

Documentos
de Trabajo

10

2010

Fundación **BBVA**

Francisco J. Goerlich Gisbert
Isidro Cantarino Martí

Rugosidad del terreno

Una característica del paisaje
poco estudiada

Rugosidad del terreno

Una característica del paisaje poco estudiada

Francisco J. Goerlich Gisbert^{1,2}

Isidro Cantarino Marti³

¹ UNIVERSIDAD DE VALENCIA

² INSTITUTO VALENCIANO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS (Ivie)

³ UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Resumen

Este documento de trabajo cuantifica, a nivel provincial, la rugosidad del terreno y la compara con la altitud media. Esta última característica se utiliza habitualmente en los modelos gravitacionales de localización de la población o en la técnica de recogida de datos sobre la irregularidad o accidentalidad del territorio. Utilizando *sistemas de información geográfica* y el *modelo de elevación digital* (SRTM, *Shuttle Radar Topography Mission*) desarrollado por la NASA, de acceso público y cobertura mundial, se construye un índice de rugosidad basado en la pendiente de las celdas vecinas y, a partir de ellas, se elabora un estadístico zonal delimitado por los contornos provinciales. Se examina la rugosidad en relación con la altitud a nivel provincial, y sorprendentemente el resultado es que ambas características presentan muy poca o nula correlación a este nivel de agregación geográfica. La rugosidad es por tanto una característica diferente de la altitud, con una distribución espacial sustancialmente distinta y con un contenido informativo adicional respecto a la altitud. La conclusión básica es que el índice de rugosidad calculado resume una característica útil del paisaje, como lo es la altitud, la longitud de costa de una región o la proximidad al mar de un determinado núcleo de población. Se trata, por tanto, de una variable candidata a ser incluida en aquellos modelos en los que la geografía tiene un papel potencialmente importante.

Palabras clave

Modelo de elevación digital, índice de rugosidad del terreno, altitud, SRTM.

Abstract

This working paper quantifies, at a regional level (NUTS3), terrain ruggedness, and compares it with the average altitude of the region. Altitude is an often-used variable introduced in gravitational models of population or activity location as a measure of physical geography, to pick up a general idea of *difficult terrain*. Using *geographical information systems* and the high resolution *digital elevation model: Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), developed by NASA, we construct a terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity, and is based on the slope with respect to neighborhood cells. From the digital model of ruggedness we build up zonal statistics at a NUTS3 regional scale. We show that ruggedness and altitude are almost completely unrelated at this level of geographical aggregation (NUTS3) and both variables have a very different spatial distribution. Hence, ruggedness has informative content beyond altitude, and our index is a natural variable to be considered as a covariate in location models. The main conclusion is that the ruggedness index provides a summary of a useful geographical feature of the landscape, in the same way as altitude or proximity to the coast.

Key words

Digital elevation model, ruggedness index, altitude, SRTM.

Al publicar el presente documento de trabajo, la Fundación BBVA no asume responsabilidad alguna sobre su contenido ni sobre la inclusión en el mismo de documentos o información complementaria facilitada por los autores.

The BBVA Foundation's decision to publish this working paper does not imply any responsibility for its contents, or for the inclusion therein of any supplementary documents or information facilitated by the authors.

La serie Documentos de Trabajo tiene como objetivo la rápida difusión de los resultados del trabajo de investigación entre los especialistas de esa área, para promover así el intercambio de ideas y el debate académico. Cualquier comentario sobre sus contenidos será bien recibido y debe hacerse llegar directamente a los autores, cuyos datos de contacto aparecen en la *Nota sobre los autores*.

The Working Papers series is intended to disseminate research findings rapidly among specialists in the field concerned, in order to encourage the exchange of ideas and academic debate. Comments on this paper would be welcome and should be sent direct to the authors at the addresses provided in the About the authors section.

La serie Documentos de Trabajo, así como información sobre otras publicaciones de la Fundación BBVA, pueden consultarse en:
<http://www.fbbva.es>

The Working Papers series, as well as information on other BBVA Foundation publications, can be found at: <http://www.fbbva.es>

Versión: Octubre 2010

© Francisco J. Goerlich Gisbert e Isidro Cantarino Martí, 2010

© de esta edición / *of this edition*: Fundación BBVA, 2010

EDITA / PUBLISHED BY

Fundación BBVA, 2010

Plaza de San Nicolás, 4. 48005 Bilbao

1. Introducción

EL objetivo último de este trabajo es cuantificar mediante un índice la rugosidad de nuestra geografía. Este índice constituye un indicador de la morfología del terreno a pequeña escala, sin necesidad de estar relacionado con la altitud. De esta forma, pretende diferenciar claramente las zonas altas en planicies de las zonas de baja altitud pero montañosas, ya que no necesariamente los terrenos más elevados tienen por qué coincidir con los más rugosos, como tendremos ocasión de comprobar.

España es un país con una altitud media considerable –por encima de los 600 m– sobre todo si tenemos en cuenta su longitud de costa –casi 8.000 km–. Con frecuencia se dice también que es un país montañoso, pero salvo por sus altitudes máximas –los 3.715 m del Teide, en Tenerife, o los 3.479 m del Mulhacén (Sierra Nevada), en Granada, que es la altitud máxima de la península– o por la longitud de sus sistemas montañosos, no disponemos de estadísticas que traten de resumir en forma cuantitativa esta u otras características de la morfología de nuestra geografía a diversos ámbitos territoriales. Resulta interesante constatar como la longitud de los sistemas montañosos peninsulares, 4.885 km, es prácticamente igual a la longitud de costa para el mismo ámbito territorial, 4.872 km. De esta forma podríamos decir que España es tanto un país costero, como un país montañoso, aunque su grado de *montañosidad* no parece haberse medido de forma cuantitativa¹.

Una excepción a este intento de cuantificar lo montañoso de nuestro país es, no obstante, la base de datos de Gerrard (2000) que, a partir de una combinación de altitud, desnivel y área, define a España con un grado de *montañosidad* del 21,6%. Lo que en su metodología quiere decir que nuestro país dispone de un 21,6% de territorio montañoso, un valor

¹ La información sobre estas características físicas de nuestro territorio procede del Instituto Nacional de Estadística (INE, <http://www.ine.es>) dentro de la sección de Territorio (consultada el 7/1/2010); excepto por la altitud media, que se obtiene a partir de la base de datos municipal del Instituto Geográfico Nacional (IGN, <http://www.ign.es>) y que se calcula como el promedio simple de las altitudes de las capitales de cada municipio a fecha del censo de 2001, se trata por tanto de la altitud media a la que vive la población, y que resulta ser de 615 m. La altitud media del territorio es bastante superior, de hecho información sobre zonas altimétricas disponible en el INE anteriormente (en 2002), pero no en la actualidad, indica que un 18.5% de la superficie de nuestro país se sitúa por encima de los 1.000 m de altitud, y la superficie por encima de los 600 m es del 57,7%. El modelo de elevación digital que utilizamos a continuación arrojó un valor para la altitud media del territorio de 685 m.

similar al de Italia, 22,2%, o Grecia, 21,8%; pero muy por encima del de Francia, 10,5%, o Portugal, 5,8%.

Ciertamente, muchas de las características del paisaje de las que se ocupa la geografía física se han mantenido hasta época reciente en el ámbito descriptivo, donde la comparación se hace difícil. Un ejemplo sencillo bastará para ilustrar lo que queremos decir. Aunque disponemos de estadísticas oficiales sobre la superficie provincial o municipal, o la longitud de costa de las provincias con salida al mar, carecemos de información con el mismo estatus para características tan elementales como la altitud media provincial. Sin embargo, el reciente desarrollo de la cartografía digital y los *sistemas de información geográfica* (SIG) están cambiando el panorama de forma rápida.

Existe un consenso generalizado de que la geografía tiene importantes consecuencias para los resultados económicos (Dobado 2004), tanto desde el punto de vista de la localización de la actividad, como de los flujos de comercio que tienen lugar entre los distintos centros de producción y consumo. Es cierto que el debate se centra fundamentalmente en los diferentes canales potenciales de causalidad. Mientras algunos autores ven el estado del desarrollo actual entre países como fundamentalmente determinado por cuestiones geográficas (Gallup y Sachs 2001, Sachs 2001; Sachs and Warner 2001, Sachs y Malaney 2002), otros autores enfatizan canales indirectos, según los cuales los condicionantes geográficos interactúan de diversas formas con factores institucionales e históricos hasta conformar el nivel de desarrollo actual (Sokoloff y Engerman 2000; Acemoglu, Johnson y Robinson 2001, 2002; Engerman y Sokoloff 2002). En cualquier caso la geografía juega un papel fundamental en la distribución espacial de la actividad y la riqueza, ya sea de forma directa (Mellinger, Sachs y Gallup 2000; Rappaport y Sachs 2003) o de una forma más indirecta a través de las primeras y segundas ventajas naturales de Fujita, Krugman y Venables (1999).

También la literatura del conflicto armado ha explorado sistemáticamente los efectos de la geografía y la orografía del terreno sobre las guerras y la determinación de las fronteras (Collier y Hoeffler 2004; Buhaug 2005).

En el contexto de la literatura del comercio se ha puesto énfasis desde siempre en la importancia de los costes de transporte y las distancias entre origen y destino como factores que afectan a los flujos comerciales. A pesar del convencimiento generalizado de que la dis-

tancia si importa, numerosas paradojas sobre la relevancia de los efectos frontera (McCallum 1995; Anderson y Smith 1999; Anderson y van Wincoop 2003), o sobre cómo medir distancias (Head y Mayer 2002, Marcon y Puech 2003) y costes (McCann 2005, Combes y Lafourcade 2005), en relación con los métodos de transporte utilizados, todavía subsisten. De hecho no se han realizado muchos progresos en la modelización de los costes impuestos por la distancia desde la especificación de los *costes iceberg* de Samuelson (1952), hace ya más de medio siglo, según los cuales un porcentaje variable del valor del producto, que es función de la distancia, desaparece a lo largo del camino. En los niveles más agregados esta literatura no suele tener en cuenta el tipo de transporte, a pesar de que no es lo mismo el transporte marítimo que el terrestre, y dentro de este, la carretera o el ferrocarril; ni tampoco la orografía del terreno, el transporte es más dificultoso, y en consecuencia más costoso, en terrenos abruptos que en terrenos llanos.

Así pues, desde el punto de vista práctico, la medición de los efectos de la geografía sobre los resultados económicos ha descansado sobre variables relativamente toscas y agregadas. Distancias simples (y lineales) entre puntos, distancias respecto a la costa, al ecuador o a los trópicos, altitudes medias, cantidad de lluvia, insolación promedio en determinadas áreas, o códigos climáticos, por poner algunos ejemplos. En general el análisis se ha mantenido en una escala relativamente elevada, a nivel de país o como mucho a nivel regional (Dobado 2004, para el caso de español); salvo en los casos de estudios sobre la localización histórica de industrias particulares (Nadal 2003), donde el análisis se ha mantenido a nivel mucho más descriptivo y particular.

A una escala más reducida disponemos, para nuestro país, de trabajos que muestran los patrones de localización de la población en relación con determinados factores geográficos, básicamente la altitud y la proximidad a la costa, o factores de tipo político-administrativos, la capitalidad de provincia (Reher 1986, 1994; Pons, López y Montoro 2004; Goerlich y Mas 2008a, 2008b, 2009), aunque todos ellos carecen de un análisis causal del tipo enfatizado por Krugman (1991).

La razón es simple, «cuantificar la geografía a pequeña escala» es difícil. Sin embargo, Burchfield, Overman, Puga y Turner (2006) han mostrado como los nuevos métodos de cartografía digital y teledetección permiten ampliar la escala y precisión del análisis a un nivel impensable hasta hace pocos años. ¡En las imágenes públicas del *Landsat 7* (Circa

2000, <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/landsat7.html>) la resolución de un *pixel* es de 14,25 m! Overman (2009) ofrece argumentos convincentes, y numerosos ejemplos, sobre las posibilidades que estas nuevas fuentes de información geográfica ofrecen para el análisis espacial de los fenómenos económicos; sobre todo porque los nuevos modelos de cartografía digital permiten obtener índices cuantitativos de características geográficas relevantes, que luego pueden ser introducidos en los modelos de comportamiento al objeto de descubrir patrones de causalidad.

El presente trabajo pretende ser una contribución en la dirección de cuantificar aspectos del paisaje que permitan una comparación cuantitativa entre territorios más precisa que la mera descripción geográfica. El objetivo es elaborar un índice de rugosidad que capte la heterogeneidad del terreno a partir de un *modelo de elevación digital* (MED) de acceso público y mediante la utilización de técnicas de SIG.

El trabajo se estructura de la siguiente forma. El apartado siguiente se dedica a una descripción de las fuentes de información y los programas utilizados, a continuación se examinan las cuestiones metodológicas relacionadas con el concepto y cálculo de la rugosidad del terreno en la práctica. Una vez elaborado el índice de rugosidad se efectúa un análisis de esta característica, tanto a nivel de la resolución del MED de partida como también en el ámbito provincial, ello nos permitirá comprobar cómo rugosidad y altitud son dos características diferentes del paisaje y, en consecuencia, altitud no implica necesariamente un terreno montañoso. Finalmente se ofrecen unas breves conclusiones.

2. Material y métodos

LA construcción del índice de rugosidad parte de un *modelo de elevación digital* (MED). Un MED es esencialmente una matriz de datos georeferenciada en la que en cada celda se hace constar el dato de altitud (en un determinado sistema geodésico) y que va referido al centro de dicha celda.

En la actualidad existen varios modelos de altitud del terreno de carácter global y acceso público. El primero de ellos fue el *GTOPO30*, desarrollado por el *US Geological Survey*, con una resolución de 30 segundos de arco (1 kilómetro aproximadamente)² y una precisión vertical es de unos 30 metros. Nuestra aplicación, sin embargo, utiliza un modelo más reciente y preciso, el *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)*, desarrollado por la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) mediante técnicas de teledetección³. Ofrece actualmente una resolución planimétrica de 3 segundos de arco (90 metros aproximadamente) y una precisión altimétrica de 4-6 metros para España⁴.

Dado un MED, el primer paso consiste en la transformación del mismo en un *modelo digital del terreno* (MDT) de rugosidades para España por medio de los métodos que se describen en el apartado siguiente, dedicado a cuestiones metodológicas. El MDT tiene la misma estructura que un MED; pero, en lugar de altitudes, los valores de cada celda contienen otra información susceptible de ser georeferenciada, en nuestro caso *rugosidades*, pero podría tratarse de población, CO₂ (contaminación), tipo de vegetación, usos del suelo, insolación o cantidad de lluvia acumulada durante un determinado periodo de tiempo. Se trata pues de una estructura de datos (continuos o discretos) recogidos sobre un espacio físico continuo y convenientemente ordenados desde un punto de vista espacial.

Dicho MDT tiene la misma resolución que el MED de partida y a partir de él se puede trabajar al nivel de agregación geográfica que se desee. Así, si disponemos de los contornos de las provincias o los municipios es posible obtener la característica almacenada en el MDT a este nivel de agregación. De esta forma es directo obtener la altitud media de una región a partir de un MED.

² Exactamente la resolución es de ½ milla náutica en el ecuador.

³ La versión de documento de trabajo de este artículo (Goerlich y Cantarino 2009) contiene una comparación de ambos MED, así como numerosos resultados no incluidos por razones de espacio.

⁴ Se espera, sin embargo, que su resolución se vea aumentada en un breve plazo por un factor de 3, es decir hasta 1 segundo de arco (30 m aproximadamente). Esta es la precisión de un nuevo modelo de altitud del terreno que ha comenzado recientemente a distribuirse, el *ASTER GDEM* (<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>) y con el que no hemos experimentado.

Las herramientas informáticas utilizadas se basan en *sistemas de información geográfica* (SIG). En concreto, tanto para el manejo de los archivos de elevaciones del terreno, de tipo *raster*, como para los de polígonos provinciales, de tipo vectorial, se ha empleado ArcGIS. Se trata de un programa de GIS desarrollado por ESRI (Environmental Systems Research Institute, <http://www.esri.com>), y que se ha situado como un estándar en la gestión y análisis de este tipo de archivos. Gran parte del trabajo realizado ha utilizado la herramienta *Spatial analyst*. Para algunos cálculos ha sido necesario emplear una herramienta más potente, capaz de hacer funcionar rutinas generalizadas en formato AML (*Arc Macro Language*). En concreto se ha utilizado el *ArcInfo WorkStation*, con ejecución en ventana de comandos.

2.1. Procesado previo de los datos

Los datos del modelo SRTM se obtuvieron de su URL: <http://srtm.csi.cgiar.org/> (Jarvis, Reuter, Nelson, y Guevara, 2008). Se trata de 8 archivos de unos 30 Mb cada uno comprimidos (extensión *.zip). Su extracción da lugar a archivos de 180 Mb, en formato ASCII y acompañados de un archivo de proyección (*.prj). Se trata de un formato estándar para MED y que se abren directamente en ArcGIS. Los polígonos provinciales proceden del Instituto Nacional de Estadística (INE, <http://www.ine.es>) directamente en formato vectorial *shape* de ESRI.

Los datos originales del SRTM hay que adecuarlos al ámbito territorial español. Para evitar que el MED acabe bruscamente en los límites territoriales marcados, falseando los valores de cálculo en estas zonas, se utilizó la herramienta *Buffer* de *Analysis tools* ampliando los límites territoriales en 500 m en las zonas costeras y 800 m para las fronteras montañosas, como el Pirineo. Una vez delimitado este perímetro se extraen los datos *raster* del territorio español mediante la herramienta *Extract by mask* que ofrece *Spatial analyst*. El fichero resultante es ya del formato propio empleado por ArcGIS para datos *raster*, y podemos empezar a trabajar con él.

Sin embargo antes de comenzar los cálculos es necesario realizar una operación previa que consiste en una nueva proyección de los datos. Los modelos de elevaciones utilizan una proyección geográfica con *datum WGS84*. En la práctica ello significa que las

celdas son cuadradas sólo en la zona del ecuador, dado que el arco en el paralelo va disminuyendo con la latitud, pero el arco en el meridiano es constante. Así pues, dada la localización geográfica de España las celdas son rectangulares. Por tanto, para realizar medidas de pendientes, es preciso recurrir a una proyección de igual área que ofrezca celdas cuadradas con un tamaño dado.

Teniendo en cuenta que el tamaño de celda original para SRTM es de $92,5 \times 92,5$ metros y el tamaño a la latitud del paralelo 40° es de $71,2 \times 92,5$ metros, se ha establecido un tamaño estándar de 80×80 metros. De este modo, se mantiene la densidad de los datos, pero con celdas ya cuadradas. ArcGIS incorpora la posibilidad de este cambio de proyección.

Finalmente, es preciso depurar los datos para eliminar algunos códigos que se asignan a las celdas y que pueden provocar cálculos erróneos. Así, por ejemplo, el modelo SRTM asigna *no data* a zonas continentales próximas a la costa. En este caso, cambiamos estos valores por “0”, dejando inalterados el resto de valores.

Finalizadas estas operaciones previas disponemos de un fichero listo para trabajar.

3. Rugosidad del terreno: concepto y medición

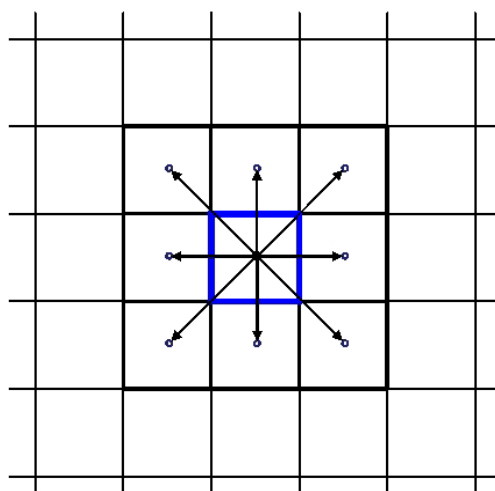
LA rugosidad del terreno puede ser definida de forma genérica como una característica relacionada con la irregularidad o accidentalidad del territorio. Sin embargo, una cuantificación de esta propiedad es, por su propia naturaleza, de difícil implementación. Para biólogos y naturalistas la medición de la rugosidad del terreno se ha convertido en una variable clave que ayuda a explicar los hábitats utilizados por especies animales terrestres (Gionfriddo y Krausman 1986; Wiggers y Beasom 1986) o aspectos relacionados con la diversidad vegetal (Crawford 2008). No obstante esta característica del terreno también ha recibido cierta atención en geología (Hobson 1972) y en determinadas aplicaciones de ingeniería (Polidori, Chorowicz y Guillande 1991; Aguilar et ál. 2002). Este apartado explora como hacer operativa la idea genérica de rugosidad del terreno a partir de la disponibilidad de un MED.

En el campo del estudio de los hábitats de especies animales, el primer indicador de rugosidad del terreno se debe a Beasom, Wiggers y Giordono (1983), y se basa en el

supuesto de que la rugosidad es función de la longitud total de las curvas de nivel de una determinada área. Propuesto antes de la explosión de la cartografía digital es un índice intuitivo, si bien su elaboración es intensiva en trabajo o solamente factible para determinadas áreas de tamaño reducido si su elaboración se realiza a partir de cartografía tradicional en papel.

La aparición de los modelos cartográficos digitales a pequeña escala geográfica, pero de amplia cobertura, favoreció la propuesta de otros índices de rugosidad que fueran fáciles de calcular mediante técnicas SIG, comparables entre áreas distantes y de diferente naturaleza. La primera de estas propuestas se debe a Riley, DeGloria y Elliot (1999), la idea es relativamente simple y es el índice que nosotros elaboramos.

FIGURA 1: Representación esquemática de la *grid* utilizada en el cálculo de la rugosidad del terreno



A partir de un modelo de elevación digital, la metodología para obtener los valores de rugosidad se basa en el análisis de las celdas vecinas, según se representa en la figura 1. Para cada celda disponemos, procedente de un MED, de un valor de altitud (referido al centro de la cuadrícula), de forma que es posible calcular un indicador de la rugosidad combinando las pendientes entre la celda de referencia (de color azul en la figura 1) y las celdas adyacentes. Por ejemplo, la diferencia (en valor absoluto) entre la altitud de la celda azul y la celda situada justo encima de ella es un indicador de la pendiente entre estos dos puntos. Un

índice de rugosidad del terreno (IRT) debe combinar de alguna forma todas las pendientes de las celdas adyacentes (8 en nuestro ejemplo). Es posible tomar como índice simplemente el valor máximo o mínimo de todas estas pendientes contiguas, pero un índice global debe situarse razonablemente entre estos dos valores extremos.

Más formalmente, sea $e_{r,c}$ la altitud de la celda correspondiente a la fila r y a la columna c , el índice de rugosidad del terreno para la celda r, c propuesto por Riley, DeGloria y Elliot (1999) es simplemente

$$IRT_{r,c} = \sqrt{\sum_{i=r-1}^{r+1} \sum_{j=c-1}^{c+1} (e_{i,j} - e_{r,c})^2} \quad (1)$$

Esta es la medida de rugosidad que utilizaremos, y cuyas celdas implicadas en el cálculo para la celda r, c pueden verse de forma clara en la figura 2.

FIGURA 2: MED y celdas implicadas en el cálculo del índice de rugosidad

		columnas (c)		
filas (r)		$e_{r-1,c-1}$	$e_{r-1,c}$	$e_{r-1,c+1}$
		$e_{r,c-1}$	$e_{r,c}$	$e_{r,c+1}$
		$e_{r+1,c-1}$	$e_{r+1,c}$	$e_{r+1,c+1}$

Es fácil observar que (1) es básicamente un índice de dispersión de las elevaciones entre la celda central, para aquella que definimos la rugosidad, y todas sus vecinas, y donde la dispersión se mide respecto a la altitud de la celda central. Los cuadrados tienen la misión de tratar de forma simétrica las pendientes positivas y las negativas, de forma que a efectos de medición de la rugosidad nos es indiferente estar en las cumbres o en el fondo de los valles, lo que importa es la pendiente de nuestro entorno cercano.

La figura 3 ofrece ejemplos de modelos de elevación digital hipotéticos y el valor de la rugosidad para la celda central⁵. El modelo (a) se corresponde con una cima montañosa, mientras que el modelo (b) se corresponde con una depresión que es justamente el inverso del modelo (a), y en consecuencia ambos casos tienen el mismo valor de la rugosidad. Por su parte el modelo (c), que también tiene el mismo valor del índice que en los dos casos anteriores, representa una situación muy diferente, se trata de una pendiente este-oeste relativamente acusada, pero constante en la dirección norte-sur. Así pues, un mismo valor del índice de rugosidad es consistente con diversas morfologías del terreno. Finalmente el modelo (d) representa una pendiente poco pronunciada y algo más ondulada que en el caso anterior, en consecuencia el valor del índice de rugosidad muestra un valor cuantitativamente menor.

FIGURA 3: MED hipotéticos y valor del IRT para la celda central

100	125	100	200	175	200	98	200	302	200	210	220
125	200	125	175	100	175	98	200	302	210	225	225
100	125	100	200	175	200	98	200	302	205	210	220
(a)	TRI = 250		(b)	TRI = 250		(c)	TRI = 250		(d)	TRI = 42	

Las unidades de medida del índice de rugosidad se corresponden con las unidades utilizadas para medir las diferencias de altitud. En nuestros cálculos las elevaciones están en metros, por lo tanto la rugosidad viene expresada en metros de diferencia de cota entre puntos distantes entre sí 80 metros⁶.

⁵ Los ejemplos de los modelos (a), (b) y (d) de la figura 3 están tomados de Riley, DeGloria y Elliot (1999, figura 3). Resulta de interés señalar que los valores que estos autores dan como valores del índice de rugosidad se corresponden en realidad con la suma de valores absolutos, y no con la fórmula (1), que es su propuesta, Riley, DeGloria y Elliot (1999, figura 1), si bien también aquí hay otro error en la codificación de la función, donde dice $TRI = \text{sqr}(ssdiff)$ debe decir $TRI = \text{sqr}(ssdiff)$.

⁶ Esta es la diferencia entre puntos centrales de las celdas para el *SRTM* después de efectuada la re-proyección. En realidad esta es la distancia entre las celdas este-oeste y norte-sur, para las celdas en diagonal esta distancia debe aumentarse por el factor de escala $\sqrt{2}$.

Aunque (1) es intuitivo, otras medidas alternativas de dispersión podrían ser consideradas una vez hemos calculado las diferencias de cota entre una celda y todas sus vecinas. Por ejemplo, la suma de valores absolutos de estas diferencias, que dividida entre el número de celdas representaría el tamaño promedio del escalón que debemos subir o bajar cuando cambiamos de celda.

Es posible encontrar en la literatura otras propuestas sobre índices de rugosidad, de ellas vale la pena mencionar brevemente dos.

En primer lugar, Sappington, Longshore y Thompson (2007) observan que el índice propuesto por Riley, DeGloria y Elliot (1999) está fuertemente correlacionado con la pendiente, y en este sentido es incapaz de distinguir entre terrenos con fuertes pendientes, pero relativamente poco rugosos, de terrenos que teniendo pendientes importantes sean irregulares y quebrados, es decir tengan una rugosidad elevada.

Estos autores argumentan que una medida de rugosidad debe incorporar la variabilidad en dos atributos que siempre es posible medir a partir de un MED: 1) la *pendiente (slope)*, y 2) el *aspecto (aspect)*. Estos son atributos que rutinariamente pueden calcular los programas de GIS (ESRI 2002). Estos dos aspectos definen un plano para cada celda, de forma que la idea de Sappington, Longshore y Thompson (2007) es descomponer los vectores ortogonales a este plano para cada celda en sus tres componentes mediante el uso de trigonometría estándar, sumar dichas componentes por separado y calcular la norma euclídea del vector resultante. A partir de aquí proponen un *índice de rugosidad vectorial* que carece de unidades, y varía entre 0, indicando un terreno totalmente plano, y 1, máxima rugosidad.

En segundo lugar, otra propuesta que merece cierta consideración es la realizada por Jenness (2004) en un contexto no directamente relacionado con la medición de la rugosidad. La idea es relativamente simple, la superficie de España es de 505.990 km², pero esta es su superficie plana (resultado de una proyección), sin tener en cuenta su grado de *montañosidad* del que hablábamos en la introducción. La superficie real de su paisaje es necesariamente superior, puesto que nuestro país no es, en absoluto, plano. La relación entre ambas superficies constituye una medida de la rugosidad de terreno. Jenness (2004) muestra como calcular la superficie real del paisaje a partir de un MED, sin necesidad de recurrir a la construcción de Redes Triangulares Irregulares, de construcción compleja y más difícil manipulación para zonas geográficas amplias.

3.1. Índices de rugosidad a escala provincial

Partiendo del MED ya procesado, tal y como se ha indicado anteriormente, el cálculo del índice de rugosidad para cada celda, $IRT_{r,c} = \sqrt{\sum_{i=r-1}^{r+1} \sum_{j=c-1}^{c+1} (e_{i,j} - e_{r,c})^2}$, se obtiene a partir de un *script* en formato AML (*Arc Macro Language*) ejecutado en *ArcInfo WorkStation*⁷. Esto genera un MDT de rugosidades con la misma resolución que el MED de partida, es decir un valor para cada celda de 80×80 m.

Una vez calculado el $IRT_{r,c}$ para cada celda se obtienen los valores del índice de rugosidad para cada provincia mediante la intersección del modelo digital del terreno de rugosidades con el fichero vectorial de contornos provinciales del INE, en este caso sin ningún tipo de *buffer* añadido, y tomando como valor de rugosidad de la provincia correspondiente el promedio de valores de rugosidad de todas las celdas que caen dentro del contorno provincial. El mismo tipo de cálculo a partir del modelo digital de elevaciones nos permite determinar el valor medio de la altitud de la provincia, un dato sobre el que no existen estadísticas públicas. En términos de análisis espacial es lo que se denominan estadísticos de zona y se implementa en la práctica mediante la herramienta *Zonal statistics as table* de *Spatial analyst*⁸.

⁷ Dicho script está disponible en ESRI, <http://arcscrips.esri.com/details.asp?dbid=12435>.

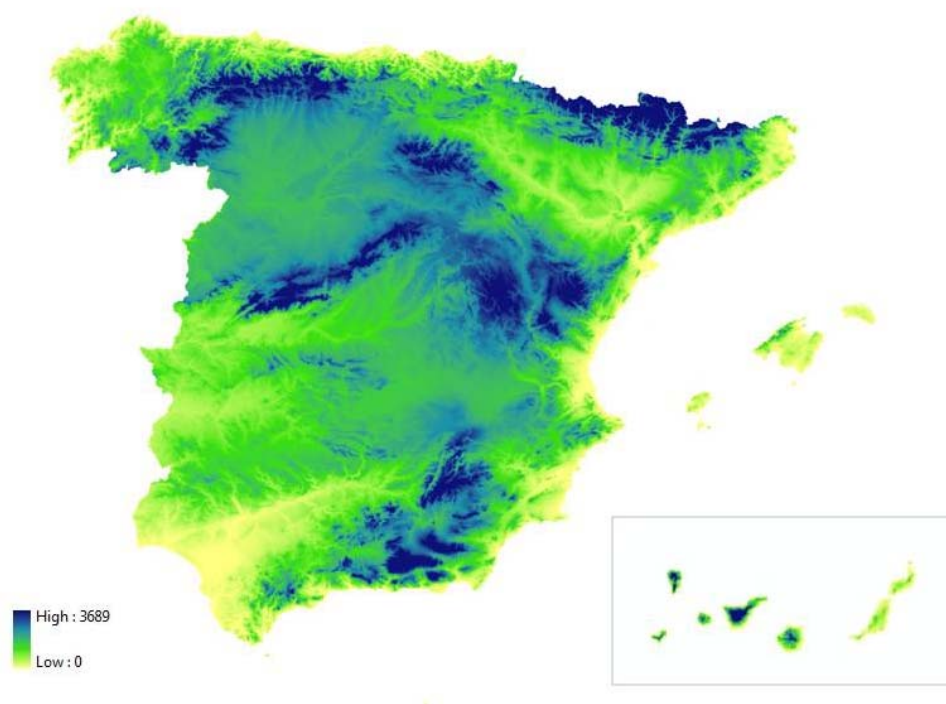
⁸ La aplicación de dicha herramienta calcula diversos estadísticos para un conjunto de celdas delimitado por un contorno, en nuestro caso un polígono de un fichero vectorial (*shape*). El valor que se toma como índice de rugosidad para la provincia es el promedio de los valores de las celdas que caen dentro del contorno, pero obtenemos otros estadísticos de interés y que no examinamos con detalle en este trabajo. En concreto, disponemos de: 1) el número de celdas que entran en el cálculo (*COUNT*); 2) la superficie que ocupan dichas celdas (*AREA*); 3) valores mínimo (*MIN*), máximo (*MAX*) y el rango (*RANGE*); 4) promedio (*MEAN*), que es el valor de *TRI* atribuido al polígono, desviación típica (*STD*) y suma (*SUM*); 5) número de valores únicos (*VARIETY*); 6) valores que se repiten más (*MAJORITY*) o menos (*MINORITY*); y 7) mediana (*MEDIAN*), que constituiría una alternativa al *IRT* de la provincia bajo consideración.

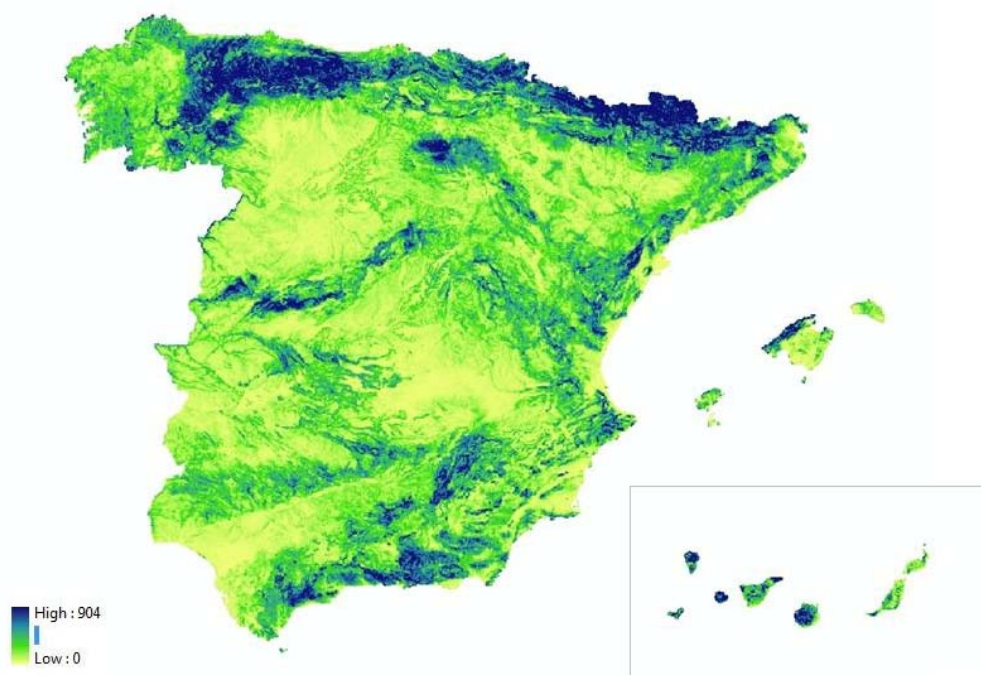
4. Altitud y rugosidad

EL objetivo último de este trabajo es elaborar un índice de *montañosidad* que recoja un aspecto de la geografía diferenciado de la altitud. Que el índice de rugosidad del terreno calculado incide sobre una característica sustancialmente diferente de la altitud es evidente a partir de la inspección visual de los mapas 1 y 2. El mapa 1 muestra el MED de partida, mientras que el mapa 2 muestra el índice de rugosidad, IRT, calculado a partir de él, ambos en formato *raster*, y permiten observar como algunas de las áreas más elevadas de la península se corresponden con valores de rugosidad bajos o moderados.

La correlación global entre ambos modelos es reducida, aunque ligeramente positiva, 0,34. La altitud media en España es de 685 m, mientras que la rugosidad promedio arroja un valor de 30,4 m de diferencia de cota de altitud, ello representa aproximadamente una pendiente media algo superior al 10% para el conjunto del territorio nacional. Sin embargo, la rugosidad muestra mayor variabilidad que la altitud, ya que el coeficiente de variación para esta última característica es de 0,59, mientras que para la rugosidad es de 1,02.

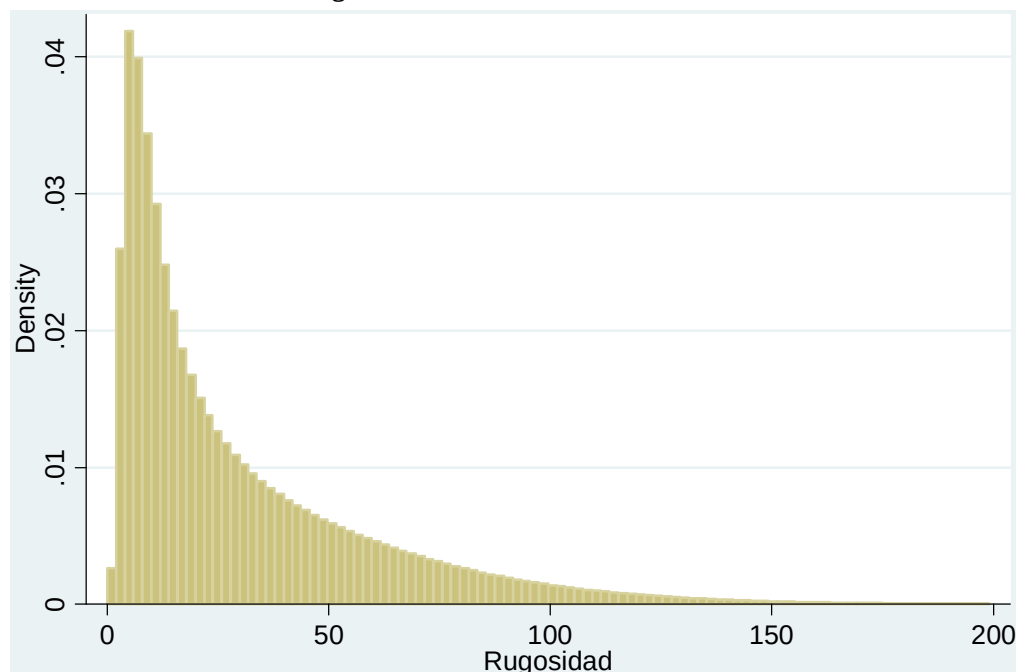
MAPA 1: Modelo digital de elevaciones. *SRTM*



MAPA 2: Modelo digital de rugosidades. *SRTM*

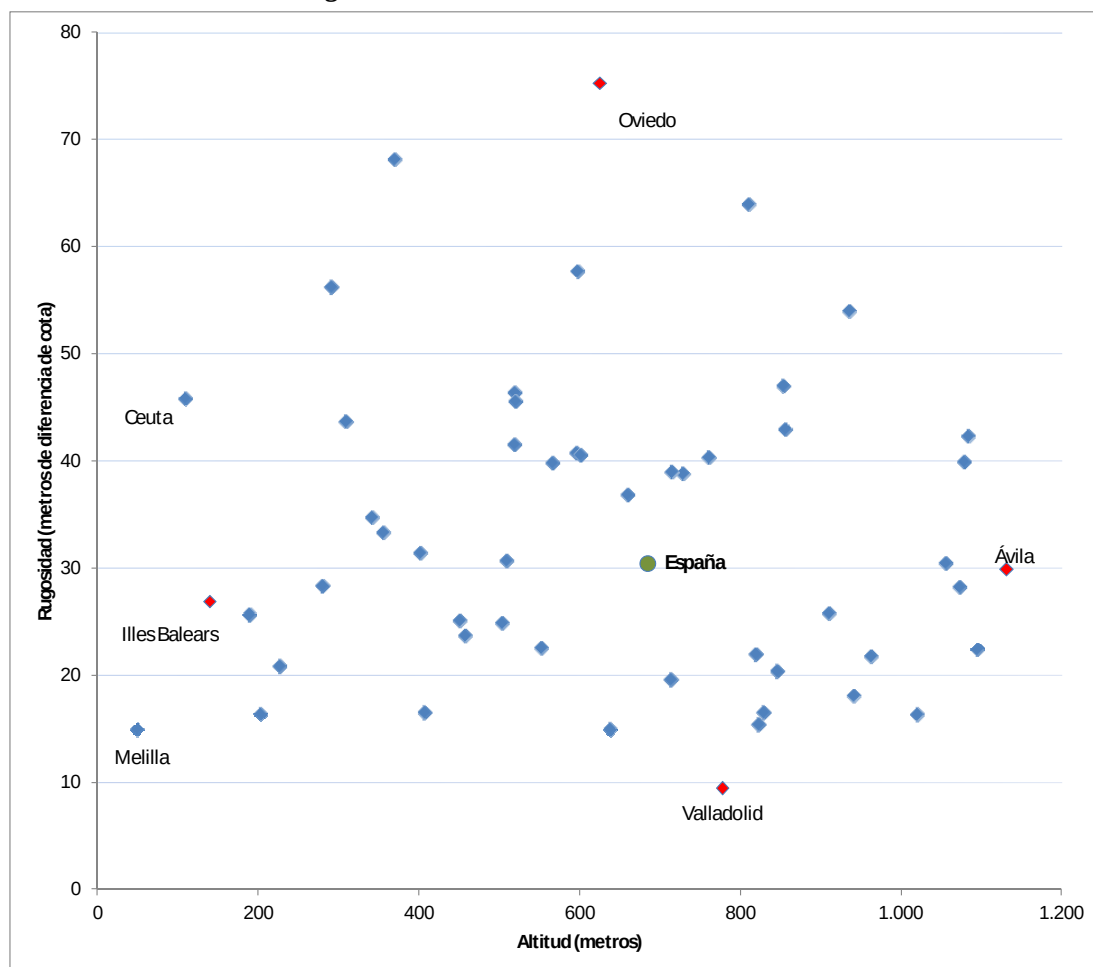
Para examinar la distribución de la heterogeneidad del terreno mostrada en el mapa 2 dividimos la superficie en 10 clases de *igual área*, decilas, y en consecuencia distinta longitud de intervalo. Los intervalos resultantes son $[0, 5]$, $(5, 8]$, $(8, 12]$, $(12, 17]$, $(17, 23]$, $(23, 31]$, $(31, 42]$, $(42, 56]$, $(56, 78]$, $(78, 904]$. Observamos como la distribución de la rugosidad es tremendamente asimétrica: la mediana, 23, está considerablemente por debajo del valor medio. Esta asimetría, mucho más acusada que en el caso de la altitud, donde media y mediana son aproximadamente iguales, puede verse claramente en la figura 4, que presenta el histograma de la *grid* de rugosidades que hay detrás del mapa 2.

FIGURA 4: Distribución de la rugosidad



Lógicamente cuando promediamos los datos a nivel provincial los extremos de la distribución se suavizan de forma considerable. El valor mínimo lo obtenemos para Valladolid, 9,4, una provincia con una altitud media elevada, 777,5 m; mientras que el valor máximo lo obtenemos para Oviedo, 75,2, con una altitud ligeramente por debajo del promedio nacional, 625,6 m.

El cuadro A.1 del apéndice ofrece los valores medios de altitud y rugosidad a nivel provincial, así como su variabilidad absoluta (desviación típica) y relativa (coeficiente de variación), y la figura 5 muestra un diagrama de dispersión para estas dos características. A este nivel de agregación geográfica la correlación entre ambas variables prácticamente desaparece, siendo tan sólo de $-0,04$, de forma que el IRT contiene información sustancialmente distinta de la altitud.

FIGURA 5: *Altitud versus rugosidad. Provincias*

Se observa claramente como las provincias con mayor altitud no son las más montañosas, en el sentido de que no son las provincias con mayores índices de rugosidad. Así, de las siete provincias con una altitud promedio superior a los 1.000 m, tan sólo dos muestran valores del IRT notablemente mayor que el promedio nacional, León y Granada. Por otra parte, las provincias que se nos muestran como más rugosas son Oviedo, Guipúzcoa y Santa Cruz de Tenerife, que no muestran altitudes extremas, sólo Santa Cruz de Tenerife arroja una altitud media, 809 m, superior al promedio nacional. En el extremo inferior de los valores del índice de rugosidad encontramos todavía una mayor dispersión, así de las 10 provincias con un IRT inferior a 20 encontramos algunas con una altitud baja, como Melilla o Sevilla, pero también algunas con altitudes extremas, como Palencia, con 941 m, o Segovia que supera los 1.000 m.

La distribución por provincias de frecuencias bivariante altitud-rugosidad se ofrece en el cuadro 1 y confirma los hechos que acabamos de reseñar. Las provincias con altitudes superiores a los 700 m tienden a mostrar mayoritariamente una *montañosidad* intermedia y una distribución simétrica entorno a este valor medio. Lo mismo sucede para las provincias de menor altitud.

CUADRO 1: Distribución porcentual de provincias según tramos de altitud y rugosidad

Altitud	Rugosidad			Total
	Menor o igual a 20	Entre 20 y 40	Por encima de 40	
Menor o igual a 300 m	1,92%	3,85%	1,92%	7,69%
Entre 300 y 700 m	5,77%	23,08%	19,23%	48,08%
Por encima de 700 m	11,54%	21,15%	11,54%	44,23%
Total	19,23%	48,08%	32,69%	100,00%

En consecuencia, parece evidente que el indicador obtenido de rugosidad es un índice válido como forma de cuantificar la heterogeneidad del terreno, e incorpora información sustancialmente diferente de la altitud. En este sentido Goerlich y Cantarino (2009), extendiendo el análisis de la distribución de la población por características geográficas de Goerlich y Mas (2009), muestran como este índice es significativo en una ecuación de divergencia poblacional a nivel municipal, lo que muestra su utilidad más allá de servir como indicador de una característica del paisaje.

5. Discusión

ESTE trabajo ha examinado una característica de nuestra geografía que no parece haber recibido ninguna atención en España por parte de los estudios de geografía, la rugosidad del terreno. Los recientes SIG pueden ser utilizados para la elaboración de índices de rugosidad o “montañosidad” de un territorio a partir de *modelos de elevación digital* (MED) y que pueden ser de aplicación en diversos ámbitos.

Partiendo del MED del *SRTM*, de acceso público y cobertura mundial, hemos calculado el índice de rugosidad propuesto por Riley, DeGloria y Elliot (1999). Ello nos propor-

ciona un *modelo digital del terreno* (MDT) de rugosidades que puede ser agregado al nivel geográfico que deseemos.

La comparación celda a celda del MED de partida con el MDT de rugosidades proporciona algunos resultados de interés en el ámbito de la descripción del paisaje. Altitud y rugosidad son dos características poco correlacionadas. Aunque hay zonas muy elevadas que muestran rugosidades por encima del promedio, existen amplias zonas de la península con una altitud considerable, pero que presentan una topografía particularmente plana; por el contrario, numerosas zonas de baja cota muestran topografías altamente rugosas o quebradas. Por otra parte, la distribución de la rugosidad se mostró altamente asimétrica.

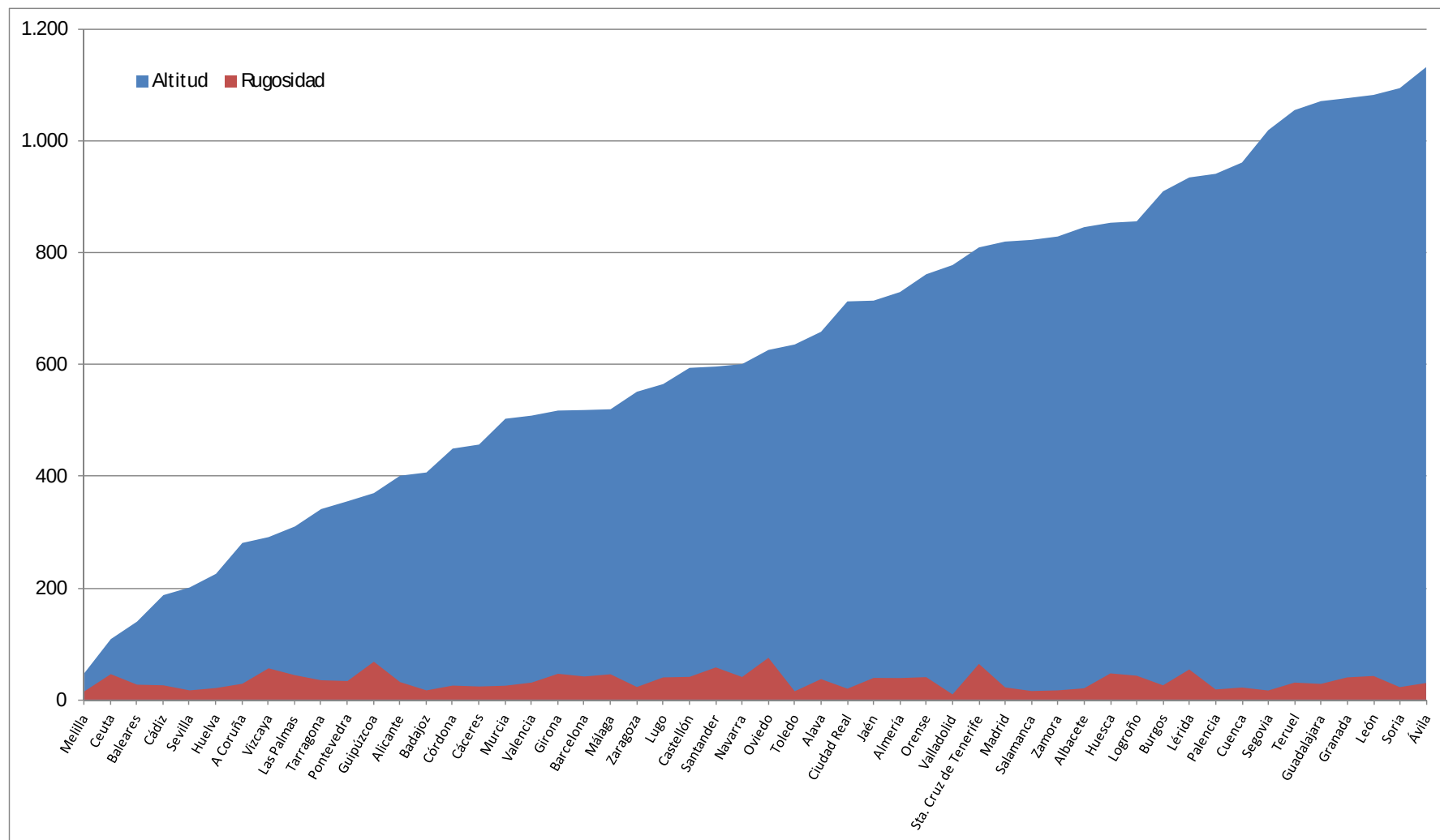
Estas características son particularmente evidentes cuando comparamos valores medios provinciales. Las provincias más rugosas, Oviedo y Guipúzcoa, no muestran altitudes particularmente elevadas, mientras que muchas de las provincias que exceden los 1.000 m de altitud promedio muestran índices de rugosidad moderados o bajos.

La conclusión es pues que el índice de rugosidad calculado resume una característica útil del paisaje, como puede ser en contextos similares la altitud, la longitud de costa de una región o la proximidad a la misma de un núcleo de población. La disponibilidad actual de modelos de elevación digital de cobertura global y acceso público, y la generalización de los SIG permite obtener índices cuantitativos de características geográficas que hasta el presente eran estudiadas desde un enfoque más descriptivo. Además, la disponibilidad de estos índices permite la introducción de dichas características en modelos cuantitativos explicativos de otro tipo de fenómenos. Finalmente, la disponibilidad del MDT de rugosidades permite el cálculo de valores promedio para el índice a cualquier nivel de agregación geográfica que se desee, sólo es necesario para ello disponer de los contornos apropiados en formato vectorial.

6. Apéndice: altitud e índice de rugosidad provincial

CUADRO A.1: Altitud y rugosidad a partir del modelo SRTM

Número	Provincia	Altitud			Rugosidad		
		Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación
01	Alava	658,3	192,6	0,29	36,91	29,2	0,79
02	Albacete	845,3	211,6	0,25	20,39	23,5	1,15
03	Alicante	400,6	311,2	0,78	31,50	31,8	1,01
04	Almería	729,3	493,1	0,68	38,85	29,2	0,75
05	Ávila	1.131,8	344,6	0,30	29,85	29,7	0,99
06	Badajoz	406,4	137,7	0,34	16,54	15,1	0,91
07	Baleares	139,7	156,2	1,12	26,87	34,9	1,30
08	Barcelona	518,1	352,1	0,68	41,61	30,4	0,73
09	Burgos	909,4	195,8	0,22	25,81	24,7	0,96
10	Cáceres	456,3	231,9	0,51	23,69	24,4	1,03
11	Cádiz	187,1	215,2	1,15	25,73	23,7	0,92
12	Castellón	593,7	367,5	0,62	40,83	30,7	0,75
13	Ciudad Real	712,5	121,8	0,17	19,66	20,7	1,05
14	Córdoba	449,1	196,9	0,44	25,17	21,3	0,85
15	A Coruña	280,4	155,1	0,55	28,47	20,4	0,72
16	Cuenca	961,1	215,5	0,22	21,82	21,1	0,96
17	Girona	517,3	552,9	1,07	46,52	36,7	0,79
18	Granada	1.076,2	440,5	0,41	39,97	31,8	0,80
19	Guadalajara	1.070,9	228,5	0,21	28,35	23,2	0,82
20	Guipúzcoa	369,6	230,8	0,62	68,23	31,8	0,47
21	Huelva	225,1	181,0	0,80	20,88	18,3	0,88
22	Huesca	853,3	581,2	0,68	47,11	46,3	0,98
23	Jaén	714,0	349,7	0,49	39,04	30,4	0,78
24	León	1.082,0	313,1	0,29	42,44	40,2	0,95
25	Lérida	934,3	654,7	0,70	54,11	46,1	0,85
26	Logroño	855,7	385,3	0,45	43,04	34,1	0,79
27	Lugo	564,6	233,7	0,41	39,93	31,7	0,79
28	Madrid	819,6	295,0	0,36	22,03	21,4	0,97
29	Málaga	519,4	304,2	0,59	45,60	33,2	0,73
30	Murcia	502,6	338,9	0,67	25,03	25,3	1,01
31	Navarra	600,4	270,1	0,45	40,62	33,9	0,84
32	Orense	761,0	314,0	0,41	40,38	28,7	0,71
33	Oviedo	625,6	437,0	0,70	75,25	41,9	0,56
34	Palencia	940,9	223,2	0,24	18,19	22,6	1,24
35	Las Palmas	309,9	323,6	1,04	43,79	41,7	0,95
36	Pontevedra	354,8	242,7	0,68	33,49	20,4	0,61
37	Salamanca	822,5	142,0	0,17	15,48	18,9	1,22
38	Sta. Cruz de Tenerife	809,1	632,5	0,78	64,12	47,0	0,73
39	Santander	595,9	444,9	0,75	57,80	38,3	0,66
40	Segovia	1.018,8	217,4	0,21	16,40	17,9	1,09
41	Sevilla	200,8	182,2	0,91	16,48	17,4	1,05
42	Soria	1.094,0	168,8	0,15	22,49	19,1	0,85
43	Tarragona	341,0	264,3	0,77	34,78	31,0	0,89
44	Teruel	1.054,8	367,8	0,35	30,48	24,3	0,80
45	Toledo	635,3	165,4	0,26	14,99	16,5	1,10
46	Valencia	508,2	339,3	0,67	30,68	27,5	0,90
47	Valladolid	777,5	58,9	0,08	9,43	10,3	1,09
48	Vizcaya	290,8	216,2	0,74	56,29	31,5	0,56
49	Zamora	828,7	209,6	0,25	16,49	18,1	1,10
50	Zaragoza	550,9	270,7	0,49	22,61	20,6	0,91
51	Ceuta	108,2	79,1	0,73	45,84	22,2	0,48
52	Melilla	47,6	37,4	0,79	14,99	22,7	1,52
	España	685,0	407,3	0,59	30,39	30,9	1,02

FIGURA A.1: *Altitud versus rugosidad. Provincias*

6. Bibliografía

- ACEMOGLU, D., S. JOHNSON y J.A. ROBINSON (2001): “The colonial origins of comparative development: An empirical investigation”. *American Economic Review* 91, 5, 1369-1401.
- ____ (2002): “Reversal of fortune: Geography and institutions in the making of the modern world income distribution”. *Quarterly Journal of Economics* 117, 4, 1231-1294.
- AGUILAR TORRES, F.J., M.A. AGUILAR TORRES, F. AGÜERA VEGA, F. CARVAJAL RAMÍREZ y P.L. SÁNCHEZ SALMERÓN (2002): “Efectos de la morfología del terreno, densidad muestral y métodos interpolación en la calidad de los modelos digitales de elevaciones”. *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Santander, 5-7 de junio de 2002.
- ANDERSON, M., y S. SMITH (1999): “Do national borders really matter? Canada-US regional trade reconsidered”. *Review of International Economics* 72, 2, 219-227.
- ANDERSON, J., y E. VAN WINCOOP, (2003): “Gravity and gravitas: A solution to the border puzzle”. *American Economic Review* 93, 1, 170-192.
- BEASOM, S. L., E. P. WIGGERS y R. J. GIORDONO (1983): “A technique for assessing land surface ruggedness”. *Journal of Wildlife Management* 47, 1163-1166.
- BUHAUG, H. (2005): “The Geography of Armed Civil Conflict”. Tesis doctoral, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- BURCHFIELD, M., H.G. OVERMAN, D. PUGA y M.A. TURNER (2006): “Causes of sprawl: A portrait from space”. *Quarterly Journal of Economics* 121, 2, 587-633.
- COLLIER, P., y A. HOEFFLER (2004): “Greed and grievance in civil war”. *Oxford Economic Paper* 56, 4, 563-595.
- COMBES, P.P., y M. LAFOURCADE (2005): “Transport costs: Measures, determinants, and regional policy implications for France”. *Journal of Economic Geography* 5, 3, 319-349.
- CONLEY, T.G. (1999): “GMM estimations with cross sectional dependence”. *Journal of Econometrics* 92, 1-45.

- CRAWFORD, M.A. (2008): “An Analysis of Terrain Roughness: Generating a GIS Application for Prescribed Burning”. Tesis *Master of Science*, Texas Tech University.
- DOBADO GONZÁLEZ, R. (2004): “Un legado peculiar: La geografía”. En E. Llopis, ed. *El Legado Económico del Antiguo Régimen en España*, capítulo 3, Barcelona: Ed. Crítica, 97-119.
- ENGERMAN, S.L., y K.L. SOKOLOFF (2002): “Factor endowments, inequality, and paths of development among new world economies”. Documento de Trabajo n.º 9259, Cambridge (MA): National Bureau of Economic Research, octubre.
- ESRI (2002): *Using ArcGIS Spatial Analyst. GIS by ESRI*. Redlands (CA), Estados Unidos.
- FUJITA, M., P. KRUGMAN y A.J. VENABLES (1999): *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*. Cambridge (MA): MIT Press.
- GALLUP, J. L., y J.D. SACHS (2001): “The economic burden of malaria”. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 64, 1-2, 85-96.
- GERRARD, A.J. (2000): “What is a mountain?”. Mimeo, The World Bank Development Research Group.
- GIONFRIDDO, J.P., y P. R. KRAUSMAN (1986): “Summer habitat use by mountain sheep”. *Journal of Wildlife Management* 50, 331-336.
- GOERLICH, F.J., M. MAS, J. AZAGRA y P. CHORÉN (2006): *La localización de la población española sobre el territorio. Un siglo de cambios. Un estudio basado en series homogéneas (1900-2001)*. Bilbao: Fundación BBVA.
- GOERLICH, F.J., y M. MAS (2008a): “Algunas pautas de localización de la población española a lo largo del siglo XX”. *Investigaciones Regionales* 12, 5-33.
- ____ (2008b): “Empirical evidence of population concentration in Spain”. *Population-E* 63, 4, 635-650.
- ____ (2009): “Drivers of agglomeration: Geography versus History”. *The Open Urban Studies Journal* 2, 28-42. Disponible en Internet: <http://www.bentham.org/open/tousj/openaccess2.htm>.

- GOERLICH, F.J., y A. VILLAR (2009): *Desigualdad y bienestar Social: De la Teoría a la práctica*. Bilbao: Fundación BBVA.
- HEAD, K., y T. MAYER (2002): “Illusory border effects: Distance mismeasurement inflates estimates of home bias in trade”. Documento de Trabajo n.º 2002-01, París: CEPPII.
- HOBSON, R.D. (1972): “Surface roughness in topography: Quantitative approach”. En R.J. Chorley, ed. *Spatial Analysis in Geomorphology*, capítulo 8, Nueva York: Harper & Row, 221-245.
- JARVIS, A., H.I. REUTER, A. NELSON y E. GUEVARA (2008): *Hole-filled seamless SRTM data. Version 4*”, Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), base de datos disponible en: <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- JENNESS, J.S. (2004): “Calculating landscape surface area from digital elevation models”, *Wildlife Society Bulletin* 32, 3, 829-839.
- KRUGMAN, P. (1991): *Geography and Trade*. Leuven y Cambridge (MA): Leuven University Press y The MIT Press.
- MAGNUS, J.R., y H. NEUDECKER (1988): *Matrix Differential Calculus. With Applications in Statistics and Econometrics*, Nueva York: John Wiley & Sons.
- MARCON, E., y F. PUECH (2003): “Evaluating the geographic concentration of industries using distance-based methods”. *Journal of Economic Geography* 3, 4, 409-428.
- MCCALLUM, J. (1995): “National borders matter: Canada-US regional trade patterns”. *American Economic Review* 85, 3, 615-623.
- MCCANN, P. (2005): “Transport costs and the new economic geography”. *Journal of Economic Geography* 5, 305-318.
- MELLINGER, A., J.D. SACHS y J. GALLUP (2000): “Climate, coastal proximity, and development”. En G.L. Clark, M.P. Feldman y M.S. Gertler, eds. *Oxford Handbook of Economic Geography*, Oxford: Oxford University Press, 169-194.
- NADAL, J., dir. (2003): *Atlas de la Industrialización de España, 1975-2000*. Bilbao: Fundación BBVA y Editorial Crítica.

- OVERMAN, H. (2009): “‘GIS a job’: What use Geographical Information Systems in Spatial Economics?”. Conferencia del 50.º Aniversario de la revista *Journal of Regional Science*, organizado por la Federal Reserve Bank of New York, abril 2009. Disponible en Internet: http://www.newyorkfed.org/research/conference/2009/jrs_agenda.html.
- POLIDORI, L.J., J. CHOROWICZ y R. GUILLANDE (1991): “Description of terrain as a fractal surface, and application to digital elevation model quality assessment”. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 57, 1329-1332.
- PONS IZQUIERDO, J.J., D. LÓPEZ y C. MONTORO GURICH (2004): “Del interior a la costa: Dinámica espacial de la población española a lo largo del siglo XX”. VII Congreso de la Asociación de Demografía Histórica, Granada, 1-3 de abril de 2004.
- RAPPAPORT, J., y J.D. SACHS (2003): “The United States as a coastal nation”. *Journal of Economic Growth* 8, 1, 5-46.
- REHER, D.S. (1986): “Desarrollo urbano y evolución de la población: España 1787-1930”. *Revista de Historia Económica* 4, 1, 39-66.
- ____ (1994): “Ciudades, procesos de urbanización y sistemas urbanos en la Península Ibérica, 1550–1991”. En M. Guardia, F.J. Monclús y J.L. Oyón, dirs. *Atlas histórico de ciudades europeas*. Barcelona: Centre de Cultura Contemporània de Barcelona.
- RILEY, S.J., S.D. DEGLORIA y R. ELLIOT (1999): “A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity”. *Intermountain Journal of Sciences* 5, 1-4, 23-27.
- SACHS, J.D. (2001): “The geography of poverty and wealth”. *Scientific American*, 70-75.
- SACHS, J.D., y P. MALANEY (2001): “The economic and social burden of malaria”. *European Economic Review* 45, 4-6, 827-838.
- SACHS, J.D., y A.M. WARNER (2001): “The curse of natural resources”. *Nature* 415, 6872, 680-685.
- SAMUELSON, P. (1952): “The transfer problem and transport costs: the terms of trade when impediments are absent”. *The Economic Journal* 62, 278-304

- SAPPINGTON, J.M., K.M. LONGSHORE y D.B. THOMPSON, (2007): “Quantifying landscape ruggedness for animal habitat analysis: A case study using bighorn sheep in the Mojave desert”. *The Journal of Wildlife Management* 71, 5, 1419-1426.
- SOKOLOFF, K.L., y S.L. ENGERMAN (2000): “History lessons: Institutions, factor endowments, and paths of development in the new world”. *Journal of Economic Perspectives* 14, 3, 217-232.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY (1996): *GTOPO30*. Sioux Falls (SD): United States Geological Survey Center for Earth Resources Observation and Science (EROS).
- 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, 129-134.

NOTA SOBRE LOS AUTORES - *ABOUT THE AUTHORS**

ISIDRO CANTARINO MARTÍ es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad Politécnica de Valencia y profesor titular del Departamento de Ingeniería del Terreno de la citada Universidad. Ha realizado trabajos profesionales y de investigación en la determinación y gestión de recursos hidráulicos con aplicación en ámbitos montañosos, promovidos por la Dirección General de Obras Hidráulicas. En la actualidad se encuentra colaborando con la Consellería de Cultura, Educación y Deportes para implementar un Sistema de Información Geográfica que gestione la localización y clasificación patrimonial de yacimientos paleontológicos, así como cartografías temáticas asociadas.

Correo electrónico: icantari@trr.upv.es

FRANCISCO J. GOERLICH GISBERT es licenciado en Ciencias Económicas por la Universidad de Valencia, máster en Económicas por la London School of Economics, doctor por la Universidad de Valencia, catedrático del Departamento de Análisis Económico en la misma Universidad y profesor investigador del Ivie. Coautor de más de diez libros, ha publicado medio centenar de artículos sobre temas de macroeconomía, econometría y economía regional en diversas revistas nacionales e internacionales, tales como *Investigaciones Económicas*, *Revista Española de Economía*, *Revista de Economía Aplicada*, *Investigaciones Regionales*, *Estadística Española*, *Review of Income and Wealth*, *Regional Studies*, *Journal of Regional Science*, *Applied Economics*, *Population*, *Economics Letters* o *Econometric Theory*.

Correo electrónico: Francisco.J.Goerlich@uv.es

Cualquier comentario sobre este documento puede ser enviado a Francisco J. Goerlich Gisbert, Universidad de Valencia, Departamento de Análisis Económico, Campus de Tarongers, Av de Tarongers s/n, 46022-Valencia. E-mail: Francisco.J.Goerlich@uv.es

* Los autores agradecen una ayuda del Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (Ivie) para la realización de este trabajo. Francisco J. Goerlich agradece la ayuda del proyecto del Ministerio de Ciencia y Tecnología SEC2008-03813/ECON y del programa de investigación Fundación BBVA-Ivie. Resultados mencionados en el texto pero no ofrecidos están disponibles si se solicitan a los autores.

ÚLTIMOS NÚMEROS PUBLICADOS – *RECENT PAPERS*

- DT 09/10 *Datos climáticos históricos para las regiones españolas (CRU TS 2.1)*
Francisco J. Goerlich Gisbert
- DT 08/10 *Guanxi Management in Chinese Entrepreneurs: A Network Approach*
Iván Arribas Fernández y José E. Vila Gisbert
- DT 07/10 *Un índice de rugosidad del terreno a escala municipal a partir de modelos de elevación digital de acceso público*
Francisco J. Goerlich Gisbert e Isidro Cantarino Martí
- DT 06/10 *Quality of Education and Equality of Opportunity in Spain: Lessons from Pisa*
Aitor Calo-Blanco y Antonio Villar Notario
- DT 05/10 *Breaking the Floor of the SF-6D Utility Function: An Application to Spanish Data*
José M.^a Abellán Perpiñán, Fernando I. Sánchez Martínez, Jorge E. Martínez Pérez y Ildefonso Méndez Martínez
- DT 04/10 *Análisis del potencial socioeconómico de municipios rurales con métodos no paramétricos: aplicación al caso de una zona Leader*
Ernest Reig Martínez
- DT 03/10 *Corpus lingüístico de definiciones de categorías semánticas de personas mayores sanas y con la enfermedad de Alzheimer: una investigación transcultural hispano-argentina*
Herminia Peraita Adrados y Lina Grasso
- DT 02/10 *Financial Crisis, Financial Integration and Economic Growth: The European Case*
Juan Fernández de Guevara Radoselovics y Joaquín Maudos Villarroja
- DT 01/10 *A Simple and Efficient (Parametric Conditional) Test for the Pareto Law*
Francisco J. Goerlich Gisbert
- DT 16/09 *The Distance Puzzle Revisited: A New Interpretation Based on Geographic Neutrality*
Iván Arribas Fernández, Francisco Pérez García y Emili Tortosa-Ausina
- DT 15/09 *The Determinants of International Financial Integration Revisited: The Role of Networks and Geographic Neutrality*
Iván Arribas Fernández, Francisco Pérez García y Emili Tortosa-Ausina
- DT 14/09 *European Integration and Inequality among Countries: A Lifecycle Income Analysis*
José Manuel Pastor Monsálvez y Lorenzo Serrano Martínez

Fundación **BBVA**

Plaza de San Nicolás, 4
48005 Bilbao
España
Tel.: +34 94 487 52 52
Fax: +34 94 424 46 21

Paseo de Recoletos, 10
28001 Madrid
España
Tel.: +34 91 374 54 00
Fax: +34 91 374 85 22
publicaciones@fbbva.es
www.fbbva.es