

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A FACTORES DE ESCALA Y PROPUESTA DE NORMALIZACIÓN DEL ÍNDICE DE FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS EMPLEADO POR LA AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE*

TRIVIÑO PÉREZ, A., VICEDO MAESTRE, M. y SOLER CAPDEPÓN, G.
Institut d'Ecologia Litoral
C/ Jacinto Benavente, 21 / 03560, El Campello (Alicante), España
alejandro.trivino@ecologialitoral.com

RESUMEN

La fragmentación de los hábitats es actualmente uno de los principales factores de pérdida de biodiversidad. Los cambios en los usos del suelo provocados por la acción humana pueden favorecer este proceso constituyendo un riesgo para la conservación de las poblaciones animales y vegetales. La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) evalúa con la ayuda del CORINE Land Cover (CLC) las consecuencias de la urbanización, las infraestructuras y la actividad agrícola en la reducción de los ecosistemas, para lo cual ha empleado el índice de fragmentación antropogénica de Steenmans y Pinborg. Este indicador plantea la fragmentación del espacio en términos de conectividad asumiendo varias operaciones de análisis espacial sustentadas en datos de tipo *raster*. La fiabilidad de este índice ha sido comprobada a escala 1:100.000 para el análisis del territorio europeo, posteriormente, otros autores lo han aplicado a escala 1:50.000 resultando también fiable. En este artículo se evalúa la sensibilidad del índice de fragmentación a factores de escala con el propósito de aplicarlo a nivel provincial, comarcal y municipal. También se propone una normalización del mismo para disponer de una leyenda estándar que sea válida a todos los niveles. Se ha seleccionado la provincia de Alicante como zona de estudio para realizar un análisis de sensibilidad a factores de escala de la componente temática y espacial de los datos, considerando la influencia de la resolución espacial en los usos del suelo y el tamaño de la celda usada en el cálculo.

Palabras clave: Fragmentación de hábitats, índice de fragmentación, usos del suelo, análisis de sensibilidad, Agencia Europea de Medio Ambiente.

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

ANALYSIS OF SENSIBILITY TO SCALE AND NORMALIZATION PROPOSAL FOR THE HABITAT FRAGMENTATION INDEX USED BY THE EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY

ABSTRACT

Habitat fragmentation is currently in the midst of biodiversity loss. The fragmentation of land is caused by a range of human activities (pressure from urbanisation, industrial development, agriculture and transport infrastructures). The European Environment Agency (EEA) assesses the environmental consequences of economic activities using CORINE Land Cover (CLC) and an index of anthropogenic fragmentation of potential semi-natural and natural areas developed by Steenmans and Pinborg. The index expresses connectivity and fragmentation which may be done using spatial algorithms for raster data. The effectiveness of the index was tested at 1/100,000 scale. Other authors also consider the scale of 1/50000 appropriate. This paper attempts to evaluate the influence of scale on the index of fragmentation with the aim of applying this indicator to regional and local studies. There is also a proposal to normalize the index and to establish a standard legend applicable to all maps. The province of Alicante was selected as test area in a sensitivity analysis applied to thematic and spatial scale changes. Spatial resolution and cell size were included in the calculations.

Keywords: Habitat fragmentation, index of fragmentation, land cover, analysis of sensibility, European Environment Agency.

1. Introducción

Las profundas transformaciones acontecidas en el territorio europeo durante los últimos siglos han configurado un paisaje en donde los remanentes de hábitats de interés natural son cada vez más escasos y dispersos, encontrándose insertos en una matriz de espacios más o menos explotada por el hombre, el cual, ha acelerado de manera exponencial los procesos de fragmentación de los hábitats naturales y seminaturales durante el último siglo, con especial incidencia en los países industrializados y densamente poblados (Gurrutxaga, 2004). En este contexto podemos entender la fragmentación de los hábitats como el proceso en que extensas áreas de vegetación ven reducida su superficie al dividirse en varias manchas más pequeñas por la acción de un agente externo. En estos casos, si bien existen factores naturales que contribuyen a la fragmentación, como los incendios forestales no provocados, la presión antrópica, sin duda, es la causa fundamental de la creciente disgregación de los ecosistemas.

Los análisis sobre la fragmentación de los hábitats en función de las especies animales y vegetales son una tarea extremadamente compleja, pudiéndose hacer una estimación más sencilla a partir de los usos del suelo. Desde esta perspectiva es menos dificultoso diseñar indicadores ambientales que sirvan para evaluar las consecuencias que las actividades económicas tienen sobre la biodiversidad. Así, por ejemplo, la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) ha desarrollado un sistema de indicadores de biodiversidad que recoge, entre otras, sus inquietudes por la fragmentación que las vías de transporte generan en los hábitats. Un índice de fragmentación que ha sido empleado por la AEMA y que centra el interés de este artículo, es el elaborado por Steenmans y Pinborg (2000), el cual establece una relación entre paisaje y biodiversidad basándose en los usos del suelo y examinando el grado de conectividad tanto de los

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

espacios naturales como de los seminaturales. Sin duda, la mayor virtud de este índice es que emplea información georreferenciada, por lo que puede ser aplicado a distintas escalas de trabajo y los resultados estar referidos a un espacio de extensión variable. Estas dos circunstancias son las que hacen que se pueda hablar de sensibilidad a factores de escala en el índice de fragmentación.

La escala espacial constituye uno de los problemas más críticos en la representación de los elementos paisajísticos y de los procesos ecológicos. La escala de análisis determina el tamaño mínimo de los elementos del paisaje y condiciona los resultados de los estudios métricos de la estructura del paisaje (Turner *et al.*, 1989). No es el momento de tratar el procedimiento de cálculo del índice de fragmentación de Steenmans y Pinborg (2000), pues se verá en el siguiente apartado, pero conviene avanzar que la calidad de los resultados puede verse afectada por la resolución espacial de los datos de origen y por la extensión del espacio que es tomado como referencia para obtener el valor del índice. Por tanto, hay dos cuestiones relacionadas con la escala que plantean una cierta incertidumbre: por un lado está la resolución espacial del inventario de los usos del suelo, es decir, una capa de información georreferenciada en el sistema *raster* que puede variar el tamaño de la celdilla; y, en segundo lugar, el tamaño de los cuadrados que conforman la retícula requerida para determinar el valor del índice.

El análisis de sensibilidad se enfrenta a cuestiones relacionadas con la operatividad del índice en escalas que puedan ser de utilidad para trabajar a nivel provincial, comarcal o municipal. En principio, el índice de fragmentación de Steenmans y Pinborg (2000) fue pensado para aplicarlo a escalas medias. En concreto, se experimentó con una resolución espacial de 250 metros y el cálculo se realizó en cuadrados de 625 km². El análisis estaba enfocado hacia grandes territorios tales como los países miembros de la Unión Europea. En este artículo se pretende dar respuesta a las incógnitas que sobre la escala espacial plantea el índice, teniendo siempre presente que el objetivo principal es averiguar si es válido para escalas mayores que abarquen extensiones más pequeñas. El planteamiento se centra en conocer la efectividad del índice para evaluar de un modo sencillo la fragmentación de los hábitats y disponer al mismo tiempo de mapas con escalas adecuadas para los instrumentos de ordenación del territorio.

Con este propósito, el índice ha sido experimentado en un espacio geográfico lo suficientemente extenso y heterogéneo como para evaluar la sensibilidad a factores de escala. La provincia de Alicante, dada su localización en el sureste peninsular, presenta unas características climáticas y edáficas que favorecen la existencia de numerosos ambientes, pudiéndose observar importantes variaciones paisajísticas en muy pocos kilómetros de distancia. En un recorrido de menos de 20 kilómetros desde la costa hacia el interior se perciben paisajes muy diferentes, con origen en las playas de arena de Benidorm y destino en las abruptas peñas de la sierra de Aitana, se pasa, entre otros paisajes, por aglomeraciones urbanas y grandes extensiones de cultivos de frutales. La diversidad paisajística de la provincia de Alicante la convierten en un área de experimentación excelente para determinar la efectividad del índice de fragmentación empleado por la AEMA.

2. El índice de fragmentación de hábitats de la Agencia Europea de Medio Ambiente

La fragmentación es la mayor amenaza para la integridad de los ecosistemas en el continente europeo, ya que, al reducirse la conectividad y la extensión de los hábitats se pone en peligro la conservación de la biodiversidad. El fuerte incremento de la presión antrópica sobre el medio natural ha

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

motivado el desarrollo de indicadores para cuantificar el grado de fragmentación de los hábitats, últimamente, sobre todo, los relacionados con las infraestructuras de transporte (COM, 2006). En este contexto se inscriben algunas de las políticas de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) por medio de las cuales se han desarrollado indicadores de biodiversidad y elaborado estudios relativos a la fragmentación. Precisamente, en un estudio sobre los usos del suelo y la diversidad paisajística en la Unión Europea se expone el índice de fragmentación de Steenmans y Pinborg (2000).

El índice de fragmentación antropogénica elaborado por Steenmans y Pinborg (2000) para la AEMA pretende ser un indicador que ayude a entender la complejidad del paisaje, expresando la conectividad de áreas potencialmente interesantes para su conservación, sobre todo, de aquellas que se encuentran muy presionadas por las actividades humanas (urbanización, industria o agricultura) o por la presencia de grandes ejes de comunicación terrestre. Por esta razón, el índice gravita en torno a los usos del suelo, discriminando los que por sus características naturales son susceptibles de ser considerados sensibles a procesos de fragmentación, de aquellos otros usos que generan una presión sobre los anteriores o no participan en posibles impactos a causa de una supuesta neutralidad. Por tanto, para la aplicación del índice es primordial disponer de una capa georreferenciada de usos del suelo cuya nomenclatura sea apropiada para distinguir entre usos sensibles y usos no sensibles. Adelantamos en este mismo momento que el índice está planteado de tal manera que es absolutamente imprescindible que la información geográfica esté en formato *raster* para poder realizar operaciones de vecindad que nos permitan conocer el grado de conectividad entre las celdillas sensibles.

El índice parte del inventario de usos del suelo CORINE Land Cover (CLC), por lo que se dispone de una cobertura a escala 1:100.000 que abarca casi todo el continente europeo, una ventaja que se refleja en la operatividad del índice que puede ser aplicado en cualquier región europea favoreciendo la comparación entre territorios. En el CLC la nomenclatura de los usos del suelo destaca por estar organizada jerárquicamente en niveles (*vid. tabla 1*). Steenmans y Pinborg (2000) emplean el nivel 3, compuesto por 44 clases, para calcular la fragmentación. Para ello, realizan una agregación de clases con el propósito de simplificarlas en dos categorías: sensibles, correspondientes con los espacios naturales y seminaturales; y no sensibles, es decir, los espacios que aglutinan las actividades humanas, en consecuencia, donde se concentran los impactos y son fuente de presiones sobre el medio natural. En esta última categoría también se han incluido las superficies de agua, que realmente tienen un carácter neutral, pero que no pueden ser consideradas como espacios sensibles al albergar comunidades vegetales y animales que no están vinculadas al medio terrestre pero que sin duda afectan a la continuidad geográfica de los hábitats.

El índice de fragmentación de Steenmans y Pinborg (2000) estima el grado de conectividad entre los espacios sensibles presentes en una zona acotada que en todo caso se ajustará a un cuadrado que en adelante será denominado celda de cálculo, debiéndose advertir que esta celda no debe ser confundida con el píxel o la celdilla correspondiente con la resolución espacial de la capa de usos del suelo del CLC en el sistema *raster*. El tamaño de la celda de cálculo dependerá de la extensión y forma del espacio geográfico objeto de estudio y de la escala de trabajo que se considere apropiada para llevarlo a buen término. Steenmans y Pinborg (2000) han experimentado con celdas de 25 x 25 km a escala europea observando poca representatividad en el índice, mientras que ocurre todo lo contrario con celdas de 5 y 10 km de lado. Cabe indicar que el espacio geográfico no puede ser compartimentado en celdas menores de 1 x 1 km sin que previamente se realicen modificaciones en la fórmula. El índice ha sido evaluado a una resolución espacial de 250 metros correspondiente con el mosaico a pequeña escala elaborado por la AEMA mediante

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

la rasterización del inventario de usos en formato vectorial. La norma consiste en emplear los usos del suelo a esta resolución espacial y combinarlos con una malla compuesta por celdas de cálculo cuyo tamaño sí puede variar.

En las celdillas se tiene en cuenta la componente temática y espacial de los datos. Por un lado, se consideran las celdas sensibles, mientras que por otro se analiza la conexión física entre ellas (vid. [figura 1](#)). El sistema *raster* se muestra de gran utilidad para aplicar operaciones de vecindad y obtener los datos de conectividad, considerando que dos celdillas están conectadas cuando comparten un lado y no cuando comparten un vértice. El índice define como complejos los polígonos aislados formados tanto por una como por varias celdillas sensibles. La fórmula del índice de fragmentación (*IF*) es la siguiente:

$$IF = psc / (ps/cs \cdot 16) \cdot (ps/16)$$

siendo *psc* las celdillas sensibles conectadas, *ps* las celdillas sensibles; y, *cs* los complejos sensibles.

Los resultados del índice de fragmentación (*IF*) se interpretan teniendo en cuenta una escala ordinal y de intervalos que clasifica los valores en seis categorías:

- Mínima: < 0,01
- Poca: [0,01-0,1[
- Media: [0,1-1[
- Moderada: [1-10[
- Fuerte: [10-100[
- Extrema: ≥ 100

3. Análisis de sensibilidad del índice de fragmentación de hábitats

En el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) los análisis de sensibilidad están relacionados con la elaboración de modelos matemáticos pensados para facilitar la comprensión y el estudio de realidades complejas como son las vinculadas a cuestiones ambientales. El objetivo primordial de este tipo de análisis es comprobar la estabilidad del modelo examinando la variación que se produce en los resultados cuando se realizan modificaciones sistemáticas en un rango de interés sobre los parámetros de entrada (Gómez y Barredo, 2005). Las conclusiones de estos análisis deben servir para conocer el grado de eficacia del modelo, pudiendo ser empleadas para perfeccionarlo desde un punto de vista conceptual optimizando el esquema teórico que lo sustenta, o bien, como suele ser habitual, el análisis de sensibilidad está basado exclusivamente en los datos, de tal manera que los resultados son utilizados para examinar la incertidumbre asociada a los parámetros de entrada del modelo.

El análisis de sensibilidad que aquí se plantea para el índice de fragmentación antropogénica de Steenmans y Pinborg (2000) está basado en los datos, por lo que en ningún momento hay interés por realizar una reconceptuación del mismo con el propósito de perfeccionarlo, sino que el aspecto clave del análisis está en conocer el grado de eficacia del índice en función de la resolución espacial de los datos de entrada y del tamaño de retícula elegido para su cálculo y representación cartográfica. Si consideramos el

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

primero de los factores, el análisis de sensibilidad procurará responder a cuestiones relacionadas con la influencia que tiene el error superficial sobre los resultados del índice. Se trata de averiguar el peso que tiene la indeterminación de perímetros y superficies producida por la rasterización sobre el parámetro de entrada correspondiente con los usos del suelo de la base de datos del CORINE Land Cover (CLC). En cuanto al segundo factor, hay que indicar que la representatividad del índice descansa en el tamaño de las celdas utilizadas en el cálculo, así pues la longitud del lado de la celda debe ser coherente con la escala de trabajo, esto es especialmente evidente si tenemos en cuenta que el índice no tiene sentido si los valores numéricos no van acompañados de su correspondiente representación cartográfica. Trabajando con escalas pequeñas (p. ej. 1:1.000.000) las celdas pueden tener un tamaño mayor que en el caso de escalas más grandes (p. ej. 1:50.000), de cualquier modo, la longitud del lado produce importantes variaciones en el número de celdas para un mismo territorio, por lo que deberá ajustarse a los intereses concretos de cada estudio.

El procedimiento de cálculo del índice de fragmentación –sencillo en cuanto a su formulación y fácil de aplicar cuando se dispone de información georreferenciada y de las tecnologías geográficas– unido al interés por examinar su eficacia en función de los dos factores que intervienen directamente en la fórmula –el error superficial de los usos del suelo y el tamaño de la celda de cálculo–, favorecen el hecho de que el análisis de sensibilidad pueda ser realizado empleando métodos globales. El objetivo de los métodos globales es calcular la cantidad de incertidumbre en los resultados del modelo como consecuencia de la incertidumbre de cada uno de los factores de entrada, permitiendo además ejecutar el análisis variando simultáneamente todos los parámetros del modelo (Gómez y Barredo, 2005). Una de las formas de llevar a cabo estos análisis de sensibilidad globales consiste en emplear métodos basados en muestreos o análisis de Montecarlo. Según Gómez y Barredo (2005) la aplicación de estos métodos implica la ejecución del modelo un número considerable de veces con el objetivo de establecer la relación entre los resultados y los datos de partida. Siguiendo estas determinaciones se pretende averiguar si las variaciones en los factores de entrada del índice de fragmentación provocan variaciones significativas en los resultados. Para ello, se han variado los factores de entrada dentro de un rango de interés partiendo de un mismo conjunto de muestras, en concreto, como veremos posteriormente, se parte de tres situaciones distintas para cada uno de los dos factores analizados, de tal manera que el número de series asciende a un total de nueve como consecuencia de la combinación de ambos factores.

3.1. El área de trabajo y la celda de cálculo

El índice de fragmentación de Steenmans y Pinborg (2000) ha sido testado en grandes extensiones de la Unión Europea. Troche (2001) ha exportado la experiencia a Bolivia, aplicándolo a una extensión de 50 km² dentro del municipio de Independencia sin observarse problemas pese a agrandar la escala a 1:50.000. Este tipo de experiencias más localizadas nos hacen suponer que es posible aplicar el índice en España para realizar análisis a nivel provincial, comarcal o municipal. En cualquier caso, el tamaño de la celda de cálculo siempre deberá estar acorde con la extensión del espacio geográfico objeto de estudio. En escalas continentales o macroescalas donde la superficie supera los 10.000 km² se puede emplear un amplio espectro de tamaños de celdas, aunque si son muy pequeñas la legibilidad de los mapas puede resultar escasa o nula. Por ello, Steenmans y Pinborg (2000) se decantan principalmente por celdas de 10 x 10 y 5 x 5 km. Sin embargo, Troche (2001) utiliza celdas de 2 x 2 km, más apropiadas para extensiones relacionadas con los análisis de mesoescala. Para este artículo se ha seleccionado como área de estudio la

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

provincia de Alicante, que con una extensión de algo más de 5.800 km², nos permite emplear celdas de distintas dimensiones, concretamente, se han seleccionado celdas de 10 x 10, 5 x 5 y 2,5 x 2,5 km. Los resultados servirán para conocer si el índice puede ser aplicado a escala provincial, pero, sobre todo, podremos observar cartográficamente su utilidad a escalas comarcales y municipales.

3.2. El error superficial en los usos del suelo

El índice de fragmentación de Steenmans y Pinborg (2000) utiliza como información de partida los usos del suelo disponibles en la base de datos del CLC. La escala nominal del inventario del CLC es 1:100.000 siendo la mínima unidad cartografiable (MMU) de 25 hectáreas y 100 metros de ancho para los elementos lineales, por lo que se puede entender que la práctica totalidad de las vías de comunicación no estén recogidas en la cobertura. Conocer la MMU es indispensable para llevar a cabo la transformación de datos vectoriales a un sistema *raster*, ya que el proceso de rasterización, por norma general, supone una pérdida de información estrechamente relacionada con la resolución espacial, es decir, con el tamaño de la celdilla. El empleo de una retícula regular provoca una indeterminación en el perímetro de los polígonos que repercute en sus propias áreas, de tal manera que una superficie en un sistema *raster* debe ser considerada casi siempre una estimación de la vectorial. Esto es debido a que la rasterización es un proceso que lleva aparejado un cierto error superficial que afecta tanto a la componente espacial de los datos como a la componente temática, fruto de las modificaciones que el perímetro de los polígonos experimenta a causa del tamaño de la celdilla.

El tamaño de celdilla más apropiado para una rasterización se puede obtener con ayuda del Teorema de muestreo, conocido también como Teorema de Whittaker-Nyquist-Kotelnikov-Shannon, el cual demuestra que para conservar todos los detalles de un objeto tras el proceso de transformación, es necesario muestrear en una tasa de al menos dos veces la frecuencia espacial más alta (Tobler, 2000). Esto significa que un objeto o la separación entre objetos debe ser capturada como mínimo por dos valores muestrales, de tal modo que la frecuencia más alta sea mayor o igual que la frecuencia de Nyquist. Lo que se puede sintetizar diciendo que el lado de la celdilla debe ser al menos la mitad de la longitud más pequeña del objeto que sea necesario representar (Bosque, 2000). Si trasladamos esto al problema sobre la determinación del tamaño de la celdilla para la cobertura del CLC, nos encontramos que con una MMU de 250.000 m² el cuadrado equivalente es de 500 x 500 m, lo que nos lleva a considerar un tamaño máximo de celdilla de 250 metros de lado según la aproximación por la frecuencia de Nyquist. Ésta es la única resolución espacial que emplea Steenmans y Pinborg (2000), los cuales sólo modifican el tamaño de la celda de cálculo.

En el análisis de sensibilidad se ha respetado la resolución espacial de 250 metros por ser el valor de referencia del índice de fragmentación, pero también por corresponderse con la longitud máxima del lado de la celdilla para la capa de usos del suelo según la frecuencia de Nyquist. Adicionalmente, otras dos resoluciones espaciales han sido consideradas para posibilitar la aplicación de métodos basados en muestreos. Por supuesto, estas resoluciones no pueden ser mayores de 250 metros tal y como se ha expuesto en el párrafo precedente, pero tampoco inferiores a los 25 metros de resolución que tiene el sensor remoto que obtuvo los datos (resolución del Landsat 7 ETM+ en bandas multispectrales). En concreto, se han seleccionado tamaños de celdilla de 100 y 50 metros, con lo que se abarca un rango de valores aceptable en cuanto a las escalas y abarcable en lo que se refiere a cantidad de información. La

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

rasterización con tamaños de celdilla pequeños mejora el detalle de los objetos por lo que a priori son más aconsejables para trabajar con escalas grandes debiéndose averiguar de qué manera influyen sobre el índice de fragmentación. Con este propósito se ha calculado el error superficial de los datos rasterizados a 250, 100 y 50 metros de resolución espacial. Entendiendo este error como la diferencia entre el área real, calculada en el sistema vectorial y el área en formato *raster*, consistente en la suma de celdillas.

Los datos de partida, como ya se ha comentado, son los usos del suelo de la provincia de Alicante, con la peculiaridad de que tras la rasterización a distintas resoluciones fueron reclasificados, pasando de 44 a 2 clases correspondientes a los usos del suelo sensibles y los no sensibles. Posteriormente, a estas capas de información se les superpusieron las retículas que contienen las celdas de cálculo fijadas en 10, 5 y 2,5 km de lado. Esta superposición nos permite hallar el error superficial directamente en cada una de las celdas que son empleadas en el cálculo del índice, pues a efectos del análisis de sensibilidad no tiene interés obtener el dato para la totalidad de la provincia.

Las operaciones de rasterización y superposición dan como resultado nueve capas de información, producto de la combinación de las tres capas de usos del suelo con las tres retículas de cálculo. De este modo, en una celda de cálculo de 10 x 10 km hay 1.600 celdillas para una resolución de 250 metros, 10.000 celdillas para 100 metros y 40.000 celdillas para 50 metros. En una celda de referencia de 5 x 5 km obtenemos 400, 2.500 y 10.000 celdillas para las mismas resoluciones, es decir, 250, 100 y 50 metros respectivamente. Por último, en una celda de 2,5 km de lado hay 100, 625 y 2.500 celdillas. A este respecto, es importante recordar que el número de celdillas para un mismo territorio varía de manera significativa según la resolución espacial. Esto tiene consecuencias directas sobre el índice de fragmentación porque en el denominador de la fórmula hay una transformación a kilómetros cuadrados, así, Steenmans y Pinborg (2000) para una resolución de 250 metros dividen entre 16 celdillas, correspondientes con un cuadrado de 4 x 4 celdillas y una superficie de 1 km². Trabajando con una resolución de más detalle, por ejemplo, 100 metros, la fórmula debe ser modificada puntualmente para dividir entre 100 celdillas, mientras que a 50 metros el valor se incrementa hasta las 400 celdillas.

Para determinar el error superficial cometido por la rasterización en función de los distintos tamaños de celdilla, se calculan los errores relativos en cada una de las celdas de cálculo. Posteriormente, se ordenan los errores relativos para cada resolución espacial y se calculan los valores correspondientes a los cuantiles de interés (Ariza, 2002). Para las celdas de 10, 5 y 2,5 km y celdillas de 50, 100 y 250 m de lado, se han hallado los errores de rasterización que se muestran en la [tabla 2](#), entendidos como la diferencia en valor absoluto entre la superficie vectorial de los usos sensibles y la obtenida tras el proceso de rasterización. Los valores de los percentiles superiores al 70% se han representado gráficamente en la [figura 2](#), el eje X se corresponde con el tamaño de la celdilla, mientras que en el eje Y expresa el error relativo en escala logarítmica. Como era de esperar, independientemente del tamaño de la celda, los errores relativos aumentan conforme se incrementa el tamaño de la celdilla, pues éstas se ajustan con menor precisión al perímetro de los polígonos sensibles a los procesos de fragmentación. Los errores más pequeños se corresponden siempre con las celdillas de 50 metros, pudiéndose observar que el error es inversamente proporcional al tamaño de la celda, es decir, conforme aumenta la extensión de la celda empleada en el cálculo, disminuye el error relativo como consecuencia de la longitud del perímetro del cuadrado.

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

3.3. Análisis de correlación del índice de fragmentación

El índice de fragmentación de Steenmans y Pinborg (2000) se ha aplicado para evaluar como le afectan las modificaciones en los factores de entrada dentro de un rango de interés. En concreto, se han calculado las nueve combinaciones posibles entre celdas cálculo de 10, 5 y 2,5 km de lado, y resoluciones espaciales de 50, 100 y 250 m. Los conjuntos de muestras obtenidos sirven para explorar la relación entre los valores de entrada y los valores alcanzados por el índice. Para ello, se ha considerado oportuno emplear un método que trabaje con coeficientes de correlación, en este caso, el método de Pearson (r), al comprobarse que las muestras se ajustan a una distribución de tipo lineal. Así pues, el coeficiente de correlación de Pearson se aplica combinando sucesivamente dos conjuntos de muestras que siempre se corresponden con los valores obtenidos del cálculo del índice de fragmentación (IF), por ejemplo, una combinación sería entre resoluciones de 100 y 250 metros para celdas de cálculo de 10 km. Los coeficientes muestran el grado de correlación entre los dos conjuntos de muestras, así, cuanto más próximo a 0, más débil es la relación entre las variables estudiadas. Para mejorar la lectura de las correlaciones se ha calculado el coeficiente de determinación (R^2) que cuantifica la proporción en la variación de los valores.

Los valores obtenidos para cada par de conjuntos de muestras según tamaños de celda se reflejan en la [tabla 3](#). Se observa que el coeficiente de determinación más bajo es del 64,90%, mientras que la mayor correlación es del 98,10%, por lo que se acepta una dependencia entre los tamaños de celda y de celdilla. Un examen de la correlación ayuda a conocer el grado de validez del índice de fragmentación en el caso de que se empleen resoluciones espaciales distintas a 250 metros. Esta resolución es la que usamos a modo de referencia para comparar los resultados. El coeficiente de Pearson nos proporciona información sobre el comportamiento del índice pudiéndose notar el grado de relación entre las variables, pues es muy sensible a la presencia de valores extremos como sucede con la desviación típica. Sin embargo, tal como se advirtió en el apartado anterior, las variaciones en la resolución espacial modifican el número de celdillas por kilómetro cuadrado, lo que repercute directamente en el valor del índice, es decir, puede haber correlación entre las variables pero los valores de las distintas muestras ser notablemente diferentes. Esta situación se aprecia con mayor claridad cuando los resultados son clasificados mediante la escala de intervalos propuesta por Steenmans y Pinborg (2000). La representación cartográfica de los distintos conjuntos de muestras evidencia uno de los mayores problemas que tiene la aplicación del índice a otras resoluciones espaciales (*vid.* [figura 3](#) y [figura 4](#)). Esta afirmación puede ser demostrada simplemente teniendo en cuenta que los resultados se encuentran dentro de un rango definido por un valor máximo (M) y un valor mínimo (m) que pueden ser calculados de la siguiente manera:

$$M = N_{km}^2 / 2 ; m = N_{km}^2 / N_{Total}$$

siendo N_{km} el número de celdillas por km^2 y N_{Total} el número de celdillas contenidas por la celda de cálculo.

Las variaciones que el tamaño de las celdas y las celdillas introducen en los valores máximos y mínimos no afectan a la correlación entre las series de los datos, aunque obviamente crean problemas de interpretación relacionados con la categorización de los valores y su correspondiente representación cartográfica. Los valores no se ajustan a la escala ordinal y de intervalos de Steenmans y Pinborg (2000) de una manera racional, por lo que una solución a este problema puede pasar por una normalización del índice

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

que permita disponer de una leyenda que sea válida para todos los casos, independientemente del valor máximo y mínimo de la serie.

4. Conclusión

El análisis de sensibilidad del índice de fragmentación se ha estructurado en dos partes, considerando, de un lado, la rasterización de los usos del suelo, y, del otro, la validez de los resultados en función los tamaños de celda y de celdilla. En cuanto a las cuestiones relativas al error superficial provocado por la transformación al sistema *raster* de los usos del suelo, no se observan errores importantes en ninguno de los casos (*vid. tabla 2*). El promedio de error más elevado lo encontramos en las celdas de 2,5 x 2,5 km y 250 m de resolución espacial (5,8%). El promedio más pequeño se corresponde con celdas de 10 x 10 km y celdillas de 50 m (0,2%). Como era de esperar la cantidad de error es directamente proporcional al tamaño de la celdilla aunque habría que resaltar el hecho de que el tamaño de la celda de cálculo influye en el resultado. Cuanto menor es el perímetro de la celda de cálculo, mayor es el error superficial. Esta situación debe ser tenida en cuenta especialmente en el caso de emplear celdas pequeñas porque para reducir el error es necesario utilizar celdillas como máximo de 100 m, es decir, con una resolución espacial de 250 m, el error se incrementa considerablemente en las celdas de 5 x 5 y 2,5 x 2,5 km. En términos generales, para un percentil del 70% obtenemos en todos los casos un error próximo o inferior al 5%, próximo en celdas de 2,5 x 2,5 km y resolución de 250 m, e inferior en todos los demás casos, hasta llegar a valores ínfimos del 0,1% en celdas de 10 x 10 km y resoluciones de 50 m. Indudablemente, una situación ideal podría ser la que contempla un error del 1% para el 95% de los valores de la muestra, dándose esta circunstancia en celdas de 10 km de lado y celdillas de 50 m (*vid. figura 2*).

En lo que se refiere a los resultados del índice de fragmentación se observa que las mayores variaciones están influenciadas por la resolución espacial, mientras que el tamaño de la celda no introduce modificaciones sustanciales. La *tabla 4* muestra que cuanto mayor es el tamaño de la celda o de celdilla, mayor es el número de categorías obtenidas con el índice, por tanto, existe una mayor diversidad que permite realizar interpretaciones más precisas. Empleando celdas de 2,5 x 2,5 km y celdillas de 50 m, casi el 70% de la superficie de la provincia presenta fragmentación extrema, mientras que si aumentamos la resolución a 250 metros, este porcentaje se reduce hasta el 3,15%. Se demuestra que la resolución espacial introduce variaciones muy importantes para un mismo tamaño de celda. Sin embargo, al comparar los valores correspondientes a distinto tamaño de celda pero misma resolución, no se producen variaciones tan significativas; por ejemplo, con resoluciones de 50 metros, el 71,43%, el 72,16% y el 69,25% de la superficie provincial presentan una fragmentación extrema para el caso de celdas de 10, 5 y 2,5 km respectivamente.

Estas variaciones en las categorías son producto de los intervalos propuestos por Steenmans y Pinborg (2000) para clasificar el grado de fragmentación de los hábitats (*vid. apartado 2*). La escala de intervalos se ajusta bastante bien a la resolución espacial de 250 metros siempre y cuando se trabaje con celdas grandes. A esta resolución el valor máximo del índice es 128, independientemente del tamaño de la celda, mientras que el valor mínimo es 0,025 para celdas de 25 x 25 km, 0,16 para celdas de 10 x 10, 2,56 para celdas de 2,5 x 2,5, etc. En este caso particular, los intervalos establecidos parecen correctos (si se aumentase el tamaño de las celdas a 50 x 50 km el valor mínimo es 0,006), puesto que se pueden obtener valores para todas las categorías establecidas. Sin embargo, cuando se trabaja con celdas y/o celdillas de

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

menor tamaño, esta escala de intervalos no parece acertada dados los valores máximos y mínimos alcanzables por el índice. Si se utilizan celdas de 2,5 km y celdillas de 50 m, los valores mínimo y máximo son 64 y 80.000 respectivamente, por lo que todos los valores estarían solamente en las dos últimas categorías de fragmentación (fuerte y extrema). La [tabla 5](#) muestra como el valor máximo depende exclusivamente de la resolución espacial, mientras el valor mínimo varía en función de los dos factores de entrada.

Por otra parte, los resultados obtenidos en el análisis de correlación de Pearson indican que los mayores coeficientes se dan entre las muestras obtenidas a 50 y 100 m de resolución frente a las de 250 m. Las diferencias en la correlación están condicionadas por el número de categorías obtenidas al utilizar los distintos tamaños de celdillas. En el caso de 50 y 100 m suele coincidir, mientras que al trabajar con celdillas de 250 el número de categorías se incrementa. La menor correlación entre 50-250 y 100-250 metros no debe inducirnos a pensar que el índice no es aplicable a resoluciones de 50 y 100 m, pues el coeficiente de correlación se mantiene elevado, aunque se constata la necesidad de reducir el tamaño de la celda si se reduce la resolución espacial. Por tanto, se plantea un problema que no está relacionado con el comportamiento del índice sino con la asignación de los valores a los intervalos, lo que tiene consecuencias en la representación cartográfica.

Basándonos en estas afirmaciones se puede concluir que, si bien cabe la posibilidad de aplicar el índice de fragmentación a escalas grandes, como puede ser a nivel comarcal y municipal, para que sea válida la escala ordinal y de intervalos propuesta por Steenmans y Pinborg (2000), se debe tener en cuenta el valor máximo y mínimo que puede alcanzar el índice en cada caso concreto, que como se ha demostrado depende del tamaño de celda y celdilla seleccionadas. Por esta razón, una propiedad fundamental que el índice no cumple reside en que los resultados puedan ser comparables entre distintas resoluciones espaciales y celdas de cálculo, de tal manera que siempre se pueda utilizar el mismo criterio a la hora de interpretar la información cuantitativa y las representaciones gráficas. Por tanto, pensamos que la mejor manera de terminar el artículo es proponiendo la normalización del índice de fragmentación para que todas las series de datos, independientemente del factor de escala, se ajusten perfectamente a un mismo rango de valores. La normalización soluciona el problema de la relación entre categoría e intervalo, de tal manera que las horquillas pueden permanecer invariables y así no depender de los valores máximos y mínimos. La fórmula comúnmente empleada para la normalización de datos en un rango de 0 a 1 es la que se muestra a continuación:

$$V_n = (V_i - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min})$$

siendo V_i el valor sin normalizar, mientras que V_{\max} y V_{\min} son el valor máximo y el valor mínimo de la serie respectivamente.

Para la normalización del índice de fragmentación se ha optado por realizar un reescalado de los valores en un rango de 0 a 100. La elección de estos valores no es arbitraria, lo que se pretende es que la nueva escala ordinal y de intervalos se ajuste lo máximo posible a la propuesta inicialmente por Steenmans y Pinborg (2000). Así, el índice de fragmentación normalizado (IF_n) queda de la siguiente manera:

$$IF_n = ((IF - m) \cdot 100) / (M - m)$$

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G. (2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

siendo *IF* el índice de fragmentación según Steenmans y Pinborg (2000), *M* el valor máximo y *m* el valor mínimo que adopta el índice dependiendo de los tamaños de celda y de celdilla empleados (*vid. tabla 5*).

Los resultados del índice de fragmentación normalizado (*IF_n*) se interpretan teniendo en cuenta una escala ordinal y de intervalos que clasifica los valores en cinco categorías:

- Mínima: < 0,01
- Poca: [0,01-0,1[
- Moderada: [0,1-1[
- Fuerte: [1-10[
- Extrema: [10-100]

Un primer aspecto que plantea la normalización es que los valores no pueden ser inferiores a 0 ni superiores a 100. Para acomodar este rango a la escala de intervalos hay que eliminar el que asume valores superiores a 100, lo que implica pasar de seis a cinco categorías. Hay que reconocer que en una leyenda sin normalizar este valor carece de validez, ya que, es muy sensible a factores de escala, por ejemplo, trabajando con una resolución espacial de 100 metros el valor máximo es de 5.000 y con celdillas de 50 metros asciende a 80.000. Esto no implica que desaparezca la categoría “extrema” pues es significativa de una situación que en espacios antropizados se da con una relativa frecuencia, en cambio, sí que se ha considerado apropiado eliminar la categoría denominada “media” por no ajustarse con una situación de fragmentación, podríamos decir, intermedia, mucho menos cuando se dispone de la categoría “moderada”. Los valores normalizados perfilan mejor las diferencias entre hábitats fuerte y extremadamente fragmentados, así como de los que se englobarían dentro de la categoría “mínima”, aunque para ser rigurosos habría que decir que esta categoría más bien se ajusta a una situación de no fragmentación. Precisamente, la normalización también mejora la representatividad de esta primera categoría, pues con el índice sólo se obtienen valores inferiores a 0,01 si se emplean celdas y de celdillas de gran tamaño, caso de 50 km y 250 m respectivamente. Los valores normalizados evitan que se extreme la fragmentación conforme se reduce el tamaño de la celdilla, por lo que los mapas se ajustan más fehacientemente a la realidad (*vid. figura 5 y figura 6*). En definitiva, el análisis de la sensibilidad a factores de escala del índice de fragmentación nos lleva a reconocer que su aplicación es factible a distintas resoluciones y con distintos tamaños de celda, pero se produce un desajuste entre los valores y su categorización, por lo que es necesaria una normalización que permita disponer de una escala ordinal y de intervalos estándar y válida para todas las situaciones.

Referencias bibliográficas

- Ariza, F.J. (2002): “Calidad de la producción cartográfica”, Madrid, Ra-Ma. Bosque, J (2000): *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, Rialp.
- COM (2006): “Commission staff working document. Annex to the Communication from the commission to the Council and European Parliament. 2005”, *Environment policy Review*. Comisión Europea, Bruselas.
- Gómez, M. y Barredo, J.I. (2005): *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, Ra-Ma.

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

Gurrutxaga, M. (2004): *Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad: nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial*. Vitoria, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

Steenmans, C. y U. Pinborg (2000): "Anthropogenic fragmentation of potential semi-natural and natural areas", en Comisión Europea (Ed.): *From Land Cover to Landscape Diversity in the European Union*. Luxemburgo, Office for Official Publications of the European Communities. Disponible en <http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/landscape/ch5.htm>

Tobler, W. R. (2000): "The Development of Analytical Cartography: A Personal Note", en *Special Content Issue on The Nature of Analytical Cartography, Cartography and Geographic Information Science*, vol. 27, no. 3, pp. 189-194.

Troche, C. (2001): *Análisis del cambio de Cobertura y fragmentación del hábitat en el Municipio de Independencia-Una propuesta metodológica simple para la identificación de áreas prioritarias de investigación biológica*. Cochabamba (Bolivia), Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS) – Universidad Mayor de San Simón.

Turner, G., O'Neill, R.V., Gardner, R.H. y Milne, B.T. (1989): "Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern", en *Landscape Ecology*, vol 3, nos.3/4, pp. 153-162.

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

TABLAS

Tabla 1. Nomenclatura de los usos del suelo del CLC por niveles y categoría considerada en el índice de fragmentación (S: Sensible; NS: No sensible).

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	CAT.
Superficies artificiales	Zonas urbanas	Tejido urbano continuo Tejido urbano discontinuo	NS NS
	Zonas industriales, comerciales y de transportes	Zonas industriales o comerciales Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados Zonas portuarias Aeropuertos	NS NS NS NS
	Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	Zonas de extracción minera Escombreras y vertederos Zonas en construcción	NS NS NS
	Zonas verdes artificiales	Zonas verdes urbanas Instalaciones deportivas y recreativas	NS NS
Zonas agrícolas	Tierras de labor	Tierras de labor en secano Terrenos regados permanentemente Arrozales	NS NS NS
	Cultivos permanentes	Viñedos Frutales Olivares	NS NS NS
	Prados y praderas	Prados y praderas	NS
	Zonas agrícolas heterogéneas	Cultivos anuales y cultivos permanentes Mosaico de cultivos Terrenos agrícolas con vegetación natural Sistemas agroforestales	NS NS NS NS
Zonas forestales	Bosques	Bosques de frondosas Bosques de coníferas Bosque mixto	S S S
	Espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea	Pastizales naturales Landas y matorrales mesófilos Matorrales esclerófilos Matorrales boscosos de transición	S S S S
	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	Playas, dunas y arenales Roquedo Espacios con vegetación escasa Zonas quemadas Glaciares y nieves permanentes	S S S S S
Zonas húmedas	Zonas húmedas continentales	Humedales y zonas pantanosas Turberas y prados turbosos	S S
	Zonas húmedas litorales	Marismas Salinas Zonas llanas intermareales	S S S
Superficies de agua	Aguas continentales	Cursos de agua Láminas de agua Lagunas costera	NS NS NS
	Aguas marinas	Estuarios Mares y océanos	NS NS

Fuente: Steenmans y Pinborg (2000).

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

Tabla 2. Error superficial en la provincia de Alicante.

CELDA:		10 km			5 km			2,5 km		
CELDILLA:		50 m	100 m	250 m	50 m	100 m	250 m	50 m	100 m	250 m
PERCENTIL	99	3,72E-02	1,85E-01	5,23E-01	5,44E-02	1,45E-01	3,90E-01	1,03E-01	2,13E-01	5,22E-01
	97,5	1,34E-02	1,28E-01	2,92E-01	3,08E-02	5,44E-02	2,61E-01	4,66E-02	1,36E-01	3,38E-01
	95	1,04E-02	5,33E-02	6,92E-02	1,45E-02	3,73E-02	1,16E-01	3,01E-02	7,59E-02	2,41E-01
	90	4,37E-03	1,54E-02	3,46E-02	8,75E-03	2,16E-02	7,48E-02	1,75E-02	4,44E-02	1,48E-01
	80	2,51E-03	6,18E-03	2,27E-02	4,41E-03	1,15E-02	4,30E-02	8,71E-03	2,33E-02	7,78E-02
	70	1,67E-03	4,65E-03	1,55E-02	3,06E-03	8,12E-03	2,82E-02	5,51E-03	1,42E-02	5,35E-02
	60	1,00E-03	2,61E-03	1,36E-02	2,15E-03	5,05E-03	2,10E-02	3,86E-03	1,00E-02	3,65E-02
	50	7,41E-04	2,23E-03	1,12E-02	1,39E-03	3,92E-03	1,57E-02	2,71E-03	7,10E-03	2,75E-02
	40	5,35E-04	1,87E-03	6,94E-03	9,98E-04	2,76E-03	1,19E-02	1,94E-03	5,09E-03	2,06E-02
	30	3,76E-04	8,35E-04	5,29E-03	7,35E-04	2,04E-03	8,47E-03	1,26E-03	3,35E-03	1,42E-02
	20	2,38E-04	5,73E-04	3,08E-03	4,87E-04	1,29E-03	6,04E-03	7,58E-04	2,00E-03	8,46E-03
10	1,17E-04	3,86E-04	8,48E-04	1,79E-04	6,49E-04	2,59E-03	3,49E-04	8,86E-04	3,59E-03	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Análisis de correlación de Pearson.

CELDA:	10 km		5 km		2,5 km	
CELDILLAS	r	R ²	r	R ²	r	R ²
100-250 m	0,903	81,54%	0,889	78,97%	0,832	69,14%
100-50 m	0,990	98,10%	0,942	88,72%	0,926	85,74%
250-50 m	0,889	79,06%	0,801	64,90%	0,813	66,17%

Fuente: Elaboración propia.

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): *Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente*, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

Tabla 4. Superficie provincial (%) clasificada según la escala ordinal propuesta por Steenmans y Pinborg (2000).

CELDA	CELDILLA	EXTREMA	FUERTE	MODERADA	MEDIA	NO APLICABLE
10 km	50 m	71,43	23,81	1,19	0	3,57
	100 m	52,38	39,29	4,76	0	3,57
	250 m	1,19	39,29	53,57	2,38	3,57
5 km	50 m	72,16	18,56	0	0	9,28
	100 m	37,46	50,52	2,75	0	9,28
	250 m	1,37	45,02	39,52	4,81	9,28
2,5 km	50 m	69,25	10,51	0	0	20,25
	100 m	43,36	36,39	0	0	20,25
	250 m	3,15	45,27	31,33	0	20,25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Valores máximos y mínimos del índice de fragmentación (IF).

CELDA	CELDILLA	MÁXIMO	MÍNIMO
10km	50m	80.000	4,00
	100m	5.000	1,00
	250m	128	0,16
5km	50m	80.000	16,00
	100m	5.000	4,00
	250m	128	0,64
2,5km	50m	80.000	64,00
	100m	5.000	16,00
	250m	128	2,56

Fuente: Elaboración propia.

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

FIGURAS

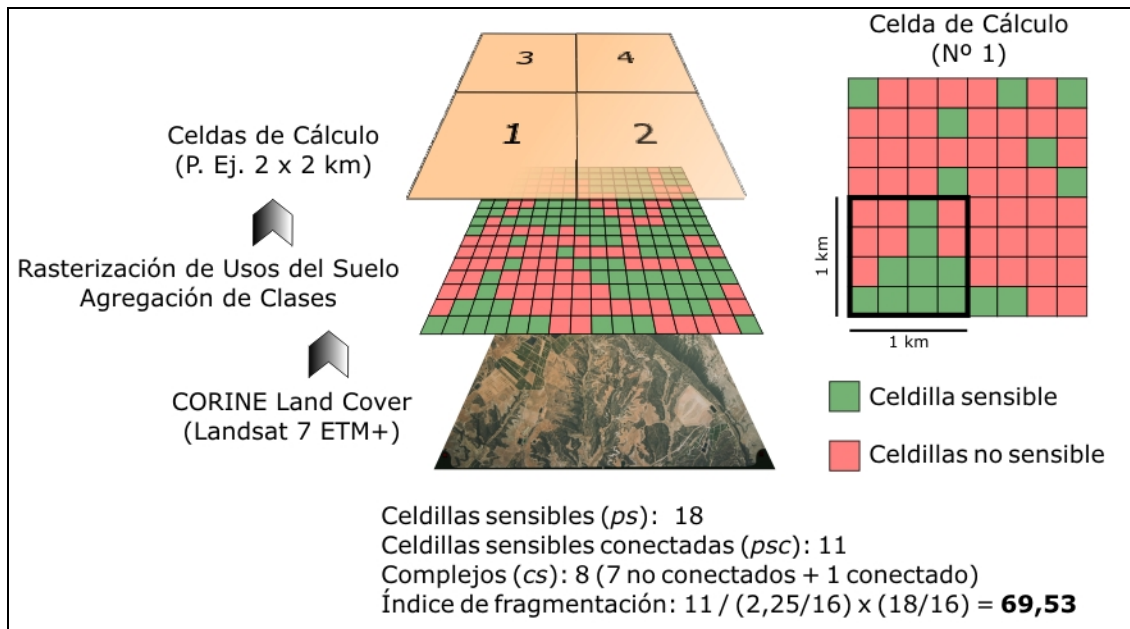


Figura 1. Ejemplo de aplicación del índice de fragmentación a una celda de cálculo de 2 km de lado.

Fuente: Steenmans y Pinborg (2000).

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

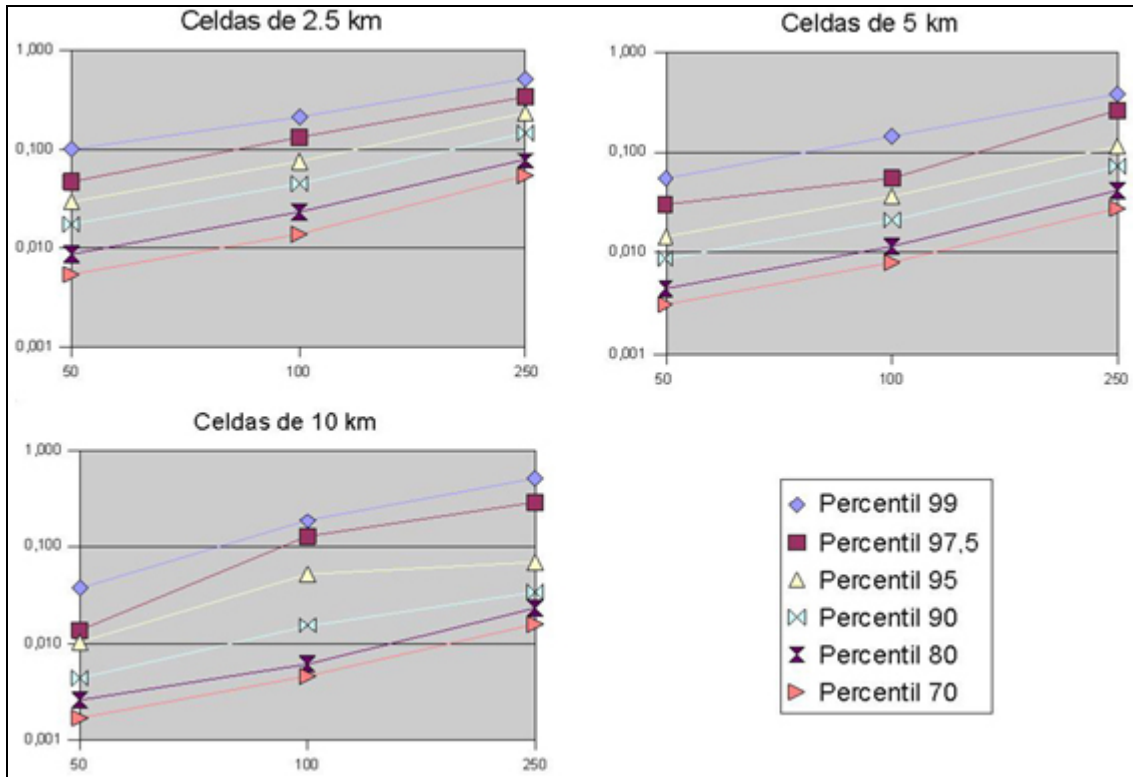


Figura 2. Percentiles de error superficial de los usos del suelo según tamaños de celda y celdilla.

Fuente: Elaboración propia.

Triviño Pérez, A., Vicedo Mestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

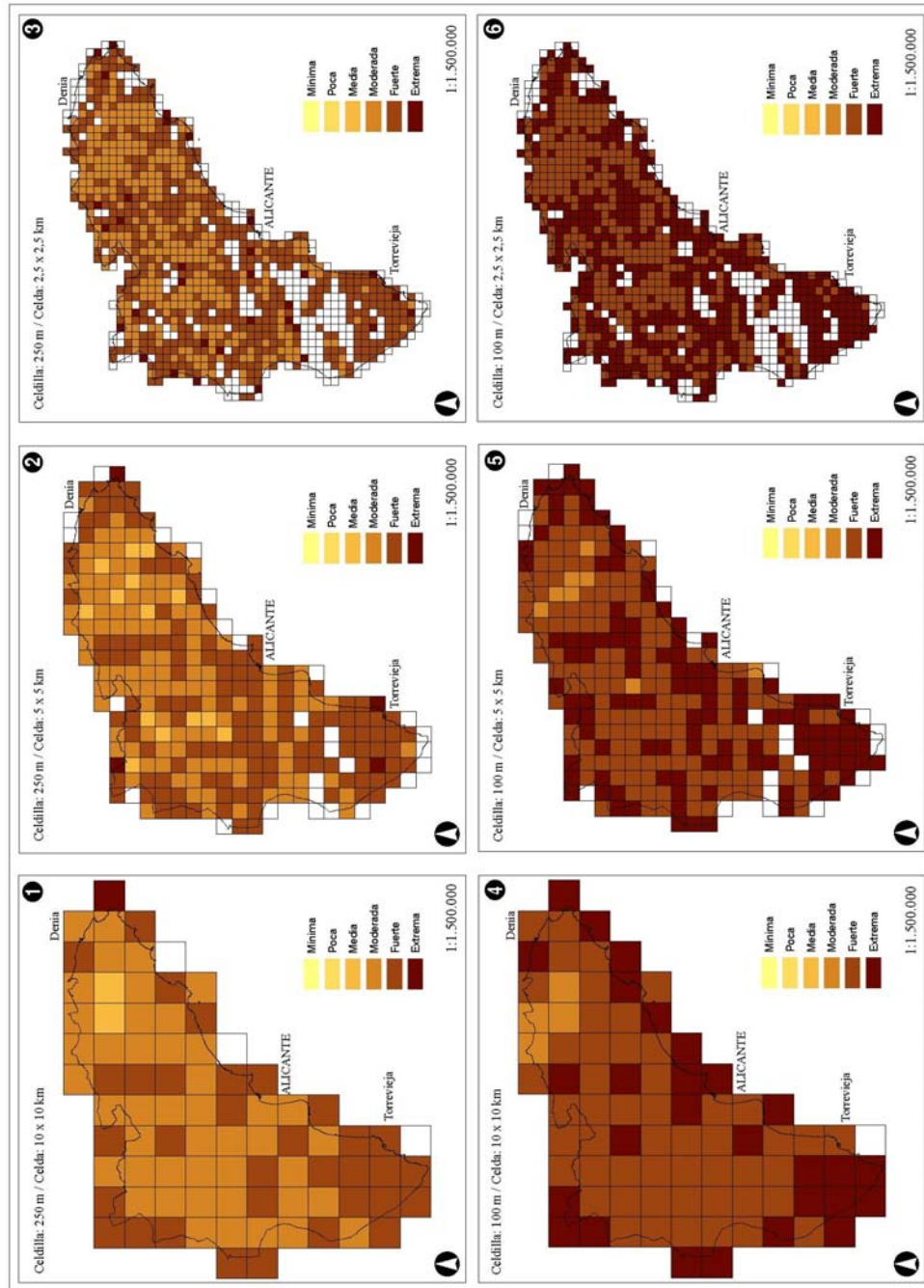


Figura 3. Mapas del índice de fragmentación de la provincia de alicante según tamaños de celda y de celdilla (1-6).

Fuente: Elaboración propia.

Triviño Pérez, A., Vicedo Mestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

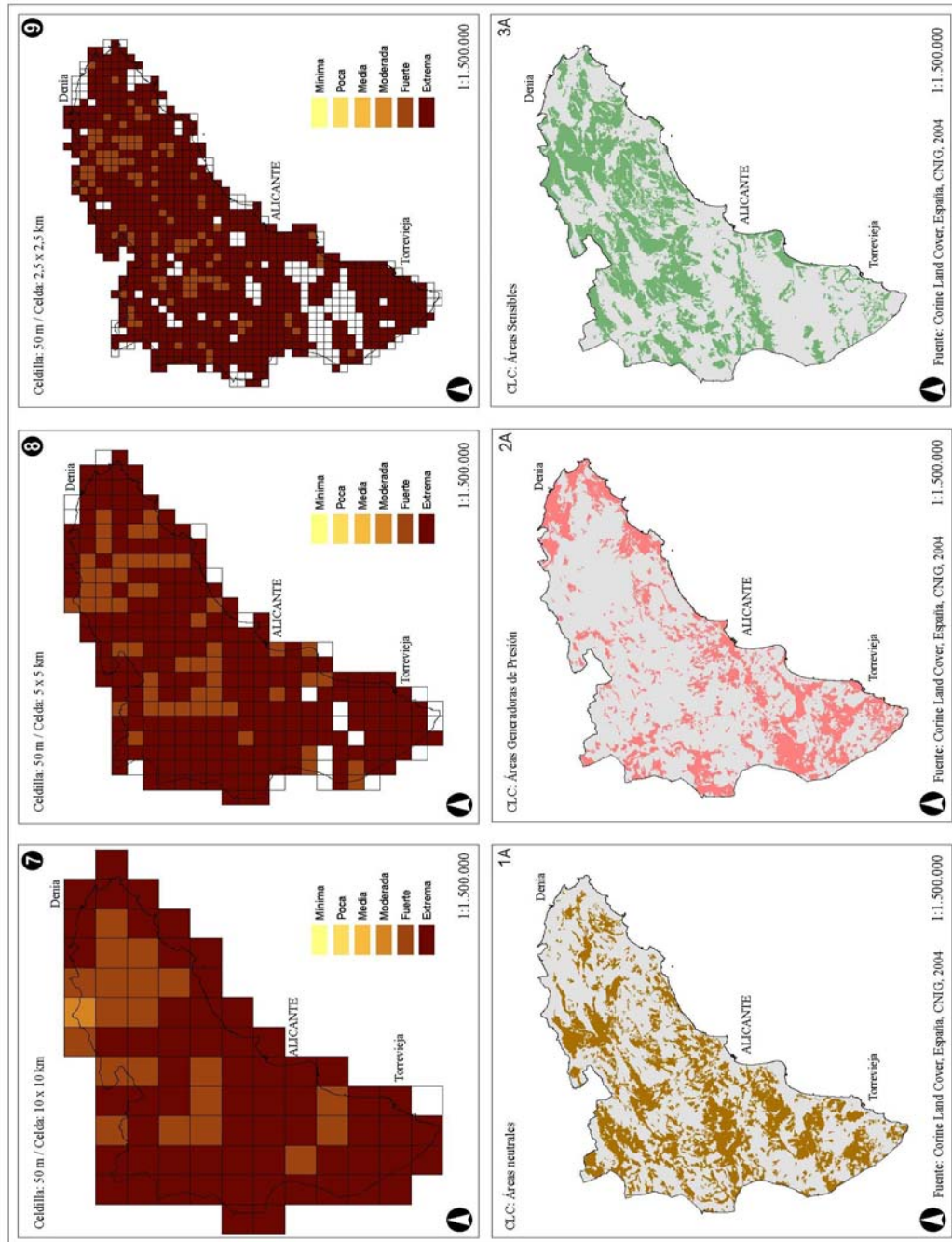


Figura 4. Mapas del índice de fragmentación de la provincia de alicante según tamaños de celda y de celdilla (7-9). Clasificación de los usos del suelo del CLC por categorías (1A-3A)

Fuente: Elaboración propia.

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G. (2007): Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

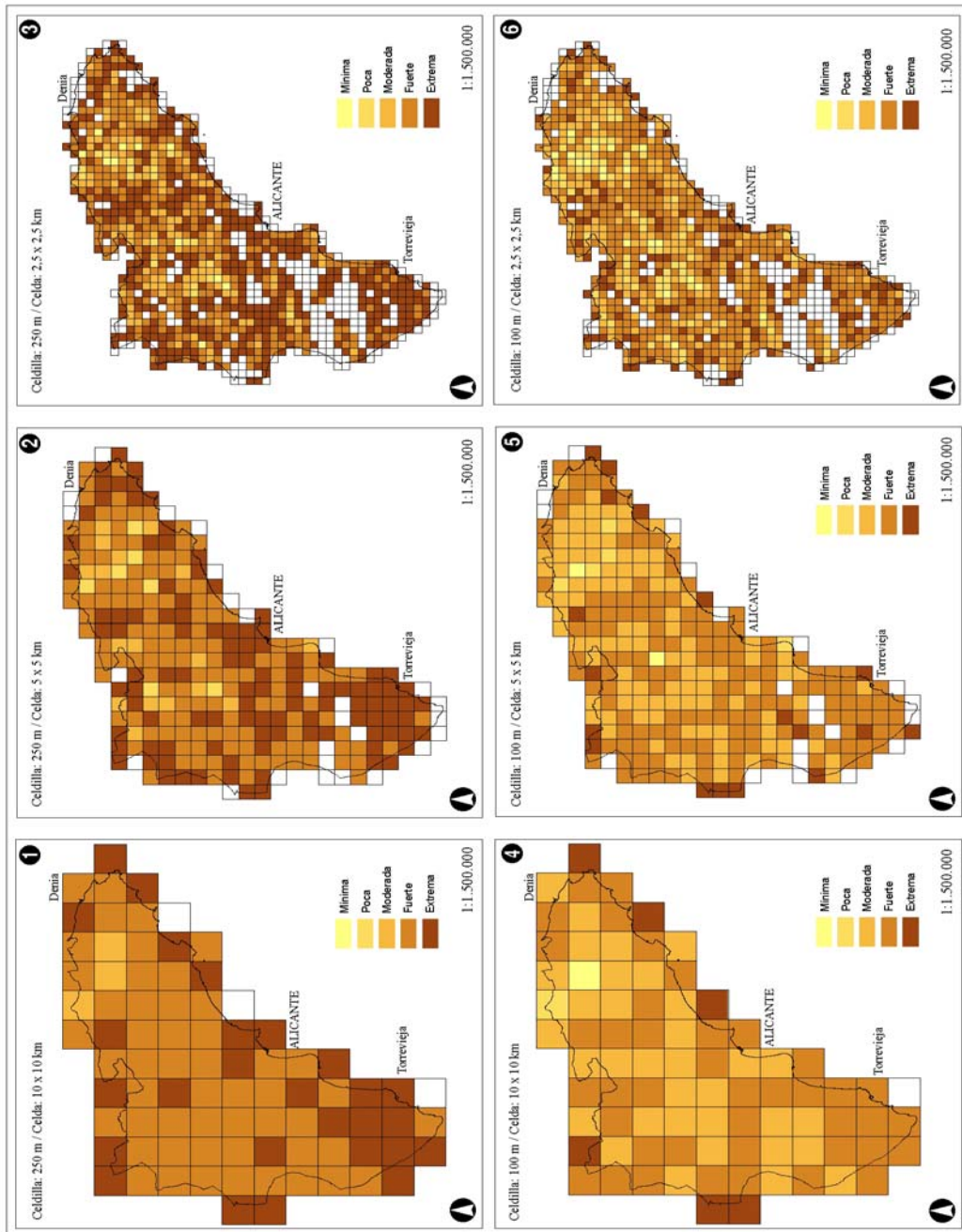


Figura 5. Ejemplo de representación del índice de fragmentación normalizado según tamaños de celda y de celdilla (1-6).

Fuente: Elaboración propia.

Triviño Pérez, A., Vicedo Mestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

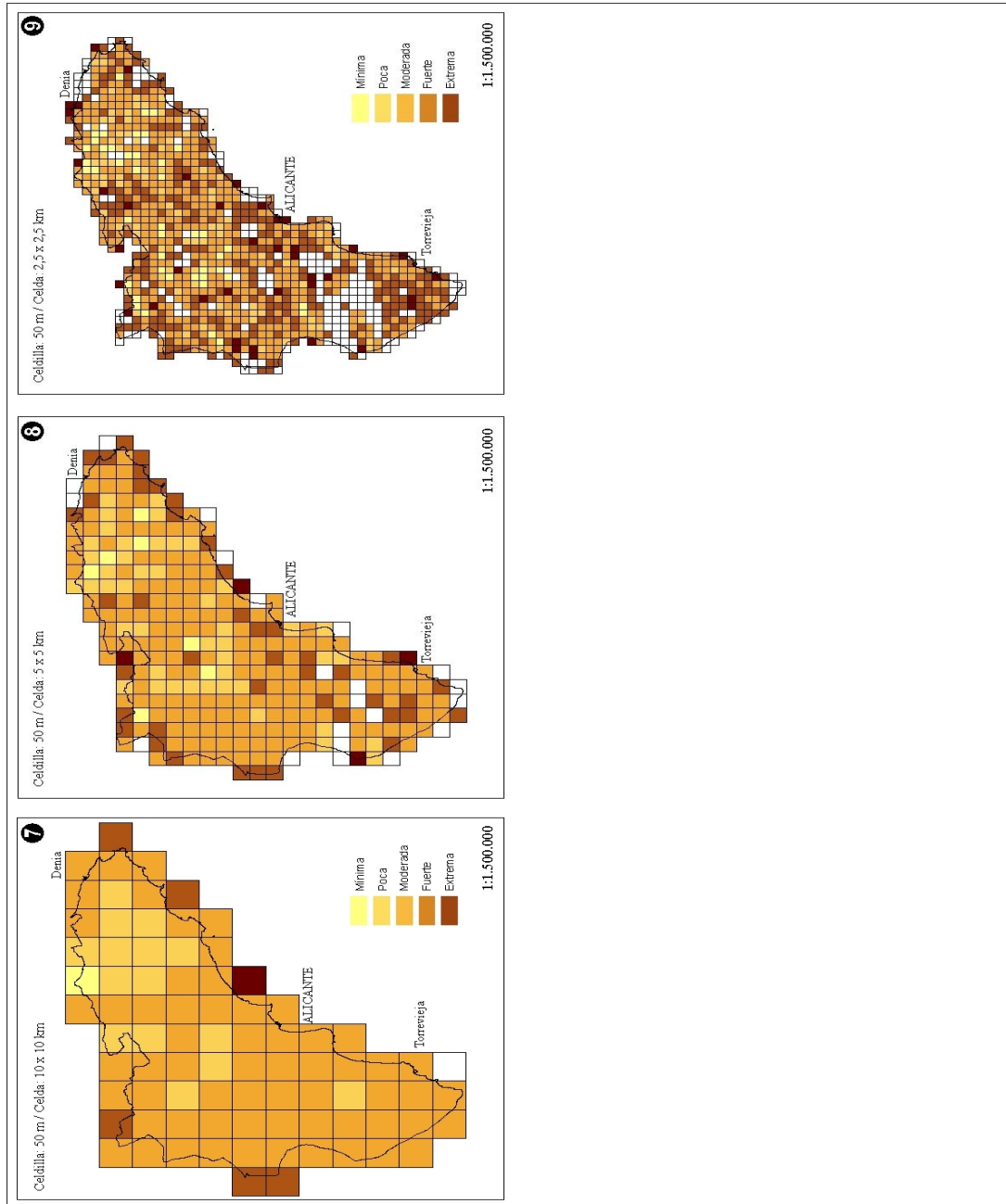


Figura 6. Ejemplo de representación del índice de fragmentación normalizado según tamaños de celda y de celdilla (7-9).

Fuente: Elaboración propia.

Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G.(2007): Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente”, GeoFocus (Artículos), nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157

* Este artículo se inscribe en el Proyecto de Investigación “Sistema de información para la calidad ambiental de redes de drenaje localizadas en LIC’s litorales de la Comunidad Valenciana”, con referencia GV05/195, financiado por la Conselleria de Empresa, Universidad y Ciencia de la Generalitat Valenciana en el marco del Plan Autonómico de I+D.