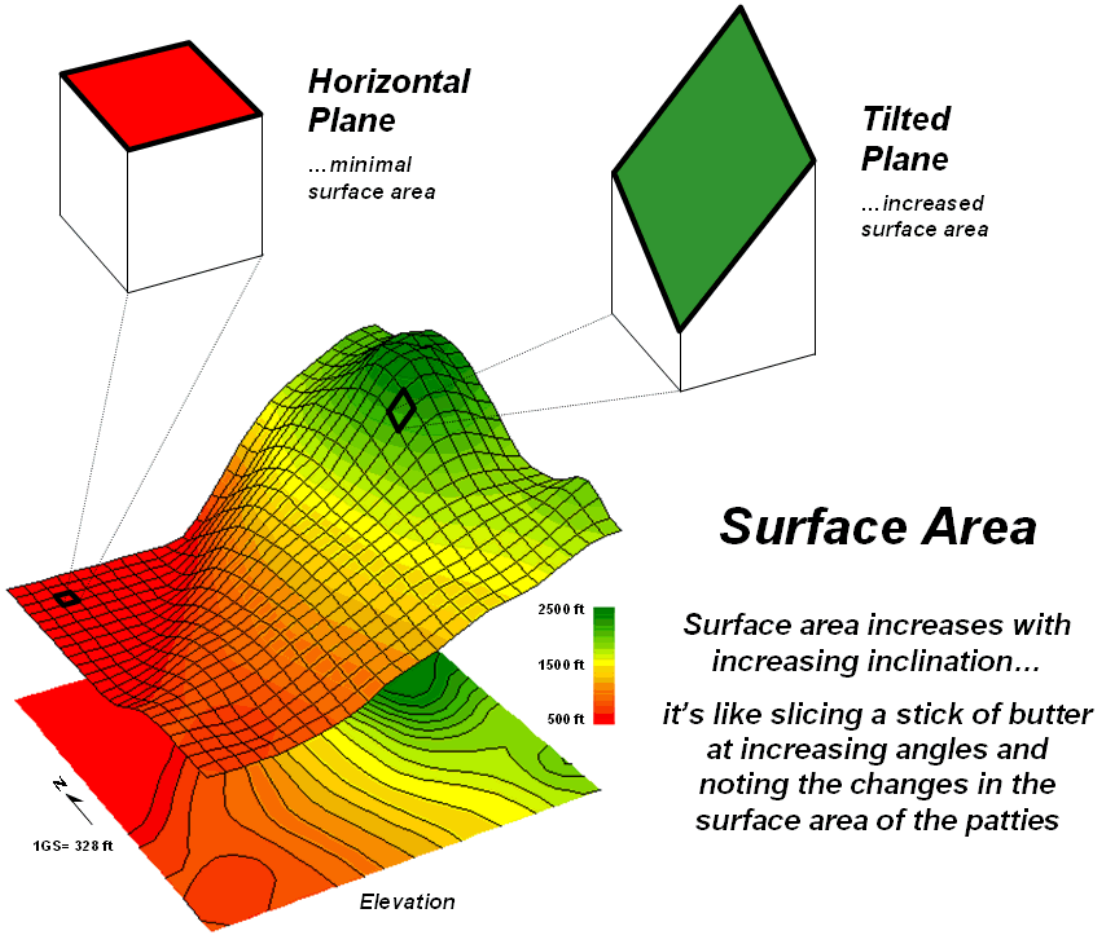
Podemos distinguir básicamente **3 métodos** para estimar la superficie *3D*. De menor a mayor complejidad y requerimientos de cálculo:

1. Un **método basado** en información sobre la **pendiente del terreno** (Berry 2002)

   Supongamos que disponemos de información en formato ***raster*** en el que las **celdas** –cuadradas y todas ellas del mismo tamaño– almacenan información sobre la **pendiente del terreno** en esa porción de superficie. La figura 1 ilustra esta situación.

   La superficie plana –*2D*– de cada celda es conocida a partir de la resolución del *raster*. La superficie *3D* de dicha celda depende de su inclinación –pendiente–, y puede ser obtenida dividiendo el área *2D* por el coseno del ángulo de la pendiente. ¡Un simple cálculo trigonométrico! Naturalmente el **método asume** que la **pendiente es constante en toda la celda**.

Figura 1. El área de la superficie aumenta con la pendiente



Fuente: Berry (2002).

Algunas **cifras** ayudan a ganar **intuición** sobre lo que debemos esperar al hacer estimaciones *3D* frente a las estimaciones *2D* por este método. Consideremos celdas de 1km² de superficie plana –1km × 1km–.

Si el ángulo es de 45º, lo que representa una pendiente del 100%, entonces *cos*(45º) = 0,7071, por lo que el área *3D* de la celda será de 1,4142 km², lo que implica un aumento en la superficie del 41,42%.

Si el ángulo es de 60º, entonces *cos*(60º)=0.5, lo que supone doblar el área, de forma que nuestra celda tendría ahora una superficie *3D* de 2km². Aunque estas pendientes existen en la práctica en terrenos muy abruptos no son representativas de la generalidad del terreno.

Si consideramos una pendiente del 20%, primero deberemos transformar esta pendiente a grados mediante el arcotangente, *arctan*, de la misma. Así, una pendiente del 20% representa un ángulo de *arctan*(0.20)=11,3099º, cuyo coseno es *cos*(11,3099º)=0,9806, por lo que la superficie *3D* de nuestra celda será de 1,0198km², un aumento de la superficie de 1,98%. Una pendiente del 10% supondría un incremento de la superficie tan solo del 0,50%, mientras que una pendiente del 30% representaría un incremento del 4,40% al pasar de *2D* a *3D*.

Este es el método empleado por el Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021) es sus cálculos, solo que en lugar de usar un modelo *raster* con celdas de un determinado tamaño simplemente utiliza los porcentajes de superficie de las CC. AA. por intervalos de inclinación, considerando 13 tramos (Ministerio de Hacienda y Función Púbica 2021, cuadro 6.11). El incremento agregado en la superficie estimada –*3D versus 2D*– es del 1,62%, lo que supone una pendiente media del 18% –o un ángulo de 10º–.

2. Un **método basado** en construir **triángulos *3D*** a partir de las **elevaciones** de un **Modelo Digital del Terreno (MDT)** (Jennes 2004).

   Supongamos que disponemos de información en formato ***raster*** en el que las **celdas** –cuadradas y todas ellas del mismo tamaño– almacenan información sobre la **elevación** del terreno en esa porción de superficie. Un modelo *raster* de este tipo se conoce como **Modelo Digital del Terreno (MDT)** o **Modelo Digital de Elevaciones (MDE)** (Felicísimo 1994).[17]

   Con esta información podemos relajar el supuesto del método anterior de que la pendiente es constante en toda la celda. Tomando una celda central de referencia y sus 8 vecinas –*queen contiguity*–, los valores de las elevaciones de todas estas celdas –9 en total– pueden utilizarse para calcular las diferencias de altura entre cada par de celdas vecinas. Estas diferencias, junto con la resolución del modelo *raster*, el Teorema de Pitágoras y la fórmula del coseno anterior, permiten determinar la longitud de todos los bordes de los 8 triángulos levantados en *3D* formados por la conexión entre el centro de la celda de referencia y el centro de las 8 celdas vecinas. Dadas las longitudes de todos estos bordes –16 en total–, convenientemente recortados por la base de la celda de referencia, podemos estimar el área de cada uno de los 8 triángulos por medio de la

[17] A efectos prácticos, tomamos ambos términos, **MDT** y **MDE**, como sinónimos, aunque el término **MDT** puede ser empleado más generalmente (Felicísimo 1994).

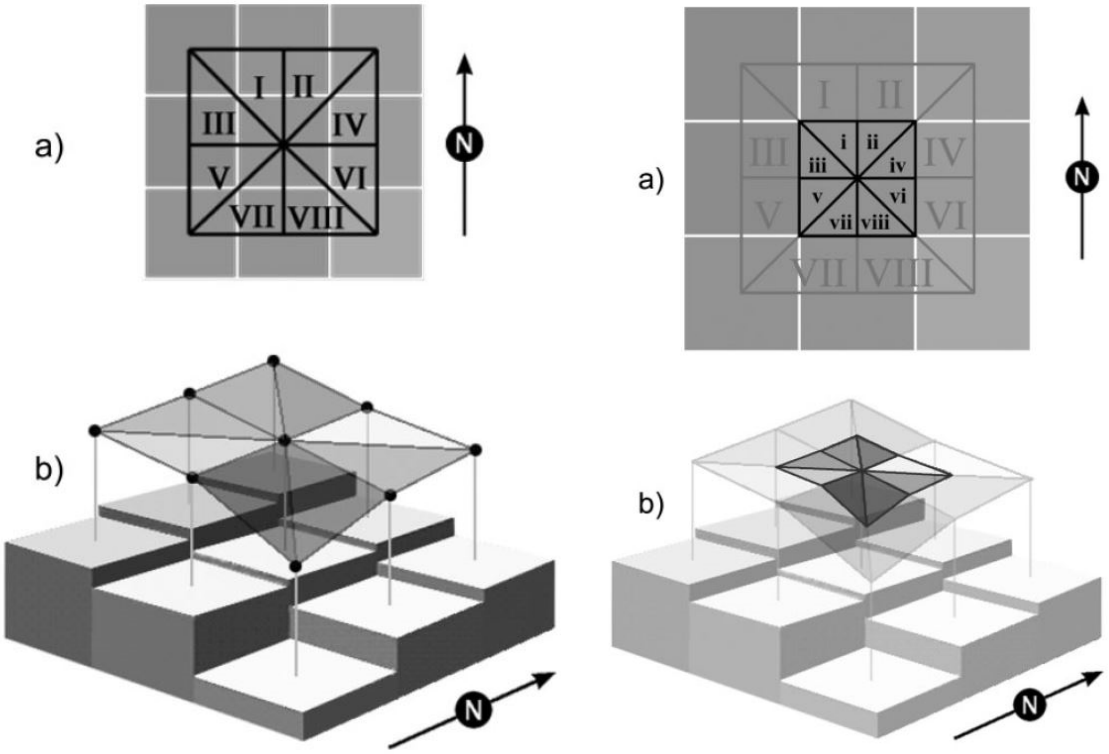
fórmula de Heron (Abramowitz y Stegun [eds.] 1972). La suma del área de todos estos triángulos –8 en total– es una estimación de la superficie *3D* de la celda de referencia. Los dos paneles de la figura 2 ilustran el procedimiento.

El método se basa, pues, en deformar la superficie plana de la celda de referencia de acuerdo con las pendientes entre dicha celda y sus 8 vecinas. Esta deformación está constituida por 8 triángulos que se levantan en *3D* y cuya área, sumada para todos estos triángulos, supone una estimación en *3D* de la superficie de la celda de referencia.

3. Un **método** basado en **Redes Triangulares Irregulares** (*Triangular Irregular Networks*, *TIN*)

Las **Redes Triangulares Irregulares** (*TIN*) son **representaciones vectoriales** en *3D* del terreno y proporcionan la mejor aproximación a la superficie del paisaje que podemos obtener. Se trata, pues, de un **MDE** que pertenece al **modelo vectorial** y no al **modelo *raster***, como en el caso del **MDE** del método anterior.

Figura 2. Triángulos 3D entre la celda de referencia y sus vecinas (panel izquierdo) y ajuste a la base de la celda de referencia (panel derecho)



Fuente: Jennes (2004, figuras 3 y 4).

Dada esta representación, la superficie *3D* es simplemente la suma del área de los triángulos contenidos en el polígono para el que deseamos calcular la superficie del paisaje. La figura 3 muestra esta representación y permite intuir el procedimiento de estimación. A partir de ella es fácil entender que este método se trata de una generalización del método anterior, y proporciona una estimación más precisa ya que (*i*) se adapta mejor a las irregularidades del terreno que el modelo *raster* –los nodos pueden ser situados irregularmente– y (*ii*) puede ser recortado de forma exacta por el polígono de referencia.

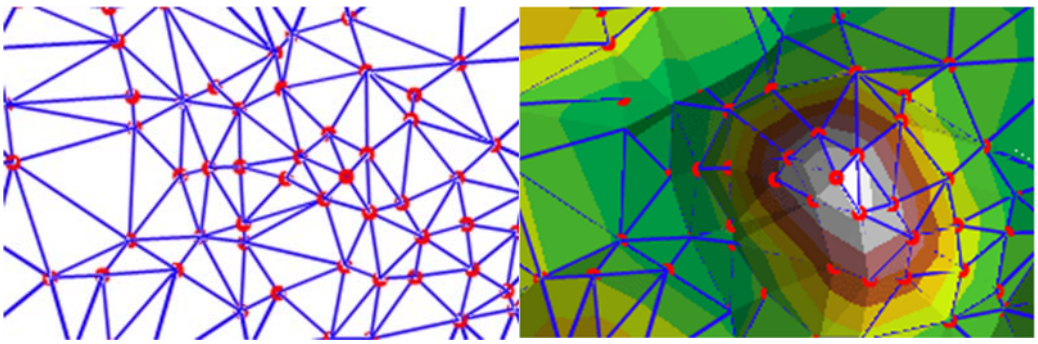
Nuestra aplicación práctica experimentará con los métodos 1 y 2, pero no con el 3. Fundamentalmente por dos motivos.

En primer lugar, el IGN dispone de conjuntos de datos que no necesitan procesado adicional para los métodos 1 y 2, ya que dispone de un **Modelo Digital de Pendientes (MDP)** y de varios **Modelos Digitales del Terreno (MDT)** con diferentes tamaños de celda –paso de malla–, pero no dispone de **Redes Triangulares Irregulares (*TIN*)**.

En segundo lugar, es cierto que es posible construir **Redes Triangulares Irregulares (*TIN*)** a partir de **MDE** en formato *raster*, pero dada la compleja estructura de las *TIN* su manipulación es menos eficiente computacionalmente y consume muchos más recursos. En la práctica, las *TIN* se usan para modelización de precisión en pequeñas áreas, sin embargo, nuestro ejercicio es nacional y cubre un área de más de medio millón de km^2. Para esta dimensión del problema los cálculos serían inviables con los recursos de computación a nuestro alcance.

Jennes (2004), en una comparación entre los métodos 2 y 3, concluye que el método 2 proporciona una precisión comparable a la del método 3 con tal que el número de celdas implicadas en el cálculo sea suficientemente grande, lo que en la práctica se traduce en un número de celdas mayor de 250. Nuestras aplicaciones utilizan varios millones de celdas.

Figura 3. Redes Triangulares Irregulares (TIN)



Fuente: Esri España (ArcGIS).

6.

Análisis de la información utilizada

Este apartado describe con detalle la información utilizada, el procesado inicial de la misma y las dificultades encontradas en el tratamiento de los datos primarios.

La información utilizada procede exclusivamente del Centro de Descargas del CNIG, dependiente del IGN, y puede ser agrupada en dos bloques: (*i*) el mapa vectorial de **contornos** del IGN a diversos niveles administrativos –municipios, provincias, España–, y (*ii*) **Modelos Digitales del Terreno (MDT)** en formato *raster* con información relacionada sobre pendientes y elevaciones.

Se menciona también la información intermedia derivada, más allá del resultado final de las superficies *2D* y *3D* estimadas a nivel de CC. AA. por los diferentes métodos y a partir de los diferentes conjuntos de datos, y que pueden ser de interés en otros contextos.

6.1. Contornos administrativos

La capa de contornos administrativos procede del Centro de Descargas del CNIG, dependiente del IGN.[18] Según información en la *web* de descarga la «*…geometría responde a la interpretación de los títulos jurídicos inscritos en el Registro Central de Cartografía…*», que es quien certifica las superficies ofrecidas en la tabla 1.

Esta información se distribuye en formato *shape* y coordenadas geográficas *ETRS89* para la península y baleares y *WGS84* para Canarias, en dos capas diferentes. Después de transformar la capa para Canarias a *ETRS89*[19] se fusionaron ambas capas en una sola. La capa está ajustada a los municipios a 1 de enero de 2019 –desde esa fecha no se han producido alteraciones municipales por lo que a 1 de enero de 2022 disponemos de los mismos municipios–, y tiene un registro por municipio –no por polígono–. La codificación en la descarga se ajusta a la normativa INSPIRE para unidades administrativas, por lo que de esta se extrajo la codificación municipal de 5 dígitos, añadiéndose los campos correspondientes a los códigos y nombres de las provincias y CC. AA. La capa forma parte de la librería de Goerlich y Pérez (2021).

De esta capa se utilizaron todos los niveles administrativos del Estado –municipios, incluidos los condominios, provincias, CC. AA. y el conjunto de España–, según las necesidades para el procesado de la capa *raster* utilizada. Por encima del municipio la capa correspondiente se obtuvo por disolución, y para España se utilizó tanto en formato MULTIPOLYGON con registro único, como transformado a MULTILINESTRING cuando fue necesario, asimilable en este caso a la línea de costa o frontera de España.[20] **Lo que queremos medir está pues limitado por esta**

[18] La información se descargó el 04/02/2020.

[19] Aunque en la práctica ambos sistemas de referencia son equivalentes a nuestros efectos.

[20] El Centro de Descargas del CNIG distribuye ficheros vectoriales (en formato *shape*) de línea de costa independientemente de los contornos administrativos. La **línea de costa** es una **línea doble**, compuesta por la línea de **pleamar** y la línea de **bajamar**, de forma que delimita, en sentido horizontal, la zona de transición entre la tierra

capa de contornos y su precisión.[21] Según los metadatos, en el caso general –un 90% aproximadamente en 2017–, las líneas límite tienen una incertidumbre geométrica correspondiente a un rango de escalas entre 1:25.000 y 1:100.000.

La capa de contornos administrativos incluye recintos para el Peñón de Vélez de la Gomera, el Peñón de Alhucemas, las Islas Alhucemas y las Islas Chafarinas, posesiones españolas en el norte de África, y que son excluidas en todos los modelos digitales utilizados.[22]

La proyección de trabajo se hereda de los ficheros del **MDT** correspondiente en función de su distribución, tal y como se explica a continuación, y las capas vectoriales de contornos administrativos se reproyectaron a la del modelo digital correspondiente: *ETRS89 UTM* en los husos 28, 29, 30 y 31 respectivamente, cuando fue necesario.

Desde el punto de vista práctico ello significa que la estimación de nuestras superficies, tanto *2D* como *3D*, lo son en *ETRS89 UTM* en el huso correspondiente.[23]

A efectos de comparación con las superficies certificadas por el IGN –tabla 2– ofrecemos las superficies de las CC. AA. que se obtienen después de la proyección de esta capa a *LAEA*. Se trata de superficies *2D*, ¡que es por donde debemos empezar! 😄

Tabla 2. Superficie de las comunidades autónomas: Límites Administrativos (ETRS89-LAEA)

Código	Comunidad autónoma	Superficie	
		km²	%
01	Andalucía	87.597,97	17,311
02	Aragón	47.721,25	9,431
03	P. de Asturias	10.603,90	2,096
04	Illes Balears	4.990,79	0,986
05	Canarias	7.445,11	1,471
06	Cantabria	5.330,07	1,053
07	Castilla y León	94.223,68	18,620
08	Castilla-La Mancha	79.458,29	15,702
09	Cataluña	32.115,02	6,346
10	C. Valenciana	23.265,15	4,598
11	Extremadura	41.634,81	8,228
12	Galicia	29.589,03	5,847
13	C. de Madrid	8.030,94	1,587
14	Región de Murcia	11.316,29	2,236
15	C. F. de Navarra	10.391,01	2,053
16	País Vasco	7.234,79	1,430
17	La Rioja	5.044,88	0,997
18	C. a. de Ceuta	20,02	0,004
19	C. a. de Melilla	14,24	0,003
España		**506.027,25**	**100,000**

Fuente: Centro de Descargas del CNIG.

y el mar. La utilización de la línea exterior de contornos administrativos nos ahorra la complejidad de manejar dos líneas de costa, además de tener que extraer y empalmar las líneas de frontera con otros países (Francia, Portugal, Marruecos y Reino Unido). Observamos, sin embargo, que dicha línea es susceptible de tener un efecto sobre lo que queremos medir, la superficie de España. El IGN es silencioso respecto a esta cuestión.

[21] En realidad, por la intersección geométrica entre la capa de contornos y la información contenida en los **MDT**, ya que, como veremos, estos excluyen pequeñas porciones del territorio.

[22] Dicha capa atribuye estos polígonos a la Ciudad Autónoma de Melilla, aunque correspondencia privada con el IGN indica que «*…según documentación obrante en este Instituto, son territorios que no forman parte de ningún municipio. Pertenecen al Estado y son administrados por el Ministerio de Defensa.*» *–mail* del 26/01/2015 del *Servicio de Delimitaciones Territoriales*–. De hecho versiones más recientes de la capa de contornos administrativos disponible en el Centro de Descargas del CNIG incluye 5 recintos que el IGN no atribuye a ninguna Comunidad Autónoma, con código de CC. AA. 20 y código de provincia 54. Además de los 4 recintos mencionados en el texto, también se incluye, entre estos territorios no asignados a ninguna CC. AA., la Isla de Perejil, que, en nuestra capa de contornos, descargada el 04/02/2020, está asignada a Ceuta.

[23] Salvo en el caso del *Modelo Digital de Pendientes* el resto de información se ofrece en el huso 28 para Canarias y el 30 extendido para el resto del territorio.

6.2. Modelos Digitales del Terreno

El Centro de Descargas del CNIG dispone de varios **Modelos Digitales del Terreno (MDT)** basados en la tecnología *LiDAR* (*Light Detection and Ranging*). Este trabajo emplea 4 de ellos procedentes de la 1ª cobertura *LiDAR* que tuvo lugar entre 2008 y 2015.[24]

En todos los casos el sistema de referencia geodésico, o *datum*, es *ETRS89* para la Península, Illes Balears, Ceuta y Melilla, y *REGCAN95* para las Islas Canarias –ambos sistemas son equivalentes a nuestros efectos–. Proyección *UTM* en el huso correspondiente. Los datos *raster* se manipularon siempre en proyección original, de forma que solo se reproyectaron los datos vectoriales.

Se distribuyen en formato *raster* ASCII de ESRI, un formato de texto que **no** incluye la proyección. Los ficheros de distribución presentan *overlaping* entre ellos, de forma que deben ser recortados para evitar la doble contabilidad de pixeles. No disponen de valores que permitan identificar la línea de costa o de frontera. Es necesario para ello aplicar una máscara –la capa de contornos descrita en el epígrafe anterior– que limite el polígono en el que estamos interesados. Ninguno de los modelos incluye información sobre el Peñón de Vélez de la Gomera, el Peñón de Alhucemas, las Islas de Alhucemas y las Islas Chafarinas. Sin embargo los **MDT** referentes a elevaciones si incluyen información sobre la Isla de Perejil. El nombre de los ficheros permite su identificación en términos de origen de la información, resolución, área cubierta por el fichero, sistema de referencia y huso.

Información intermedia derivada: Toda la información intermedia derivada, descrita a continuación para cada uno de los modelos, se almacenó en formato ***tif*** con la geocodificación incluida en el mismo fichero.[25]

6.2.1. Modelo Digital de Pendientes con paso de malla de 5 metros (MDP05)

El **Modelo Digital de Pendientes (MDP)** se ofrece con paso de malla de 5m, lo que significa que cada celda o pixel representa una superficie de 25m² –5m x 5m–, **MDP05**. Se trata de un producto derivado del **Modelo Digital del Terreno** con idéntica resolución –descrito a continuación–. En el proceso de cálculo, a cada celda se le asigna el **valor de la mayor de las pendientes (en valor absoluto) calculadas entre dicha celda y cada una de sus vecinas**. El valor de la pendiente se expresa en grados sexagesimales y fracción decimal de grado.

No incluye información sobre Ceuta, Melilla, Isla de Alborán y Roque del Este. Se distribuye según hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000, MTN50. En total son 1,179 ficheros. Las hojas que caen entre 2 husos, 46 entre los husos 29 y 30 y 23 entre los husos 30 y 31, se ofrecen duplicadas en ambos husos. En estos casos se procesó siempre la hoja del huso 30, por lo que en total **disponemos de 1.110 ficheros** con los que trabajar.

Esta información permite la aplicación del método 1 de estimación de la superficie *3D* de forma directa y con un coste de cómputo muy reducido. Dicha superficie viene dada, en este caso, por la inversa del coseno de la pendiente de dicha celda multiplicada por 25m² y sumadas las celdas correspondientes para

[24] En la actualidad está en proceso de finalización la 2ª cobertura, que permitirá mayor resolución.

[25] La información está disponible y se pueden solicitar al Ivie (publicaciones@ivie.es)

el área de interés. El número de celdas implicadas en el cálculo es del orden de 20.000 millones.[26]

Procesado e información derivada: Dado el sistema de distribución –MTN50– el procesado inicial de la información fue por hoja del MTN50 –cuya cuadrícula se describe al final de este apartado–. De esta forma se dispone de 1.110 ficheros recortados de forma exacta, sin *overlapping*, por la cuadrícula del MTN50 **y** el contorno de España[27] –descrito anteriormente– con (*i*) la información original de la pendiente en el **MDP05**, y (*ii*) el factor de escala para el cálculo de la superficie *3D*, es decir, la inversa del coseno de la pendiente. A partir de este segundo conjunto de ficheros, el número de celdas de los mismos, multiplicadas por 25m², es una estimación de la superficie *2D* y la suma de estos factores de escala, multiplicados por 25m², es una estimación de la superficie *3D*, de acuerdo con el método 1 de estimación.

6.2.2. Modelo Digital del Terreno con paso de malla de 200 metros (MDT200)

El **Modelo Digital del Terreno (MTD)**[28] ofrece información sobre la elevación de cada celda y está disponible a diversas resoluciones. Ello nos permitirá examinar la sensibilidad de los resultados a la fineza de la *grid*. La menor resolución es de 200m, lo que significa que cada celda o *pixel* representa una superficie de 40.000m² –200m x 200m–, **MDT200**, es decir, 4 hectáreas. La elevación viene expresada en metros.

La información sobre Ceuta, Melilla e Isla de Alborán no procede de *LiDAR* sino de vuelos fotogramétricos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Se distribuye en formato provincial, con las provincias en los husos 29 y 31 también en el huso 30 –huso 30 extendido–.[29] Debido a esta duplicidad el número total de ficheros disponibles es de 76. En la práctica se procesaron las provincias siempre en el huso 30, excepto las de Canarias, solo disponibles en el huso 28. Por tanto, se dispone de **53 ficheros** con los que trabajar, correspondientes a las 50 provincias, las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla y la Isla de Alborán, que se ofrece en fichero aparte.[30]

Esta información permite la aplicación del método 2 con un coste de cómputo muy reducido y perfectamente asumible en un ordenador doméstico. El número de celdas implicadas en el cálculo es del orden de 12 millones.[31]

---

[26] Exactamente 20,235,384,073 celdas.

[27] El proceso de recorte entre información *raster* e información vectorial –conocido como *masking*– nunca es exacto porque las celdas del *raster* típicamente se superponen con los bordes de la información vectorial. Dado que el trabajo utiliza diversos niveles de agregación geográfica, y es necesario evitar la doble contabilidad de *pixeles* en el cómputo de la superficie, una celda se considera que pertenece a un polígono si el centroide de la misma cae dentro del polígono. De esta forma una celda pertenece a un polígono, y solo a uno, y podemos agregar de forma consistente al pasar de municipios a provincias, de estas a CC. AA. y de estas al total nacional.

[28] En realidad, **Modelo Digital de Elevaciones (MDE)**, puesto que el valor de la celda se corresponde con la elevación del terreno –en la práctica el geoide, ya que se trata de alturas ortométricas–, pero el IGN utiliza esta terminología, **MDT**, para referirse a estos modelos. Nomenclatura que también puede utilizarse más generalmente (Felicísimo 1994)).

[29] Curiosamente las provincias que están entre 2 husos, 29 y 30 o 30 y 31, están completas en el huso 30, pero recortadas por el límite de huso cuando se ofrecen en el huso 29 o 31.

[30] En el fichero de contornos administrativos, la Isla de Alborán es asignada al municipio de Almería –04013–. También es así en las versiones más recientes de la Base de Datos de Lindes Administrativos (BDLL) disponible actualmente en el Centro de Descargas del CNIG.

[31] Exactamente 12.655.993 celdas.

Procesado e información derivada: Dado el sistema de distribución –provincias– el procesado inicial de la información ajustó los ficheros originales según la extensión espacial de las provincias en el fichero de contornos más un *buffer* de 1.000m –proceso que se conoce como *cropping*–. Los 53 ficheros resultantes fueron almacenados para procesamiento posterior y son idénticos a los originales pero con una extensión espacial más reducida y otro formato. A estos ficheros se les aplicó el algoritmo de estimación de la superficie *3D* del método 2, lo que proporciona una estimación de la superficie *3D* de cada celda, y a continuación se recortaron –*mask*– de forma exacta, sin *overlapping*, por el linde administrativo provincial del fichero de contornos. Estos ficheros, con la superficie *3D* por celda, fueron almacenados. De esta forma se dispone de 53 ficheros *raster* en los que el número de celdas, multiplicadas por 40.000m^2, proporciona una estimación de la superficie *2D* de cada provincia, y la suma del valor de las cedas en el *raster* proporciona una estimación de la superficie *3D*, de acuerdo con el método 2 de estimación.

6.2.3. Modelo Digital del Terreno con paso de malla de 25 metros (MDT25)

La misma información que para el **MDT200** se ofrece con un paso de malla de 25m, es decir, cada celda o *pixel* representa una superficie de 625m^2 –25m x 25m–, **MDT25**. La elevación viene expresada en metros.

La información sobre Ceuta, Melilla e Isla de Alborán no procede de *LiDAR* sino de vuelos fotogramétricos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Según la información de descarga, el **MDT25** se distribuye según hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000, MTN50. Sin embargo, en la práctica se distribuye según una cuadrícula ligeramente diferente, y cuya información acompaña al **MDT** con paso de malla de 5m –que se describe a continuación–, **MDT05**. El número total de ficheros disponibles es de 1.524. Todas las hojas que están en los husos 29 y 31 se ofrecen también en el huso 30 –huso 30 extendido–. En estos casos se procesó siempre la hoja del huso 30, por lo que finalmente **disponemos de 1.118 ficheros** con los que trabajar, ya que 406 están duplicados.

Esta información permite la aplicación del método 2 con un coste de cómputo elevado, pero todavía manejable.[32] El número de celdas implicadas en el cálculo es del orden de 800 millones.[33]

Procesado e información derivada: Dado el sistema de distribución –que se basa en el MTN50, pero dispone de cuadrícula propia– se decidió trabajar a nivel **provincial** mediante la unión de los ficheros correspondientes –*merge*–. Se comprobó que los *overlaping* entre ficheros contenían valores idénticos. El fichero de contornos a nivel provincial se intersectó geométricamente con la cuadrícula de distribución del **MDT05**,[34] lo que permitió identificar que hojas pertenecían a –tenían intersección con– cada provincia. A partir de esta información, se procedió a la unión –*merge*– de la hojas correspondientes a cada provincia y se ajustó el resultado según la extensión espacial de las provincias en el fichero de contornos más un *buffer* de 500m –*cropping*–. Los 52 ficheros resultantes fueron almacenados para procesamiento posterior. Se dispone pues del

[32] El programa de cálculo de la superficie 3D tarda entre 3 y 4 semanas en completarse.

[33] Exactamente 809,983,267 celdas.

[34] Descrita en el epígrafe siguiente.

MDT25 con extensión provincial, que constituye la nueva unidad de trabajo. A estos ficheros se les aplicó el algoritmo de estimación de la superficie *3D* del método 2,[35] lo que proporciona una estimación de la superficie *3D* de cada celda, y a continuación se recortaron –*mask*– de forma exacta, sin *overlapping*, por el linde administrativo provincial del fichero de contornos. Estos ficheros, con la superficie *3D* por celda, fueron almacenados. De esta forma se dispone de 52 ficheros *raster* en los que el número de celdas, multiplicadas por 625m², proporciona una estimación de la superficie *2D* de cada provincia, y la suma del valor de las cedas en el *raster* proporciona una estimación de la superficie *3D*, de acuerdo con el método 2 de estimación.

6.2.4. Modelo Digital del Terreno con paso de malla de 5 metros (MDT05)

La misma información que para el **MDT200** y **MDT25** se ofrece con un paso de malla de 5m, es decir, cada celda o *pixel* representa una superficie de 25m² –5m x 5m–, **MDT05**. La elevación viene expresada en metros. En realidad la resolución original de la información es de 5m de tamaño de celda y los **MDT200** y **MDT25** se obtienen a partir del **MDT05** por remuestreo.

La información sobre Ceuta, Melilla e Isla de Alborán no procede de *LiDAR* sino de vuelos fotogramétricos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Según la información de descarga, el **MDT05** se distribuye según hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000, MTN50. Sin embargo, en la práctica se distribuye según una cuadrícula ligeramente diferente, que viene descrita, en formato gráfico y vectorial, en un fichero de información auxiliar disponible en la *web* de descarga.[36] El número total de ficheros disponibles es de 1.524. Todas las hojas que están en los husos 29 y 31 se ofrecen también en el huso 30 –huso 30 extendido–. En estos casos se procesó siempre la hoja del huso 30, por lo que finalmente **disponemos de 1.118 ficheros** con los que trabajar, ya que 406 están duplicados.

Esta información permite la aplicación del método 2 con un coste de cómputo muy elevado que requirió computación paralela. El número de celdas implicadas en el cálculo es del orden de 20.000 millones.[37]

Procesado e información derivada: Dado el sistema de distribución –que se basa en el MTN50, pero dispone de cuadrícula propia–, y el volumen de la información a manejar, se decidió trabajar a nivel **municipal** mediante la unión de los ficheros correspondientes –*merge*–. Se comprobó que los *overlaping* entre ficheros contenían valores idénticos. El fichero de contornos a nivel municipal se intersectó geométricamente con la cuadrícula de distribución del **MDT05**,[38] lo que permitió identificar que hojas pertenecían a –tenían intersección con– cada municipio. A partir de esta información, se procedió a la unión –*merge*– de la hojas correspondientes a cada municipio y se ajustó el resultado según la extensión espacial de los municipios en el fichero de contornos más un *buffer* de 100m –

[35] Después de un recorte –*mask*– inicial por el contorno provincial con un *buffer* de 50m para reducir al máximo el tiempo de cómputo. Téngase en cuenta que el método 2 toma en consideración, para cada celda, sus vecinas, de forma que debemos mantener cierto *buffer* en los cálculos antes de recortar de forma exacta por los lindes administrativos.

[36] El sistema de distribución es idéntico al del **MDT25**, aunque curiosamente no se describe en la descarga de este modelo.

[37] Exactamente 20,249,583,422 celdas.

[38] Descrita en el epígrafe siguiente.

cropping–. Los 8,212 ficheros resultantes[39] fueron almacenados para procesamiento posterior. Se dispone pues del **MDT05** con extensión municipal, que constituye la nueva unidad de trabajo. A estos ficheros se les aplicó el algoritmo de estimación de la superficie *3D* del método 2,[40] lo que proporciona una estimación de la superficie *3D* de cada celda, y a continuación se recortaron –*mask*– de forma exacta, sin *overlapping*, por el linde administrativo municipal del fichero de contornos. Estos ficheros, con la superficie *3D* por celda, fueron almacenados. De esta forma se dispone de 8.212 ficheros *raster* en los que el número de celdas, multiplicadas por 25m², proporciona una estimación de la superficie *2D* de cada municipio, y la suma del valor de las cedas en el *raster* proporciona una estimación de la superficie *3D*, de acuerdo con el método 2 de estimación.

6.3. Información auxiliar

Además de los modelos digitales y el fichero de contornos administrativos antes descritos también se utilizó otra información auxiliar necesaria para el trabajo, en ambos casos de tipo vectorial y que hace referencia a la cuadrícula de distribución de los **Modelos Digitales del Terreno (MDT)**.

Salvo en el caso del **MDT200**, en el que la distribución es provincial, la disponibilidad de la información por hojas del MTN50 resultó ser tremendamente engorrosa de manipular. Dado el problema tratado –cálculo de superficies– era necesario evitar la doble contabilidad de *pixeles* y la abundancia de ficheros, es decir, la fragmentación de la información para ejercicios de carácter nacional resultó extremadamente tediosa. Resulta incomprensible que el IGN mantenga un formato y sistema de distribución de este tipo de información totalmente obsoleto, suponemos que por razones históricas de cuando la cartografía se distribuía en papel.

Los sistemas de *grids* están actualmente normalizados por INSPIRE a nivel europeo en sus especificaciones técnicas sobre Sistemas de Cuadrículas Geográficas y el propio GISCO de Eurostat distribuye este tipo de información de forma mucho más eficiente y menos engorrosa de manejar. Aunque la resolución no suele ser tan elevada como alguna de la distribuida por el IGN en ciertos casos es similar a la del **MDT25** y España se puede obtener en unos pocos ficheros.[41]

6.3.1. Cuadrícula del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 (MTN50)

Con la excepción del **MDT200** el resto de **Modelos Digitales del Terreno (MDT)** se distribuyen según la cuadrícula del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000, MTN50. El Centro de Descargas del CNIG ofrece esta información dentro de la **Información Geográfica de Referencia (IGR)** en formato imagen y vectorial, *shape*. El fichero que nos interesa contiene la totalidad de las hojas –Península, Illes Balears y Canarias– en *ETRS89* y coordenadas geográficas. Según se desprende de dicho fichero el catálogo de hojas del **MTN50** está compuesto por **1.115 hojas** que no pre-

[39] 8.131 corresponden a municipios y los 81 restantes a condominios.

[40] Después de un recorte –*mask*– inicial por el contorno municipal con un *buffer* de 10m para reducir al máximo el tiempo de cómputo.

[41] Por otra parte, la manipulación de la información suscitó muchas dudas iniciales que siempre fueron puntualmente contestadas por el equipo productor de la información a través del Buzón de Consultas del CNIG. Su ayuda fue de inestimable valor para una correcta utilización e interpretación de los datos. Naturalmente cualquier error que subsista se debe al Ivie (publicaciones@ivie.es).

sentan *overlapping* y una numeración correlativa compuesta, normalmente, por 4 dígitos, si bien en 18 casos se añade una letra final -B o C–[42] y en otros dos casos se trata de una numeración compuesta por la de dos hojas -1084/1086, Playa Blanca/Corralejo, y 1105/1108, El Hierro–.

Esta información fue utilizada para recortar -*mask*– los ficheros del **MDP05**, en cuyo nombre figura la hoja correspondiente del MTN50.

En el **MDP05** tenemos 1.110 ficheros de trabajo. Los 5 ficheros para los que no existe correspondencia con hojas del MTN50 son: Ceuta –1110–, Melilla –1111–, Isla de Alborán –1078B–, Roque del Este –1079B– y Playa Blanca/Corralejo –1084/1086–.[43] En los primeros 4 casos el **MDP05** no dispone de información, pero en el último caso el motivo de la falta de correspondencia es otro. La hoja de Playa Blanca/Corralejo –1084/1086– está formada, en el vectorial distribuido en el Centro de Descargas del CNIG, por la intersección de dos hojas, 1084 –Playa Blanca– y 1086 -Corralejo–.[44] En el vectorial del MTN50 esta intersección es un polígono independiente –que se sustrae de las hojas que se superponen–, pero en los ficheros de datos del **MDP05** no, y esta información está duplicada en las hojas 1084 –Playa Blanca– y 1086 –Corralejo–. ¡Se trata de un tratamiento sin duda bastante exótico! Para no perder esta parte de territorio se añadió el polígono de la hoja 1084/1086 –Playa Blanca/Corralejo– a la hoja 1086 –Corralejo–, manteniendo la codificación de esta última, de forma que este MTN50 modificado tuviera 1.114 hojas, las 1.110 que tienen correspondencia en el **MDP05** y las 4 para las que este modelo no tiene información.

De esta forma se tienen los 1.110 ficheros del **MDP05** originales pero recortados de forma exacta por hoja y contorno de España a partir de los cuales es inmediato realizar los cálculos de superficie 2D y 3D por el método 1.

Lamentablemente el vectorial del MTN50 solo pudo utilizarse para el procesado del **MDP05**.

6.3.2. Cuadrícula de distribución del MDT05 y MDT25

Aunque según la *web* de descarga el **MDT05** y el **MDT25** se distribuyen según la cuadrícula del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000, MTN50, esto es solo una verdad a medias. Es cierto que la base de distribución está formada por el MTN50, pero el **MDT05** lleva asociada una cuadrícula propia que se puede encontrar en la descarga de este modelo, tanto en formato imagen como vectorial, *shape*. Es realmente esta la cuadrícula de distribución del **MDT05**, y también la del **MDT25**.

Los polígonos de este fichero se superponen unos con otros, de forma que no forman una *grid* geográfica pura –en el sentido de no existir *overlapping* entre las cuadrículas–, sino que delimitan los datos en cada uno de los ficheros de distribución del **MDT05** y

[42] Se trata de hojas esquineras con muy poca superficie terrestre, aunque muchas otras con estas características no siguen esta regla.

[43] El MTN50 no tiene hojas para el de Peñón Vélez de la Gomera, el Peñón de Alhucemas, las Islas Alhucemas y las Islas Chafarinas, que si disponen de hojas en la cuadrícula extendida del Mapa Topográfico Nacional 1:25.000, MTN25, según se desprende de la visualización en el visor Iberpix.

[44] Estas dos hojas dejan de ser rectangulares en dicha capa vectorial, ya que no incluyen la intersección que corresponde a la hoja 1084/1086 –Playa Blanca/Corralejo–.

MDT25. Además no existe una correspondencia exacta entre la numeración del MTN50 y la de la cuadrícula del **MDT05**.

En concreto, el **MTN50** dispone de **1.115 hojas**, mientras que la **cuadrícula** del **MDT05** tiene **1.118 hojas**, que son **exactamente los ficheros de trabajo** del **MDT05** y del **MDT25**, con los que existe una correspondencia exacta.[45]

Un análisis de las discrepancias entre ambas cuadrículas mostró los siguientes resultados, algunos de ellos bastante curiosos:

- Existen **3** hojas en MTN50 que **no** tienen correspondencia en la cuadrícula del **MDT05**: 0448C, 0914B –Isla de Tabarca– y 1084/1086 –Playa Blanca/Corralejo–.
- Existen **6** hojas en la cuadrícula del **MDT05** que **no** tienen correspondencia en el MTN50: 0149B, 0217B –Llívia–, 0300B, 0421B, 0473B y 0895B.

Aunque no existe una equivalencia exacta entre ambas cuadrículas, inspección visual mostró las siguientes correspondencias y explicaciones:

- Los datos de la hoja 0448C en el MTN50 se corresponden con los de la 0421B en la cuadrícula del **MDT05**. ¡Es un problema de nomenclatura![46]
- Los datos de la hoja 0914B –Isla de Tabarca– en el MTN50 están en la hoja 0894 –Cabo de Santa Pola– en la cuadrícula del **MDT05**.
- Los datos de la hoja 1084/1086 –Playa Blanca/Corralejo– en el MTN50 se deben al peculiar tratamiento de la intersección entre las hojas 1084 –Playa Blanca– y 1086 –Corralejo– en esta cuadrícula. Ello es irrelevante en la cuadrícula del **MDT05**, puesto que estas si presentan *overlaping*.
- Los datos de la hoja 0149B en la cuadrícula del **MDT05** no tienen correspondencia en el MTN50, pero si cubren una pequeña parte del territorio en el norte del Valle de Arán, que queda fuera en la cuadrícula del MTN50.
- Los datos de la hoja 0217B –Llívia– en la cuadrícula del **MDT05** están en la hoja 0217 –Puigcerdà– del MTN50.
- Los datos de la hoja 0300B en la cuadrícula del **MDT05** no tienen correspondencia en el MTN50, pero esta hoja cae completamente en territorio portugués. De hecho presenta intersección nula con el fichero de contornos administrativos. ¡Es por tanto un fichero irrelevante!, al menos a nuestros efectos.
- Los datos de la hoja 0473B en la cuadrícula del **MDT05** están en la hoja 0447 –Villanueva y Geltrú– del MTN50.
- Los datos de la hoja 0895B en la cuadrícula del **MDT05** no tienen correspondencia en el MTN50, pero si cubren una pequeña parte del territorio al norte del municipio Rosal de la Frontera –21062–, que queda fuera en la cuadrícula del MTN50.

Además:

- Se observó también que la hoja 0958 -Puebla de Guzmán– en el MTN50 dejaba una pequeña parte de territorio

[45] De hecho, uno de los campos de dicha cuadrícula es el nombre completo del fichero de datos del **MDT05**.

[46] ¡De hecho la hoja 0448C en el MTN50 es la única que acaba en 'C' y quizá debería haberse nombrado como 0421B!

nacional fuera del contorno de la hoja, mientras que esto no era así en su hoja homóloga de la cuadrícula del **MDT05**.

Por todas estas razones, y una vez comprobado que los valores entre los *overlaping* de los ficheros eran idénticos, se decidió mantener la cuadrícula del **MDT05**, que es en la que aparecen todas las hojas con las que se va a trabajar, y hacer el análisis directamente por unidades administrativas, provincias en el caso del **MDT25** y municipios en el caso del **MDT05**, tal y como se ha descrito en el apartado anterior.

Resulta algo incomprensible que la distribución del **MDT05** sea diferente de la del **MDP05**, ya que este segundo modelo deriva del primero. Un análisis de los resultados de ambos modelos, que se comentará al final del trabajo, revela que el **MDP05** es menos preciso que el **MDT05** en términos de cobertura, en el sentido de que inexplicablemente se «pierden» algunos pixeles por el camino, ¡no solo Ceuta y Melilla!

6.3.3. Software

Todo el proceso fue realizado en *software* libre basado en el sistema de cálculo estadístico *R* (R Core Team 2022), utilizando las librerías de *tidyverse* (Wickham *et al.* 2019) para *data wrangling*, la librería *sf* (Pebesma 2018) para el manejo de información vectorial y la librería *terra* (Hijmans *et al.* 2022) para el manejo de información *raster*.

7.

Estimaciones de superficie a partir de diferentes métodos y modelos de datos

Este apartado ofrece estimaciones de superficie *2D* y *3D* a partir de los dos primeros métodos expuestos anteriormente y todos los **MDT** disponibles actualmente en el Centro de Descargas del CNIG.

7.1. El método más simple: MDP05

La disponibilidad de un **MDP** permite implementar directamente el primer método expuesto, y que utiliza simplemente información sobre la pendiente del terreno (Berry 2002). Estas son las estimaciones más similares a las realizadas por el Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021), aunque existen algunas diferencias importantes en los datos de partida.

La tabla 3 ofrece los resultados de este ejercicio a nivel de CC. AA. y la tabla A2 del anexo a nivel de provincia obtenidos a partir de procesado de los ficheros originales descrito anteriormente.[47] Se ofrece, además, las distribuciones porcentuales para ambas superficies, la ratio de la superficie *3D* y la superficie *2D* –que constituye un índice sencillo e interpretable de rugosidad–, la misma información en términos de crecimiento porcentual y la pendiente media, en porcentaje y en grados sexagesimales, que implican las estimaciones.

De acuerdo con nuestras estimaciones a partir del **MDP05** la superficie *2D* de España -contar pixeles– sería de **505,884.06 km²**, y la superficie *3D* un 3,87% mayor –lo que implica una pendiente media del 28% o 16º–. La estimación de la superficie *2D* es algo inferior al resto de estimaciones,[48] pero debemos tener en cuenta que no incluye Ceuta y Melilla y que, como veremos más adelante, este modelo parece «perder» algunos pixeles cuando se le recorta por la cuadrícula del MTN50, lo que parece sesgar a la baja la estimación.

La estimación de la superficie *3D* es notablemente superior a la ofrecida por el Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021), que solo crece en un 1.62%. Hay fundamentalmente dos factores que explican estas diferencias, al margen de que el Ministerio de Hacienda solo incluye en sus cálculos a las 15 CC. AA. de régimen común. Por una parte, el hecho de que el **MDP05** recoge la mayor de las pendientes entre una celda y sus vecinas, y no la pendiente media, como hace el Ministerio de Hacienda, lo que sin duda sesga al alza los resultados. Por otra parte, la resolución de la información de partida, mientras que el Ministerio utiliza unos 200 puntos en sus cálculos, los ofrecidos en la tabla 3 utilizan unos 20 mil millones de puntos, 1 cada 25m². Una mayor resolución implica una mayor precisión –y mayor superficie *3D* al captar más irregularidades del terreno–, pero en este caso no se trata de ningún sesgo, sino simplemente de una mejor estimación.

A nivel de CC. AA. la que presenta mayor incremento, al pasar de la superficie *2D* a la *3D*,

[47] También se dispone de resultados a nivel municipal para este modelo.

[48] Excepto la que encontramos en la página *web* de La Moncloa.

es el Principado de Asturias, con un incremento del 12,54%, seguida de Canarias, 11,23%, mientras que la Comunidad más plana es Extremadura, con un incremento solo del 1,66%.[49] Sin embargo, cuando consideramos la distribución porcentual de la superficie entre CC. AA. las diferencias son prácticamente insignificantes entre las superficies *2D* y *3D*, lo que confirma los resultados del Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021) sobre que esta no es una variable apropiada en términos de captar la orografía para el cálculo de la población ajustada, puesto que no añade nada a la actualmente utilizada –la distribución porcentual de la superficie *2D*–.

Ello no implica, sin embargo, que la superficie *3D*, o la ratio *3D/2D*, no sea una variable relevante como medida de la orografía del terreno con capacidad explicativa sobre otros resultados económicos o de localización de la población y la actividad (Goerlich y Cantarino 2022, en prensa). La tabla 3 muestra que existen diferencias apreciables entre CC. AA., y la tabla A2 que estas diferencias son mayores a nivel provincial, de forma que se incrementan conforma aumentamos la resolución espacial.

Aunque ofreceremos estimaciones más precisas a continuación vale la pena resaltar que los resultados cualitativos –pero no los cuantitativos– se mantendrán con generalidad. La superficie *3D* no es una variable adecuada en términos de captar la orografía para el cálculo de la población ajustada del SFA con la metodología actual –que busca finalmente una distribución porcentual–, pero si existen diferencias importantes en el territorio que pueden ser relevantes, sobre todo cuando bajamos en la escala territorial.

Afinar las estimaciones con el primer método requeriría calcular la pendiente media de la celda, lo que a su vez exige utilizar los **MDT** referidos a elevaciones. Ello hace que este método pierda gran parte de su atractivo, la simplicidad computacional al disponer directamente de un **MDP**. Fundamentalmente por esta razón –y también porque el **MDP05** es menos preciso desde el punto de vista de la cobertura territorial[50]–, nos movemos directamente al segundo método de estimación basado en levantar los triángulos en *3D* entre una celda y la de todas sus vecinas (Jennes 2004).

[49] Existen aquí algunas diferencias importantes con los resultados del Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021), que estima para Canarias un crecimiento del 20,14%, frente al 5,59% para el Principado de Asturias o el 0,52% para Extremadura. Así pues, los cálculos del Ministerio son todos ellos más suavizados, excepto para Canarias.

[50] No incluye Ceuta, Melilla, Isla de Alborán y Roque del Este y, como veremos, dispone de menos pixeles que el **MDT05**.

Tabla 3. Superficie 2D/3D de las comunidades autónomas: MDP05

Código	Comunidad autónoma	Superficie							
		2D		3D		Ratio	Au-mento	Pendiente	
		km²	%	km²	%	3D/2D	%	%	°
01	Andalucía	87.582,60	17,313	91.114,74	17,340	1,040	4,03	28,7	16,0
02	Aragón	47.726,31	9,434	49.981,46	9,512	1,047	4,73	31,1	17,3
03	P. de Asturias	10.606,10	2,097	11.936,36	2,272	1,125	12,54	51,6	27,3
04	Illes Balears	4.987,29	0,986	5.183,80	0,987	1,039	3,94	28,3	15,8
05	Canarias	7.442,09	1,471	8.277,96	1,575	1,112	11,23	48,7	26,0
06	Cantabria	5.326,85	1,053	5.775,53	1,099	1,084	8,42	41,9	22,7
07	Castilla y León	94.209,74	18,623	96.414,35	18,349	1,023	2,34	21,8	12,3
08	Castilla-La Mancha	79.410,26	15,697	80.932,59	15,403	1,019	1,92	19,7	11,1
09	Cataluña	32.104,20	6,346	34.491,97	6,564	1,074	7,44	39,3	21,4
10	C. Valenciana	23.271,89	4,600	24.410,04	4,646	1,049	4,89	31,7	17,6
11	Extremadura	41.650,26	8,233	42.339,75	8,058	1,017	1,66	18,3	10,4
12	Galicia	29.572,67	5,846	30.664,06	5,836	1,037	3,69	27,4	15,3
13	C. de Madrid	8.025,39	1,586	8.188,56	1,558	1,020	2,03	20,3	11,5
14	Región de Murcia	11.312,43	2,236	11.723,29	2,231	1,036	3,63	27,2	15,2
15	C. Foral de Navarra	10.386,05	2,053	10.938,24	2,082	1,053	5,32	33,0	18,3
16	País Vasco	7.229,33	1,429	7.749,08	1,475	1,072	7,19	38,6	21,1
17	La Rioja	5.041,16	0,997	5.327,40	1,014	1,057	5,68	34,2	18,9
18	C. a. de Ceuta								
19	C. a. de Melilla								
España		**505.884,60**	**100,000**	**525.449,16**	**100,000**	**1,039**	**3,87**	**28,1**	**15,7**

Fuente: Centro de Descargas del CNIG.

7.2. Un método más complejo pero con menor resolución: MDT200

A partir del **MDT200**, el segundo método de estimación y el procesado descrito en el apartado de datos, se obtuvieron las estimaciones de las superficies *2D* y *3D* para las CC. AA. que se muestran en la tabla 4. La tabla A3 del anexo muestra las mismas estimaciones a nivel provincial.

De acuerdo con estas estimaciones, la superficie *2D* de España –contar pixeles– sería de **506.239,72 km²**, y la superficie *3D* tan solo un 1,86% mayor –lo que implica una pendiente media del 19% o de 11º–. La estimación de la superficie *2D* es algo superior al resto de las que hemos encontrado o calculado –probablemente en este caso debido a cuestiones de proyección–.[51]

Resulta llamativo un crecimiento tan bajo de la superficie *3D* en comparación con la derivada del **MDP05**. La razón hay que buscarla en la resolución del **MDT200**. Una celda representa 40.000m², es decir, 4ha, frente a los 25m² del **MDP05**.

Los resultados cualitativos se mantienen respecto a los anteriores, aunque lógicamente mucho más suavizados. A nivel de CC. AA. la que presenta mayor incremento, al pasar de la superficie *2D* a la *3D*, es de nuevo el Principado de Asturias, con un incremento del 7,36%, mientras que la Comunidad más plana es Extremadura, con un incremento de solo el 0,82%. A efectos de distribución porcentual de superficies entre las CC. AA. tampoco se observan diferencias relevantes.

¿Tan importante es la resolución en la información de partida? ¿Son los resultados muy sensibles al tamaño del pixel? Para la estimación de la superficie ***2D* no**, pero para la estimación de la superficie ***3D* si**.

[51] Estos resultados utilizan proyección *UTM* en el huso 28 para Canarias y en el huso 30 (extendido) para el resto del territorio.

Tabla 4. Superficie 2D/3D de las comunidades autónomas: MDT200

Código	Comunidad autónoma	Superficie							
		2D		3D		Ratio	Au-mento	Pendiente	
		km²	%	km²	%	3D/2D	%	%	°
01	Andalucía	87.604,72	17,305	89.100,68	17,280	1,017	1,71	18,6	10,5
02	Aragón	47.730,96	9,429	48.765,59	9,457	1,022	2,17	20,9	11,8
03	P. de Asturias	10.612,48	2,096	11.393,59	2,210	1,074	7,36	39,1	21,3
04	Illes Balears	5.020,16	0,992	5.107,84	0,991	1,017	1,75	18,8	10,6
05	Canarias	7.442,24	1,470	7.798,80	1,512	1,048	4,79	31,3	17,4
06	Cantabria	5.326,04	1,052	5.585,35	1,083	1,049	4,87	31,6	17,5
07	Castilla y León	94.222,48	18,612	95.429,85	18,507	1,013	1,28	16,1	9,1
08	Castilla-La Mancha	79.409,64	15,686	80.115,31	15,537	1,009	0,89	13,4	7,6
09	Cataluña	32.203,60	6,361	33.333,42	6,465	1,035	3,51	26,7	15,0
10	C. Valenciana	23.273,56	4,597	23.734,77	4,603	1,020	1,98	20,0	11,3
11	Extremadura	41.681,76	8,234	42.021,75	8,150	1,008	0,82	12,8	7,3
12	Galicia	29.685,40	5,864	30.293,83	5,875	1,020	2,05	20,4	11,5
13	C. de Madrid	8.025,88	1,585	8.103,29	1,572	1,010	0,96	13,9	7,9
14	Región de Murcia	11.311,68	2,234	11.454,48	2,221	1,013	1,26	15,9	9,1
15	C. Foral de Navarra	10.385,12	2,051	10.664,74	2,068	1,027	2,69	23,4	13,1
16	País Vasco	7.229,48	1,428	7.500,59	1,455	1,038	3,75	27,6	15,5
17	La Rioja	5.041,08	0,996	5.195,71	1,008	1,031	3,07	25,0	14,0
18	C. a. de Ceuta	19,92	0,004	20,37	0,004	1,022	2,25	21,3	12,0
19	C. a. de Melilla	13,52	0,003	13,59	0,003	1,005	0,51	10,1	5,8
España		506.239,72	100,000	515.633,57	100,000	1,019	1,86	19,4	11,0

Fuente: Centro de Descargas del CNIG.

7.3. Un método más complejo pero con resolución intermedia: MDT25

Si aplicamos el segundo método de estimación al **MTD25** obtenemos, a nivel de CC. AA., los resultados que se ofrecen en la tabla 5. La tabla A4 del anexo muestra las mismas estimaciones a nivel provincial. Ello representa 64 veces la resolución del **MDT200**.

De acuerdo con estas estimaciones, la superficie *2D* de España –contar pixeles– sería de **506.239,54 km²**, muy similar a la obtenida a partir del **MTD200**, pero la superficie *3D* sería un 3,38% mayor –lo que implica una pendiente media del 26% o de 15º–.

Los resultados cualitativos se mantienen respecto a los anteriores. A nivel de CC. AA. la que presenta mayor incremento, al pasar de la superficie *2D* a la *3D*, es de nuevo el Principado de Asturias, con un incremento del 11,43%, mientras que la Comunidad más plana es Extremadura, con un incremento de solo el 1,46%. A efectos de distribución porcentual de superficies entre las CC. AA. no se observan diferencias relevantes entre ambas superficies.

¿Y si aumentamos la resolución hasta ser idéntica a la del **MDP05**?

Tabla 5. Superficie 2D/3D de las comunidades autónomas: MDT25

Código	Comunidad autónoma	Superficie							
		2D		3D		Ratio	Au-mento	Pendiente	
		km²	%	km²	%	3D/2D	%	%	°
01	Andalucía	87.604,04	17,305	90.659,13	17,323	1,035	3,49	26,6	14,9
02	Aragón	47.730,92	9,429	49.675,54	9,492	1,041	4,07	28,8	16,1
03	P. de Asturias	10.611,51	2,096	11.823,93	2,259	1,114	11,43	49,1	26,2
04	Illes Balears	5.018,98	0,991	5.192,51	0,992	1,035	3,46	26,5	14,9
05	Canarias	7.443,57	1,470	8.147,08	1,557	1,095	9,45	44,5	24,0
06	Cantabria	5.326,86	1,052	5.726,13	1,094	1,075	7,50	39,4	21,5
07	Castilla y León	94.223,74	18,612	96.182,74	18,378	1,021	2,08	20,5	11,6
08	Castilla-La Mancha	79.410,31	15,686	80.742,58	15,428	1,017	1,68	18,4	10,4
09	Cataluña	32.204,15	6,361	34.284,67	6,551	1,065	6,46	36,5	20,1
10	C. Valenciana	23.272,54	4,597	24.244,27	4,632	1,042	4,18	29,2	16,3
11	Extremadura	41.680,29	8,233	42.289,39	8,080	1,015	1,46	17,2	9,7
12	Galicia	29.684,61	5,864	30.680,54	5,862	1,034	3,36	26,1	14,6
13	C. de Madrid	8.025,35	1,585	8.162,47	1,560	1,017	1,71	18,6	10,5
14	Región de Murcia	11.312,44	2,235	11.643,14	2,225	1,029	2,92	24,4	13,7
15	C. Foral de Navarra	10.386,11	2,052	10.873,71	2,078	1,047	4,69	31,0	17,2
16	País Vasco	7.229,32	1,428	7.692,94	1,470	1,064	6,41	36,4	20,0
17	La Rioja	5.041,13	0,996	5.297,52	1,012	1,051	5,09	32,3	17,9
18	C. a. de Ceuta	20,03	0,004	21,30	0,004	1,063	6,30	36,0	19,8
19	C. a. de Melilla	13,61	0,003	13,87	0,003	1,019	1,93	19,7	11,2
España		506.239,54	100,000	523.353,44	100,000	1,034	3,38	26,2	14,7

Fuente: Centro de Descargas del CNIG.

7.4. Un método más complejo pero con resolución elevada: MDT05

Si aplicamos el segundo método de estimación al **MTD05** obtenemos, a nivel de CC. AA., los resultados que se ofrecen en la tabla 6. La tabla A5 del anexo muestra las mismas estimaciones a nivel provincial. Ello representa 25 veces la resolución del **MDT25** y 1,600 veces la del **MDT200**.

De acuerdo con estas estimaciones, la superficie *2D* de España –contar pixeles– sería de **506.239,59 km²**, prácticamente idéntica a la obtenida a partir del **MDT25** y muy similar a la derivada del **MTD200**, pero la superficie *3D* sería un 4,06% mayor –lo que implica una pendiente media del 29% o de 16º–. Ciertamente esta es una estimación incluso mayor de la que se obtiene de los resultados del **MDP05** y puesto que la resolución es la misma en ambos modelos ello se debe a una mayor precisión del segundo método de estimación sobre el primero, que solo toma en cuenta la pendiente.

No obstante, los resultados cualitativos se mantienen respecto a los anteriores, aunque naturalmente con mayor amplitud entre regiones. A nivel de CC. AA. la que presenta mayor incremento, al pasar de la superficie *2D* a la *3D*, es de nuevo el Principado de Asturias, con un incremento del 12,91%, seguida por Canarias, con el 11,99%, mientras que la Comunidad más plana es Extremadura, con un incremento de solo el 1,75%. A efectos de distribución porcentual de superficies entre las CC. AA. no se observan diferencias relevantes entre ambas superficies.

La comparación de los resultados del **MDP05** con los del **MDT05** arroja una conclusión curiosa. Puesto que ambos modelos tienen la misma resolución deberíamos encontrar idénticas estimaciones de la superficie *2D* –descontando el hecho de que el **MDP05** excluye Ceuta, Melilla, Isla de Alborán y Roque del Este–. Sin embargo **no** es así. Comparando la superficie *2D* de las tablas 3 y 6 observamos que el **MDT05** ofrece una superficie *2D* mayor en unos 320km² que el **MDP05**. Tal magnitud no se debe a los territorios excluidos en el **MDP05**. Investigando las discrepancias vemos que estas se concentran fundamentalmente en dos CC. AA., Cataluña y Galicia, donde las diferencias superan los 100km². A nivel provincial –tablas A2 y A5– las provincias más afectadas son A Coruña, Girona, Illes Balears y Barcelona, en todos los casos con diferencias que superan los 30 km². La conclusión lógica es que, por razones difíciles de entender, el **MDP05** tiene menor cobertura que el **MDT05** del que lógicamente deriva. No solo hay algunos territorios excluidos, sino que también tenemos algunos pixeles «perdidos», quizá debido a problemas con la orografía costera o las zonas de frontera.

Así pues, los resultados cualitativos se mantienen entre los diferentes modelos, pero no así los cuantitativos. La experiencia con los datos muestra que el segundo método de estimación es notablemente mejor que el primero, que toma en cuenta solo la pendiente, y que es preferible una mayor resolución espacial, ya que ello puede afectar de forma importante a los resultados.[52] La contrapartida es que se requieren tiempos de computación mucho más elevados, además de una mayor complejidad de cálculo.

[52] En la actualidad está pendiente de completar por parte del IGN un **Modelo Digital del Terreno** con paso de malla de 2m, **MDT02**, a partir de la 2ª cobertura *LIDAR*.

Tabla 6. Superficie 2D/3D de las comunidades autónomas: MDT05

Código	Comunidad autónoma	Superficie							
		2D		3D		Ratio	Au-mento	Pendiente	
		km²	%	km²	%	3D/2D	%	%	°
01	Andalucía	87.604,07	17,305	91.284,20	17,329	1,042	4,20	29,3	16,3
02	Aragón	47.730,94	9,429	50.107,39	9,512	1,050	4,98	31,9	17,7
03	P. de Asturias	10.611,52	2,096	11.981,71	2,275	1,129	12,91	52,4	27,7
04	Illes Balears	5.018,97	0,991	5.223,15	0,992	1,041	4,07	28,8	16,1
05	Canarias	7.443,57	1,470	8.336,36	1,583	1,120	11,99	50,4	26,8
06	Cantabria	5.326,85	1,052	5.798,63	1,101	1,089	8,86	43,0	23,3
07	Castilla y León	94.223,78	18,612	96.561,17	18,330	1,025	2,48	22,4	12,6
08	Castilla-La Mancha	79.410,26	15,686	81.023,62	15,381	1,020	2,03	20,3	11,5
09	Cataluña	32.204,23	6,361	34.688,39	6,585	1,077	7,71	40,0	21,8
10	C. Valenciana	23.272,58	4,597	24.486,24	4,648	1,052	5,21	32,7	18,1
11	Extremadura	41.680,26	8,233	42.408,29	8,050	1,017	1,75	18,8	10,6
12	Galicia	29.684,56	5,864	30.804,92	5,848	1,038	3,77	27,7	15,5
13	C. de Madrid	8.025,39	1,585	8.201,03	1,557	1,022	2,19	21,0	11,9
14	Región de Murcia	11.312,43	2,235	11.756,68	2,232	1,039	3,93	28,3	15,8
15	C. Foral de Navarra	10.386,05	2,052	10.968,02	2,082	1,056	5,60	33,9	18,7
16	País Vasco	7.229,33	1,428	7.772,91	1,476	1,075	7,52	39,5	21,6
17	La Rioja	5.041,16	0,996	5.342,66	1,014	1,060	5,98	35,1	19,3
18	C. a. de Ceuta	20,03	0,004	21,78	0,004	1,087	8,72	42,7	23,1
19	C. a. de Melilla	13,61	0,003	14,06	0,003	1,033	3,27	25,8	14,5
España		506.239,59	100,000	526.781,20	100,000	1,041	4,06	28,8	16,1

Fuente: Centro de Descargas del CNIG.

8.

Reflexiones finales

Este trabajo tenía **dos objetivos** concretos, y las reflexiones finales deben enmarcarse en ellos.

Empezamos por el **objetivo** de carácter **práctico** derivado del ejercicio realizado por el Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021) acerca de si la superficie del paisaje, *3D*, capta adecuadamente la orografía de las diferentes CC. AA. y podría sustituir a la superficie planimétrica, *2D*, en el cálculo de la población ajustada del SFA. Aquí nuestra conclusión es idéntica a la del Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021), a pesar de lo extremadamente burdo de su ejercicio. La superficie *3D* no es una variable relevante para cuantificar la orografía en este contexto y a este nivel de agregación. Esta conclusión es independiente tanto del método empleado para el cálculo de la superficie *3D*, como de la resolución de los datos, como puede observarse si examinamos las distribuciones porcentuales de superficies *2D versus 3D* en las tablas 3 a 6.

Es justo reconocer, sin embargo, que parte de esta conclusión deriva de la restricción impuesta por el modelo de cálculo de la población ajustada en el actual SFA, que busca variables en términos de distribución porcentual. Si examinamos los ratios de superficies veremos que si existen diferencias importantes entre las CC. AA., y son de cierta importancia cuantitativa en la medición de la geografía. Por ejemplo, utilizando los resultados del **MDT05** –tabla 6– observamos diferencias entre una pendiente media del 19% en Extremadura y una del 52% en el Principado de Asturias. ¡No se trata en modo alguno de diferencias insignificantes!

La relación entre estas diferencias geográficas y los costes de provisión de servicios públicos, que es el objeto del cálculo de la población ajustada, es mucho menos directa. No obstante, no parece adecuado que la mejor forma de captar las diferencias sea mediante una estructura porcentual, ya que esto tiende a suavizar las diferencias en el aspecto que se pretende medir.

El segundo **objetivo** era de carácter **metodológico**. Dada la ausencia de ejercicios en esta dirección en el contexto español era necesario experimentar con métodos de cálculo y modelos de datos. Las **conclusiones** aquí son meridianamente claras.

- Los **resultados** son **muy sensibles a la resolución** de la información de partida. No hay más que comparar los resultados del **MDT200** –tabla 4– con los del **MDT05** –tabla 6–.

- Los **resultados** son **menos sensibles al método de cálculo**. Pueden compararse los resultados del **MDP05** –tabla 3– con los del **MDT05** –tabla 6–, aunque deberemos tener en cuenta que la pendiente más apropiada no es exactamente la que nos proporciona el **MDP05**.

- Los **resultados** son **muy sensibles al ámbito espacial** de referencia. Compárense las tablas de CC. AA. –tablas 3 a 6– con sus homólogas a nivel de provincia –tablas A.2 a A.5–. Para un método y resolución dados, la dispersión en resultados –incluyendo los valores extremos– es mayor a nivel provincial que a nivel de CC. AA. A nivel municipal las diferencias son mucho

más extremas (Goerlich y Cantarino 2022, en prensa).

- Las conclusiones anteriores hacen referencia a los aspectos cuantitativos de los resultados, mientras que **los aspectos cualitativos son robustos a métodos de estimación y resolución de la información de partida**.

En consecuencia, todo indica que deberemos utilizar el **método más sofisticado con la mayor resolución posible**. ¡Nada nuevo bajo el 🌞! Dada la **carga computacional** que exige trabajar con resoluciones elevadas en ejercicios de ámbito nacional, esta es, probablemente, la **principal limitación** a tener en cuenta a la hora de realizar este tipo de ejercicios.[53]

Una **conclusión colateral** derivada de la ingente información manejada en este trabajo es el deficiente sistema de distribución de los **MDT** por parte del IGN. Información cuya calidad es excelente, además de abundante. En primer lugar, el sistema y formato de distribución de la información es obsoleto en un mundo en el que la geografía es *seamless* y resulta tremendamente engorroso de manejar para ejercicios nacionales. Por otra parte, existen algunas incongruencias difíciles de entender, como la diferente distribución del **MDP05** frente los **MDT25** y **MDT05**, la ausencia de pequeños territorios en algún modelo, pero no en otros, o la pérdida de pixeles en el **MDP05**.

[53] En concreto, los resultados derivados del **MDT05** requirieron de computación paralela en un clúster de computación científica de la Universitat de València –Lluís Vives–.

Anexo

Estimaciones de superficie a nivel provincial

La tabla A1 compara las superficies provinciales ofrecidas de forma directa por el *Registro de Entidades Locales* con las obtenidas por agregación de las superficies municipales de dicho registro. Añade, además, las superficies provinciales que se obtienen de la capa de contornos administrativos después de su proyección a *LAEA* –tabla 2 a nivel provincial–.

Tabla A1. Superficie de las Provincias: Registro de Entidades Locales y Contornos Administrativos

Código	Provincia	Registro de Entidades Locales				IGN	
		Provincias		Municipios[1]		Límites administrativos[2]	
		km²	%	km²	%	km²	%
01	Araba/Álava	3.037,26	0,600	2.968,16	0,586	3.037,02	0,600
02	Albacete	14.924,46	2,950	14.921,21	2,945	14.926,75	2,950
03	Alacant/Alicante	5.817,15	1,150	5.817,53	1,148	5.818,16	1,150
04	Almería	8.775,00	1,734	8.774,01	1,732	8.773,56	1,734
05	Ávila	8.050,15	1,591	8.049,19	1,589	8.049,66	1,591
06	Badajoz	21.766,31	4,302	21.772,20	4,297	21.766,84	4,302
07	Illes Balears	4.991,68	0,987	4.991,71	0,985	4.990,79	0,986
08	Barcelona	7.728,35	1,527	7.735,21	1,527	7.731,15	1,528
09	Burgos	14.292,19	2,825	14.021,56	2,767	14.291,15	2,824
10	Cáceres	19.868,27	3,927	19.868,68	3,921	19.867,97	3,926
11	Cádiz	7.440,36	1,471	9.288,24	1,833	7.438,36	1,470
12	Castelló/Castellón	6.636,00	1,312	6.634,83	1,309	6.634,30	1,311
13	Ciudad Real	19.813,23	3,916	19.811,33	3,910	19.811,75	3,915
14	Córdoba	13.771,31	2,722	13.770,85	2,718	13.770,69	2,721
15	Coruña, A	7.949,94	1,571	7.949,94	1,569	7.963,51	1,574
16	Cuenca	17.140,15	3,388	17.138,37	3,383	17.138,60	3,387
17	Girona	5.909,86	1,168	5.908,05	1,166	5.908,33	1,168
18	Granada	12.646,84	2,500	12.646,89	2,496	12.646,93	2,499
19	Guadalajara	12.214,19	2,414	12.170,77	2,402	12.213,41	2,414
20	Gipuzkoa	1.980,33	0,391	1.908,98	0,377	1.982,26	0,392
21	Huelva	10.127,94	2,002	10.184,94	2,010	10.127,19	2,001
22	Huesca	15.636,47	3,090	15.626,93	3,084	15.637,21	3,090
23	Jaén	13.496,09	2,667	13.489,20	2,662	13.496,69	2,667
24	León	15.580,85	3,079	15.567,61	3,073	15.577,79	3,078
25	Lleida	12.172,19	2,406	12.166,33	2,401	12.168,31	2,405
26	Rioja, La	5.045,27	0,997	5.028,18	0,992	5.044,88	0,997
27	Lugo	9.856,12	1,948	9.858,29	1,946	9.857,74	1,948
28	Madrid	8.027,92	1,587	8.021,60	1,583	8.030,94	1,587
29	Málaga	7.306,03	1,444	7.307,76	1,442	7.308,40	1,444
30	Murcia	11.313,98	2,236	11.316,17	2,233	11.316,29	2,236
31	Navarra	10.390,72	2,054	9.801,06	1,934	10.391,01	2,053
32	Ourense	7.273,26	1,438	7.273,07	1,435	7.274,41	1,438
33	Asturias	10.603,57	2,096	10.605,00	2,093	10.603,90	2,096
34	Palencia	8.052,06	1,591	8.051,92	1,589	8.052,32	1,591
35	Palmas, Las	4.065,78	0,804	4.068,61	0,803	4.069,71	0,804
36	Pontevedra	4.494,64	0,888	4.494,98	0,887	4.493,37	0,888
37	Salamanca	12.349,95	2,441	12.349,06	2,437	12.349,91	2,441
38	Santa Cruz de Tenerife	3.381,17	0,668	3.377,23	0,667	3.375,40	0,667
39	Cantabria	5.321,39	1,052	5.261,97	1,039	5.330,07	1,053
40	Segovia	6.920,65	1,368	6.851,73	1,352	6.922,96	1,368
41	Sevilla	14.036,09	2,774	14.035,77	2,770	14.036,16	2,774
42	Soria	10.306,42	2,037	10.302,44	2,033	10.307,13	2,037
43	Tarragona	6.302,85	1,246	6.306,11	1,245	6.307,22	1,246
44	Teruel	14.809,57	2,927	14.796,98	2,920	14.809,05	2,927
45	Toledo	15.369,82	3,038	15.369,17	3,033	15.367,77	3,037
46	València/Valencia	10.807,00	2,136	10.812,14	2,134	10.812,69	2,137
47	Valladolid	8.110,49	1,603	8.110,51	1,601	8.110,54	1,603
48	Bizkaia	2.217,24	0,438	2.215,56	0,437	2.215,52	0,438
49	Zamora	10.561,27	2,087	10.561,64	2,085	10.562,21	2,087
50	Zaragoza	17.274,23	3,414	17.275,23	3,410	17.274,99	3,414
51	Ceuta			19,87	0,004	20,02	0,004
52	Melilla			14,24	0,003	14,24	0,003
	España	**505.964,06**	**100,000**	**506.669,01**	**100,000**	**506.027,25**	**100,000**

[1] Agregación de superficies municipales.

[2] CRS y Proyección: ETRS89-LAEA

Fuente: Registro de Entidades Locales (REL) y Centro de Descargas del CNIG.

Tabla A2. Superficie 2D/3D de las Provincias: MDP05

Código	Provincia	Superficie							
		2D		3D		Ratio	Au-mento	Pendiente	
		km²	%	km²	%	3D/2D	%	%	°
01	Araba/Álava	3.034,66	0,600	3.161,30	0,602	1,042	4,17	29,2	16,3
02	Albacete	14.918,26	2,949	15.250,07	2,902	1,022	2,22	21,2	12,0
03	Alacant/Alicante	5.820,02	1,150	6.097,54	1,160	1,048	4,77	31,2	17,4
04	Almería	8.767,37	1,733	9.315,43	1,773	1,063	6,25	35,9	19,8
05	Ávila	8.048,75	1,591	8.285,79	1,577	1,029	2,95	24,4	13,7
06	Badajoz	21.774,36	4,304	22.009,32	4,189	1,011	1,08	14,7	8,4
07	Illes Balears	4.987,29	0,986	5.183,80	0,987	1,039	3,94	28,3	15,8
08	Barcelona	7.726,43	1,527	8.240,95	1,568	1,067	6,66	37,1	20,4
09	Burgos	14.280,82	2,823	14.644,62	2,787	1,025	2,55	22,7	12,8
10	Cáceres	19.875,90	3,929	20.330,43	3,869	1,023	2,29	21,5	12,1
11	Cádiz	7.443,29	1,471	7.639,42	1,454	1,026	2,63	23,1	13,0
12	Castelló/Castellón	6.638,04	1,312	7.032,05	1,338	1,059	5,94	35,0	19,3
13	Ciudad Real	19.799,77	3,914	20.094,57	3,824	1,015	1,49	17,3	9,8
14	Córdoba	13.768,56	2,722	14.129,82	2,689	1,026	2,62	23,1	13,0
15	Coruña, A	7.957,70	1,573	8.139,82	1,549	1,023	2,29	21,5	12,1
16	Cuenca	17.127,51	3,386	17.495,20	3,330	1,021	2,15	20,8	11,8
17	Girona	5.903,83	1,167	6.335,28	1,206	1,073	7,31	38,9	21,3
18	Granada	12.637,64	2,498	13.378,40	2,546	1,059	5,86	34,7	19,2
19	Guadalajara	12.204,52	2,413	12.562,43	2,391	1,029	2,93	24,4	13,7
20	Gipuzkoa	1.980,89	0,392	2.193,97	0,418	1,108	10,76	47,6	25,5
21	Huelva	10.127,96	2,002	10.377,35	1,975	1,025	2,46	22,3	12,6
22	Huesca	15.643,44	3,092	16.874,26	3,211	1,079	7,87	40,4	22,0
23	Jaén	13.486,98	2,666	14.183,17	2,699	1,052	5,16	32,5	18,0
24	León	15.581,88	3,080	16.480,63	3,136	1,058	5,77	34,5	19,0
25	Lleida	12.166,43	2,405	13.242,95	2,520	1,088	8,85	43,0	23,3
26	Rioja, La	5.041,16	0,997	5.327,40	1,014	1,057	5,68	34,2	18,9
27	Lugo	9.853,86	1,948	10.299,34	1,960	1,045	4,52	30,4	16,9
28	Madrid	8.025,39	1,586	8.188,56	1,558	1,020	2,03	20,3	11,5
29	Málaga	7.307,03	1,444	7.823,30	1,489	1,071	7,07	38,2	20,9
30	Murcia	11.312,43	2,236	11.723,29	2,231	1,036	3,63	27,2	15,2
31	Navarra	10.386,05	2,053	10.938,24	2,082	1,053	5,32	33,0	18,3
32	Ourense	7.271,07	1,437	7.597,81	1,446	1,045	4,49	30,3	16,9
33	Asturias	10.606,10	2,097	11.936,36	2,272	1,125	12,54	51,6	27,3
34	Palencia	8.049,12	1,591	8.172,59	1,555	1,015	1,53	17,6	10,0
35	Palmas, Las	4.066,06	0,804	4.387,27	0,835	1,079	7,90	40,5	22,1
36	Pontevedra	4.490,04	0,888	4.627,08	0,881	1,031	3,05	24,9	14,0
37	Salamanca	12.355,06	2,442	12.498,08	2,379	1,012	1,16	15,3	8,7
38	Santa Cruz de Tenerife	3.376,03	0,667	3.890,69	0,740	1,152	15,24	57,3	29,8
39	Cantabria	5.326,85	1,053	5.775,53	1,099	1,084	8,42	41,9	22,7
40	Segovia	6.918,90	1,368	6.999,17	1,332	1,012	1,16	15,3	8,7
41	Sevilla	14.043,77	2,776	14.267,84	2,715	1,016	1,60	17,9	10,2
42	Soria	10.299,45	2,036	10.494,42	1,997	1,019	1,89	19,5	11,1
43	Tarragona	6.307,51	1,247	6.672,78	1,270	1,058	5,79	34,5	19,0
44	Teruel	14.810,03	2,928	15.360,55	2,923	1,037	3,72	27,5	15,4
45	Toledo	15.360,21	3,036	15.530,33	2,956	1,011	1,11	14,9	8,5
46	València/Valencia	10.813,83	2,138	11.280,45	2,147	1,043	4,32	29,7	16,5
47	Valladolid	8.108,94	1,603	8.144,73	1,550	1,004	0,44	9,4	5,4
48	Bizkaia	2.213,78	0,438	2.393,80	0,456	1,081	8,13	41,1	22,4
49	Zamora	10.566,84	2,089	10.694,31	2,035	1,012	1,21	15,6	8,9
50	Zaragoza	17.272,84	3,414	17.746,65	3,377	1,027	2,74	23,6	13,3
51	Ceuta								
52	Melilla								
España		**505.884,60**	**100,000**	**525.449,16**	**100,000**	**1,039**	**3,87**	**28,1**	**15,7**

Fuente: Centro de Descargas del CNIG.

Tabla A3. Superficie 2D/3D de las Provincias: MDT200

Código	Provincia	Superficie							
		2D		3D		Ratio	Au-mento	Pendiente	
		km²	%	km²	%	3D/2D	%	%	°
01	Araba/Álava	3.034,80	0,599	3.101,03	0,601	1,022	2,18	21,0	11,9
02	Albacete	14.919,04	2,947	15.062,97	2,921	1,010	0,96	13,9	7,9
03	Alacant/Alicante	5.820,36	1,150	5.933,70	1,151	1,019	1,95	19,8	11,2
04	Almería	8.766,88	1,732	8.976,07	1,741	1,024	2,39	22,0	12,4
05	Ávila	8.047,76	1,590	8.194,48	1,589	1,018	1,82	19,2	10,9
06	Badajoz	21.791,40	4,305	21.899,99	4,247	1,005	0,50	10,0	5,7
07	Illes Balears	5.020,16	0,992	5.107,84	0,991	1,017	1,75	18,8	10,6
08	Barcelona	7.757,84	1,532	7.954,58	1,543	1,025	2,54	22,7	12,8
09	Burgos	14.280,96	2,821	14.462,49	2,805	1,013	1,27	16,0	9,1
10	Cáceres	19.890,36	3,929	20.121,76	3,902	1,012	1,16	15,3	8,7
11	Cádiz	7.445,08	1,471	7.537,96	1,462	1,012	1,25	15,8	9,0
12	Castelló/Castellón	6.639,20	1,311	6.808,90	1,320	1,026	2,56	22,8	12,8
13	Ciudad Real	19.799,44	3,911	19.963,93	3,872	1,008	0,83	12,9	7,4
14	Córdoba	13.769,68	2,720	13.915,95	2,699	1,011	1,06	14,6	8,3
15	Coruña, A	7.997,04	1,580	8.092,64	1,569	1,012	1,20	15,5	8,8
16	Cuenca	17.126,44	3,383	17.281,43	3,351	1,009	0,90	13,5	7,7
17	Girona	5.935,16	1,172	6.137,77	1,190	1,034	3,41	26,4	14,8
18	Granada	12.637,40	2,496	12.973,76	2,516	1,027	2,66	23,2	13,1
19	Guadalajara	12.204,68	2,411	12.368,72	2,399	1,013	1,34	16,5	9,3
20	Gipuzkoa	1.980,80	0,391	2.093,13	0,406	1,057	5,67	34,2	18,9
21	Huelva	10.147,28	2,004	10.220,85	1,982	1,007	0,72	12,1	6,9
22	Huesca	15.647,24	3,091	16.302,18	3,162	1,042	4,19	29,2	16,3
23	Jaén	13.488,20	2,664	13.819,09	2,680	1,025	2,45	22,3	12,6
24	León	15.585,20	3,079	16.114,74	3,125	1,034	3,40	26,3	14,7
25	Lleida	12.192,40	2,408	12.792,31	2,481	1,049	4,92	31,8	17,6
26	Rioja, La	5.041,08	0,996	5.195,71	1,008	1,031	3,07	25,0	14,0
27	Lugo	9.881,80	1,952	10.141,79	1,967	1,026	2,63	23,1	13,0
28	Madrid	8.025,88	1,585	8.103,29	1,572	1,010	0,96	13,9	7,9
29	Málaga	7.306,76	1,443	7.537,31	1,462	1,032	3,16	25,3	14,2
30	Murcia	11.311,68	2,234	11.454,48	2,221	1,013	1,26	15,9	9,1
31	Navarra	10.385,12	2,051	10.664,74	2,068	1,027	2,69	23,4	13,1
32	Ourense	7.293,88	1,441	7.476,27	1,450	1,025	2,50	22,5	12,7
33	Asturias	10.612,48	2,096	11.393,59	2,210	1,074	7,36	39,1	21,3
34	Palencia	8.050,28	1,590	8.116,76	1,574	1,008	0,83	12,9	7,3
35	Palmas, Las	4.066,48	0,803	4.206,89	0,816	1,035	3,45	26,5	14,8
36	Pontevedra	4.512,68	0,891	4.583,14	0,889	1,016	1,56	17,7	10,1
37	Salamanca	12.361,76	2,442	12.434,98	2,412	1,006	0,59	10,9	6,2
38	Santa Cruz de Tenerife	3.375,76	0,667	3.591,91	0,697	1,064	6,40	36,4	20,0
39	Cantabria	5.326,04	1,052	5.585,35	1,083	1,049	4,87	31,6	17,5
40	Segovia	6.918,44	1,367	6.959,92	1,350	1,006	0,60	11,0	6,3
41	Sevilla	14.043,44	2,774	14.119,70	2,738	1,005	0,54	10,4	6,0
42	Soria	10.299,48	2,035	10.389,31	2,015	1,009	0,87	13,2	7,5
43	Tarragona	6.318,20	1,248	6.448,76	1,251	1,021	2,07	20,4	11,5
44	Teruel	14.810,28	2,926	15.032,85	2,915	1,015	1,50	17,4	9,9
45	Toledo	15.360,04	3,034	15.438,26	2,994	1,005	0,51	10,1	5,8
46	València/Valencia	10.814,00	2,136	10.992,17	2,132	1,016	1,65	18,2	10,3
47	Valladolid	8.109,32	1,602	8.123,91	1,576	1,002	0,18	6,0	3,4
48	Bizkaia	2.213,88	0,437	2.306,43	0,447	1,042	4,18	29,2	16,3
49	Zamora	10.569,28	2,088	10.633,25	2,062	1,006	0,61	11,0	6,3
50	Zaragoza	17.273,44	3,412	17.430,57	3,380	1,009	0,91	13,5	7,7
51	Ceuta	19,92	0,004	20,37	0,004	1,022	2,25	21,3	12,0
52	Melilla	13,52	0,003	13,59	0,003	1,005	0,51	10,1	5,8
España		506.239,72	100,000	515.633,57	100,000	1,019	1,86	19,4	11,0

Fuente: Centro de Descargas del CNIG.

Tabla A4. Superficie 2D/3D de las Provincias: MDT25

Código	Provincia	Superficie							
		2D		3D		Ratio	Au-mento	Pendiente	
		km²	%	km²	%	3D/2D	%	%	°
01	Araba/Álava	3.034,63	0,599	3.147,81	0,601	1,037	3,73	27,6	15,4
02	Albacete	14.918,25	2,947	15.204,07	2,905	1,019	1,92	19,7	11,1
03	Alacant/Alicante	5.820,01	1,150	6.052,70	1,157	1,040	4,00	28,6	15,9
04	Almería	8.767,44	1,732	9.229,20	1,763	1,053	5,27	32,9	18,2
05	Ávila	8.048,75	1,590	8.260,10	1,578	1,026	2,63	23,1	13,0
06	Badajoz	21.791,21	4,305	21.998,74	4,203	1,010	0,95	13,8	7,9
07	Illes Balears	5.018,98	0,991	5.192,51	0,992	1,035	3,46	26,5	14,9
08	Barcelona	7.757,84	1,532	8.192,79	1,565	1,056	5,61	34,0	18,8
09	Burgos	14.280,81	2,821	14.600,32	2,790	1,022	2,24	21,3	12,0
10	Cáceres	19.889,09	3,929	20.290,64	3,877	1,020	2,02	20,2	11,4
11	Cádiz	7.443,69	1,470	7.615,92	1,455	1,023	2,31	21,6	12,2
12	Castelló/Castellón	6.638,73	1,311	6.982,49	1,334	1,052	5,18	32,6	18,1
13	Ciudad Real	19.799,72	3,911	20.067,64	3,834	1,014	1,35	16,5	9,4
14	Córdoba	13.768,54	2,720	14.086,73	2,692	1,023	2,31	21,6	12,2
15	Coruña, A	7.996,22	1,580	8.159,46	1,559	1,020	2,04	20,3	11,5
16	Cuenca	17.127,52	3,383	17.445,64	3,333	1,019	1,86	19,4	11,0
17	Girona	5.935,68	1,173	6.314,09	1,206	1,064	6,38	36,3	19,9
18	Granada	12.637,64	2,496	13.270,67	2,536	1,050	5,01	32,0	17,8
19	Guadalajara	12.204,56	2,411	12.518,51	2,392	1,026	2,57	22,8	12,9
20	Gipuzkoa	1.980,92	0,391	2.172,16	0,415	1,097	9,65	45,0	24,2
21	Huelva	10.147,84	2,005	10.363,59	1,980	1,021	2,13	20,7	11,7
22	Huesca	15.647,69	3,091	16.731,01	3,197	1,069	6,92	37,8	20,7
23	Jaén	13.487,02	2,664	14.094,02	2,693	1,045	4,50	30,3	16,9
24	León	15.586,93	3,079	16.402,43	3,134	1,052	5,23	32,8	18,1
25	Lleida	12.192,39	2,408	13.149,68	2,513	1,079	7,85	40,4	22,0
26	Rioja, La	5.041,13	0,996	5.297,52	1,012	1,051	5,09	32,3	17,9
27	Lugo	9.881,83	1,952	10.294,42	1,967	1,042	4,18	29,2	16,3
28	Madrid	8.025,35	1,585	8.162,47	1,560	1,017	1,71	18,6	10,5
29	Málaga	7.306,99	1,443	7.761,88	1,483	1,062	6,23	35,8	19,7
30	Murcia	11.312,44	2,235	11.643,14	2,225	1,029	2,92	24,4	13,7
31	Navarra	10.386,11	2,052	10.873,71	2,078	1,047	4,69	31,0	17,2
32	Ourense	7.294,41	1,441	7.592,12	1,451	1,041	4,08	28,9	16,1
33	Asturias	10.611,51	2,096	11.823,93	2,259	1,114	11,43	49,1	26,2
34	Palencia	8.049,22	1,590	8.158,24	1,559	1,014	1,35	16,5	9,4
35	Palmas, Las	4.067,27	0,803	4.340,38	0,829	1,067	6,71	37,3	20,4
36	Pontevedra	4.512,16	0,891	4.634,54	0,886	1,027	2,71	23,4	13,2
37	Salamanca	12.360,82	2,442	12.484,69	2,386	1,010	1,00	14,2	8,1
38	Santa Cruz de Tenerife	3.376,30	0,667	3.806,70	0,727	1,127	12,75	52,1	27,5
39	Cantabria	5.326,86	1,052	5.726,13	1,094	1,075	7,50	39,4	21,5
40	Segovia	6.918,88	1,367	6.989,12	1,335	1,010	1,02	14,3	8,1
41	Sevilla	14.044,87	2,774	14.237,13	2,720	1,014	1,37	16,6	9,4
42	Soria	10.299,45	2,035	10.468,66	2,000	1,016	1,64	18,2	10,3
43	Tarragona	6.318,25	1,248	6.628,12	1,266	1,049	4,90	31,7	17,6
44	Teruel	14.810,16	2,926	15.281,43	2,920	1,032	3,18	25,4	14,3
45	Toledo	15.360,26	3,034	15.506,72	2,963	1,010	0,95	13,8	7,9
46	València/Valencia	10.813,80	2,136	11.209,07	2,142	1,037	3,66	27,3	15,3
47	Valladolid	8.108,92	1,602	8.139,16	1,555	1,004	0,37	8,6	4,9
48	Bizkaia	2.213,78	0,437	2.372,97	0,453	1,072	7,19	38,6	21,1
49	Zamora	10.569,96	2,088	10.680,03	2,041	1,010	1,04	14,5	8,2
50	Zaragoza	17.273,06	3,412	17.663,10	3,375	1,023	2,26	21,4	12,1
51	Ceuta	20,03	0,004	21,30	0,004	1,063	6,30	36,0	19,8
52	Melilla	13,61	0,003	13,87	0,003	1,019	1,93	19,7	11,2
España		506.239,54	100,000	523.353,44	100,000	1,034	3,38	26,2	14,7

Fuente: Centro de Descargas del CNIG.

Tabla A5. Superficie 2D/3D de las Provincias: MDT05

Código	Provincia	Superficie							
		2D		3D		Ratio	Au-mento	Pendiente	
		km²	%	km²	%	3D/2D	%	%	°
01	Araba/Álava	3.034,66	0,599	3.166,75	0,601	1,044	4,35	29,8	16,6
02	Albacete	14.918,26	2,947	15.270,97	2,899	1,024	2,36	21,9	12,3
03	Alacant/Alicante	5.820,05	1,150	6.118,36	1,161	1,051	5,13	32,4	18,0
04	Almería	8.767,45	1,732	9.335,24	1,772	1,065	6,48	36,6	20,1
05	Ávila	8.048,75	1,590	8.301,20	1,576	1,031	3,14	25,2	14,2
06	Badajoz	21.791,22	4,305	22.039,67	4,184	1,011	1,14	15,1	8,6
07	Illes Balears	5.018,97	0,991	5.223,15	0,992	1,041	4,07	28,8	16,1
08	Barcelona	7.757,80	1,532	8.297,47	1,575	1,070	6,96	37,9	20,8
09	Burgos	14.280,82	2,821	14.669,37	2,785	1,027	2,72	23,5	13,2
10	Cáceres	19.889,04	3,929	20.368,61	3,867	1,024	2,41	22,1	12,5
11	Cádiz	7.443,72	1,470	7.646,48	1,452	1,027	2,72	23,5	13,2
12	Castelló/Castellón	6.638,70	1,311	7.056,93	1,340	1,063	6,30	36,1	19,8
13	Ciudad Real	19.799,77	3,911	20.110,06	3,818	1,016	1,57	17,8	10,1
14	Córdoba	13.768,56	2,720	14.144,42	2,685	1,027	2,73	23,5	13,2
15	Coruña, A	7.996,15	1,580	8.184,75	1,554	1,024	2,36	21,8	12,3
16	Cuenca	17.127,51	3,383	17.518,54	3,326	1,023	2,28	21,5	12,1
17	Girona	5.935,76	1,173	6.384,91	1,212	1,076	7,57	39,6	21,6
18	Granada	12.637,64	2,496	13.413,28	2,546	1,061	6,14	35,6	19,6
19	Guadalajara	12.204,52	2,411	12.582,70	2,389	1,031	3,10	25,1	14,1
20	Gipuzkoa	1.980,89	0,391	2.203,11	0,418	1,112	11,22	48,7	26,0
21	Huelva	10.147,84	2,005	10.404,78	1,975	1,025	2,53	22,6	12,8
22	Huesca	15.647,66	3,091	16.934,02	3,215	1,082	8,22	41,4	22,5
23	Jaén	13.486,98	2,664	14.221,95	2,700	1,054	5,45	33,5	18,5
24	León	15.586,99	3,079	16.526,64	3,137	1,060	6,03	35,2	19,4
25	Lleida	12.192,39	2,408	13.306,70	2,526	1,091	9,14	43,7	23,6
26	Rioja, La	5.041,16	0,996	5.342,66	1,014	1,060	5,98	35,1	19,3
27	Lugo	9.881,83	1,952	10.337,50	1,962	1,046	4,61	30,7	17,1
28	Madrid	8.025,39	1,585	8.201,03	1,557	1,022	2,19	21,0	11,9
29	Málaga	7.307,03	1,443	7.838,03	1,488	1,073	7,27	38,8	21,2
30	Murcia	11.312,43	2,235	11.756,68	2,232	1,039	3,93	28,3	15,8
31	Navarra	10.386,05	2,052	10.968,02	2,082	1,056	5,60	33,9	18,7
32	Ourense	7.294,41	1,441	7.628,41	1,448	1,046	4,58	30,6	17,0
33	Asturias	10.611,52	2,096	11.981,71	2,275	1,129	12,91	52,4	27,7
34	Palencia	8.049,12	1,590	8.181,37	1,553	1,016	1,64	18,2	10,3
35	Palmas, Las	4.067,31	0,803	4.409,39	0,837	1,084	8,41	41,9	22,7
36	Pontevedra	4.512,17	0,891	4.654,25	0,884	1,031	3,15	25,3	14,2
37	Salamanca	12.360,83	2,442	12.515,92	2,376	1,013	1,25	15,9	9,0
38	Santa Cruz de Tenerife	3.376,27	0,667	3.926,96	0,745	1,163	16,31	59,4	30,7
39	Cantabria	5.326,85	1,052	5.798,63	1,101	1,089	8,86	43,0	23,3
40	Segovia	6.918,90	1,367	7.004,63	1,330	1,012	1,24	15,8	9,0
41	Sevilla	14.044,86	2,774	14.280,03	2,711	1,017	1,67	18,4	10,4
42	Soria	10.299,45	2,035	10.507,51	1,995	1,020	2,02	20,2	11,4
43	Tarragona	6.318,28	1,248	6.699,30	1,272	1,060	6,03	35,2	19,4
44	Teruel	14.810,17	2,926	15.391,73	2,922	1,039	3,93	28,3	15,8
45	Toledo	15.360,21	3,034	15.541,33	2,950	1,012	1,18	15,4	8,8
46	València/Valencia	10.813,83	2,136	11.310,95	2,147	1,046	4,60	30,7	17,0
47	Valladolid	8.108,94	1,602	8.147,83	1,547	1,005	0,48	9,8	5,6
48	Bizkaia	2.213,78	0,437	2.403,05	0,456	1,085	8,55	42,2	22,9
49	Zamora	10.569,99	2,088	10.706,71	2,032	1,013	1,29	16,1	9,2
50	Zaragoza	17.273,11	3,412	17.781,64	3,376	1,029	2,94	24,4	13,7
51	Ceuta	20,03	0,004	21,78	0,004	1,087	8,72	42,7	23,1
52	Melilla	13,61	0,003	14,06	0,003	1,033	3,27	25,8	14,5
España		506.239,59	100,000	526.781,20	100,000	1,041	4,06	28,8	16,1

Fuente: Centro de Descargas del CNIG.

9.

Bibliografía

- **Abramowitz, M. y I. A. Stegun (eds.) (1972)**. *Handbook of mathematical functions with formulas, graphs and mathematical tables.* Nueva York: Dover Publications.

- **Berry, J. K. (2002)**. «Use surface area for realistic calculations». *GeoWorld* 15, n.º 9 (diciembre): 22-23. Disponible en J. K. Berry (2013). *Beyond Mapping III Compilation of Beyond Mapping columns appearing in GeoWorld magazine 1996 to 2013*. Basis Press. http://www.innovativegis.com/basis/MapAnalysis/Default.htm

- **Burchfield, M., H. G. Overman, D. Puga y M. A. Turner (2006)**. «Causes of sprawl: a portrait from space». *Quarterly Journal of Economics* 121, n.º 2 (mayo): 587-633. https://doi.org/10.1162/qjec.2006.121.2.587

- **De la Fuente, Á. (2019)**. «Financiación autonómica: una breve introducción». Estudios sobre la Economía Española n.º 2019/07. Madrid: Fedea. https://documentos.fedea.net/pubs/eee/eee2019-07.pdf

- __ **(2022)**. «Sobre las propuestas del Gobierno para modificar el cálculo de la población ajustada». Fedea Policy Papers n.º 2021/14. Madrid: Fedea. https://documentos.fedea.net/pubs/fpp/2021/12/FPP2021-14.pdf

- **Dunnington, D., E. Pebesma y E. Rubak (2021)**. *s2: Spherical Geometry Operators Using the S2 Geometry Library*. Versión 1.0.7.

- **Equipo Técnico Nacional SIOSE (febrero de 2011).** «Estructura de la base de datos SIOSE - MF2». Primera versión. Documento Técnico SIOSE2005. *Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España*. Madrid: Ministerio de Fomento.

- **Esri España.** «¿Qué es una superficie TIN?». ArcGIS. Madrid. Disponible en: https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm [consulta: septiembre de 2022].

- **Eurostat (1999)**. *Recommendations for a harmonised definition of calculation of surface area of territorial units*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5826241/CA-22-99-886-3A-EN.PDF.pdf/04d732cf-2070-4358-97b5-f5d7e2181b18?t=1414780242000

- **Felicísimo, Á. M. (1994)**. *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Oviedo: Pentalfa (Biblioteca de historia natural n.º 3).

- **Gionfriddo, J. P. y P. R. Krausman (1986)**. «Summer habitat use by mountain sheep». *Journal of Wildlife Management* 50, n.º 2 (abril): 331-336. https://www.jstor.org/stable/3801923

- **Goerlich, F. J. e I. Cantarino (2010a)**. «Un índice de rugosidad del terreno a escala municipal a partir de modelos de elevación digital de acceso público». Documentos de Trabajo n.º 7. Bilbao: Fundación BBVA. https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DT_7_2010.pdf

- __ **(2010b)**. «Rugosidad del terreno. Una característica del paisaje poco estudiada». Documentos de Trabajo n.º 10. Bilbao: Fundación BBVA. https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/dt10_2010.pdf

- __ **(2022)**. «Un índice de rugosidad del terreno a escala municipal –*updated*–. *Superficie 2D* versus *superficie 3D* y rugosidad». En prensa.

- **Goerlich, F. J. y P. J. Pérez (2021)**. LAU2boundaries4spain: R package providing LAU2 (municipalities) data geometries for Spain for 2002-2021. ROpenSpain. Repositorio GitHub. https://github.com/rOpenSpain/LAU2boundaries4spain/

- **Goerlich, F. J., F. Ruiz, P. Chorén y C. Albert (2015)**. *Cambios en la estructura y localización de la población: una visión de largo plazo (1842-2011)*. Bilbao: Fundación BBVA. https://www.fbbva.es/publicaciones/cambios-en-la-estructura-y-localizacion-de-la-poblacion-una-vision-de-largo-plazo-1842-2011/

- **Hijmans R., R, Bivand, K. Forner, J. Ooms, E. Pebesma y M. D. Sumner (2022)**. terra: Spatial Data Analysis. https://cran.r-project.org/package=terra

- **INSPIRE Thematic Working Group Elevation (2013)**. D2.8.II.1 Data Specification on *Elevation* - Technical Guidelines. Version 3.0. European Commision Joint Research Centre. https://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/el

- **Jennes, J. S. (2004)**. «Calculating landscape surface area from digital elevation models». *Wildlife Society Bulletin* 32, n.º 3 (septiembre): 829-839. https://doi.org/10.2193/0091-7648(2004)032[0829:CLSAFD]2.0.CO;2

- **Ministerio de Hacienda y Función Pública (2021)**. *Informe del grupo de trabajo sobre el cálculo de la población ajustada*. Madrid. https://www.hacienda.gob.es/Documentacion/Publico/GabineteMinistro/Varios/03-12-21-Informe-poblacion-ajustada.pdf

- **Nunn, N. y D. Puga (2012)**. «Ruggedness: the blessing of bad geography in Africa». *Review of Econonmic and Statistics* 94, n.º 1: 20-36. https://doi.org/10.1162/REST_a_00161

- **Pebesma, E. (2018)**. «Simple features for R: standardized support for spatial vector data». *The R Journal* 10, n.º 1: 439-446. https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009

- **Pérez, F. y J. Pérez (2022)**. «El cálculo de la población ajustada: propuestas y repercusiones para la Comunitat Valenciana». *Revista de Treball, Economia i Societa*t n.º 105, 3 (abril): 1-21. http://www.ces.gva.es/sites/default/files/2022-04/3%20Rev%20105%20-%20PerezyPerez_1.pdf

- **R Core Team**. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Viena (Austria): *R* Foundation for Statistical Computing. https://www.r-project.org/index.html [consulta: septiembre de 2022].

- **Riley, S. J., S. D. DeGloria, y R. Elliot (1999)**. «A Terrain Ruggedness Index that Quantifies Topographic Heterogeneity». *Intermountain Journal of Science* 5, n.º 1-4 (diciembre): 23-27. https://download.osgeo.org/qgis/doc/reference-docs/Terrain_Ruggedness_Index.pdf

- **Wakelyn, L. A. (1987)**. «Changing habitat conditions on bighorn sheep ranges in Colorado». *Journal of Wildlife Managemen*. 51, n.º 4 (octubre): 904-912. https://doi.org/10.2307/3801758

- **Warrick, G. D. y B. L. Cypher (1998)**. «Factors affecting the spatial distribution of San Joaquin kit foxes». *Journal of Wildlife Management* 62, n.º 2 (abril): 707-717. https://doi.org/10.2307/3802347

- **Wickham, H. et al. (2019)**. «Welcome to the tidyverse». *Journal of Open Source Software* 4, n.º 43 (noviembre): 1686. https://doi.org/10.21105/joss.01686

- **Wiggers, E. P. y S. L. Beasom (1986)**. «Characterization of sympatric or adjacent habitats of 2 deer species in West Texas». *Journal of Wildlife Management* 50, n.º 1 (enero): 129-134. https://doi.org/10.2307/3801502

Event
Event Budget for Event : EXPENSES
Actual Cost Breakdown
Estimated vs. Actual
Ivie