

POSIBLES MÉTODOS DE DETECCIÓN DE POLÍGONOS SLIVERS EN CARTOGRAFÍA

MIGUEL SÁNCHEZ MARCO

Universidad Politécnica de Valencia / Departamento Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría

JESÚS IRIGOYEN GAZTELUMENDI

Universidad Politécnica de Valencia / Departamento Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría

Resumen

Cada vez es más frecuente utilizar los sistemas de información geográficos en muchos de los ámbitos relacionados con la cartografía, ordenamiento o gestión del territorio; así como obtener cartografía oficial de los servicios e infraestructuras de datos espaciales.

Un usuario avanzado puede necesitar de operaciones de geoprocésado de información para obtener datos relevantes para su proyecto a partir de capas de información procedente de cartografía oficial. Es aquí cuando se puede detectar la aparición de pequeños polígonos en los bordes de los polígonos originales llamados polígonos slivers. Los polígonos slivers son áreas que aparecen en los bordes de otros polígonos fruto de una digitalización defectuosa o de superposiciones geográficas de capas de información con contornos de polígonos no coincidentes. Esto es especialmente importante cuando se superponen cartografías procedentes de diversos organismos y a diversas escalas.

Los polígonos slivers son un problema en las bases de datos geográficas no solo en la presentación gráfica de los mapas sino en los resultados numéricos obtenidos. Las soluciones a los polígonos slivers están en, por una parte, procurar no crearlos con correctas digitalizaciones o bien, por otra parte, eliminarlos una vez estos polígonos se han creado. El problema principal de eliminar slivers una vez creados es poder detectarlos. Los polígonos slivers pueden adoptar formas muy variadas y aunque en la mayoría de ocasiones son polígonos pequeños también pueden ocupar una gran superficie.

En este trabajo se plantean diversas soluciones para detectar polígonos slivers en bases de datos cartográficas vectoriales. Algunas de las soluciones son adimensionales, es decir independientes de la escala de representación mientras que otras dependen de las unidades y precisiones generales de las bases de datos.

Palabras-clave: SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICOS, POLIGONOS SLIVERS, INDICES DE FORMAS, ÁREA, PERIMETRO

1. INTRODUCCIÓN

Los polígonos slivers (polígonos astillas) son unas áreas que se generan a lo largo de los contornos de los polígonos cuando existen varios trazados no coincidentes. Por tanto, se trata de polígonos no reales que se generan por la superposición de polígonos que tendrían que ser coincidentes y no lo son. Estos polígonos no deberían aparecer en nuestra representación (Siri & Hadi 2010, 476-483).

Los polígonos slivers tienen formas muy variadas y pueden haber sido formados por diversos motivos. Se puede decir que generalmente, los polígonos slivers presentan las siguientes características:

- a) El área suele ser pequeña sobre todo con respecto a sus vecinos.
- b) Suelen presentar ángulos muy agudos.
- c) Los polígonos slivers suelen estar compuestos únicamente por dos arcos mientras que esto no es habitual en el resto de polígonos.
- d) Los slivers suelen presentar cuatro arcos en un nodo mientras que lo normal en otros polígonos es tres.
- e) Correlación espacial. Un sliver suele tener polígonos slivers conectados y suelen hacerlo en ángulos agudos.
- f) Alternancia de atributos.
- g) Suelen tener gran elongación (relación ancho / largo).
- h) Presentan mucho perímetro frente al área que generan.

La aparición de estos polígonos producen que el usuario disponga de una cartografía con polígonos falsos y por tanto con errores. Por lo tanto es necesario que cualquier cartografía esté libre de estos polígonos erróneos.

Son muchos los métodos que se pueden utilizar como aproximación para caracterizar a los polígonos slivers.

2. POSIBLES MÉTODOS PARA DETECTAR POLÍGONOS SLIVERS

Existen muchos métodos que pueden usarse para detectar polígonos slivers una vez estos han sido generados. Algunos de los métodos que se analizarán son específicos para la detección de slivers mientras que otros son de carácter más general, pero pueden ser utilizados también en este tema. Atendiendo a los diversos métodos que se utilizarán, se podría hacer una clasificación de los mismos:

- Métodos basados en la configuración espacial de los polígonos slivers.
- Métodos basados en los atributos alfanuméricos de los polígonos.
- Métodos basados en estudio de la forma.

2.1. MÉTODOS BASADOS EN LA CONFIGURACIÓN ESPACIAL DE LOS POLÍGONOS SLIVERS

Estos métodos buscan detectar los polígonos que cumplen con alguna de las características de los polígonos slivers. Se dividen en los que analizan los ángulos, nodos y arcos de los polígonos slivers y los métodos que estudian el área.

2.1.1. Métodos basados en los ángulos, nodos y arcos

El método siguiente distingue un polígono sliver de uno que no lo es atendiendo a las distintas características geométricas que pueden presentar los polígonos slivers. No todos los polígonos slivers presentan ángulos pequeños, ni una gran correlación con otros slivers, ni

dos nodos, etc. No obstante no suele ser frecuente encontrar polígonos no slivers con esas características. Por tanto estas características deben tomarse más que como pruebas, como sospechas de que sí es un polígono sliver. El método que se propone en este apartado cuenta el número de características que tiene un polígono. Cuantas más características tenga, más probabilidad hay que se trate de un polígono sliver.

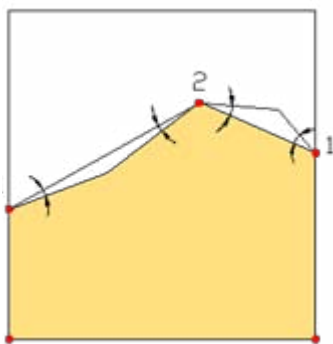


Fig.1. Puntuación en los nodos

En primer lugar se fija un ángulo pequeño a modo de tolerancia, seguidamente se analizan los nodos de todos los polígonos. En ellos mediremos los ángulos de los arcos que confluyen. Si un ángulo es menor de la tolerancia fijada, se considerara que ese nodo puede pertenecer a un sliver. Cuantos más ángulos agudos posea el nodo, más probable es que pertenezca a un polígono sliver. No obstante nuestro método otorga 1 punto por cada ángulo agudo con un máximo de 2 puntos. (ver figura 1)

En segundo lugar se analizan todos los polígonos contando el número de nodos que tienen. Si un polígono tiene dos nodos y por tanto dos arcos, se le otorga un punto. Finalmente se suman a esta cifra la puntuación que tiene cada uno de sus nodos hasta un total máximo de 5. De este modo se valora que un polígono posea nodos que puedan ser a su vez de otros polígonos slivers. Para que la imagen de valores entre $[0, 1]$ se divide todo entre 5. En la siguiente figura se muestra la puntuación que obtendrían los siguientes polígonos siendo esta de $4/5$. (ver figura 2)

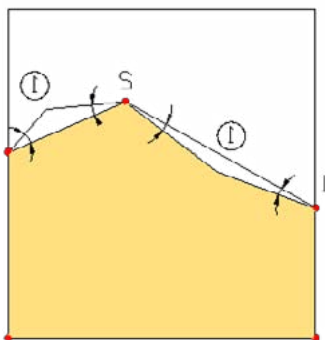


Fig.2. Puntuación polígonos

Un polígono no sliver obtendría una puntuación de 0 mientras que un polígono con dos arcos y dos nodos en los que hay dos ángulos agudos obtendría una puntuación de 1.

El problema es el de fijar la tolerancia del ángulo. Se ha probado con ángulos menores de 0.5σ , 1σ y 2σ . Es difícil encontrar un polígono no sliver con un ángulo inferior a esos valores. En el caso de encontrar alguno es muy probable que deba ser revisado o editado. El segundo problema es que existen polígonos slivers que tienen ángulos similares a los polígonos no slivers, más de dos nodos o más arcos. Con ellos este método no funciona. El tercer problema es que este método funciona mejor cuando se ha efectuado sobre la base de datos una edición topológica de modo que se han eliminado previamente los seudonodos o nodos en los que solo conectan dos arcos.

2.1.2. Métodos basados en el área

Muchos autores asumen que los polígonos slivers son pequeños. Por tanto, para detectarlos basta con hacer una consulta a la base de datos buscando los polígonos cuya área sea menor a un valor fijado. Este método tiene la ventaja de su sencillez y rapidez y puede funcionar en muchas bases de datos pero presenta varios problemas. En primer lugar ese valor es dependiente de la escala o de la base de datos sobre la que actuamos y obliga al usuario a conocer bien los datos de partida. El segundo problema es que, como se ha dicho antes, existen polígonos slivers cuya área es tan grande como otros polígonos no slivers y por tanto este método no podría distinguirlos.

Se plantea aquí otra posibilidad que se basa en que los polígonos slivers suelen tener un área pequeña con respecto a la de sus vecinos. En este caso se entiende como vecino de un polígono sliver aquel que comparte uno de sus arcos. Por tanto, no se considera vecino de

un sliver aquel polígono que comparte solo un nodo. Ya se ha visto antes que los slivers suelen compartir nodos pero suele ser muy poco frecuente que dos slivers compartan un arco. Basándonos en esta característica se puede enunciar el siguiente índice:

$$M = \frac{A}{A_l}$$

Donde A es el área del polígono analizado y A_l es el área del vecino más pequeño. Este índice tiene como imagen $(0, \infty)$. Un polígono sliver tendrá un valor próximo a cero, mientras que cuanto más alejado de cero esté el índice, menor sliver será.

Este índice presenta varios problemas: en primer lugar es posible que en casos concretos existan polígonos no slivers que presenten valores similares a polígonos slivers. Esto puede darse cuando el polígono no slivers presenta poca superficie y su vecino sea grande. Este puede ser el caso de acequias, canales, ríos o cortafuegos. Por otro lado, este índice es fácil de aplicar cuando la base de datos tiene una estructura topológica arco-nodo.

2.2. MÉTODOS BASADOS EN LOS ATRIBUTOS ALFANUMÉRICOS DE LOS POLÍGONOS

Un método de detección de polígonos slivers puede aplicarse cuando los atributos alfanuméricos han sido introducidos manualmente. Generalmente los polígonos slivers suelen quedarse sin atributos alfanuméricos. Una consulta rápida buscando los polígonos que no tienen atributos nos llevaría a los polígonos slivers o a polígonos a los que todavía no se han introducido atributos.

Por otro lado, teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, existen casos en los que los polígonos slivers se presentan conectados formando cadenas y con alternancia de atributos. Es relativamente fácil buscar estas cadenas de polígonos siendo aquellos que no comparten ningún lado sino únicamente nodos. Después sería necesario analizar la secuencia de atributos. Tal como se ha dicho anteriormente este método es difícil de generalizar a todos los casos ya que la combinación de atributos puede ser grande.

2.3. MÉTODOS BASADOS EN EL ESTUDIO DE LA FORMA

A lo largo de los siglos, muchos autores han tratado de cuantificar la forma de las figuras o cuerpos. Quizás los primeros más importantes fuesen Eratóstenes que trató de cuantificar las dimensiones de la tierra o Leonardo da Vinci. Pero es en el último siglo cuando la cuantificación de la forma ha sido más desarrollada con la aparición de muchos índices de forma.

La forma es una característica fundamental que interesa en muchos campos de la ciencia. En las últimas décadas se ha estudiado la forma de los cuerpos y objetos en geografía (Stoddart 1965, 369-383; Sajjadur 1972, 104-108; Frolov 1975, 676-687) en geología y petrología, (Barret 1980, 291-303), en gestión del territorio (Bachi 1973, 121-131), en matemáticas (Clark 1982, 303.-320) etc.

Según (MacEachren 1985, 53-67) existen dos grandes aproximaciones en el estudio de la forma. Por un lado los estudios que buscan únicamente la forma de los objetos y compararlo con otra formas (Bunge 1962, 210; Moellering & Rayner 1981, 64-67). Por otro lado aquellos autores que se han interesado por aspectos individuales de la forma (elongación, disección, compactibilidad identificación de bordes, sinuosidad de elementos lineales, simetría de redes, etc.).

La proliferación de un número tan grande de índices de forma se debe a que es imposible definir completamente una forma con un simple índice como lo demuestra (Lee & Salle 1970,55-563). Sin embargo, sí es posible cuantificar alguno de los aspectos de la forma (elongación, compactación). Tal como dice Blott y Pye (Blott & Pye 2008, 31-63), y tal como hace

Krumbein (Krumbein 1941, 64-72) es posible utilizar índices de forma para describir, comparar y cuantificar características simples de las formas. En este sentido, los índices de forma pueden servir perfectamente para detectar polígonos slivers.

Para analizar los diversos métodos de medir las formas en este trabajo solo se utilizara los índices de forma obtenidos con el uso del perímetro y el área, ya que uno de estos índices se recogen en la norma ISO 19138 para la caracterización de los polígonos slivers.

2.3.1. Índices de forma obtenidos con el uso del perímetro P y el área A

En esta sección se incluye a todos los índices que utilizan de un modo u otro el perímetro P y el área A de la figura en cuestión. Dentro de esta sección se podrá diferenciar diversos grupos de índices. El primero de ellos parte de la fórmula generalizada siguiente:

$$K \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde K es una constante que varía con los autores.

El primer índice fue propuesto por Ritter en 1852 (Ritter 1852), en lo que posteriormente se llamó Ritterian coefficient. Ritter uso $K=1$. No obstante este índice tiene la desventaja fundamental de que no es adimensional, es decir, sus valores varían para la misma figura en función de la escala de representación.

El segundo de los grupos de índices adopta la forma de las siguientes fórmulas generales:

$$K \frac{\sqrt{A}}{P}$$

Y la de su inversa

$$\frac{1}{K} \frac{P}{\sqrt{A}}$$

La primera de las fórmulas generales fue propuesta por Nagel en 1835 (Nagel 1835), que utilizó un índice que consistía en el cociente del perímetro de un círculo P_c de igual área que la figura en estudio por el perímetro de la figura. Desarrollando la fórmula llegamos al índice:

$$I_1 = \frac{P_c}{P} = \frac{2\sqrt{\pi A}}{p}$$

$$\text{En donde } K = \frac{1}{2\sqrt{\pi}}$$

Este índice fue presentado por Wadell en 1933 (Wadell 1933, 310-331) con el nombre de razón de circularidad. En 1927 Cox (Cox 1927, 179-183) utiliza el mismo e elevado al cuadrado al igual que Miller en 1953 (Miller 1953).

$$I_2 = \frac{4\pi A}{p^2}$$

En todos estos casos la imagen de la función es de (0, 1] donde el 0 corresponde a una recta con perímetro pero sin área mientras que el 1 corresponde al círculo. Sin embargo otros autores han utilizado también la fórmula elevada al cuadrado pero con $K=4$ y $K=2$ obteniendo:

$$I_3 = \frac{16A}{p^2}$$

y

$$I_4 = \frac{4A}{p^2}$$

El primero tiene como imagen $(0, 4/\pi]$ donde 0 corresponde a una recta, $4/\pi$ corresponde al círculo y 1 para el cuadrado. La segunda fórmula tiene como imagen $(0, 1/\pi]$ donde el cuadrado tiene un valor de $I_4 = 1/4$. Una variante de la segunda fórmula es la siguiente:

$$I_5 = \frac{4A}{lP}$$

Donde l corresponde a la anchura máxima de la figura. Este índice tiene como imagen $(0, 1]$, siendo 0 la recta y 1 el círculo. El cuadrado tiene un valor de $1/\sqrt{2}$.

La segunda de las fórmulas generales se denomina generalización de Nagel (Nagel 1835). Esta fórmula ha sido muy utilizada en la medida de lagos. Bothe en 1863 utiliza esta fórmula con $K=1$, y Steinhauser con $K=1/4$ (Frolov 1975, 676-687).

$$I_6 = \frac{P}{\sqrt{A}}$$

y

$$I_7 = \frac{P}{4\sqrt{A}}$$

La imagen para Bothe es $[2\sqrt{\pi}, \infty)$ donde $2\sqrt{\pi}$ corresponde al círculo, ∞ corresponde a la recta y 4 al cuadrado. La imagen para Steinhauser (Frolov 1975, 676-687) es $[\sqrt{\pi}, \infty)$ correspondiendo 1 al cuadrado. Janoo en 1998 (Janoo 1998) utiliza la fórmula de Bothe elevada al cuadrado.

Blanco y García en 1997 (Blanco & Garcia 1997, 35-47) y (Comber et al 2003, 207-215) y utilizan la generalización de Nagel (Nagel 1835) con $K = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$ que supone la inversa de la fórmula de Nagel:

$$I_8 = \frac{1}{I_1} = \frac{100P}{200\sqrt{\pi A}} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

La fórmula de Nagel cuenta con una familia de variantes procedentes de elevarla al cuadrado. Si nuevamente $K = \frac{1}{2\sqrt{\pi}}$ aparece la inversa de Cox (Cox 1927, 179-183)

$$I_9 = I_8^2 = \frac{p^2}{4\pi A}$$

Tanto I_8 como I_9 tienen como imagen $[1, \infty)$ donde 1 corresponde al círculo e ∞ a la línea. También se ha utilizado I_8 multiplicada por 100 de modo que la imagen pasa a ser $[100, \infty)$.

En donde el cuadrado vale 1, la recta vale ∞ y un número complejo para aquellas figuras que cumplan $P^2 < 16A$ como por ejemplo el círculo.

De todas las fórmulas vistas en este apartado el índice de (I_2) es el índice que contempla la norma ISO19138. Los polígonos slivers son el caso opuesto al círculo. Para un perímetro dado, el polígono sliver genera un área muy pequeña mientras que el círculo maximiza el área para ese perímetro.

Las desventajas de estas fórmulas son las siguientes. Austin dice (Austin 1984) que las fórmulas de este grupo presentan gran sensibilidad a irregularidades, es decir a las pequeñas irregularidades del contorno. Un contorno muy irregular nos dará mucho perímetro sin apenas aportar más superficie al polígono. A esto se denomina "fjord effect" o indentación.

Por otro lado, existen polígonos slivers que son más compactos y por tanto son más difíciles de detectar con estos índices.

3. APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES A DISTINTAS FORMAS DE POLÍGONOS

3.1. ISO 19138 MEDIDAS DE CALIDAD DE LOS DATOS

Esta norma nos proporciona dos parámetros de control para la caracterización de los polígonos slivers, el primer parámetro es el tamaño máximo del área del sliver y el segundo de los parámetros corresponde a la proporción de estrechez que es la razón de circularidad.

$$T = \frac{4\pi A}{p^2}$$

A=área, P= perímetro, T=1 el valor corresponde al círculo,

T=0 el valor corresponde a una línea







La proporción de estrechez es independiente del tamaño del polígono y cuanto más cerca esté el valor a 0 más delgado debe de ser el polígono.







La razón de circularidad expresada en esta norma es la misma que el índice I_2

3.2 APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE FORMA A DISTINTOS TIPOS DE POLÍGONOS CARACTERÍSTICOS

Para aplicar los índices se ha optado por una serie de polígonos característicos, los cuales tienen formas geométricas y dimensiones lineales variadas.

El primero de estos polígonos tiene una forma alargada además es bastante estrecho con respecto a su longitud. El segundo polígono es muy pequeño y tiene forma triangular. El tercer polígono tipo es muy estrecho y alargado. El cuarto y quinto polígono tienen características similares en cuanto al área y el perímetro. Por último tenemos un polígono que tiene islas. Con los datos de los polígonos se ha obtenido los valores numéricos correspondientes a cada índice.

						
Área	156727m ²	2.74m ²	58.89m ²	3632m ²	3632m ²	219555m ²
Perímetro	8447.85m	7.74m	2729m	635.31m	635.31m	20646m
I	2752m	3.29m	1364m	305.8m	188.70m	15604m

INDICES						
I ₁	0.166	0.758	0.00996	0.3363	0.3363	0.08045
I ₂	0.0275	0.574	0.00009	0.1131	0.1131	0.00647
I ₃	0.0351	0.7317	0.00012	0.1440	0.1440	0.00824
I ₄	0.00878	0.1829	0.00003	0.0360	0.0360	0.00206
I ₅	0.02696	0.4304	0.00006	0.0747	0.1212	0.00272
I ₆	21.3398	4.6759	355.617	10.54	10.54	44.062
I ₇	5.3347	1.1689	88.9043	2.635	2.635	11.0155
I ₈	6.0816	1.3118	100.274	2.9723	2.9723	12.425
I ₉	36.235	1.7387	10056.8	8.8345	8.8345	154.496

Los índices I_1, I_2, I_5 , los cuales tienen como imagen valores de $(0, 1]$ donde 0 corresponde en el límite a una recta con perímetro pero sin área, mientras que 1 corresponderá al círculo. Conforme los índices tengan valores más cercanos a 0, indicaría que la relación entre el área y el perímetro será menor, un ejemplo sería el caso de un polígono cercano a una recta.

Para los polígonos que tengan mucho perímetro con respecto al área, los valores obtenidos tienden a 0 como es el caso del tercer polígono, en los tres índices. El cuarto de los polígonos y el quinto tienen el mismo perímetro y área y nos dan el mismo.

El primero de los polígonos al ser muy alargado con respecto al área también nos da valores cercanos al cero, siendo el mejor de ellos el índice I_5 . El segundo de los polígonos corresponde a un polígono con forma triangular y por lo tanto debería dar un valor cercano a 1 como es el caso del índice I_1 con un valor de 0,758, bastante cercano al 1. Por último tenemos el sexto de los polígonos el cual es un polígono que tiene islas, siendo bastante compacto, para este tipo de polígonos el valor obtenido debería aproximarse a 1 pero con estos índices estamos más próximos a 0 que a 1, esto es debido a que tiene mucho perímetro ya que a su perímetro además se le suma el perímetro de las islas y se quita el valor de las áreas.

Para los índices I_3, I_4 ocurre lo mismo que con los anteriores, para el tercer polígono se observa que tiende a 0 puesto que es un polígono muy alargado y estrecho, casi una recta. El segundo polígono debido a su forma compacta tiende a tomar valores cercanos a $4/\pi$ y a $1/\pi$, no ocurre lo mismo en el último polígono, aunque sea compacto, ya que se obtiene unos valores muy cercanos a cero. Los índices I_6 e I_7 la imagen de la primera de las fórmulas $[2\sqrt{\pi}, \infty)$ donde $2\sqrt{\pi}$ corresponde al círculo e ∞ a la recta. En la segunda la imagen es $[\sqrt{\pi}, \infty)$ siendo $\sqrt{\pi}$ para el círculo e ∞ para la recta. Se observa que el valor de la primera fórmula más parecido a $2\sqrt{\pi}$ es el del polígono con forma triangular, esto es debido a su forma es compacta. Los polígonos cuarto y quinto tienen los mismos valores, puesto que tienen el mismo perímetro y la misma área. El más alto de los valores se encuentra en el polígono tercero que es el más parecido a una recta.

Los índices I_8 y I_9 los cuales tienen una imagen de $[1, \infty)$ donde el 1 corresponde al círculo e ∞ a la línea. Para estos índices el valor más cercano a 1 es el correspondiente al segundo polígono, y el más alto se encuentra en el tercero de los polígonos, en el índice I_9 , con una diferencia de valores con los demás polígonos, e incluso con el índice I_8 bastante grande.

Todas las fórmulas anteriores dependen mucho de las irregularidades del contorno del polígono, con más irregularidades mayor perímetro y poco aumento del área.

4. CONCLUSIONES







En el apartado anterior se han sometido diversos índices a una serie de polígonos usuales. La respuesta de cada uno de los índices a cada polígono es diferente, como cabía de esperar. No obstante, como se ha visto, existen casos particulares de polígonos en los cuales los índices arrojan valores un tanto inesperados.

A continuación se presentan las tablas resumen del estudio de los seis polígonos característicos determinados del apartado anterior. Donde se indica para cada índice el grado de resultado obtenido. Este grado se ha dividido en tres partes, con la leyenda siguiente: B (bien el índice) NR (no recomendable) y M (mal el índice). Cuando decimos que un índice es bueno (B) para una forma particular de polígono, es debido a que el índice detecta con su valor numérico la forma (alargada, redondeada, etc.) que tiene el polígono.

Si un índice nos dice con su valor numérico y dentro de su imagen de valores, que el polígono es alargado cuando en realidad no lo es, calificamos ese índice para un polígono como malo (M).

Por último, si el índice da un valor intermedio dentro de su imagen que no nos permite decantarnos por ninguna forma en concreto calificamos al índice para esa forma de polígono como no recomendable (NR).

Para los índices de forma obtenidos con el uso del perímetro y del área la tabla obtenida es la siguiente

INDICES						
I ₁	B	B	B	B	B	M
I ₂	B	NR	B	B	B	M
I ₅	B	M	B	B	B	M
I ₃	B	B	B	B	B	M
I ₄	B	NR	B	B	B	M
I ₆	B	B	B	B	B	M
I ₇	B	B	B	NR	NR	M
I ₈	NR	B	B	M	M	M
I ₉	B	B	B	NR	NR	M

Lo primero que llama la atención es que no se encuentra ningún índice que obtenga valores esperados y razonables para todos los polígonos mostrados.

Todos los índices presentan una calificación M en alguno de los polígonos, curiosamente, el tipo de polígonos que más calificaciones de M obtiene es el último, el polígono con islas en su interior. Este tipo de polígono tiene unas dimensiones considerables, tanto de ancho como de alto, su forma es más bien redondeada pero su área se ve reducida debido a las islas que tienen en su interior. No obstante, su perímetro aumenta considerablemente ya que debe computarse el perímetro exterior así como el perímetro de las islas de su interior. Esta particularidad hace que este tipo de polígonos haya arrojado valores extraños en prácticamente todos los índices. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el propósito es ver si se puede usar alguno de estos índices para detectar polígonos slivers. Los polígonos slivers no suelen presentar polígonos con islas en su interior por lo que se podría utilizar esta característica para diferenciar slivers de no slivers sin utilizar ningún índice.

Por tanto, si apartamos el último de los polígonos y nos centramos en los cinco primeros, se puede ver que hay una serie de índices que funcionan de forma razonable en todos los polígonos sometidos a ellos. Tales son los casos de I₁, I₃, I₆,

Referencias

- Bachi, R. 1973. "Geostatistical Analysis of Territories". In *Bulletin: International Statistical Institute* (Proceedings of the 39 th Session) volume 45.
- Barret, P. J. 1980. *The shape of rocks particles, a critical review. Sedimentology*, 27, pages 291-303.
- Blanco, L. A., & Garcia, G. J. 1997. "A study of habitat fragmentation in Southeastern Brazil using remote sensing and geographic information systems (GIS)". *Forest Ecology and Management*, 98(1).
- Blott, S. J., & Pye, K. 2008. "Particle shape: a review and new methods of characterization and classification". *Sedimentology*, 55(1), pages 31-63. Obtenido de <http://www.blackwell-synergy.com/doi/abs/10.1111/j.1365-3091.2007.00892.x>
- Bunge, W. 1962. "Theoretical Geography". En *Lund Studies in Geography* (págs. 1-210). Lund: C. W. K. Gleerup Publishers.
- Clark, M. W. 1981. "Quantitative shape analysis: A review". *Mathematical Geology*, 13(4), 303-320. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1007/BF01031516>
- Comber, A. J., Birnie, R. V., & Hodgson, M. 2003. "A retrospective analysis of land cover change using a polygon shape index". *Global Ecology and Biogeography*, 12(3), 207-215. Obtenido de <http://www.blackwell-synergy.com/links/doi/10.1046/j.1466-822X.2003.00028.x>

- Cox, E. A. 1927. "A method for assigning numerical and percentage values to the degree of roundness of sand grains". *Journal of Paleontology*, 1, 179-183.
- Frolov, Y. S. 1975. "Measuring shape of geographical phenomena: A history of the issue". *Soviet geography: Review and Translation*, 16(10), 676-687. Obtenido de http://sfxadc.bib.upv.es:3210/sfx_local?sid=metalib%3AISL_W_OS_XML;id=doi%3A;genre=; isbn=;issn=0038-5417;date=1975;volume=16;issue=10;spage=676;epage=687
- Krumbein, W. C. 1941. "Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles". *Journal of Sedimentary Petrology*, 11, 64-72.
- Lee, D. R., & Sallee, G. T. 1970. "A Method of Measuring Shape". *Geographical Review*, 60(4), 555-563. Obtenido de <http://www.jstor.org/pss/213774>
- MacEachren, A. M. 1985. "Compactness of Geographic Shape: Comparison and evaluation of Measures". *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*, 67(1), 53-67
- Moellering, H., & Rayner, J. N. 1981. "The Harmonic Analysis of Spatial Shapes Using Dual Axis Fourier Shape Analysis (DAFSA)". *Geographical Analysis*, 13, 64-77.
- Nagel. 1835. "On coastal development of continents". *Annal. von Berghaus*, 12.
- Ritter, C. 1852. *Die Erdkunde im Verhältniss zur Natur und Geschichte des Menschen, oder allgemeine vergleichende Geographie*. 2d edition Part I Book 1.
- Sajjadur, K. B. 1972. "An Examination of shapes of administrative districts of Bangladesh". *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*, B 54(2), 104-108. Obtenido de <http://www.jstor.org/pss/490896>
- Siri, S., & Hadi, H. 2010. *International Journal of the Physical Sciences* Vol.5(59), pp.476-483.
- Stoddart, D. R. 1965. "The shape of atolls". *Marine Geology*, 3(5), 369-383
- Wadell, H. 1933. "Sphericity and roundness of rock particles". *Journal of Geology*, 41, 310-331