

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CARTOGRÁFICA,  
GEODESIA Y FOTOGRAMETRÍA**



**ANÁLISIS DE POSIBLES MÉTODOS DE  
DETECCIÓN DE POLÍGONOS SLIVER EN  
CARTOGRAFÍA VECTORIAL  
PROPUESTA DE UN MÉTODO ALTERNATIVO**

**TESIS DOCTORAL**

**AUTOR:**

**MIGUEL SÁNCHEZ MARCO**

**DIRECTOR:**

**DR. D. JESUS IRIGOYEN GAZTELUMENDI**

**VALENCIA OCTUBRE 2014**



## Resumen

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.

Los polígonos slivers son un problema en las bases de datos geográficas no solo en la presentación grafica 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.

En muchas ocasiones es difícil evitar la creación de polígonos slivers, especialmente en la superposición geográfica de capas de distintas procedencias o escalas. Por tanto es frecuente que tengamos que intentar eliminar los slivers una vez creados.

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 esta tesis se analizan y valoran los métodos clásicos de caracterización de polígonos slivers que vienen descritos en la norma ISO 19138.

Del mismo modo se plantean y analizan otros posibles métodos para detectar polígonos slivers como los numerosos índices de forma.

Finalmente se propone un método alternativo (Máximo Circulo Inscrito) a un polígono como método para detectar polígonos slivers. Se somete este método a diversa cartografía oficial y se valora su mejora con respecto a los demás métodos

## Summary

Sliver polygons are areas that appear in edges of other polygons due to a wrong compilation or when overlapping of layers with polygons with no matching edges is done.

Sliver polygons are a significant problem in the geographic databases not only in the map presentation but in the numerical results obtained.

The solutions of this problem are, on the one hand, not create them by means right compilation or, on the other hand, eliminate them once they have been created.

In many cases is very difficult to avoid creating them, especially when we overlap layers from different sources or scales. Therefore we often need to eliminate them once they have been created.

The main problem when we try to eliminate created slivers is to locate them. Sliver polygons can have different shapes and although in most cases they are small they can also be large.

In this thesis, traditional methods for sliver characterization described in ISO19138 are analysed and evaluated.

Besides, other possible methods for locating sliver polygons are analysed such as shape indexes.

Finally, a different method is proposed (maximum inscribed circle to a polygon) as a method to locate sliver polygons. This method has been used with official cartography and the improvement from other methods is shown.

## Resum

Els polígons slivers són àrees que apareixen en els límits d'altres polígons fruit d'una digitalització defectuosa o de superposicions geogràfiques de capes d'informació amb contornades de polígons no coincidents.

Els polígons slivers són un problema en les bases de dades geogràfiques no sols en la presentació gràfica dels mapes, sinó en els resultats numèrics obtinguts.

Les solucions als polígons slivers estan en, per una part, procurar no crear-los amb correctes digitalitzacions o bé, per altra part, eliminar-los una vegada aquests polígons s'han creat.

En moltes ocasions és difícil evitar la creació de polígons slivers, especialment en la superposició geogràfica de capes de distintes procedències o escales. Per tant és freqüent que haguem d'intentar eliminar els slivers una vegada creats.

El problema principal d'eliminar slivers una vegada creats és poder detectar-los. Els polígons slivers poden adoptar formes molt variades i tot i que en la majoria de les ocasions són polígons petits també poden ocupar una gran superfície.

En aquesta tesi s'analitzen i valoren els mètodes clàssics de caracterització de polígons slivers que venen descrits en la norma ISO 19138.

De la mateixa forma es plantegen i analitzen altres possibles mètodes per detectar polígons slivers com els nombrosos índex de forma.

Finalment es proposa un mètode alternatiu (Màxim Cercle Inscrit) a un polígon com a mètode per detectar polígons slivers. Se sotmet aquest mètode a diversa cartografia oficial i es valora la seua millora respecte als altres mètodes.



# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 QUE SON LOS POLÍGONOS SLIVERS.....	1
1.2 GENERACIÓN DE POLÍGONOS SLIVERS.....	1
1.3 COMO EVITAR LOS POLÍGONOS SLIVERS .....	2
1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS POLÍGONOS SLIVERS .....	5
<b>2. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA.....</b>	<b>11</b>
2.1 OBJETIVO.....	11
2.2 ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	13
<b>3. CARTOGRAFÍA Y SIG .....</b>	<b>15</b>
3.1 INTRODUCCIÓN.....	15
3.1.1 <i>Ventajas e inconvenientes de los SIG</i> .....	18
3.1.1.1 Ventajas.....	18
3.1.1.2 Inconvenientes .....	18
3.2 FORMATOS VECTORIALES Y RÁSTER.....	19
3.2.1 <i>Ventajas e inconvenientes de los modelos ráster y vectorial</i> .....	23
3.2.1.1 Ventajas modelo Ráster .....	23
3.2.1.2 Inconvenientes modelo Ráster .....	23
3.2.1.3 Ventajas modelo Vectorial .....	23
3.2.1.4 Inconvenientes modelo Vectorial.....	23
3.3 REGLAS TOPOLÓGICAS. ....	23
<b>4. ANTECEDENTES Y VALORACIÓN .....</b>	<b>25</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	25
4.2 POSIBLES MÉTODOS PARA DETECTAR SLIVER .....	26
4.2.1 <i>Métodos basados en la configuración espacial de los polígonos slivers</i> .....	26
4.2.1.1 Métodos basados en los ángulos, nodos y arcos.....	26
4.2.1.2 Métodos basados en el área .....	28
4.2.2 <i>Métodos basados en los atributos alfanuméricos de los polígonos</i> .....	29
4.2.3 <i>Métodos basados en el estudio de la forma</i> .....	30
4.2.3.1 Índices de forma obtenidos con el uso del perímetro P y el área A. ....	32
4.2.3.2 Índices de forma derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área. ....	36
4.2.3.3 Índices de forma derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos.....	39
4.2.3.4 Índices de forma derivados del contorno tangencial. ....	42
4.2.3.5 Índices de forma derivados de los vectores radiales de una figura. ....	44
4.2.3.6 Índices de forma derivados de la distancia de un elemento particular de la figura al contorno. ....	45

4.2.3.7	Índice de forma derivado de las relaciones cuantitativas en los polígonos inscritos .....	45
4.2.3.8	Índice de forma derivado de la distancia de elementos de la figura desde su centro .....	46
4.2.3.9	Estudios de la forma basados en Análisis de Fourier.....	47
4.2.3.10	Estudio de formas derivadas de la comparación directa con otras formas.....	49
4.3	APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES MÁS RELEVANTES A DISTINTAS FORMAS DE POLÍGONOS.....	51
4.3.1	<i>Índices de forma obtenidos con el uso del perímetro y del área .....</i>	<i>56</i>
4.3.2	<i>Índices de forma derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área .....</i>	<i>59</i>
4.3.3	<i>Índices de forma derivados de la dimensiones de círculos inscritos y circunscritos .....</i>	<i>61</i>
4.4	CONCLUSIONES DE LA APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES ANTERIORES.....	64
<b>5.</b>	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA SOBRE EXACTITUD POSICIONAL .....</b>	<b>69</b>
5.1	EXACTITUD POSICIONAL .....	69
5.1.1	<i>Fuentes de inexactitud posicional.....</i>	<i>69</i>
5.2	EXACTITUD POSICIONAL A DISTINTAS ESCALAS.....	70
5.3	NORMAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD CARTOGRÁFICA .....	71
<b>6.</b>	<b>APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES RC Y ÁREA A CARTOGRAFÍA A DISTINTAS ESCALAS.75</b>	
6.1	CARTOGRAFÍA UTILIZADA.....	75
6.2	GENERACIÓN DE MAPAS CON POLÍGONOS SLIVERS .....	77
6.2.1	<i>Desplazamientos de mapas originales.....</i>	<i>78</i>
6.2.2	<i>Tolerancias empleadas en los desplazamientos .....</i>	<i>78</i>
6.2.3	<i>Generación y clasificación de los polígonos en slivers y no slivers .....</i>	<i>79</i>
6.3	OBTENCIÓN DE DATOS .....	79
6.3.1	<i>Obtención de histogramas de frecuencia .....</i>	<i>81</i>
6.3.1.1	Intervalos de clase utilizados en los histogramas de frecuencia .....	81
6.3.1.2	Histogramas de frecuencia individuales a escala 1/5000 .....	82
6.3.1.2.1	Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/5000 .....	82
6.3.1.2.2	Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers.1/5000 .....	84
6.3.1.3	Histogramas de frecuencia individuales a escala 1/10000 .....	86
6.3.1.3.1	Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/10000 .....	86
6.3.1.3.2	Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/10000 .....	88
6.3.1.4	Histogramas de frecuencia individuales a escala 1/25000 .....	89
6.3.1.4.1	Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/25000 .....	89
6.3.1.4.2	Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/25000 .....	91
6.3.1.5	Histogramas de frecuencia individuales a escala 1/50000 .....	93
6.3.1.5.1	Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/50000 .....	93
6.3.1.5.2	Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/50000 .....	95
6.3.2	<i>Obtención de histogramas de los polígonos slivers y no sliver .....</i>	<i>97</i>
6.3.2.1	Histograma total a escala 1/5000.....	97
6.3.2.2	Histograma total a escala 1/10000.....	99
6.3.2.3	Histograma total a escala 1/25000.....	100
6.3.2.4	Histograma total a escala 1/50000.....	101
6.3.3	<i>Análisis de los histogramas obtenidos y su valoración .....</i>	<i>103</i>
6.3.3.1	Resultados a escala 1/5000. ....	106

6.3.3.2	Resultados a escala 1/10000 .....	107
6.3.3.3	Resultados a escala 1/25000 .....	108
6.3.3.4	Resultados a escala 1/50000 .....	109
6.3.4	<i>Casos que presentan dificultades en la diferenciación de polígonos.</i> .....	110
6.3.4.1	Figuras a escala 1/5000 .....	111
6.3.4.2	Figuras a escala 1/10000 .....	118
6.3.4.3	Figuras a escala 1/25000 .....	124
6.3.4.4	Figuras a escala 1/50000 .....	133
<b>7.</b>	<b>PROPUESTA MÉTODO ALTERNATIVO .....</b>	<b>143</b>
7.1	ALGORITMOS MÁXIMO CÍRCULO INSCRITO A UN POLÍGONO CUALQUIERA .....	143
7.1.1	<i>El problema del máximo círculo inscrito</i> .....	143
7.1.1.1	Algoritmos Vectoriales .....	144
7.1.1.1.1	Para polígonos convexos. Limitaciones .....	145
7.1.1.1.2	Para cualquier polígono. Limitaciones .....	147
7.1.1.2	Algoritmos ráster .....	150
7.2	PROCEDIMIENTO UTILIZADO .....	153
7.3	MÉTODO PROPUESTO .....	157
7.3.1	<i>Aplicación del método a distintas formas de polígonos</i> .....	158
7.3.2	<i>Aplicación del índice DIST a cartografía a distintas escalas.</i> .....	162
7.3.3	<i>Intervalos de clase utilizados en los histogramas de frecuencia</i> .....	162
7.3.3.1	Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/5000 .....	162
7.3.3.2	Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/5000 .....	164
7.3.3.3	Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/10000 .....	165
7.3.3.4	Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/10000 .....	166
7.3.3.5	Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/25000 .....	167
7.3.3.6	Histograma de frecuencia para polígonos no slivers. 1/25000.....	168
7.3.3.7	Histograma de frecuencia para polígonos slivers. 1/50000.....	169
7.3.3.8	Histograma de frecuencia para polígonos no slivers. 1/50000.....	170
7.3.4	<i>Histograma de los polígonos slivers y no sliver para el método DIST</i> .....	171
7.3.4.1	Histograma total a escala 1/5000.....	171
7.3.4.2	Histograma total a escala 1/10000.....	172
7.3.4.3	Histograma total a escala 1/25000.....	173
7.3.4.4	Histograma total a escala 1/50000.....	174
7.3.5	<i>Análisis de los histogramas obtenidos y su valoración</i> .....	176
7.3.5.1	Resultados a escala 1/5000. ....	176
7.3.5.2	Resultados a escala 1/10000 .....	176
7.3.5.3	Resultados a escala 1/25000 .....	177
7.3.5.4	Resultados a escala 1/50000 .....	177
7.3.6	<i>Aplicación del método propuesto a polígonos que presentaban dificultades en la diferenciación con los métodos RC y AREA.</i> .....	178
7.3.6.1	Figuras a escala 1/5000 .....	178
7.3.6.2	Figuras a escala 1/10000 .....	180
7.3.6.3	Figuras a escala 1/25000 .....	182
7.3.6.4	Figuras a escala 1/50000 .....	184
<b>8.</b>	<b>COMPROBACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO .....</b>	<b>187</b>
8.1	INTRODUCCIÓN .....	187
8.2	CARTOGRAFÍA OFICIAL UTILIZADA.....	187

8.3	DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO .....	189
8.3.1	<i>Descarga de la cartografía a escala 1/25000</i> .....	189
8.3.2	<i>Unión de la cartografía a escala 1/25000</i> .....	190
8.3.3	<i>Extracción de la información a escala 1/25000</i> .....	191
8.3.4	<i>Análisis</i> .....	193
8.3.5	<i>Descarga de la cartografía a escala 1/50000</i> .....	196
8.3.6	<i>Unión de la cartografía a escala 1/50000</i> .....	198
8.3.7	<i>Extracción de la información a escala 1/50000</i> .....	199
8.3.8	<i>Análisis</i> .....	203
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>207</b>
9.1	LINEAS FUTURAS.....	210
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>213</b>
<b>APENDICE I</b>	.....	<b>221</b>
<b>APENDICE II</b>	.....	<b>228</b>

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b>	<i>Nomenclatura fórmulas empleadas .....</i>	<i>52</i>
<b>Tabla 2.</b>	<i>Datos obtenidos del polígono con forma alargada.....</i>	<i>53</i>
<b>Tabla 3.</b>	<i>Datos obtenidos del polígono con forma triangular.....</i>	<i>54</i>
<b>Tabla 4.</b>	<i>Datos obtenidos del polígono con forma estrecha y alargada .....</i>	<i>54</i>
<b>Tabla 5.</b>	<i>Datos obtenidos del polígono con forma estrecha y alargada .....</i>	<i>55</i>
<b>Tabla 6.</b>	<i>Datos obtenidos del polígono estrecho y retorcido .....</i>	<i>56</i>
<b>Tabla 7.</b>	<i>Datos obtenidos del polígono con islas.....</i>	<i>56</i>
<b>Tabla 8.</b>	<i>Datos obtenidos para el cálculo de las formas por el uso del perímetro y del área. Para valores de <math>(0, 1]</math> .....</i>	<i>57</i>
<b>Tabla 9.</b>	<i>Datos obtenidos para el cálculo de las formas por el uso del perímetro y del área. Para valores de <math>(0, 4/\pi]</math> y <math>(0, 1/\pi]</math> .....</i>	<i>58</i>
<b>Tabla 10.</b>	<i>Datos obtenidos para el cálculo de las formas por el uso del perímetro y del área. Para valores de <math>[2\pi, \infty)</math> y <math>[\pi^2, \infty)</math>.....</i>	<i>58</i>
<b>Tabla 11.</b>	<i>Datos obtenidos para el cálculo de las formas por el uso del perímetro y del área. Para valores de <math>[1, \infty)</math>.....</i>	<i>59</i>
<b>Tabla 12.</b>	<i>Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área. Para valores de <math>[1, \infty)</math>.....</i>	<i>60</i>
<b>Tabla 13.</b>	<i>Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área. Para valores de <math>(0, 1]</math> .....</i>	<i>60</i>
<b>Tabla 14.</b>	<i>Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área. Para valores de <math>(2, \infty)</math> y <math>(0, \pi/4)</math> .....</i>	<i>61</i>
<b>Tabla 15.</b>	<i>Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos. Para valores de <math>[1, \infty)</math> .....</i>	<i>62</i>
<b>Tabla 16.</b>	<i>Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos. Para valores de <math>(0, 1]</math> .....</i>	<i>63</i>

<b>Tabla 17.</b>	<i>Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos. Para valores de <math>[0, \infty)</math>.....</i>	64
<b>Tabla 18.</b>	<i>Resultados de los índices con el uso del perímetro y del área .....</i>	65
<b>Tabla 19.</b>	<i>Resultados de los índices de las dimensiones lineales y su área .....</i>	66
<b>Tabla 20.</b>	<i>Resultados de los índices derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos .....</i>	66
<b>Tabla 21.</b>	<i>Tolerancias empleadas en los desplazamientos de la cartografía (metros) .....</i>	78
<b>Tabla 22.</b>	Polígonos slivers y no slivers a las distintas escalas empleadas .....	79
<b>Tabla 23.</b>	Datos numéricos slivers. Escala 1/5000.....	84
<b>Tabla 24.</b>	Datos numéricos no slivers. Escala 1/5000.....	85
<b>Tabla 25.</b>	Datos numéricos slivers. Escala 1/10000.....	87
<b>Tabla 26.</b>	Datos numéricos no slivers. Escala 1/10000.....	89
<b>Tabla 27.</b>	Datos numéricos slivers. Escala 1/25000.....	91
<b>Tabla 28.</b>	Datos numéricos no slivers. Escala 1/25000.....	93
<b>Tabla 29.</b>	Datos numéricos slivers. Escala 1/50000.....	95
<b>Tabla 30.</b>	Datos numéricos no slivers. Escala 1/50000.....	96
<b>Tabla 31.</b>	Datos numéricos histogramas RC y AREA a escala 1/5000 .....	98
<b>Tabla 32.</b>	Datos numéricos histogramas RC y AREA a escala 1/10000.....	100
<b>Tabla 33.</b>	Datos numéricos histogramas RC y AREA a escala 1/25000.....	101
<b>Tabla 34.</b>	Datos numéricos histogramas RC y AREA a escala 1/50000.....	103
<b>Tabla 35.</b>	Intervalos de clase para los histogramas de frecuencia. Método DIST.....	162
<b>Tabla 36.</b>	Datos numéricos histogramas. Polígonos sí slivers a escala 1/5000. Método DIST.....	163

<b>Tabla 37.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos no slivers a escala 1/5000.	
Método DIST.....		164
<b>Tabla 38.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos slivers a escala 1/10000.	
Método DIST.....		166
<b>Tabla 39.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos no slivers a escala 1/10000.	
Método DIST.....		167
<b>Tabla 40.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos slivers a escala 1/25000.	
Método DIST.....		168
<b>Tabla 41.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos no slivers a escala 1/25000.	
Método DIST.....		169
<b>Tabla 42.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos slivers a escala 1/50000.	
Método DIST.....		170
<b>Tabla 43.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos no slivers a escala 1/50000.	
Método DIST.....		171
<b>Tabla 44.</b>	Datos numéricos histograma. Método DIST a escala 1/5000.....	172
<b>Tabla 45.</b>	Datos numéricos histograma. Método DIST a escala 1/10000.....	173
<b>Tabla 46.</b>	Datos numéricos histograma. Método DIST a escala 1/25000.....	174
<b>Tabla 47.</b>	Datos numéricos histograma. Método DIST a escala 1/50000.....	176
<b>Tabla 48.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/25000.	
Método DIST.....		191
<b>Tabla 49.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/25000.	
Método RC.....		192
<b>Tabla 50.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/25000.	
Método ÁREA .....		193
<b>Tabla 51.</b>	Datos numéricos histograma DIST a escala 1/25000.....	194
<b>Tabla 52.</b>	Datos numéricos histograma RC a escala 1/25000.....	195
<b>Tabla 53.</b>	Datos numéricos histograma AREA a escala 1/25000.....	196

<b>Tabla 54.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/50000.	
Método DIST .....		201
<b>Tabla 55.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/50000.	
Método RC .....		202
<b>Tabla 56.</b>	Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/50000.	
Método ÁREA.....		203

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b>	Superposición de elementos superficiales: generación de slivers.....	1
<b>Figura 2.</b>	Digitalización : generación de slivers .....	2
<b>Figura 3.</b>	Líneas fuzzy .....	3
<b>Figura 4.</b>	Hueco (gap) sliver formado entre polígonos .....	4
<b>Figura 5.</b>	Generación de slivers.....	6
<b>Figura 6.</b>	Contorno con slivers .....	6
<b>Figura 7.</b>	Detalle de arcos y nodos.....	7
<b>Figura 8.</b>	Alternancia de atributos .....	8
<b>Figura 9.</b>	Alternancia de atributos .....	8
<b>Figura 10.</b>	Errores topológicos y de digitalización en Sistemas de Información Geográfica .....	16
<b>Figura 11.</b>	Modelo raster .....	19
<b>Figura 12.</b>	Modelo vectorial.....	20
<b>Figura 13.</b>	Estructura de datos spaghetti.....	20
<b>Figura 14.</b>	Estructura de diccionario de vértices .....	21
<b>Figura 15.</b>	Estructura arco-nodo.....	22
<b>Figura 16.</b>	Puntuación en los nodos.....	27
<b>Figura 17.</b>	Puntuación polígonos .....	28
<b>Figura 18.</b>	Slivers con la misma área y perímetro pero con distinta longitud .....	38
<b>Figura 19.</b>	Slivers estrecho y pequeño.....	42

<b>Figura 20.</b>	Analisis de Fourier.....	48
<b>Figura 21.</b>	Polígono alargado no sliver.....	53
<b>Figura 22.</b>	Polígono de forma triangular. Sí sliver.....	53
<b>Figura 23.</b>	Polígono muy estrecho y alargado. No sliver .....	54
<b>Figura 24.</b>	Polígono estrecho y alargado. No sliver .....	55
<b>Figura 25.</b>	Polígono estrecho y retorcido. No sliver.....	55
<b>Figura 26.</b>	Polígono con islas. No sliver.....	56
<b>Figura 27.</b>	Hoja escala 1/5000 .....	75
<b>Figura 28.</b>	Hoja escala 1/10000 .....	76
<b>Figura 29.</b>	Hoja escala 1/25000 .....	76
<b>Figura 30.</b>	Hoja escala 1/50000 .....	77
<b>Figura 31.</b>	a-b-c-d. Desplazamientos realizados en la cartografía empleada .....	78
<b>Figura 32.</b>	Polígono no sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.089 .....	112
<b>Figura 33.</b>	Polígono no sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.342 .....	113
<b>Figura 34.</b>	Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.592 .....	113
<b>Figura 35.</b>	Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.714 .....	114
<b>Figura 36.</b>	Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.880 .....	115
<b>Figura 37.</b>	Polígono no sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método del Área. AREA 33.089 m <sup>2</sup> .....	116

<b>Figura 38.</b> Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método del Área. AREA 291.95 m <sup>2</sup> .....	117
<b>Figura 39.</b> Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método del Área. AREA 508.14 m <sup>2</sup> .....	118
<b>Figura 40.</b> Polígono no sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.12 .....	119
<b>Figura 41.</b> Polígono no sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.25 .....	120
<b>Figura 42.</b> Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.739 .....	121
<b>Figura 43.</b> Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.851 .....	122
<b>Figura 44.</b> Polígono no sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método del Área. AREA 89.27 m <sup>2</sup> .....	123
<b>Figura 45.</b> Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método del Área. AREA 1599.59 m <sup>2</sup> .....	123
<b>Figura 46.</b> Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método del Área. AREA 3735.815 m <sup>2</sup> .....	124
<b>Figura 47.</b> Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.325 .....	125
<b>Figura 48.</b> Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.447 .....	126
<b>Figura 49.</b> Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.456 .....	127
<b>Figura 50.</b> Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.474 .....	128
<b>Figura 51.</b> Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.903 .....	129
<b>Figura 52.</b> Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.895 .....	130

<b>Figura 53.</b> Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método del Área. AREA 768.34 m <sup>2</sup> .....	131
<b>Figura 54.</b> Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método del Área. AREA 1435.73 m <sup>2</sup> .....	132
<b>Figura 55.</b> Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método del Área. AREA 1518.76 m <sup>2</sup> .....	133
<b>Figura 56.</b> Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.221 .....	134
<b>Figura 57.</b> Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.269 .....	135
<b>Figura 58.</b> Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.315 .....	136
<b>Figura 59.</b> Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.454 .....	137
<b>Figura 60.</b> Polígono sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.469 .....	138
<b>Figura 61.</b> Polígono sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.819 .....	139
<b>Figura 62.</b> Polígono sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método del Área. AREA 14225.77 m <sup>2</sup> .....	140
<b>Figura 63.</b> Polígono sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método del Área. AREA 21909.54 m <sup>2</sup> .....	141
<b>Figura 64.</b> Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método del Área. AREA 30236.46 m <sup>2</sup> .....	142
<b>Figura 65.</b> Máximo círculo inscrito y mínimo círculo circunscrito .....	143
<b>Figura 66.</b> Posibles MIC.....	145
<b>Figura 67.</b> Pólígono regular con bisectrices .....	146
<b>Figura 68.</b> Polígono irregular con bisectrices.....	146

<b>Figura 69.</b>	Polígono convexo con islas en el interior .....	147
<b>Figura 70.</b>	Círculo rodante .....	148
<b>Figura 71.</b>	Posible centro del MIC.....	149
<b>Figura 72.</b>	Trayectoria del círculo rodante y posible centro del MIC.....	149
<b>Figura 73.</b>	Distancia euclidiana .....	150
<b>Figura 74.</b>	Centros de círculos en ráster .....	151
<b>Figura 75.</b>	Procedimiento del cálculo MIC.....	152
<b>Figura 76.</b>	Superposición de la malla de puntos en el mapa .....	154
<b>Figura 77.</b>	Cálculo del MIC para un pólígono .....	155
<b>Figura 78.</b>	Polígono sliver con su contorno.....	156
<b>Figura 79.</b>	Doble división del paso .....	156
<b>Figura 80.</b>	Radio máximo círculo inscrito 60m.....	158
<b>Figura 81.</b>	Radio máximo círculo inscrito 0.65m.....	159
<b>Figura 82.</b>	Radio máximo círculo inscrito 0.30m.....	159
<b>Figura 83.</b>	Radio máximo círculo inscrito 5.94 m.....	160
<b>Figura 84.</b>	Radio máximo círculo inscrito 5.94 m.....	160
<b>Figura 85.</b>	Radio máximo círculo inscrito 2799 m.....	161
<b>Figura 86.</b>	Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método propuesto. DIST 0.499 .....	179
<b>Figura 87.</b>	Polígono no sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método propuesto Dist. DIST 1.759 .....	180
<b>Figura 88.</b>	Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método Propuesto. Dist. DIST 1.818 .....	181

<b>Figura 89.</b>	Polígono no sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método propuesto. Dist. DIST 3.596 .....	182
<b>Figura 90.</b>	Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método propuesto. Dist. DIST 2.497 .....	183
<b>Figura 91.</b>	Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método propuesto. Dist. DIST 8.039 .....	184
<b>Figura 92.</b>	Polígono sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método propuesto. Dist. DIST 5.00 .....	185
<b>Figura 93.</b>	Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método propuesto. Dist. DIST 10.351 .....	186
<b>Figura 94.</b>	Unión de cartografía a escala 1/25000.....	190
<b>Figura 95.</b>	Detalle de la unión de la cartografía a escala 1/25000.....	190
<b>Figura 96.</b>	Mapa de las Comunidades Autonomas .....	197
<b>Figura 97.</b>	Mapa comarcal topográfico de la Comunidad Catalana.....	198
<b>Figura 98.</b>	Solape entre la Comunidad Autonoma Valenciana y la Comunidad Autonoma Catalana.....	199
<b>Figura 99.</b>	Detalle de unión de las dos cartografías.....	199
<b>Figura 100.</b>	Equivocacion en la cartografia .....	204
<b>Figura 101.</b>	Maximo circulo inscrito a una tolerancia exigida .....	210

## Lista de Gráficos

<b>Gráfico 1.</b>	Histograma tipo buscado .....	80
<b>Gráfico 2.</b>	Cálculo del radio máximo círculo inscrito en un polígono sliver a escala 1/5000 .....	81
<b>Gráfico 3.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono sliver a escala 1/5000 .....	83
<b>Gráfico 4.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono sliver a escala 1/5000 .....	83
<b>Gráfico 5.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono no sliver a escala 1/5000 .....	84
<b>Gráfico 6.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono no sliver a escala 1/5000 .....	85
<b>Gráfico 7.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono sliver a escala 1/10000 .....	86
<b>Gráfico 8.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono sliver a escala 1/10000 .....	87
<b>Gráfico 9.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono no sliver a escala 1/10000 .....	88
<b>Gráfico 10.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono no sliver a escala 1/10000 .....	88
<b>Gráfico 11.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono sliver a escala 1/25000 .....	90
<b>Gráfico 12.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono sliver a escala 1/25000 .....	90
<b>Gráfico 13.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono no sliver a escala 1/25000 .....	91
<b>Gráfico 14.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono no sliver a escala 1/25000 .....	92

<b>Gráfico 15.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono sliver a escala 1/50000 .....	93
<b>Gráfico 16.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono sliver a escala 1/50000 .....	94
<b>Gráfico 17.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono no sliver a escala 1/50000 .....	95
<b>Gráfico 18.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono no sliver a escala 1/50000 .....	96
<b>Gráfico 19.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método razón de circularidad a escala 1/5000 .....	97
<b>Gráfico 20.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método área a escala 1/5000.....	98
<b>Gráfico 21.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método razón de circularidad a escala 1/10000 .....	99
<b>Gráfico 22.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método área a escala 1/10000.....	99
<b>Gráfico 23.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método razón de circularidad a escala 1/25000 .....	100
<b>Gráfico 24.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método área a escala 1/25000.....	101
<b>Gráfico 25.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método razón de circularidad a escala 1/50000 .....	102
<b>Gráfico 26.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método área a escala 1/50000.....	102
<b>Gráfico 27.</b>	Gráfico con hueco entre los polígonos slivers y no slivers .....	104
<b>Gráfico 28.</b>	Gráfico con solape entre polígonos slivers y no sliver .....	105
<b>Gráfico 29.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del radio máximo inscrito en un polígono sliver a escala 1/5000.....	163
<b>Gráfico 30.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono no sliver a escala 1/5000 .....	164

<b>Gráfico 31.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono sliver a escala 1/10000 .....	165
<b>Gráfico 32.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono no sliver a escala 1/10000 .....	166
<b>Gráfico 33.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono sliver a escala 1/25000 .....	167
<b>Gráfico 34.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono no sliver a escala 1/25000 .....	168
<b>Gráfico 35.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono sliver a escala 1/50000 .....	169
<b>Gráfico 36.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono no sliver a escala 1/50000 .....	170
<b>Gráfico 37.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método Dist. a escala 1/5000. ....	171
<b>Gráfico 38.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método Dist. a escala 1/10000 .....	172
<b>Gráfico 39.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método Dist. a escala 1/25000 .....	173
<b>Gráfico 40.</b>	Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método Dist. a escala 1/50000 .....	175
<b>Gráfico 41.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del radio máximo inscrito a escala 1/25000 .....	191
<b>Gráfico 42.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad a escala 1/25000 .....	192
<b>Gráfico 43.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del área a escala 1/25000 .....	193
<b>Gráfico 44.</b>	Análisis de los datos para el método DIST a la escala 1/25000 .....	194
<b>Gráfico 45.</b>	Análisis de datos para el método RC a escala 1/25000 .....	195

<b>Gráfico 46.</b>	Análisis de datos para el método AREA a escala 1/25000.....	196
<b>Gráfico 47.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del radio máximo inscrito de los polígonos a escala 1/50000 .....	200
<b>Gráfico 48.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad de los polígonos a escala 1/50000 .....	201
<b>Gráfico 49.</b>	Histograma de frecuencia para el cálculo del área de los polígonos a escala 1/50000.....	202
<b>Gráfico 50.</b>	Análisis de los datos para el método DIST.....	203
<b>Gráfico 51.</b>	Análisis de datos para el método RC .....	205
<b>Gráfico 52.</b>	Análisis de datos para el método AREA.....	205

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 QUE SON LOS POLÍGONOS SLIVERS.

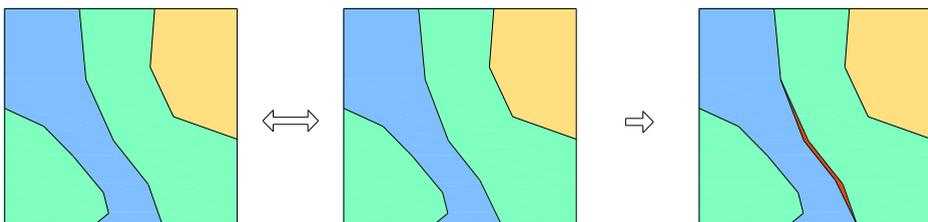
Los polígonos slivers son unas áreas que se generan a lo largo de los contornos de los polígonos cuando existen varios trazados no coincidentes. Los slivers son falsos polígonos que se generan por la superposición de polígonos que tendrían que ser coincidentes y no lo son. Estos polígonos no deberían aparecer en nuestra representación.

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.

## 1.2 GENERACIÓN DE POLÍGONOS SLIVERS.

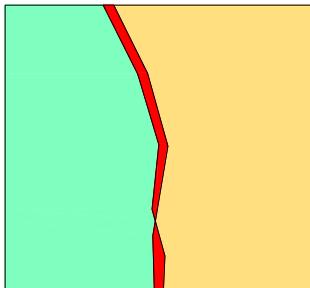
Los polígonos slivers pueden generarse por varios motivos siendo algunos de los más importantes los siguientes:

- Superposición de polígonos. Cuando dos contornos que deberían de ser iguales al superponerlos no coinciden exactamente, se producen polígonos slivers. Quizá sea el caso más frecuente. (ver figura 1)



**Figura 1.** Superposición de elementos superficiales: generación de slivers

- Digitalización o compilación defectuosa. Cuando se digitaliza el mismo contorno dos veces para polígonos adyacentes y los bordes no han sido tomados exactamente iguales. (ver figura 2)



**Figura 2.** *Digitalización : generación de slivers*

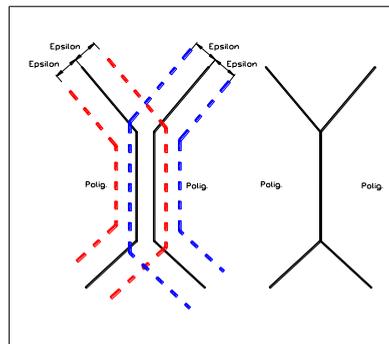
Los polígonos slivers suponen un problema serio que afecta a los resultados en el análisis espacial, a las consultas en los SIG (Sistemas de Información Geográfica) o en la representación de los mapas siendo necesario eliminarlos de las bases de datos. La propagación de errores en el análisis de superposición ha sido estudiada por diversos autores (Wenzhoung *et al.*, 2004; Veregin, 1989).

### **1.3 COMO EVITAR LOS POLÍGONOS SLIVERS**

Los polígonos slivers pueden ser evitados antes de generarse o una vez han sido generados.

En el primer caso hay que distinguir si los polígonos slivers van a ser generados por una operación de superposición o por una digitalización defectuosa. Para evitar que se generen polígonos slivers durante la operación de superposición, existen técnicas que tratan a los bordes de los polígonos como si fueran líneas fuzzy (las líneas tienen posición variable dentro de una tolerancia Épsilon ( $\epsilon$ ) prefijada de modo que si dos líneas caen dentro de una misma zona de tolerancia, ambas líneas se unen) (Klajnsek & Zalik, 2005; Chrisman, 1983).

Estas técnicas son la aproximación más usual utilizada por los software SIG comerciales (ver figura 3)



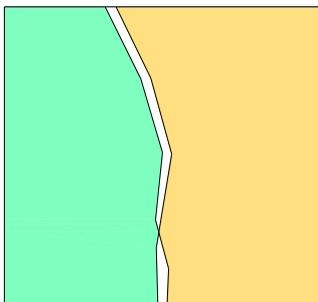
**Figura 3.** *Lineas fuzzy*

Para evitar generar polígonos slivers durante la digitalización o compilación se debe emplear técnicas adecuadas. Por ejemplo, es recomendable hacer una digitalización topológica en vez de una digitalización en spaghetti, es necesario emplear técnicas de snap que permitan forzar nuestras coordenadas a puntos anteriormente digitalizados (Chrisman, 1987). En algunos SIG también existen técnicas de copiado automático de bordes de polígonos durante la digitalización. Otros SIG permiten detectar los polígonos que se superponen con otros polígonos en la misma capa.

Todas estas técnicas buscan evitar que los polígonos slivers se generen. Pero en ocasiones esto es inevitable bien porque nos proporcionan una cartografía que ya los tiene o pese a utilizar tolerancias o anchuras epsilon estas no han sido suficientes. Aumentar el tamaño de la tolerancia no es la solución ya que se simplifica peligrosamente la representación gráfica. Además es difícil cifrar el tamaño correcto de esa tolerancia, cuando en un SIG podemos tener objetos de digitalización precisa (edificios, embalses, carreteras, etc.) junto a otros elementos cuyos bordes son menos precisos (bosques, tipos de suelo, etc.). Por todo lo visto anteriormente suele ser bastante habitual que las bases de datos gráficas de los SIG tengan polígonos slivers, sobre todo las procedentes de la superposición.

En este segundo caso, es decir cuando se quiera eliminar polígonos slivers que hayan sido generados, se tendrá que distinguir dos tipos de polígonos slivers:

- Hueco (gap) sliver formado entre polígonos. (ver figura 4)
- Polígonos slivers con su propia área y perímetro.



**Figura 4.** *Hueco (gap) sliver formado entre polígonos*

Los gaps son más fáciles de detectar que los polígonos del segundo caso, si la información gráfica está estructurada en un modelo topológico y siempre que los gaps estén completamente rodeados de polígonos. Detectar los gaps es relativamente sencillo aunque finalmente es necesario distinguir entre gaps generados por error y los gaps que lo son realmente. Sin embargo, en el primero de los casos el problema radica en encontrar un criterio inteligente que discrimine entre polígonos slivers y los que no lo son.

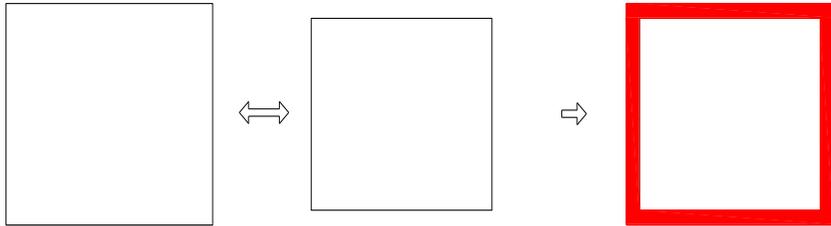
Pese a que la edición es sencilla y cuenta con software comercial disponible, el problema radica en que la edición de los polígonos slivers da por supuesto que se tienen localizados los mismos. Esto presenta un serio problema porque se trata de polígonos que pueden pasar perfectamente inadvertidos ya que pueden contener atributos como los demás, pueden tener un área incluso mayor que muchos otros polígonos no slivers, su anchura suele ser lo suficientemente delgada como para no percibirse en un rango normal de zooms o en los trazados impresos a escalas razonables.

## 1.4 CARACTERISTICAS DE LOS POLÍGONOS SLIVERS

Los polígonos slivers son elementos especiales con formas muy variadas y formadas por diversos motivos. Se puede decir que generalmente, los polígonos slivers presentan las siguientes características:

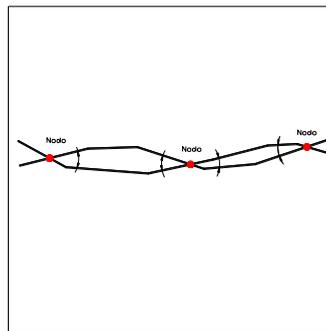
- a) El área suele ser pequeña sobre todo con respecto a sus vecinos.
  - b) Suelen presentar ángulos muy agudos.
  - c) Los polígonos slivers suelen estar compuestos únicamente por dos arcos mientras que esto no es habitual en el resto de polígonos.
  - d) Los slivers suelen presentar cuatro arcos en 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.
- a) Pese a que la mayoría de los polígonos slivers suelen tener un área muy pequeña esto no tiene que ser cierto en todos los casos. Por ejemplo, supongamos la superposición de dos capas de dos mapas topográficos a escala 1:25000. Supongamos que los marcos de las hojas tienen unas dimensiones de 18x9 km. Las cuatro esquinas de los marcos deberían coincidir exactamente en la superposición. Así debería de ser teniendo en cuenta que se trata de puntos singulares de coordenadas conocidas. Supongamos que las coordenadas de las esquinas de la primera hoja han sido redondeadas al milímetro mientras que las coordenadas de la segunda hoja han sido redondeadas al décimo. Es muy probable que se pueda generar un polígono sliver como se muestra en la siguiente figura (ver figura 5.) con unas dimensiones de 2160 m<sup>2</sup>

superficie que supera a la de muchos edificios, parcelas, balsas, caminos, canales, etc. No obstante suele ser frecuente que el área de los slivers sea pequeña en comparación con el área de los polígonos adyacentes.



**Figura 5.** *Generacion de slivers*

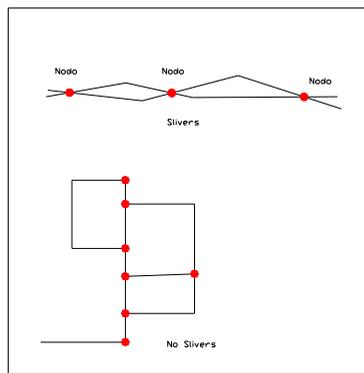
b) Los polígonos slivers presentan generalmente ángulos muy pequeños y en un número par, habitualmente dos y diametralmente opuestos. Además esos ángulos agudos se dan en los nodos, es decir, los inicios y finales de los arcos (ver figura 6). Esta característica es difícil de encontrar en polígonos que no sean slivers. No obstante esta condición no se cumple en todos los polígonos slivers.



**Figura 6.** *Contorno con slivers*

c) Un arco es un elemento lineal compuesto por un número determinado de vértices y en los extremos unos nodos. Muchos slivers presentan dos arcos para formar el polígono y solo dos nodos (ver figura 6)

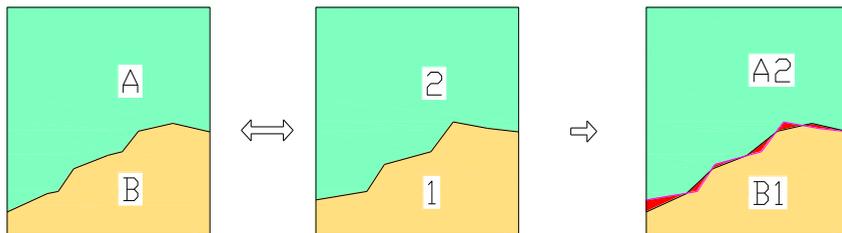
d) Pese a que esta característica no es definitiva en muchos slivers suele darse. Por tanto en uno de esos nodos es frecuente encontrar cuatro arcos conectados cuando lo habitual son tres. Esto último suele ser así cuando los slivers proceden de una digitalización incorrecta. Cuando los slivers proceden de una superposición es bastante frecuente encontrar polígonos no slivers con nodos en los que se conectan cuatro arcos. (ver figura 7)



**Figura 7.** *Detalle de arcos y nodos*

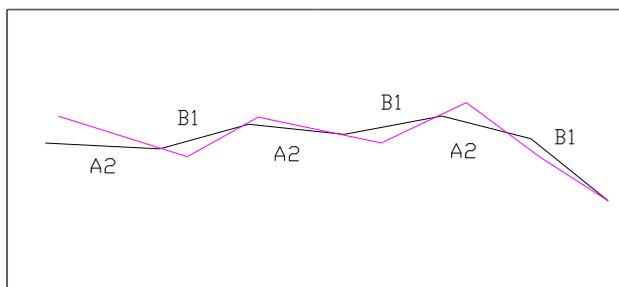
e) Es muy frecuente que dado un polígono sliver se encuentre conectado a él otro polígono sliver que comparte uno de esos nodos por lo que existe una gran correlación espacial. Incluso en muchos casos esa conexión suele darse en ángulo agudo.

f) Para explicar la alternancia de atributos entre dos polígonos vecinos con atributos A y B y cuyo borde queda indicado con el trazo continuo. Supongamos esos dos mismos polígonos en otra capa pero ahora con atributos 1 y 2 y cuyo borde común se representa con una línea. Al superponer ambas capas (ver figura 8)



**Figura 8.** Alternancia de atributos

y dado que los dos bordes deberían coincidir y no lo hacen, se generan polígonos slivers en cadena con alternancia de atributos B1, A2, B1, A2, etc. Esta característica presenta dos problemas. En primer lugar esta alternancia no se da en todos los casos y en segundo lugar los atributos A, B, 1 y 2 pueden ser exclusivos de esos polígonos lo que hace muy difícil su extrapolación a un caso general. La figura anterior puede servir también para ilustrar la siguiente característica. Los polígonos slivers formados de ese modo suelen estar compuestos por dos arcos y dos nodos (ver figura 9)



**Figura 9.** Alternancia de atributos

g) En muchos casos los polígonos slivers suelen ser alargados, delgados y estrechos, es decir presentan una elongación alta. La elongación es uno de los índices de forma que se verá más adelante y que se define como la relación entre su longitud medida a lo largo de un eje dividido por su anchura medida a lo largo del eje perpendicular. No obstante, basta

que el polígono sliver presente recodos y curvas para que este índice no sirva.

h) Por último se puede decir que una característica que presentan habitualmente los slivers es la de tener muy poco área en relación al perímetro que lo genera. Más adelante se verán métodos que buscan cuantificar esta propiedad. No obstante no todos los polígonos slivers presentan esta característica.



## **2. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA**

### ***2.1 OBJETIVO***

Cada día es más habitual la utilización de información geográfica en la vida cotidiana. Esa información geográfica ha dejado de estar restringida al ámbito profesional para formar parte del conjunto de datos e información que utiliza cualquier persona habitualmente.

Cada vez son más utilizados los navegadores, herramientas de geolocalización, dispositivos móviles con GPS capaces de mostrar cartografía etc.

En el ámbito profesional son cada vez más disciplinas las que ven en la información geográfica y en los sistemas informáticos que la gestionan una herramienta que permite hacer de un modo más rápido y sencillo muchas operaciones de consulta y de análisis geográfico que antes eran casi inimaginables.

Es muy frecuente utilizar cartografía oficial procedente de organismos, ministerios, institutos geográficos, confederaciones hidrográficas, etc. para realizar diversos trabajos. Por tanto, la demanda de cartografía digital actualizada y precisa es cada vez mayor de modo que se comienza a entender la cartografía como un medio imprescindible para el desarrollo de un país. Si bien antes se hablaba de información cartográfica, la demanda y los diversos usos que se elaboran de esta información hacen que se pase a llamar información geográfica.

Como se ha dicho, desgraciadamente es habitual que la cartografía digital presente polígonos slivers, en especial cuando mezclamos cartografía digital procedente de diversas escalas o que han sufrido procesos de generalización posterior. También hay que tener presente que aunque la toma de datos cartográficos se haga con sumo cuidado, hay elementos geográficos de difícil captura o diferentes propiedades posicionales (recordamos que no es lo

mismo capturar el contorno de una manzana urbana que el contorno de un bosque o del cauce de un río). Si bien es cierto que muchos slivers pueden no ser generados mediante buenas técnicas y métodos de captura, sin embargo es muy difícil evitarlos cuando mezclamos cartografía procedente de distintos organismos a diversas o incluso a la misma escala, como se verá más adelante ver apartado 8.3.2.

No obstante, si los polígonos slivers son detectados, existen procedimientos y herramientas ya implementadas para eliminarlos y obtener una base geográfica libre de estos polígonos ficticios.

El problema radica en detectar esos polígonos slivers. Como se ha visto se suelen tratar de polígonos estrechos y alargados que a simple vista no se ven pero que imponen en ocasiones importantes distorsiones en las consultas a las bases de datos.

Existen algoritmos y formulaciones que tratan de caracterizar la forma de los polígonos. Estos procedimientos se han utilizado desde décadas en multitud de disciplinas con muchos objetivos alternativos. Algunos de ellos han servido para caracterizar a los polígonos slivers y en algunos software se ha visto incluso implementado alguno de ellos para localizarlos. Se verá más adelante estos procedimientos y el escaso éxito que han tenido.

En esta tesis se aborda los diversos métodos utilizados para detectar polígonos slivers, se analizarán otros métodos que si bien no han sido utilizados directamente para detectarlos, podrían servir en muchos casos. Una vez comparados los diversos métodos y analizada su eficacia en los diversos casos, se propondrá un método alternativo para la detección de polígonos slivers.

Finalmente se analizará la eficacia del procedimiento sometiéndolo a un estudio con cartografía oficial procedente de diversos organismos y a diversas escalas

El propósito de esta tesis es el de buscar y valorar algunos metodos que puedan servir para detectar polígonos slivers en cartografía a diversas escalas.

## **2.2 ESTRUCTURA DE LA TESIS**

La presente tesis está estructurada en diez apartados.

En el primer apartado se explica el concepto de polígono sliver, sus características y el modo en que se generan, así como algunos modos de evitarlos.

El segundo apartado hace referencia al objetivo y estructura de esta tesis.

En el apartado tercero se describen los dos formatos fundamentales en los que se puede tener cartografía, formato vectorial y ráster. Es interesante analizar ambos formatos ya que cuando se describa el método propuesto en el apartado siete se comparan ambos formatos a la hora de implementar el algoritmo correspondiente.

En el apartado cuarto se describen y analizan numerosos índices y métodos que los diversos autores han utilizado para múltiples propósitos relacionados con el estudio de la forma y que se podrían servir para nuestro propósito.

Tras haber hecho una valoración de los mismos, se aplican algunos de los índices más relevantes al caso concreto de algunos polígonos tanto slivers como no para analizar los valores que se obtienen.

En el quinto apartado se describen las normas que hacen referencia a la precisión en cartografía y en especial a las normas ISO19138 que habla de los polígonos slivers y de dos índices para caracterizarlos, la razón de circularidad y el área.

Precisamente, en el sexto apartado, se aplican estos dos índices ( RC y AREA) que son dos de los índices más utilizados por muchos programas informáticos para la detección de polígonos slivers, a diversa cartografía a distintas escalas y conteniendo polígonos tanto slivers como no.

Tras aplicar estos índices se analizan los resultados obtenidos y se obtienen una serie de conclusiones sobre la idoneidad de estos índices para caracterizar los polígonos slivers.

En el séptimo apartado se presenta un método alternativo que trata de solventar los problemas detectados en los índices razón de circularidad y área. Tras explicar las distintas implementaciones de los algoritmos válidos para este método se aplica el mismo a la cartografía analizada en el apartado anterior. Nuevamente se analizan los valores obtenidos comparándolos con los índices anteriores.

En el apartado octavo se ha aplicado el método propuesto a cartografía oficial a diversas escalas. Para ello se ha utilizado cartografía oficial realizada por distintos organismos con experiencia y prestigio y que puede ser descargada desde sus páginas oficiales por un usuario cualquiera. Con ello se pretende alejarse de casos y ensayos propios de laboratorio, para trabajar con cartografía de acceso público. Tras aplicar el índice propuesto se valoran los resultados obtenidos.

Finalmente en el apartado noveno se redactan las conclusiones que se pueden obtener de este estudio y las posibles líneas de trabajo que pueden derivarse de esta tesis.

### **3. CARTOGRAFÍA Y SIG**

#### ***3.1 INTRODUCCIÓN***

La cartografía (del griego charts = mapa y graphein = escrito) es la ciencia que se encarga del estudio y de la elaboración de los mapas geográficos, territoriales y de diferentes dimensiones lineales, las formas y técnicas de representación de la geografía sobre un mapa

La aparición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los años 1970 y su popularización en los 90 ha revolucionado la forma de crear y manejar cartografía a través de estas herramientas informáticas que asocian elementos espaciales con bases de datos.

Los SIG brindan el salto del mapa impreso en papel al manejo de mapas digitales y el salto a la superposición digital, permiten el análisis y la gestión del territorio a través de cartografía digital de una manera rápida y efectiva.

Existen varios métodos utilizados en la creación de datos digitales. El método más utilizado es la digitalización, donde a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo se transfiere a un medio digital por el empleo de un programa de diseño asistido por ordenador con capacidades de georreferenciación.

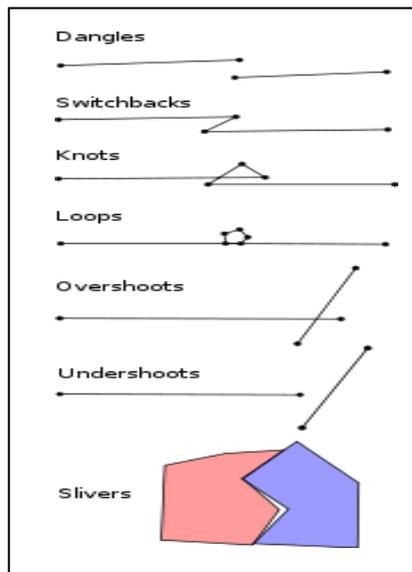
Con la digitalización de cartografía en soporte analógico se producen datos vectoriales a través de trazas de puntos, líneas, y límites de polígonos. Este trabajo puede ser desarrollado por una persona de forma manual o a través de programas de vectorización que automatizan la labor sobre un mapa escaneado. No obstante, en este último caso siempre será necesario su revisión y edición manual, dependiendo del nivel de calidad que se desea obtener.

Actualmente, la mayoría de datos digitales provienen de la interpretación de fotografías aéreas. Para ello se utilizan estaciones de trabajo que digitalizan directamente elementos geográficos a través de pares estereoscópicos de

fotografías digitales. Estos sistemas permiten capturar datos en dos y tres dimensiones, con elevaciones medidas directamente de un par estereoscópico de acuerdo a los principios de la fotogrametría.

Cuando se capturan los datos, el usuario debe considerar si estos deben ser tomados con una exactitud relativa o con una absoluta precisión. Esta decisión es importante ya que no solo influye en la interpretación de la información, sino también en el costo de su captura.

Durante los procesos de digitalización de la cartografía es frecuente que se den fallos topológicos involuntarios (*dangles*, *undershoots*, *overshoots*, *switchbacks*, *knots*, *loops*, etc.) (ver figura 10) en los datos que deberán ser corregidos (Santos, 2008). Tras introducir los datos en un SIG, estos normalmente requerirán de una edición o procesamiento posterior para eliminar los errores citados. Se deberá de hacer una "corrección topológica" antes de que puedan ser utilizados en algunos análisis avanzados



**Figura 10.** Errores topológicos y de digitalización en Sistemas de Información Geográfica

El error en la posición es el que más se comete, pudiendo afectar a la información disponible. Luego habrá que tener en cuenta la precisión y la exactitud, que deberían estar relacionadas con la escala del mapa. Hay muchas fuentes de error que pueden afectar al conjunto de datos de los SIG, algunas se identifican automáticamente por los SIG y otras no (Sherman, 2008). Los errores que se originan durante el proceso son los que más cuestan de detectar. En la superposición de mapas pueden ocurrir distintos tipos de errores slivers, overshoots y dangles (variaciones en la exactitud de las diferentes capas utilizadas en el mapa) (Sample, 1994).

Las fuentes de error son divididas en tres categorías. Las fuentes de error obvias, errores resultantes de la variación natural de las medidas originales y errores surgidos en los procesamientos (Burrough, 1986).

Dentro de las fuentes obvias de error se pueden destacar (Huebner, 1995) :

- La antigüedad de los datos. Es la falta de precisión para utilizarlos actualmente.
- La escala del mapa. Se debe exigir la escala adecuada al nivel del detalle del proyecto.
- El formato utilizado. Los métodos para procesar información pueden introducir errores, como las conversiones de escalas , proyecciones etc.

En los errores resultantes de la variación natural de los datos originales se tiene:

- La exactitud posicional. Son errores de digitalización de mapas.
- Precisión en el contenido. Los mapas deben de ser correctos y estar libres de presunciones.
- Fuentes de variación de datos. Estos pueden ser introducidos durante la observación.

En los errores originados durante los procesos se encuentran.

- Los errores numéricos.
- Errores en los análisis topológicos. La variación de la exactitud entre diferentes capas de los mapas nos pueden producir datos virtuales.
- Digitalización y errores geocodificados. Son los errores producidos en la manipulación de datos durante el proceso.

### **3.1.1 Ventajas e inconvenientes de los SIG**

#### *3.1.1.1 Ventajas*

Son muchas las ventajas actuales de la utilización de los SIG en cartografía. Los SIG nos permiten manipular los elementos de un mapa y relacionar cada objeto con una información, estableciendo relaciones espaciales entre ellos, pudiéndose generar muchos mapas y una gran cantidad de modelos cartográficos

Otro de los valores a tener en cuenta es el ahorro en los costos ya que el mantenimiento y recuperación de datos pueden realizarse con mayor eficiencia posibilitando una mínima inversión de tiempo.

La naturaleza interdisciplinar de los SIG; ya que puede tener una información temática realizada por especialistas en una materia y el manejo de una zona de estudio por otros.

El manejo de la información para toma de decisiones e investigaciones

#### *3.1.1.2 Inconvenientes*

La conversión de datos analógicos a formato digital es cara y tiene problemas técnicos.

Las licencias de los programas frente a otros tipos de software y los equipos empleados hoy en día tienen un alto coste

### 3.2 FORMATOS VECTORIALES Y RÁSTER

Existen dos grandes formas de almacenar los datos en un SIG (Brewer, 2005), el modelo ráster y el modelo vectorial. El modelo ráster es un método para el almacenamiento, el procesado y la visualización de datos geográficos, cada superficie a representar se divide en filas y columnas formando una malla en la que cada celda guarda las coordenadas de la localización y el valor temático, la localización de cada celda es implícita dependiendo del orden que ocupa la rejilla. (ver figura 11)

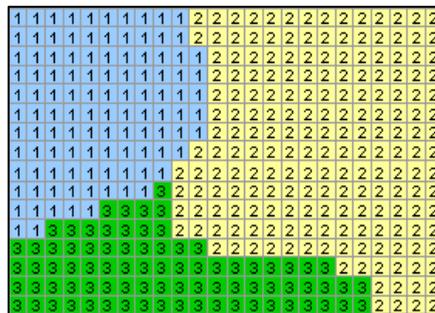


Figura 11. Modelo raster

En los SIG ráster nos referimos al píxel como la celda o el elemento base de una malla, es la unidad mínima de información, el valor de cada píxel se registra individualmente, el tamaño del píxel debe ser la mitad de la longitud más pequeña que sea necesario representar (Estes, 1990). A mayor tamaño de la celda, menor será el número de filas y columnas de la malla que cubre la superficie, el tamaño del píxel nos dará la precisión con que se podrán definir los elementos geográficos. Cada celda puede ser localizada por su número de fila y columna, e identificada por su posición en la matriz del archivo ráster, contiene un valor numérico que puede ser un identificador o el valor temático de la misma, de forma que la geometría y la componente temática se almacena a la vez.

En el modelo vectorial, los datos constan de líneas, puntos y polígonos, la estructura topológica se almacena de forma explícita, la localización de los elementos se realiza a partir de un sistema de coordenadas (ver figura 12)

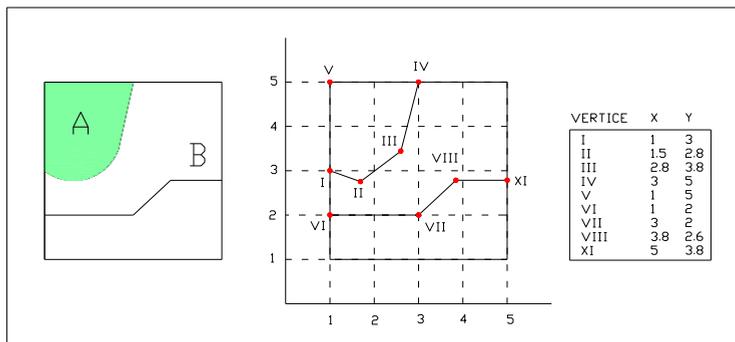


Figura 12. Modelo vectorial

Existen varios tipos de estructura de información vectorial. (Bosque, 1997)

- a) Estructura de datos spaghetti. Cada objeto dispone de un identificador acompañado de una lista de coordenadas (ver figura 13)

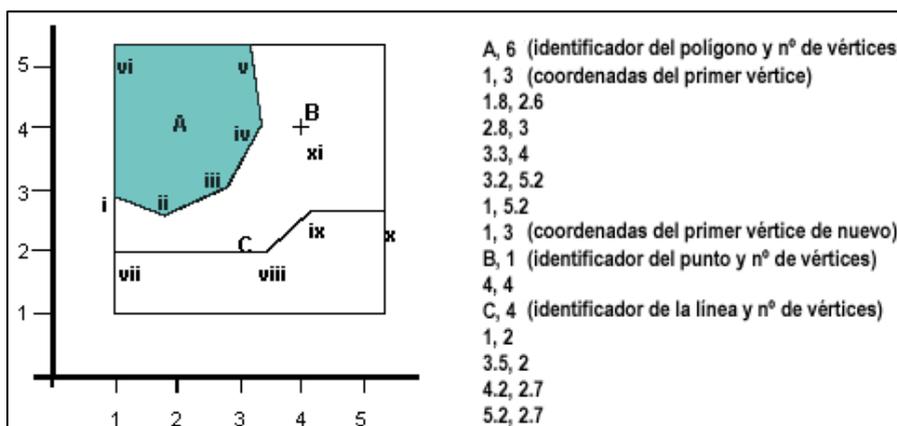


Figura 13. Estructura de datos spaghetti

- b) Estructura de diccionario de vértices. Cada objeto se representa mediante dos ficheros, en el primero se almacena una relación de los vértices con sus coordenadas respectivas y en el otro fichero la relación de los vértices que definen cada objeto representado (ver figura 14)

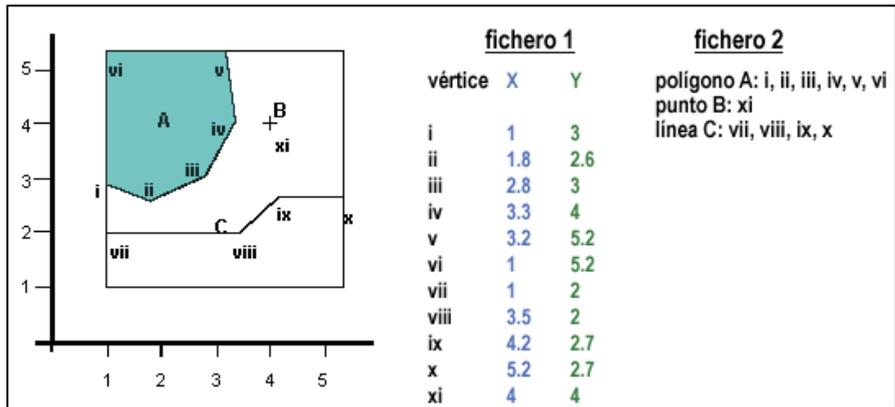
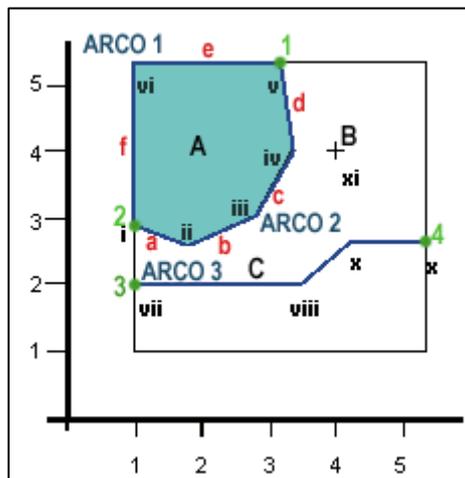


Figura 14. Estructura de diccionario de vértices

- c) Estructura arco-nodo. El elemento principal es el arco que es un segmento que empieza en un nodo y acaba en otro, los nodos aparecen en los puntos de conexión entre dos líneas, cada objeto se representa mediante unos ficheros dedicados a la topología de los arcos, nodos, polígonos y a las coordenadas de los arcos. Es una estructura muy completa desde el punto de vista topológico ya que se conoce perfectamente las relaciones espaciales existentes entre distintos objetos representados (ver figura 15)



Fichero 1. Coordenadas de los nodos y vértices de cada arco			
ARCO	Nodo origen	Vértices intermedios	Nodo final
1	3.2, 5.2	1, 5.2	1,3
2	1,3	1.8,2.6 2.8,3 3.3,4	3.2, 5.2
3	1,2	3.5,2 4.2,2.7	5.2,2.7

Fichero 2. Topología de arcos				
ARCO	Nodo origen	Nodo final	Polígono derecha	Polígono izquierda
1	1	2	Externo	A
2	2	1	A	Externo
3	3	4	Externo	Externo

Fichero 3. Topología de polígonos	
Polígono	Arcos
A	1, 2

Fichero 4. Topología de los nodos	
Nodo	Arcos
1	1,2
2	1,2
3	3
4	4
5	5

Figura 15. Estructura arco-nodo

[http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GIST\\_Vector.htm](http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GIST_Vector.htm)

### **3.2.1 Ventajas e inconvenientes de los modelos ráster y vectorial**

#### *3.2.1.1 Ventajas modelo Ráster*

Es un modelo más rápido que el vectorial para las consultas que utilizamos en el análisis espacial.

Es más simple y tiene mayor poder analítico, las operaciones de superposición y de cálculo son más sencillas así como las actualizaciones

#### *3.2.1.2 Inconvenientes modelo Ráster*

Tienen una menor precisión grafica que los vectoriales.

Ocupan una mayor memoria del ordenador.

#### *3.2.1.3 Ventajas modelo Vectorial*

La representación de los datos ocupa menos espacio en el ordenador.

Esta mejor diseñado para trabajar con gráficos.

Tiene mayor precisión gráfica y es mejor para la cartografía tradicional

#### *3.2.1.4 Inconvenientes modelo Vectorial*

Es lento para las consultas del análisis espacial.

Las superposiciones de las operaciones son más difíciles

Cuesta bastante mantenerlo actualizado.

Tiene una estructura compleja de datos.

### **3.3 REGLAS TOPOLÓGICAS.**

La topología es una colección de reglas que nos permiten recrear en nuestra base espacial las relaciones espaciales existentes entre los fenómenos geográficos en el mundo real. Aplicando reglas topológicas a nuestros geodatos, conseguimos un modelo más fidedigno de la realidad, en donde no solo se habrá capturado las posiciones de los fenómenos, sino además sus relaciones espaciales.

Las reglas topológicas permiten corregir los errores topológicos mediante herramientas predefinidas anteriormente. Hay reglas topológicas para polígonos, líneas y puntos.

Para cada topología definiremos las propiedades que van a crear y la tolerancia clúster que se usarán en el procedimiento topológico haciendo referencia a la tolerancia x, y, z la cual utilizaremos para integrar vértices, los cuales solo se podrán mover ligeramente en el proceso de valoración. La tolerancia calcula una distancia horizontal y vertical a fin de encontrar coordenadas.

## **4. ANTECEDENTES Y VALORACIÓN**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Son muchos los métodos que se pueden utilizar como aproximación para caracterizar las propiedades de los polígonos slivers antes expuestas. Para poder valorar estos métodos buscaremos que se cumplan cuantos más de los siguientes criterios:

- a) Sencillez de cálculo del método de detección de polígonos slivers.
- b) Que los valores que presentan los polígonos slivers dentro de un método no sean también presentados por polígonos no slivers en absoluto.
- c) Que las cifras o valores obtenidos sean de fácil interpretación.
- d) Que el modo de detección de slivers no sea dependiente de los datos o polígonos de entrada y, por tanto, sea fácilmente generalizable al resto de polígonos.
- e) Que se puedan comparar con la misma escala los valores o cifras obtenidas por estos métodos.

a) El primer ítem es deseable en tanto en cuanto pueden ser muchos los polígonos que hay que analizar en una capa y es conveniente que el tiempo de cálculo invertido en cada uno sea lo menor posible.

b) El segundo criterio indica que si un polígono sliver presenta unos valores con un método, un polígono no sliver en absoluto debería presentar unos valores similares, puesto que la diferencia de valores entre ellos debería de ser apreciable.

c) El tercer criterio busca que los métodos sean de fácil interpretación, es decir, que a tenor de los resultados obtenidos por un método sea fácil deducir si se trata de un polígono sliver o no.

d) El cuarto apartado busca que los métodos puedan ser utilizados en todos los polígonos de modo que no funcionen correctamente solo para un conjunto limitado o con unos datos de entrada particulares.

e) Por último, es deseable que los diversos métodos pudiesen ser comparados entre sí. Por ejemplo, si dos métodos expresan mediante cifras si un polígono es sliver o no, sería interesante que el dominio de valores fuese el mismo en ambos métodos.

## **4.2 POSIBLES MÉTODOS PARA DETECTAR SLIVER**

Existen muchos métodos que pueden usarse para detectar polígonos slivers una vez estos han sido generados. Algunos de los métodos que se analizaran 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.

### **4.2.1 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 indicadas en la sección 1.4.

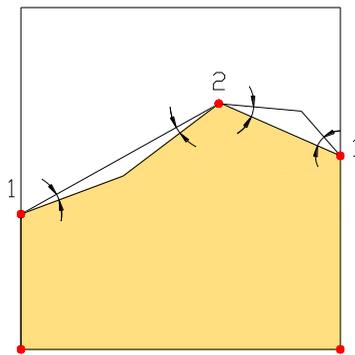
Se dividirán estos métodos en los que analizan los ángulos, nodos y arcos de los polígonos slivers y los métodos que estudian el área.

#### ***4.2.1.1 Métodos basados en los ángulos, nodos y arcos.***

Los métodos siguientes distinguen 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.

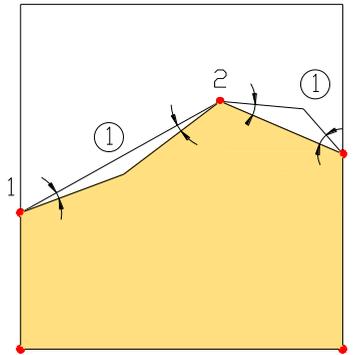
En primer lugar se fija un ángulo pequeño a modo de tolerancia, seguidamente se analizan los nodos de todos los polígonos. En ellos mediremos los ángulos de los arcos que confluyen. Si un ángulo es menor de la tolerancia fijada, se considerara que ese nodo puede pertenecer a un sliver. Cuantos más ángulos 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. En la siguiente figura se ven las puntuaciones de algunos nodos. (ver figura 16)



**Figura 16.** Puntuacion en los nodos

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 17)



**Figura 17.** Puntuacion poligonos

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  $0.5^\circ$ ,  $1^\circ$  y  $2^\circ$ . 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.

#### 4.2.1.2 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 mas pequeño. Este índice tiene como imagen  $(0, \infty)$ . Un polígono sliver tendrá un valor próximo a cero mientras que cuanto más alejado de cero este 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

#### **4.2.2 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.

### **4.2.3 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 trato 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; Sajjadur, 1972; Frolov, 1975) en geología y petrología, (Folk, 1968; Barret, 1980; Boggs, 1992), en gestión del territorio (Bachi, 1973), en cartografía (Campbell, 2001), en matemáticas (Clark, 1981) etc.

Según (MacEachren, 1985) 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; Moellering & Rayner, 1981). Por otro lado aquellos autores que se han interesado por aspectos individuales de la forma (elongación, disección, compactibilidad indentación de bordes, sinuosidad de elementos lineales, simetría de redes, etc.).

Existe una gran variedad de métodos para medir la forma aunque hay una gran confusión para saber qué aspectos trata de medir cada método. Además, algunos índices están pensados para medir objetos 3D mientras que (MacEachren, 1985) otros para figuras 2D. Tampoco están claros los autores reales de muchos de los índices que se verán más adelante debido a que para

cada índice suelen existir otros índices que son pequeñas variaciones del primero.

Los diversos autores han buscado en los índices de forma las siguientes características, (Austin, 1984; Moellering & Rayner, 1981; Moellering & Rayner, 1982; Griffith, 1982)

- Regeneración de la forma original desde un índice de forma.
- Independencia de la escala.
- Independencia de la traslación de la figura.
- Independencia del punto de partida de la figura.
- Independencia de la rotación de la figura.
- Independencia del sistema de coordenadas empleado en la digitalización de la figura.
- Correspondencia uno a uno del índice resultante y la figura.

Stoddart (Stoddart, 1965) añade las siguientes características:

- Medidas significativas de la forma en sí, más que sus subpropiedades.
- Fácil de calcular.
- Que se pueda expresar en términos de un índice simple.
- Este índice pueda ser fácilmente reestablecido en términos de forma.

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 & Sallee, 1970). Sin embargo, sí es posible cuantificar alguno de los aspectos de la forma (elongación, compactación). Tal como dice Blott y Pye (Blott & Pye, 2008), y tal como hace Krumbein (Krumbein, 1941) 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 2D esta tesis se basará en las clasificaciones que hacen Frolov (Frolov, 1975), y MacEachren (MacEachren, 1985) a las que se añaden dos ítems más:

- Índices de forma obtenidos con el uso del perímetro P y el área A
- Índices de forma derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área.
- Índices de forma derivados de las dimensiones de los círculos inscritos y circunscritos.
- Índices de forma derivados del contorno tangencial.
- Índices de forma derivados de los vectores radiales de una figura.
- Índices de forma derivados de la distancia de un elemento particular de la figura al contorno.
- Índices de forma derivados de las relaciones cuantitativas en los polígonos inscritos.
- Índices de forma derivados de la distancia de elementos de la figura desde su centro.
- Estudios de forma basados en los análisis de Fourier.
- Índices de forma derivados de la comparación directa con otras formas.

#### 4.2.3.1 *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:

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

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:

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

En donde  $K = \frac{1}{2\sqrt{\pi}}$ . Este índice fue presentado por Wadell en 1933 (Wadell, 1933) con el nombre de razón de circularidad. En 1927 Cox (Cox, 1927) utiliza el mismo índice 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) formula según propuesta de Muraveyski (Muraveyski, 1948). 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)..

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

y

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

La imagen para Bothe es  $[2\sqrt{\pi}, \infty)$  donde  $2\sqrt{\pi}$  corresponde al círculo,  $\infty$  corresponde a la recta y 4 al cuadrado. La imagen para Steinhauser (Frolov, 1975) es  $[\frac{\sqrt{\pi}}{2}, \infty)$  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) y (Comber et al., 2003) 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) y de Miller (Miller, 1953)

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

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

Por último existen dos fórmulas más que, si bien pueden ser importantes en otras disciplinas, no se consideran relevantes en la detección de slivers. La primera de ellas es una variante de Steinhäuser:

$$\frac{P}{4\sqrt{A}} - 1$$

Que adopta valores negativos para el círculo, 0 para el cuadrado e  $\infty$  para la recta y

$$\frac{P + \sqrt{P^2 - 16A}}{P - \sqrt{P^2 - 16A}}$$

En donde el cuadrado vale 1, la recta vale  $\infty$  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 Nagel ( $I_1$ ) resulta interesante para detectar polígonos slivers. 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. Dado que pretendemos que el índice diferencie lo mejor posible a los polígonos slivers, es decir, a polígonos cuyos valores en el índice de Nagel se aproximen a cero, es preferible utilizar el índice de Nagel antes que el de Cox ( $I_2$ ). Al igual que la fórmula de Nagel busca comparar la figura con la del círculo, las formulas  $I_3$  e  $I_4$  buscan hacer lo mismo pero con un cuadrado por lo que no nos parecen tan útiles para nuestros fines.

La fórmula  $I_5$  puede parecer interesante porque su imagen es igual que la fórmula de Nagel pero en el caso de los polígonos slivers que no son rectos, esta fórmula presenta peores resultados que  $I_4$  ya que  $I_5$  se da menos peso al perímetro.

En cuanto a las fórmulas procedentes de la generalizada de Nagel, los índices más interesantes son  $I_8$  e  $I_9$  ya que presentan una imagen amplia en la que comparar polígonos slivers.

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.

#### 4.2.3.2 *Índices de forma derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área.*

En este segundo grupo de índices se utilizan conceptos sobradamente conocidos como la anchura y la altura de las figuras. Según Frolov, (Frolov, 1975) fue Vereschchagin (Vereshchagin, 1930) quien propuso medir la elongación de una figura lago mediante el cociente del eje más largo por el eje más corto, ambos en direcciones perpendiculares

$$I_{10} = \frac{l}{w}$$

Cuya imagen es  $[1, \infty)$ , 1 para el círculo, cuadrado o cualquier otra figura que  $w=l$ , e  $\infty$  para la recta. Otros autores como Folk (Folk, 1968) cita a la inversa del anterior como un buen medidor de la elongación de partículas en petrología.

$$I_{11} = \frac{w}{l}$$

Donde ahora la imagen es  $(0, 1]$  con 0 para la recta y 1 en las figuras donde  $w = l$ .

También existe una variante de la anterior:

$$I_{12} = \sqrt{I_{11}} = \sqrt{\frac{W}{l}}$$

Davis llama índice de forma de grano a la relación entre el perímetro de la figura y la longitud de su eje más largo.

$$I_{13} = \frac{P}{l}$$

Cuya imagen es  $(2, \pi)$  donde 2 corresponde con un polígono en forma de recta y los valores grandes los consiguen los polígonos pequeños pero con mucho perímetro (muy enrollados)

En 1932 Horton utiliza el índice siguiente (Horton, 1932)

$$I_{14} = \frac{A}{l^2}$$

Cuya imagen es  $(0, \frac{\pi}{4})$  donde 0 es la recta y  $\frac{\pi}{4}$  es el círculo.

En 1927 Pentland (Pentland, 1927) obtiene el siguiente índice mediante el cociente del área de la figura por el área de un círculo con diámetro igual al diámetro más largo de la figura  $l$

$$I_{15} = \frac{4A}{\pi l^2}$$

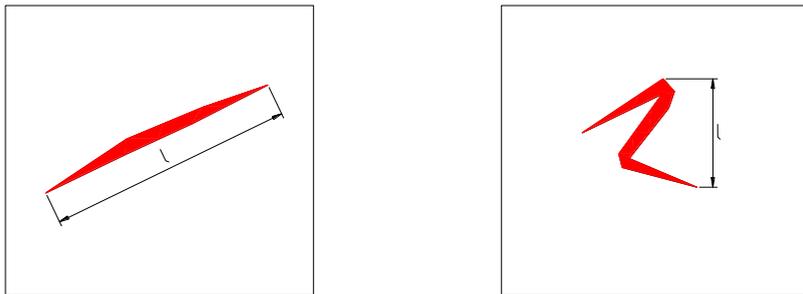
Cuya imagen es  $(0, 1]$  donde 0 corresponde a la recta y 1 al círculo.

En 1965 Haggett (Haggett, 1966) utiliza la fórmula de Pentland (Pentland, 1927) en la forma  $\frac{1.27A}{l^2}$ . Años antes Schumm (Schumm, 1956) obtiene la siguiente fórmula mediante el cociente del diámetro de un círculo que tiene la misma área de la figura de estudio por la longitud del eje más largo de la figura  $l$

$$I_{16} = \frac{d_c}{l} = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{l}$$

Que es la fórmula de Pentland dentro de la raíz cuadrada y cuya imagen es también  $(0, 1]$ .

Son varios los autores que argumentan la inutilidad de estos índices en la descripción de la forma (Folov, 1975; MacEachren, 1985; Austin, 1984; Stoddart, 1965) etc. En nuestro caso se puede decir que los índices que utilizan la longitud o anchura de los polígonos a lo largo de ejes rectos presentan un gran problema para detectar slivers tanto los que no son rectilíneos como los que tienen formas normales. En la siguiente figura puede verse como dos slivers con similares características en cuanto a área y perímetro presentarían valores muy distintos en muchos de estos índices. (ver figura 18)



**Figura 18.** *Slivers con la misma área y perímetro pero con distinta longitud*

En cambio estos índices pueden jugar un buen papel cuando lo que buscamos son slivers con la forma clásica alargada y rectilínea que muestra la figura anterior. Solo en este caso las conclusiones siguientes deben ser tenidas en cuenta. Cuando los slivers son rectilíneos y alargados prácticamente todos los índices pueden ayudar a detectarlos. De hecho Austin (Austin, 1984) afirma que muchas de las diferencias que muestran muchos de estos índices no son más que un factor de escala.

#### 4.2.3.3 Índices de forma derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos.

En este grupo de índices de forma de polígonos se incluyen todos aquellos que utilizan el máximo círculo inscrito al polígono y o el mínimo círculo circunscrito.

Muchas de las fórmulas que se incluyen en este apartado parten de las formas propuestas por Ehrenburg. (Ehrenburg, 1892) Si consideramos  $r_c$  el radio del círculo mínimo circunscrito,  $r_i$  el radio del máximo círculo inscrito y  $r$  el radio del círculo con misma área que la figura, se pueden obtener muchos índices mediante las operaciones:

$$I_{17} = \frac{r_c}{r_i}$$

$$I_{18} = \frac{r_c}{r}$$

$$I_{19} = \frac{r}{r_i}$$

La imagen correspondientes a la fórmula  $I_{17}$ , es  $[1, \infty)$  que es igual que el de la fórmula  $I_{18}$  . y la imagen de la fórmula  $I_{19}$  es  $(0, 1]$  donde 0 corresponde a la recta y 1 al círculo.

Las siguientes fórmulas son las mismas que las anteriores pero al cuadrado.

$$I_{20} = \left(\frac{r_c}{r_i}\right)^2$$

$$I_{21} = \left(\frac{r_c}{r}\right)^2$$

$$I_{22} = \left(\frac{r}{r_i}\right)^2$$

Tickell (Tickell, 1931) propone el índice siguiente

$$I_{23} = \frac{4A}{\pi D_C^2}$$

Donde  $D_c$  es el diámetro del mínimo círculo circunscrito. Este índice no supone más que el ratio entre  $\frac{r}{r_c}$  o  $\frac{D}{D_c}$  propuesto por Wadell (Wadell, 1933) o la fórmula  $\sqrt{\frac{A}{A_c}}$ . Todas ellas son la inversa de  $I_{18}$  y tienen como imagen  $[0, 1]$  donde 0 corresponde a la recta y 1 al círculo. Reock y Cole (Frolov, 1975) proponen el ratio entre el área de la figura y el área de mínimo círculo circunscrito

$$I_{24} = \frac{A}{A_c}$$

Que no es más que la fórmula de Tickell al cuadrado. Hay autores que utilizan la fórmula de Reock en la forma  $\frac{A}{A_c} \times 100$  para que la imagen pase a ser  $(0, 100]$ . La fórmula de Reock se convierte en la fórmula de Pentland, vista en el apartado anterior, en aquellos polígonos en los que la longitud máxima sea igual al diámetro del mínimo círculo circunscrito.

Riley en 1941 propone la siguiente fórmula:

$$I_{25} = \sqrt{\frac{D_i}{D_c}}$$

Que supone la inversa de  $I_{17}$  dentro de una raíz cuadrada. Esta fórmula es muy usada en sedimentología.

Otros autores han utilizado la fórmula:

$$I_{26} = \frac{A_i}{A}$$

Que es la inversa de  $I_{22}$ . La imagen tanto de  $I_{25}$  como de  $I_{26}$  es  $(0, 1]$  donde 0 corresponde a la recta y 1 al círculo.

Ehrenburg (Ehrenburg, 1892) propone también la siguiente fórmula:

$$I_{27} = \frac{A_c - A_i}{A}$$

Con imagen  $(0, \infty]$  donde 0 corresponde al círculo y  $\infty$  a la recta.

Por último se propone una fórmula que busca destacar dos características importantes de los slivers que son estrechos y de gran perímetro.

$$I_{28} = \sqrt{\frac{4\pi A_i}{P^2}}$$

Esta fórmula corresponde al ratio entre el área del círculo inscrito con respecto al área del círculo con mismo perímetro que la figura. Su imagen es (0, 1] donde 0 corresponde a la recta y 1 al círculo. La raíz cuadrada ayuda a distinguir mejor los valores próximos a cero.

En general, el problema principal de las fórmulas de este grupo es el elevado coste del cálculo del máximo círculo inscrito y de mínimo círculo circunscrito. Pese a que el cálculo del mínimo círculo circunscrito es más sencillo que el máximo círculo inscrito, ambos procesos son bastantes costosos por lo que es justificado su no uso en programas que necesitan analizar numerosos polígonos.

Otro problema que aparece en las fórmulas que utilizan el mínimo círculo circunscrito es aquel que surge también con cualquier otra figura convexa envolvente, y es que dos slivers similares podrían dar valores muy distintos si uno es alargado y otro está recogido. Este es el caso de los índices  $I_{23}$ ,  $I_{24}$ ,  $I_{25}$ ,  $I_{27}$  y en general aquellos índices que derivan de  $I_{17}$ ,  $I_{18}$ ,  $I_{20}$ ,  $I_{21}$ .

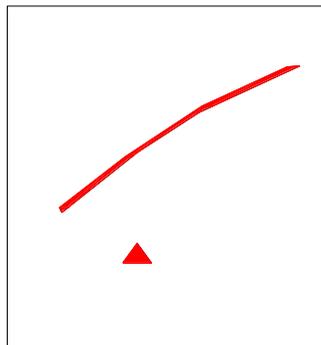
Por otro lado, las fórmulas de este grupo no tienen en cuenta una de las características más importantes de muchos polígonos slivers y es su gran perímetro frente a la poca superficie que generan. Este es el caso, por ejemplo, de las fórmulas que derivan de  $I_{22}$  como en el caso de  $I_{26}$ . La fórmula  $I_{28}$  propuesta busca solucionar este problema.

No obstante, en el caso de polígonos como acequias, canales, caminos, ríos etc. el índice  $I_{28}$  podría dar valores similares a polígonos que sí son slivers. El problema de estos polígonos es su gran similitud, en cuanto a la forma de muchos slivers. La diferencia con ellos está en que los slivers son más estrechos aún. De hecho, un polígono como un río, a una escala determinada sería un

polígono válido mientras que a una escala más pequeña podría considerarse sliver.

Una solución que se propone es simplemente considerar el diámetro del máximo círculo inscrito a un polígono. Si ese diámetro es inferior a una distancia establecida para ese conjunto de datos, el polígono puede considerarse sliver. Por ejemplo, supongamos que el polígono válido más estrecho sea un canal con una anchura de 5 metros. Se puede considerar sliver a todo aquel polígono cuyo diámetro del máximo círculo inscrito sea inferior a esos 5 metros.

Hay que hacer notar que, en realidad, este método solo tiene en cuenta que el polígono sea estrecho o pequeño. Esto amplía el espectro de los polígonos slivers que pueda detectar este método ya que tanto los polígonos alargados como compactos pueden ser detectados. (ver figura 19)



**Figura 19.** *Slivers estrecho y pequeño*

Elementos como edificios pequeños o parcelas de terreno realmente pequeños pueden verse también detectados como slivers por este método, por lo que la elección del valor del diámetro debe hacerse tomando también en cuenta las dimensiones de este tipo de polígonos.

#### 4.2.3.4 *Índices de forma derivados del contorno tangencial.*

Este grupo de índices utilizan diversas propiedades de la mínima superficie convexa envolvente a los polígonos en cuestión. Existen muchas figuras mínimas envolventes como el círculo mínimo circunscrito del que se ha

hablado anteriormente o como el rectángulo envolvente. En este apartado se utiliza el mínimo contorno tangente y convexo a la figura en cuestión.

Günter en 1875 (Günter, 1875) propuso dos índices con los cuales describir la forma de los polígonos.

$$I_{29} = K_1 \frac{A_{CH} - A}{A}$$

$$I_{30} = K_2 \frac{A_{CH} - A}{A_{CH}}$$

Donde  $A_{CH}$  es el área de la superficie envolvente y  $K_1$  y  $K_2$  son constantes.

Muraveyskiy en 1948 (Muraveyski, 1948) propuso el siguiente índice para medir la disección del contorno de un lago.

$$I_{31} = \frac{P}{P_{CH}}$$

Donde  $P_{CH}$  es el perímetro de la superficie envolvente.

También se ha utilizado una fórmula similar a la de Cox vista anteriormente pero utilizando el área de la superficie envolvente.

$$I_{32} = \frac{4\pi A_{CH}}{P^2}$$

Este índice tiene como imagen (0, 1] donde nuevamente 0 corresponde a la recta y 1 al círculo.

Por último se incluye la siguiente fórmula.

$$I_{33} = 1 - \frac{A}{A_{CH}}$$

Existen otras fórmulas que utilizan la superficie envolvente pero no merece la pena citarlas ya que una u otras tienen algunas desventajas. En primer lugar muchas de estas fórmulas presentan mismos valores para figuras completamente distintas. Por ejemplo la fórmula de Günter, la de Muraveyski y la  $I_{33}$  dan un valor de cero para el círculo, para la recta o para cualquier figura

convexa. En segundo lugar, el hecho de utilizar figuras envolventes no es práctico para detectar slivers. Dos polígonos slivers similares en área y perímetro pueden dar valores muy diferentes si uno es rectilíneo y el otro no. Por último se puede decir que el cálculo de la superficie envolvente es muy costoso.

#### 4.2.3.5 *Índices de forma derivados de los vectores radiales de una figura.*

En 1964 (Boyce & Clar., 1964) proponen el siguiente índice que utiliza distancias radiales  $r_i$  desde un punto central al contorno de la figura. La fórmula es:

$$I_{34} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{l_{r_i}}{\sum l_{r_i}} 100 - \frac{100}{n} \right|$$

Y su imagen, según (MacEachren, 1985; Frolov, 1975) es  $[0, 200)$  donde 0 corresponde al círculo y 200 a la recta. Según la experiencia de varios autores, es conveniente que se cumplan los siguientes condicionantes en este método:

- Los radios deben recorrer todo el contorno de la figura a intervalo angular constante.
- Para que los resultados sean coherentes es conveniente que el punto de origen sea un punto reconocible en todas las figuras como, por ejemplo, el centroide y que ese punto se encuentre en el interior de la figura.
- La figura debe aproximarse a su superficie envolvente, convexa (convex hull)
- Austin (Austin, 1984) recomienda que se utilice al menos 16 radios.

Pese a las recomendaciones indicadas, este método presenta serias dificultades a la hora de ser utilizado en la detección de polígonos slivers. En primer lugar, muchos slivers se aproximan poco a la forma de su superficie envolvente, de hecho Frolov afirma que este índice se ve afectado por el decrecimiento dado que los radios no intersectan el contorno a distancias iguales luego unos radios tendrán más peso que otros. Otro problema conocido de este

método es que diversas figuras pueden dar mismos valores con este índice. Por último, el punto origen de los radios es fundamental ya que ligeras variaciones en la posición de este punto produce valores muy distintos del índice.

#### 4.2.3.6 *Índices de forma derivados de la distancia de un elemento particular de la figura al contorno.*

En 1890 Rohrbach (Rohrbach, 1890) propone un índice que utiliza las distancias entre elementos diferenciales de una figura y su contorno. Su fórmula es:

$$I_{35} = \int_S rdS$$

Esta fórmula representa la accesibilidad a las partes internas de la figura desde el contorno. El índice aumenta al aumentar el grado de compactación y al disminuir las irregularidades del contorno.

Este índice presenta el problema de que no es adimensional por lo que nos darían valores distintos para la misma figura en función de la escala o el tamaño del mismo. Esto lo hace más difícil de usar para nuestros fines. No obstante, este índice es interesante ya que recoge una de las características de los polígonos slivers y es la estrechez o delgadez. Los polígonos slivers delgados y alargados deben dar valores muy inferiores a polígonos redondeados. No obstante, ya se ha dicho que los caminos, canales, cortafuegos, etc. tienen esta característica y sería muy difícil distinguirlos con este índice.

#### 4.2.3.7 *Índice de forma derivado de las relaciones cuantitativas en los polígonos inscritos*

Bunge en 1962 (Bunge, 1962) propuso un método para medir el índice de un polígono inscribiendo dentro de él un octógono de lados iguales y de ángulos variables. Posteriormente se obtienen seis parámetros con los cuales describir el índice de la figura. Los tres primeros parámetros se obtienen sumando las ocho distancias entre cada vértice y el siguiente saltando uno, dos y tres vértices respectivamente (Stoddart, 1965). Los tres últimos parámetros son los tres primeros al cuadrado.

Son varios autores los que describen las desventajas de este método (Stoddart, 1965; Frolov, 1975) etc. Puede darse el caso de que varios polígonos tengan inscritos el mismo octógono por lo que darían seis parámetros iguales en todos los casos. Frolov dice que con este método no se describe el polígono en cuestión sino el polígono inscrito. Para evitar esto es posible inscribir un polígono con más lados. Cuantos más lados tenga el polígono inscrito, más preciso será el método pero habrá que realizar más sumas. Por otro lado, tanto con un octógono como con otro polígono de más lados, es difícil trabajar con seis o más parámetros para comparar superficies y para establecer si un polígono es sliver o no. Este método no deja claro cómo deben usarse cada uno de los seis o más parámetros. Además según la posición del primer vértice del polígono inscrito se obtienen diferentes valores de los parámetros.

#### 4.2.3.8 *Índice de forma derivado de la distancia de elementos de la figura desde su centro*

En este grupo se localizan aquellos índices que miden de algún modo el grado de dispersión de la serie de elementos infinitesimales que forman la superficie en cuestión alrededor de un punto, generalmente el centroide.

En 1842, el economista Thünen (Thünen, 1966) propone un índice que consiste en la distancia media entre elementos diferenciales de la figura y un punto arbitrario.

$$I_{36} = \frac{1}{S} \int_S \rho dS$$

En 1958, (Stewart & Warntz, 1958) introducen el concepto de radio dinámico.

$$I_{37} = \sqrt{\frac{1}{S} \int_S \rho^2 dS}$$

En 1967 (Blair & Biss, 1967) utilizan el radio dinámico para crear un índice que mide el grado de compactación. Este índice consiste en el cociente entre la raíz cuadrada de la superficie en cuestión y el radio dinámico. A todo ello

se le multiplica por la constante  $1/\sqrt{2\pi}$  para que la imagen sea  $(0, 1]$  donde 0 corresponde a la línea recta y 1 al círculo.

$$I_{38} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{S}}{I_{37}} = \frac{S}{\sqrt{2\pi \int_S \rho^2 dS}}$$

Este índice ha sido ampliamente utilizado en numerosas temáticas (MacEachren, 1985). Un índice equivalente que utiliza las varianzas estadísticas es el siguiente:

$$I_{39} = \sqrt{\frac{A}{2\pi(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}}$$

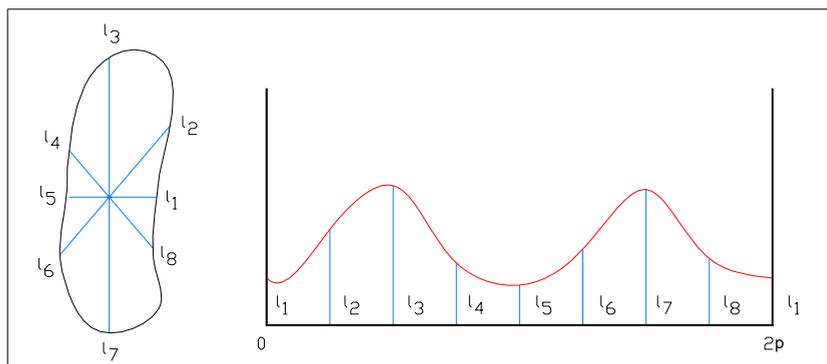
Este índice se puede encontrar al cuadrado pero es preferible de esta forma ya que nuestro rango de valores más amplio para los polígonos no compactos. En 1973 Bachi (Bachi, 1973) demuestra que es posible llegar a este índice directamente mediante coordenadas  $x$ ,  $y$  del contorno de los polígonos.

Nuevamente nos encontramos ante el problema de que estos índices no son adimensionales por lo que es difícil de establecer un rango de valores o unos límites en los cuales podemos decir que un polígono es sliver. En segundo lugar, los caminos, cortafuegos o canales serían difícilmente distinguibles de polígonos de formas similares y que si son slivers. Por último, si el punto elegido es el centroide podemos encontrarnos que los slivers retorcidos pueden tener el centroide fuera del polígono y las distancias de los elementos del polígono al centroide ser considerables. En esos casos el índice daría un valor alto contrario al que debería dar.

#### 4.2.3.9 *Estudios de la forma basados en Análisis de Fourier*

Son varias las formas en las que se han utilizado el análisis de Fourier para cuantificar la forma de las figuras. Comenzamos por el análisis polar de Fourier empleado mucho en sedimentología y paleontología (Davis, 2002). Este estudio se basa en que todo contorno cerrado puede ser expresado mediante coordenadas polares desde un punto central. Posteriormente esas coordenadas pueden ser resumidas mediante dos series de Fourier teniendo así representada

la figura. Existen importantes desventajas en este método. En primer lugar es importante determinar la ubicación del punto interior desde el cual se miden las coordenadas del contorno. Una pequeña variación de este punto cambia completamente los resultados del análisis. Existen cuerpos como conchas de fósiles que tienen puntos característicos comunes que son ideales para comparar formas pero en el caso de otras figuras como granos de arena, piedras o simples polígonos en un mapa este punto común no existe. Para ello puede tomarse el centroide. En segundo lugar, dado que este análisis requieren que las coordenadas tomadas del contorno estén angularmente igual de separadas respecto al centroide, esto obliga a tomar puntos del contorno que no fueron utilizados para determinar el centroide. Esto hace que el centroide deba ser recalculado para los nuevos puntos del contorno. Una tercera complicación importante es que el radio dibujado desde el centroide debe interseccionar el contorno solo una vez. Esto hace que muchos polígonos y, por supuesto, muchos slivers no puedan ser analizados por este método. (ver figura 20)



**Figura 20.** Analisis de Fourier

Para evitar esto es posible transformar el contorno de la figura en series de diferencias angulares entre puntos del contorno separados a una distancia constante. Ejemplos de ellos se pueden ver en Clark (Clark, 1981)

#### 4.2.3.10 Estudio de formas derivados de la comparación directa con otras formas

En este grupo incluimos tres índices diferentes. Por un lado el propuesto por Chorley en 1957 (Chorley, 1957) , en segundo lugar el índice de elipticidad utilizado por Stoddart en 1965 (Stoddart, 1965) y el otro propuesto por Lee and Salle en 1970 (Lee & Sallee, 1970).

En realidad, el índice de Chorley deriva del índice de Nagel visto anteriormente ( $I_1$ ) pero en vez de usar un círculo se emplea una lemniscata o pera. El índice consiste en el cociente entre el perímetro de una lemniscata  $L_\pi$  por la longitud del eje más largo de la figura L.

$$I_{40} = \frac{L_\pi}{L}$$

La lemniscata tiene la bien conocida ecuación en coordenadas polares  $\rho$  Y  $\theta$  siendo  $\rho = l \cos k\theta$ , donde  $l$  y  $k$  son constantes.

La lemniscata elegida en el índice de Chorley debe de cumplir con las siguientes condiciones. Por un lado su longitud  $l$  debe coincidir con la longitud más larga de la figura L y en segundo lugar su área debe ser la misma que la figura A. De esta segunda condición se obtiene

$$k = \frac{\pi l^2}{4A}$$

Así, el perímetro de la lemniscata se calcula mediante la fórmula

$$L_\pi = 2b \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{K^2 - 1 \operatorname{sen}^2}{K^2}} \varphi d\varphi$$

Así la imagen del índice es (0, 1] donde 0 corresponde a la recta y 1 a una lemniscata.

El índice de elipticidad fue utilizado por Stoddart en 1965 (Stoddart, 1965) para medir la forma de los atolones. Stoddart creó el ratio entre el eje más largo de la figura  $l$  con el eje menor de una elipse  $2b$  cuya área es igual a la de la figura y el eje mayor igual al eje más largo de la figura.

$$I_{41} = \frac{l}{2b} = \frac{\pi l^2}{4A}$$

Ya que el área de la elipse es  $A = \pi ab$  y por tanto  $b = \frac{A}{\pi(\frac{l}{2})}$  Este índice tiene como imagen  $[1/4, \infty)$  donde  $1/4$  corresponde al círculo,  $\infty$  a la recta y 1 para la elipse.

Por último en 1970 Lee and Salle propusieron un método de comparación entre la figura en cuestión y una figura estándar pero sin comparar las áreas ni perímetros. El método consiste en superponer la figura en cuestión con la figura estándar procurando que se maximice el área común. Cuando se trata de medir el polígono compacto la figura estándar elegida suele ser el círculo por lo que el giro de la figura estándar se hace irrelevante en este caso. Un método sencillo para alinear las figuras es la de hacer coincidir sus centros de gravedad. Una vez alineadas las dos figuras se calcula las áreas de las zonas de unión y de intersección introduciendo los valores en la siguiente fórmula.

$$I_{42} = 1 - \frac{A \cap C}{A \cup C}$$

Donde A es la figura en cuestión y C es el círculo. Esta fórmula tiene como imagen  $[0, 1)$  siendo 0 en el caso de que la figura en cuestión sea un círculo y 1 cuando es una recta.

Pese a que la comparación de la figura en cuestión con otras figuras estándar como lemniscatas o elipses ha dado buenos resultados en análisis geográficos, en nuestro caso, los dos primeros métodos vistos en este apartado no se consideran adecuados, ya que los polígonos slivers pueden tener muchas formas distintas por lo que estos índices funcionarían en unos casos y en otros no.

En cuanto al método de Lee and Salle se pueden encontrar varias objeciones. En primer lugar hay que fijarse que una pequeña variación en la alineación de las figuras puede ocasionar una gran diferencia en los valores del índice. Por eso se suele emplear el centro de gravedad. Pero este procedimiento no garantiza que se maximice el área común entre ambas figuras. Sin embargo, intentar alinear las figuras para maximizar el área común puede ser un proceso

complejo de automatizar además de costoso en tiempo teniendo en cuenta que se debería hacer para todos los polígonos de un mapa. A eso se tiene que añadir que una vez alineados los polígonos hay que realizar nuevamente operaciones costosas como las de unión e intersección. Por último, debemos fijarnos que según la forma de los polígonos slivers los valores de los índices pueden cambiar considerablemente.

Existen otros muchos métodos que tratan de cuantificar la forma o alguno de sus componentes. Muchos de esos métodos no se mencionan por estar alejados del propósito de este estudio. Un ejemplo es el propuesto por Dryden (Dryden, 1998) en el que busca comparar dos figuras cualquiera y cuantificar su diferencia superponiéndolas. Se escalan, se rotan y desplazan las figuras hasta hacerlas coincidir lo mejor posible. Seguidamente se miden sus ángulos y distancias entre los tres tipos de landmarks o puntos de correspondencia entre ambas figuras. Estas medidas o sus ratios se utilizan para cuantificar la diferencia entre las figuras.

### ***4.3 APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES MÁS RELEVANTES A DISTINTAS FORMAS DE POLÍGONOS***

En este apartado, de todos los índices de forma vistos anteriormente, solo se van analizar el comportamiento de los índices de forma obtenidos con el uso del perímetro y el área, los índices de forma derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área y por último los índices de forma derivados de las dimensiones de los círculos inscritos y circunscritos. Los demás índices no son de aplicación directa y requieren de un cálculo más pormenorizado para la obtención de un valor que en ocasiones no es dimensional (4.2.3.8)

Otros son muy sensibles a pequeñas variaciones efectuadas en la toma de datos (4.2.3.9) y (4.2.3.5).

Otros se emplean para detectar irregularidades en el contorno más que la forma del propio polígono (4.2.3.6) y (4.2.3.8)

Algunos analizan la similitud a otras formas y no son aplicables a los slivers como (4.2.3.10)

El resto de índices presentan numerosas desventajas ya expuestas por otros autores.

Para poder aplicar los índices anteriores, se ha optado por una serie de polígonos característicos, los cuales tienen formas geométricas y dimensiones lineales variadas. De todos estos polígonos que se han utilizado, hay que decir que solo uno de ellos es un polígono sliver.

Las nomenclaturas utilizadas para los diversos parámetros de los índices de estos polígonos son los siguientes (ver tabla 1).

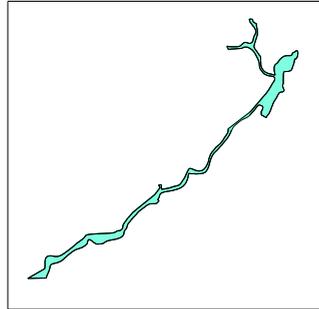
<b>SIGNIFICADO NOMENCLATURA TABLAS</b>	
<b><math>r_i</math></b>	Radio del Máximo Círculo Inscrito
<b><math>r_c</math></b>	Radio del Mínimo Círculo Circunscrito
<b><math>r</math></b>	Radio del Círculo Misma Área Figura
<b><math>l</math></b>	Longitud del Eje Largo de la Figura
<b><math>A</math></b>	Área
<b><math>P</math></b>	Perímetro
<b><math>A_i</math></b>	Área Máximo Círculo Inscrito
<b><math>A_c</math></b>	Área Máximo Círculo Circunscrito
<b><math>\rho</math></b>	Área Círculo con el Mismo Perímetro que la Figura
<b><math>w</math></b>	Perpendicular

**Tabla 1.** Nomenclatura fórmulas empleadas

Una vez especificada la nomenclatura se procederá a observar las características, formas y dimensiones de los polígonos, obteniendo una tabla con los datos para cada polígono. Las formas de los polígonos característicos empleados, se muestran en las figuras (21-26).

El primero de estos polígonos tiene una forma alargada además es bastante estrecho con respecto a su longitud, y no es sliver. Un ejemplo de este

tipo de polígono puede ser el cauce de un río etc. (ver figura 21). Los datos obtenidos son los siguientes (ver tabla 2).

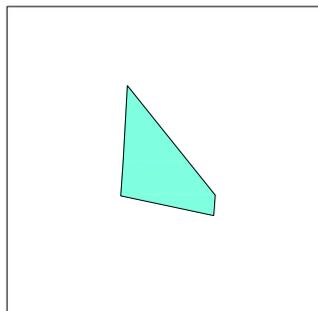


**Figura 21.** Polígono alargado no sliver

<b>A</b>	<b>P</b>	<b>r<sub>i</sub></b>	<b>r<sub>c</sub></b>	<b>r</b>
156727.08 m <sup>2</sup>	8447.85 m	60 m	1470 m	223.35 m
<b>l</b>	<b>A<sub>i</sub></b>	<b>A<sub>c</sub></b>	<b>ρ</b>	<b>w</b>
2752 m	11309.73 m <sup>2</sup>	6788667.56 m <sup>2</sup>	5679139.33 m <sup>2</sup>	525.52 m

**Tabla 2.** Datos obtenidos del polígono con forma alargada

El segundo polígono es muy pequeño y tiene forma triangular y es sliver. (ver figura 22). Los datos obtenidos se especifican en la siguiente tabla (ver tabla 3).

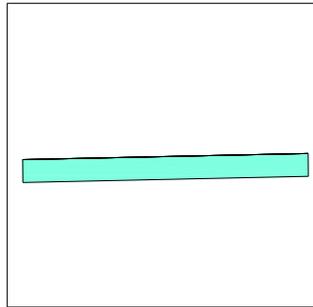


**Figura 22.** Polígono de forma triangular. Sí sliver

A	P	$r_i$	$r_c$	r
2.74 m <sup>2</sup>	7.74 m	0.651 m	1.666 m	0.933 m
l	A <sub>i</sub>	A <sub>c</sub>	$\rho$	w
3.29 m	1.331 m <sup>2</sup>	8.719 m <sup>2</sup>	4.767 m <sup>2</sup>	1.56 m

**Tabla 3.** Datos obtenidos del polígono con forma triangular

El tercer polígono tipo es muy estrecho y alargado como por ejemplo una acequia y por lo tanto no es sliver. (ver figura 23). Los datos de dicho polígono se encuentran en la tabla (ver tabla 4).

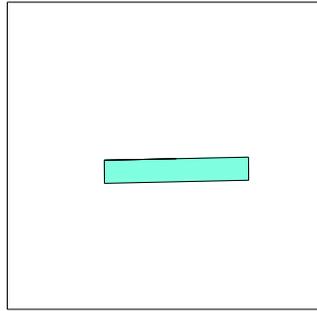


**Figura 23.** Polígono muy estrecho y alargado. No sliver

A	P	$r_i$	$r_c$	r
58.89 m <sup>2</sup>	2729 m	0.30 m	682 m	16.14 m
l	A <sub>i</sub>	A <sub>c</sub>	$\rho$	w
1364 m	0.02827 m <sup>2</sup>	1461230.14 m <sup>2</sup>	592735.39 m <sup>2</sup>	0.60 m

**Tabla 4.** Datos obtenidos del polígono con forma estrecha y alargada

El cuarto y quinto polígono tienen características similares en cuanto al área, perímetro, y máximo círculo inscrito, pero son diferentes en su forma. El primero de ellos es alargado (ver figura 24) y el segundo retorcido (ver figura 25). Obteniendo los datos en las tablas (ver tabla 5) y (ver tabla 6).

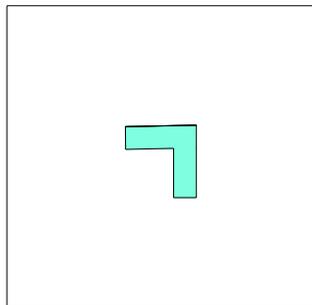


**Figura 24.** *Polígono estrecho y alargado. No sliver*

<b>A</b>	<b>P</b>	<b>r<sub>i</sub></b>	<b>r<sub>c</sub></b>	<b>r</b>
3632.90 m <sup>2</sup>	635.31 m	5.94 m	152.90 m	34.005 m
<b>l</b>	<b>A<sub>i</sub></b>	<b>A<sub>c</sub></b>	<b>ρ</b>	<b>w</b>
305.80 m	110.846 m <sup>2</sup>	73445.44 m <sup>2</sup>	32124.02 m <sup>2</sup>	11.88 m

**Tabla 5.** Datos obtenidos del polígono con forma estrecha y alargada

El quinto de los polígonos es estrecho y retorcido, teniendo características en común con el polígono anterior. Este polígono, como el anterior no es sliver.

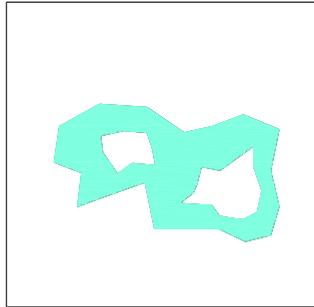


**Figura 25.** *Polígono estrecho y retorcido. No sliver*

A	P	$r_i$	$r_c$	r
3632.90 m <sup>2</sup>	635.36 m	5.94 m	112.40 m	34.005 m
l	A <sub>i</sub>	A <sub>c</sub>	ρ	w
188.703 m	110.846 m <sup>2</sup>	39690.13 m <sup>2</sup>	32124.02 m <sup>2</sup>	128.977 m

**Tabla 6.** Datos obtenidos del polígono estrecho y retorcido

Por último tenemos el sexto polígono, este polígono tiene islas dentro de él y no es sliver (ver figura 26). Los datos son los especificados en la tabla (ver tabla 7).



**Figura 26.** Polígono con islas. No sliver

A	P	$r_i$	$r_c$	r
2195551278 m <sup>2</sup>	2064636 m	2799.07 m	95498 m	26436 m
l	A <sub>i</sub>	A <sub>c</sub>	ρ	w
156048 m	24613798 m <sup>2</sup>	28650910320 m <sup>2</sup>	3392167578000 m <sup>2</sup>	40851 m

**Tabla 7.** Datos obtenidos del polígono con islas

### **4.3.1 Índices de forma obtenidos con el uso del perímetro y del área**

Este apartado lo dividiremos dependiendo de la imagen que tengan los índices de las fórmulas utilizadas en el apartado 4.2.3.1 “índices de forma obtenidos por el uso del perímetro y el área”. Obteniéndose cuatro casos.

- En el primer caso se va a utilizar 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.

En la siguiente tabla se representan los valores para los polígonos seleccionados en el apartado anterior (ver tabla 8).

INDICES						
$I_1 = \frac{2\sqrt{\pi A}}{P}$	0.166	0.758	0.00996	0.3363	0.0565	0.08045
$I_2 = \frac{4\pi A}{P^2}$	0.0275	0.574	0.00009	0.1131	0.1131	0.00647
$I_5 = \frac{4A}{lP}$	0.02696	0.4304	0.00006	0.0747	0.1212	0.02725

**Tabla 8.** Datos obtenidos para el cálculo de las formas por el uso del perímetro y del área. Para valores de (0, 1]

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 valores entre el 0,0565 del polígono quinto del índice  $I_1$  al valor de 0,3363 del polígono cuarto en el índice  $I_1$ . 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.

- En el segundo caso la imagen tendrá unos valores de  $(0, 4/\pi]$  y  $(0, 1/\pi]$  respectivamente, donde el 0 corresponde a la recta y al círculo  $4/\pi$  y  $1/\pi$ . El índice  $I_3$  tiene una imagen de  $(0, 4/\pi]$  y para la  $I_4$  la imagen es  $(0, 1/\pi]$  (ver tabla 9).

INDICES						
$I_3 = \frac{16A}{P^2}$	0.0351	0.7317	0.00012	0.1440	0.1440	0.00824
$I_4 = \frac{4A}{P^2}$	0.00878	0.1829	0.00003	0.0360	0.0360	0.00206

**Tabla 9.** Datos obtenidos para el cálculo de las formas por el uso del perímetro y del área. Para valores de  $(0, 4/\pi]$  y  $(0, 1/\pi]$

Con estos índices 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

- En el tercer caso corresponde a los índices  $I_6$  e  $I_7$  siendo la imagen de la primera de las fórmulas  $[2\sqrt{\pi}, \infty)$  donde  $2\sqrt{\pi}$  corresponde al círculo e  $\infty$  a la recta. En la segunda la imagen es  $[\frac{\sqrt{\pi}}{2}, \infty)$  siendo  $\frac{\sqrt{\pi}}{2}$  para el círculo e  $\infty$  para la recta. (ver tabla10).

INDICES						
$I_6 = \frac{P}{\sqrt{A}}$	21.3398	4.6759	355.617	10.540	10.540	44.0627
$I_7 = \frac{P}{4\sqrt{A}}$	5.3347	1.1689	88.9043	2.6350	2.6350	11.0156

**Tabla 10.** Datos obtenidos para el cálculo de las formas por el uso del perímetro y del área. Para valores de  $[2\sqrt{\pi}, \infty)$  y  $[\frac{\sqrt{\pi}}{2}, \infty)$

Se observa que el valor de la primera fórmula más parecido a  $2\sqrt{\pi}$  es la 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.

- En el cuarto caso corresponde a los índices  $I_8$  y  $I_9$  los cuales tienen una imagen de  $[1, \infty)$  donde el 1 corresponde al círculo e  $\infty$  a la línea (ver tabla11).

INDICES						
$I_8 = 0.282 \frac{p}{\sqrt{A}}$	6.0816	1.3186	100.284	2.9723	2.9723	12.4257
$I_9 = \frac{p^2}{4\pi A}$	36.2358	1.7387	10056.8	8.8345	8.8345	154.398

**Tabla 11.** Datos obtenidos para el cálculo de las formas por el uso del perímetro y del área. Para valores de  $[1, \infty)$

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.

### **4.3.2 Índices de forma derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área**

En este apartado las fórmulas utilizan la anchura y longitud, relacionadas entre ellas o con el área o el perímetro. Los índices empleados son, desde  $I_{10}$  al  $I_{16}$ .

Con respecto a las imágenes las dividimos en tres casos.

- En el primer caso corresponde al índice  $I_{10}$ , que tiene una imagen con los valores de  $[1, \infty)$  siendo el 1 para el círculo, cuadrado o cualquiera otra figura, e  $\infty$  para la recta. (ver tabla 12).

INDICES						
$I_{10} = \frac{l}{w}$	5.2367	2.1089	2273.33	25.7407	1.4637	3.81986

**Tabla 12.** Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área. Para valores de  $[1, \infty)$

Cuanto más largo y estrecho sea el polígono mayor será el resultado, como ocurre en el tercer polígono a tenor de los resultados. En cambio en los polígonos con formas más compactas, redondeados, incluso triangulares, doblados etc. el resultado se acerca más a 1 como ocurre en el segundo y quinto polígono.

- En el segundo caso la imagen tiene unos valores de  $(0, 1]$  donde el 1 corresponde al círculo y el 0 a la recta. Esta imagen corresponde con los índices  $I_{11}, I_{12}, I_{15}, I_{16}$ . En la siguiente tabla se tienen los valores para estos índices (ver tabla 13).

INDICES						
$I_{11} = \frac{w}{l}$	0.1909	0.4741	0.00043	0.03881	0.6835	0.26178
$I_{12} = \sqrt{\frac{w}{l}}$	0.43692	0.68854	0.02097	0.197022	0.8267	0.511644
$I_{15} = \frac{4A}{\pi l^2}$	0.02622	0.3222	0.000040	0.04937	0.12999	0.11479
$I_{16} = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{l}$	0.16232	0.56772	0.006348	0.22222	0.360415	0.3388

**Tabla 13.** Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área. Para valores de  $(0, 1]$

Se puede observar que los valores más cercanos a 1 son los polígonos que tienen cierta forma triangular y están doblados, como es el caso del segundo y quinto polígono. Por lo tanto podemos decir que este tipo de fórmulas presentan un buen rendimiento para los polígonos muy estrechos y alargados, como es el caso del tercer polígono.

- En el tercero de los casos, la imagen que se utiliza es la correspondiente a  $(2, \infty)$  para el índice  $I_{13}$ , y  $(0, \pi/4)$  para el índice  $I_{14}$ .

Estas dos fórmulas usan la relación entre el perímetro, área de la figura y su longitud referida al eje más largo.

La primera de las fórmulas utiliza una imagen de  $(2, \infty)$  donde el 2 corresponde a la recta y  $\infty$  al círculo. Para la segunda de las fórmulas la imagen será de  $(0, \pi/4)$  donde el 0 corresponde a la recta y  $\pi/4$  al círculo (ver tabla 14)

INDICES						
$I_{13} = \frac{P}{l}$	3.0697	2.352	2.0087	2.0964	3.3669	13.2307
$I_{14} = \frac{A}{l^2}$	0.0206	0.2531	0.000031	0.03878	0.10202	0.09016

**Tabla 14.** Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones lineales de una figura y su área. Para valores de  $(2, \infty)$  y  $(0, \pi/4)$

En la tabla se observa que el valor más cercano a 2 es el correspondiente al tercero de los polígonos, siguiendo a continuación el cuarto de ellos, esto es debido a que su perímetro está muy cercano al doble de su longitud. En el índice  $I_{14}$  el polígono más cercano a 0 es el tercero ya que tiene un área relativamente pequeña con respecto a su longitud.

### **4.3.3 Índices de forma derivados de la dimensiones de círculos inscritos y circunscritos**

En este grupo de índices de forma se incluyen los relacionados con los círculos inscritos y circunscritos.

A este grupo, pertenecen los índices comprendidos entre el  $I_{17}$ , y el  $I_{28}$ .

Los índices los dividiremos según sean sus imágenes, obteniendo tres tipos correspondientes a las siguientes imágenes  $[1, \infty]$ ,  $(0, 1]$ ,  $[0, \infty)$ .

- La primera imagen es la correspondiente a  $[1, \infty]$  donde el 1 corresponde al círculo y  $\infty$  a la recta.

En la tabla siguiente (ver tabla 15) se encuentran las fórmulas relacionadas con los radios las cuales corresponden a las fórmulas  $I_{17}$ ,  $I_{18}$ ,  $I_{19}$ ,  $I_{20}$ ,  $I_{21}$ ,  $I_{22}$ , que está relacionada con el área y el diámetro.

INDICES						
$I_{17} = \frac{r_c}{r_i}$	24.50	2.559	2273.33	25.740	18.922	34.11771
$I_{18} = \frac{r_c}{r}$	6.581	1.784	42.255	4.4963	3.3053	3.6124
$I_{19} = \frac{r}{r_i}$	3.7225	1.4344	53.8	5.724	5.724	9.44457
$I_{20} = \left(\frac{r_c}{r_i}\right)^2$	600.25	6.548	5168029	662.547	358.063	1164.018
$I_{21} = \left(\frac{r_c}{r}\right)^2$	43.309	3.1826	1785.485	20.2167	10.9251	13.0494
$I_{22} = \left(\frac{r}{r_i}\right)^2$	13.857	2.0575	2894.44	32.773	32.773	89.1999

**Tabla 15.** Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos. Para valores de  $[1, \infty)$

El primero de los polígonos nos debe de dar unos valores altos para estos índices puesto que es un polígono alargado y por lo tanto el radio del mínimo círculo, circunscrito será muy grande con respecto al radio del máximo círculo inscrito. El más razonable es el correspondiente al  $I_{20}$ , también podría destacar los índices  $I_{17}$  y  $I_{22}$ , los cuales tienen unos valores altos pero no tanto como el índice anterior. Esto también ocurre con los polígonos tercero y cuarto, que tienen que dar unos valores altos, sobre todo el tercero de ellos, ya que el polígono es casi una recta y tiene un radio mínimo circunscrito muy grande con respecto al máximo círculo inscrito, siendo el valor más alto el obtenido en el  $I_{20}$ .

El segundo de los polígonos tiene una forma compacta, y por lo tanto, los valores obtenidos en los índices deben de estar cercanos a 1, todos los índices dan unos valores razonables, siendo el  $I_{20}$  el que más se aleja.

El sexto polígono es también un polígono compacto y los valores deben de dar cerca de 1, siendo los valores que más se acercan el  $I_{18}$ ,  $I_{19}$ , por el contrario el valor más alejado es el  $I_{20}$ . Esto es debido a que el polígono tiene islas dentro y por lo tanto el radio del máximo círculo inscrito se hace más pequeño, aumentando el valor considerablemente.

- En el segundo caso segundo la imagen es  $(0, 1]$  , y para este caso los índices dependen de las áreas y diámetros, siendo los índices empleados los siguientes,  $I_{23}$ ,  $I_{24}$ ,  $I_{25}$ ,  $I_{26}$ ,  $I_{28}$ .

Para esta imagen el valor 1 es para el círculo y el 0 para la recta. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla siguiente (ver tabla 16).

INDICES						
$I_{23} = \frac{4A}{\pi D_c^2}$	0.02308	0.31423	0.000040	0.04946	0.07613	0.076631
$I_{24} = \frac{A}{A_c}$	0.02308	0.31423	0.000040	0.04946	0.0915	0.076631
$I_{25} = \sqrt{\frac{D_i}{D_c}}$	0.2020	0.6251	0.02097	0.19710	0.2298	0.171202
$I_{26} = \frac{A_i}{A}$	0.07216	0.48591	0.0048	0.0305	0.0305	0.011210
$I_{28} = \sqrt{\frac{4\pi A_i}{P^2}}$	0.000066	0.8580	0.000003	0.05874	0.05874	0.000000 005

**Tabla 16.** Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos. Para valores de  $(0, 1]$

Para los polígonos que sean alargados, y que tengan poca área, tendrán el diámetro del mínimo círculo circunscrito muy grande, por lo tanto los valores deben de ser cercanos a 0, esto ocurre, sobre todo en el tercero de los polígonos el cual nos da unos valores muy cercanos a 0. Para los polígonos compactos como en el caso del segundo de los polígonos, el valor se tiene que acercar a 1, siendo el mejor de los valores, el obtenido

en el índice  $I_{28}$ , en el caso del sexto polígono que también es algo compacto, da un valor muy bajo, y esto es, debido a que tiene mucho perímetro con respecto al área.

- En el tercer caso la imagen es  $[0, \infty)$  donde 0 corresponde al círculo y  $\infty$  a la recta. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla siguiente (ver tabla 17).

INDICES						
$I_{27} = \frac{A_c - A_i}{A}$	43.243	2.6964	24812.86	20.1862	10.8946	13.0383

**Tabla 17.** Datos obtenidos para el cálculo de los índices derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos. Para valores de  $[0, \infty)$

En este índice se relaciona las áreas del máximo círculo circunscrito, el área del máximo círculo inscrito y el área, los valores más bajos se deben dar en los polígonos compactos como es el segundo polígono, obteniendo el valor más cercano a 0 de todos. El valor más alto se debe dar en los polígonos estrechos y muy alargados como es el caso del tercero de los polígonos el cual nos da un valor altísimo, el cuarto de los polígonos que tiene el mismo área que el quinto, nos da un valor, casi el doble que el quinto polígono.

#### **4.4 CONCLUSIONES DE LA APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES ANTERIORES**

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 (ver tabla 18).

INDICES						
I <sub>1</sub>	B	B	B	B	B	M
I <sub>2</sub>	B	NR	B	B	B	M
I <sub>5</sub>	B	M	B	B	B	M
I <sub>3</sub>	B	B	B	B	B	M
I <sub>4</sub>	B	NR	B	B	B	M
I <sub>6</sub>	B	B	B	B	B	M
I <sub>7</sub>	B	B	B	NR	NR	M
I <sub>8</sub>	NR	B	B	M	M	M
I <sub>9</sub>	B	B	B	NR	NR	M

**Tabla 18.** Resultados de los índices con el uso del perímetro y del área

Para los índices de forma derivados de las dimensiones lineales y su área (ver tabla 19).

INDICES						
$I_{10}$	NR	B	B	B	M	B
$I_{11}$	B	NR	B	B	M	M
$I_{12}$	NR	B	B	B	M	NR
$I_{15}$	B	NR	B	B	B	M
$I_{16}$	B	NR	B	B	NR	M
$I_{13}$	NR	NR	B	B	M	B
$I_{14}$	B	M	B	B	B	M

**Tabla 19.** Resultados de los índices de las dimensiones lineales y su área

Para los índices de forma derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos (ver tabla 20).

INDICES						
$I_{17}$	B	B	B	B	B	M
$I_{18}$	NR	B	B	M	M	NR
$I_{19}$	M	B	B	NR	NR	NR
$I_{20}$	B	NR	B	B	B	M
$I_{21}$	NR	B	B	NR	B	M
$I_{22}$	NR	B	B	B	B	M
$I_{23}$	B	NR	B	B	B	M
$I_{24}$	B	NR	B	B	B	M
$I_{25}$	B	B	B	B	B	M
$I_{26}$	B	NR	B	B	B	M
$I_{28}$	B	B	B	B	B	M
$I_{27}$	B	B	B	B	NR	M

**Tabla 20.** Resultados de los índices derivados de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos

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 por los polígonos 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 excepto en el  $I_{10}$  e  $I_{13}$ . 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  $I_1$ ,  $I_3$ ,  $I_6$ ,  $I_{17}$ ,  $I_{25}$ , e  $I_{27}$ , tres de ellos derivados del uso del perímetro y del área y los otros tres de las dimensiones de círculos inscritos y circunscritos.



## **5. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA SOBRE EXACTITUD POSICIONAL**

### ***5.1 EXACTITUD POSICIONAL***

Podríamos definir la exactitud posicional como la diferencia de posición horizontal y vertical que existe entre los datos geográficos verdaderos correspondientes al terreno y su representación.

La exactitud posicional se suele determinar en función de la escala a la cual se ha realizado la captura de la información, por lo tanto es la escala del mapa quien determina la precisión, siendo la más utilizada la siguiente expresión para su cálculo  $0,2 \cdot D$ , siendo D el denominador de la escala.

#### ***5.1.1 Fuentes de inexactitud posicional***

Hay innumerables fuentes de error que pueden influir en la calidad de todos los datos de un SIG. Esto, que resulta muy claro, puede no ser tan difícil de discernir, ya que algunas de ellas pueden ser identificadas automáticamente por el SIG, pero es responsabilidad del usuario su prevención. Algunos casos particulares puede necesitar de comprobaciones específicas de error, porque los propios SIG son capaces de inducir al usuario una falsa sensación de exactitud y precisión sin garantizar la validez de los datos (Kenneth et al., 1995). Por ejemplo, suavizar cambios en las líneas fronterizas, en las curvas de nivel, etc. es un procedimiento que falsea la realidad. En realidad, estas cuestiones son a menudo poco vagas (Burrough, 1986). Hay una imprecisión inherente en la cartografía como resultado de los procesos de proyección y la necesaria distorsión producida en algunos de sus datos (Koeln, 1994); una imprecisión que puede continuar a través de los procesos aplicados con los SIG. Los usuarios de los SIG deben ser capaces, no sólo de reconocer el error, sino el grado de error tolerable y asumible del sistema (Burrough, 1986) divide las fuentes de error en tres grandes categorías:

- Fuentes de error obvias, como por ejemplo la antigüedad de los datos, el área de cobertura, escala del mapa, densidad de las observaciones.
- Errores resultantes de la variación natural de las medidas originales. En esta categoría se encuentran la exactitud posicional, precisión en el contenido, fuentes variación de los datos.
- Errores surgidos en los procesamientos. Esta categoría engloba los errores numéricos, errores en los análisis topológicos como los slivers, digitalización y errores geocodificados.

Generalmente las dos primeras categorías son más fáciles de detectar que la última, debido a que estos errores permanecen un tanto escondidos y son difíciles de identificar ya que surgen al procesar los datos.

## **5.2 EXACTITUD POSICIONAL A DISTINTAS ESCALAS**

En este apartado vamos a resumir las distintas especificaciones técnicas empleadas por algunos de los organismos públicos para la elaboración de la cartografía.

La Base Topográfica Armonizada BTA surge para homogeneizar la cartografía oficial española para las escalas 1/5000 y 1/10000 y por lo tanto permitir el intercambio entre las cartografías realizadas por las comunidades autónomas. El IGN utiliza esta cartografía para actualizar las bases topográficas nacional BTN para la escala 1/25000.

La evaluación de la exactitud posicional horizontal se hará por muestreo, comparando la posición de un cierto número de vértices de la base con su posición obtenida. El resultado para una escala de 1/5000 (BTA) será de un sesgo menor que 0,05 m. y un error EMC de 0,60 m. por componente lo que equivale a una exactitud de 1m. en el 90% de los casos. Para una escala de 1/25000 el IGN no dará por bueno ningún trabajo cuya exactitud posicional

absoluta tenga una precisión menor de 5 m. tanto en planimetría como en altimetría, para el indicador error máximo con un 95% de intervalo de confianza.

En el ICC para la escala 1/5000 las especificaciones técnicas de la base topográfica con respecto a la exactitud posicional estima que el 90% de los puntos tienen una exactitud igual o mayor de 1 m. en X, Y en planimetría para las Z de 1,5 m. Con la escala 1/10000 se estima que la exactitud planimétrica tiene un error medio cuadrático de 1,5 m. en puntos bien definidos en cada una de las coordenadas. En la escala 1/25000 se estima que el 90% de los puntos bien definidos tienen una exactitud igual o mayor de 2,5 m. en cada una de las coordenadas. Por último para la escala 1/50000 se estima que el 90% de los objetos bien definidos tienen una exactitud de 10 m. en X, Y y las cotas altimétricas un error medio cuadrático de 5 m.

### **5.3 NORMAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD CARTOGRÁFICA**

La calidad de la cartografía supone el utilizar estándares definidos, para que se ajusten a unas normas establecidas por unos organismos de normalización. Hay diversos organismos de normalización tanto a nivel internacional ISO, europeo CEN o nacional como en España AENOR con las normas UNE. Hay muchas normas que están relacionadas con la cartografía, pero podemos destacar las siguientes normas: ISO19111, 19113, 19114, 19115, 19116, 19117, 19138.

([http://polibuscador.upv.es/primo\\_library/libweb/action/search.do?dscnt=0&scp.scps=scope%3A\(H\)%2Cscope%3A\(aleph\)&frbg=&tab=bibliotecas&dstmp.](http://polibuscador.upv.es/primo_library/libweb/action/search.do?dscnt=0&scp.scps=scope%3A(H)%2Cscope%3A(aleph)&frbg=&tab=bibliotecas&dstmp.))

ISO 19111 Georreferenciación para coordenadas. Define el esquema conceptual para la descripción de la referencia espacial por coordenadas, los sistemas de coordenadas y de referencia tanto en su posición horizontal como en vertical.

ISO 19113 Principio de calidad. Establece los principios para describir la calidad de los datos y conceptos geográficos para el manejo de la información de

calidad, especificando los componentes para tener información de calidad, como la exactitud posicional de los objetos, temporal o la exactitud temática.

ISO 19114 Procedimientos de evaluación de la calidad. Esta norma nos proporciona más parámetros para evaluar la calidad al conjunto de datos obtenidos, viendo si se cumplen los criterios previstos en las especificaciones del producto. El procedimiento para evaluar la calidad de los datos se logra a través de la aplicación de uno o más métodos de evaluación, los cuales pueden ser directos donde los datos se comparan con la información de referencia y los indirectos en los cuales se usa la información sobre dichos datos, posteriormente. En resumen podemos destacar que la exactitud posicional es imprescindible para los mapas topográficos, también deben de estar relacionados con el uso que se pretende dar al mismo.

Hay muchas magnitudes que dependen de su exactitud posicional como la distancia, el área, el volumen etc. Por lo tanto la exactitud posicional es un valor cuantificable que representa la diferencia posicional entre dos capas geoespaciales o entre una capa geoespacial y la realidad. Hay distintas metodologías para el control de posicionalidad (Atkinson, 2005).

La calidad posicional es una de las componentes de la calidad del dato geográfico (Morrison, 1995) la cual viene determinada por la exactitud posicional (Ariza, 2005) siendo esencial en la producción cartográfica, por lo tanto todos los institutos cartográficos oficiales han utilizado métodos estadísticos de evaluación o control de dicha componente.

ISO 19115 Metadatos. El objetivo es proporcionar un procedimiento claro para la descripción de conjuntos de datos geográficos, estableciendo un conjunto común de terminología de metadatos, para el intercambio efectivo de información.

ISO 19116 Servicios de posicionamiento. Define una interfaz estándar de estructura de datos para el uso entre dispositivos de localización y sistemas de información geográfica.

ISO 19117 Representación gráfica. Especifica la metodología para describir la simbología.

ISO 19138 Medidas de calidad de los datos. Esta especificación técnica definirá un conjunto de medidas para evaluar la calidad de los datos identificados en la ISO 19113. Estas medidas se aplicarán para evaluar la calidad de los conjuntos de datos geográficos y para evaluar su idoneidad. Con respecto a los polígonos slivers identificados nos proporciona dos parámetros de control, 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  $I_2$  del apartado 4.2.3.1.



## **6. APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES RC Y ÁREA A CARTOGRAFÍA A DISTINTAS ESCALAS**

### **6.1 CARTOGRAFÍA UTILIZADA**

En este apartado se va a valorar la razón de circularidad y el área que son los índices utilizados en la norma ISO 19138 para caracterizar a los polígonos slivers.

Se trata de ver si con el uso exclusivo de estos índices se puede caracterizar correctamente a los polígonos slivers o, por el contrario, existen polígonos no slivers con valores similares a los slivers en estos índices.

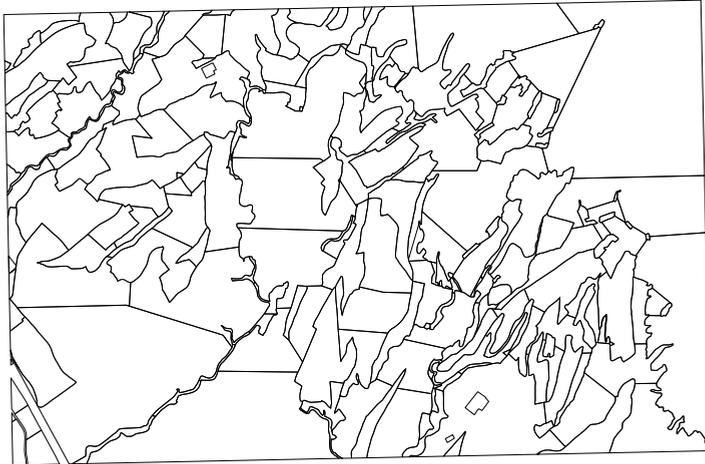
Para poder realizar los estudios de los algoritmos que más tarde implementaremos es necesario disponer de cartografía a distintas escalas, siendo estas las siguientes 1/5000, 1/10000, 1/25000, y 1/50000.

Para la escala 1/5000, se ha usado la hoja número 167-70 Casalarreina del gobierno de La Rioja, de esta hoja se ha cogido la parte superior izquierda (505237,2893 4712442,9735) ED 50 coordenadas UTM una superficie de 1 km. por 600 m (ver figura 27).



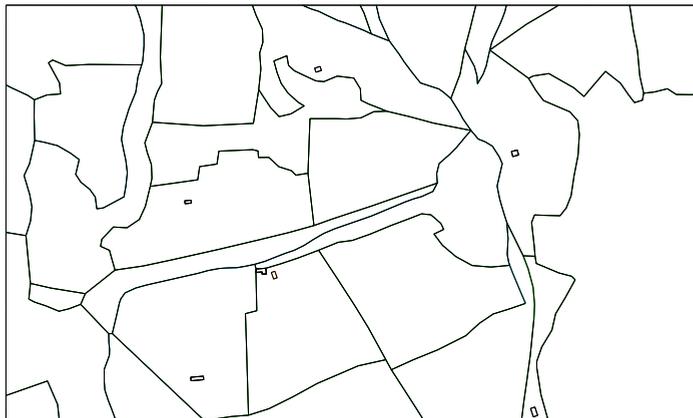
**Figura 27.** Hoja escala 1/5000

Para la cartografía a escala 1/10000 se utilizó del Instituto Cartográfico Valenciano (ICV) la hoja 694-13 de cultivos con una superficie de la hoja de 7,158 km. por 4,625 km. siendo las coordenadas UTM de la parte superior izquierda de (655763,790 4383302,170) (ver figura 28).



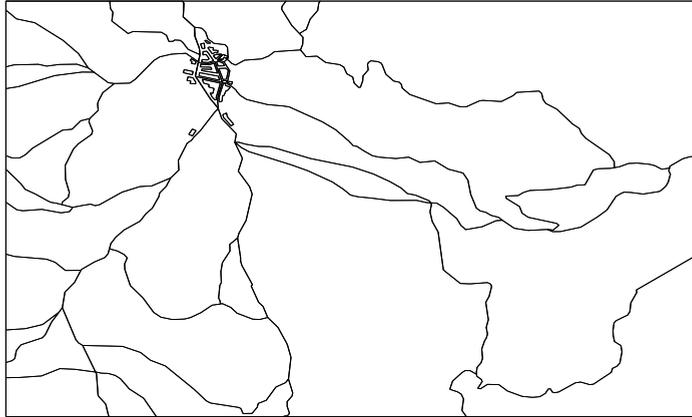
**Figura 28.** Hoja escala 1/10000

Para la cartografía a la escala 1/25000 se utilizó del Instituto Geográfico Nacional (IGN) una parte de la hoja 615-II con una superficie de 1 km. por 600 m. siendo las coordenadas UTM de la parte superior izquierda (736005,890 4446003,830) (ver figura 29).



**Figura 29.** Hoja escala 1/25000

Para la escala 1/50000 se partió de la hoja 590 (La Puebla de Valverde) del Mapa topográfico Nacional del IGN de la cual se recorta en AutoCAD un rectángulo de 4 km. por 3 km. siendo las coordenadas UTM de la esquina superior izquierda de (664000,000 4460000,000) (ver figura 30).



**Figura 30.** Hoja escala 1/50000

## **6.2 GENERACIÓN DE MAPAS CON POLÍGONOS SLIVERS**

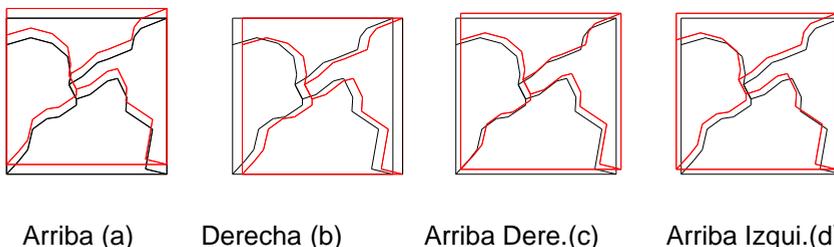
Para poder aplicar los estudios de los algoritmos que luego se implementarán es necesario disponer de cartografía con polígonos slivers.

Para el caso de estudio, cuando más polígonos slivers existan en la cartografía utilizada mucho mejor, ya que se puede escoger una representación muy grande de la población.

El proceso para la generación de slivers ha sido el siguiente. Se ha realizado una superposición de mapas de la misma cartografía pero no coincidiendo exactamente en su posición espacial, aplicándole una serie de desplazamientos a uno de los mapas y superponiéndolo con el original.

### 6.2.1 Desplazamientos de mapas originales

A la cartografía original le ha aplicado cuatro desplazamientos, el primero hacia arriba, el segundo hacia la derecha, el tercero hacia arriba derecha y el último arriba izquierda (ver figura 31-a-b-c-d).



**Figura 31.** a-b-c-d. Desplazamientos realizados en la cartografía empleada

### 6.2.2 Tolerancias empleadas en los desplazamientos

Dependiendo de la escala utilizada en la cartografía tendremos unas tolerancias diferentes, los cálculos para la obtención de los desplazamientos se han realizado utilizando el límite de percepción visual por el denominador de la escala, obteniéndose los siguientes desplazamientos para las X y las Y (ver tabla 21).

Escala	Arriba		Derecha		Arriba Derecha		Arriba Izquierda	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1/5000	0	1	1	0	0,707	0,707	-0,707	0,707
1/10000	0	2	2	0	1,414	1,414	-1,414	1,414
1/25000	0	5	5	0	3,535	3,535	-3,535	3,535
1/50000	0	10	10	0	7,071	7,071	-7,071	7,071

**Tabla 21.** Tolerancias empleadas en los desplazamientos de la cartografía (metros)

**6.2.3 Generación y clasificación de los polígonos en slivers y no slivers**

Lo primero que se hace es una copia de la cartografía base, a continuación la desplazamos en X e Y la cantidad indicada en la tabla anterior, a continuación se realiza la unión de la cartografía base con la desplazada, generándose un único marco con una gran población de polígonos slivers. Esta acción se hará con los cuatro desplazamientos indicados en el apartado anterior, a continuación se le aplica a la cartografía el programa implementado llamado “decide si es sliver”, (ver apéndice I) el cual nos permite clasificar manualmente cada uno de los polígonos en sliver o no, rellenándose la tabla correspondiente. Por último exportamos la tabla generada a Excel.

En la tabla siguiente se muestran el número de polígonos que son slivers y los que no lo son, con las escalas correspondientes (ver tabla 22).

Escala	Sliver	No Sliver
1/5000	716	168
1/10000	10393	924
1/25000	446	120
1/50000	591	124

**Tabla 22.** Polígonos slivers y no slivers a las distintas escalas empleadas

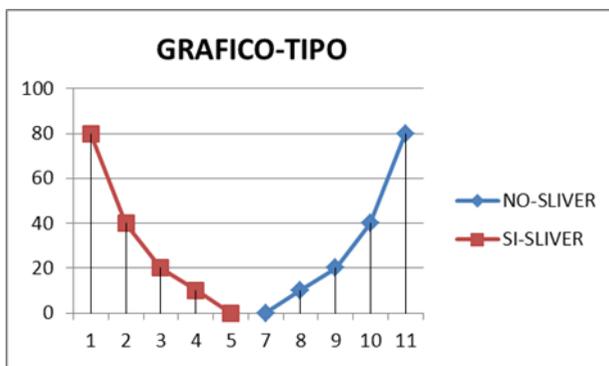
**6.3 OBTENCIÓN DE DATOS**

El programa anterior también crea los campos RC y AREA con los valores de la razón de circularidad y área para cada uno de los polígonos.

El propósito de este apartado es el de obtener unos umbrales para cada uno de esos dos índices que clasifiquen los polígonos en slivers o no slivers. Es decir, sería interesante, por ejemplo, llegar a poder establecer estadísticamente unas cifras o umbrales con los cuales poder decir que el 100% de los polígonos por debajo de ese umbral son slivers y que si un polígono tiene un índice por

encima de ese umbral tiene una probabilidad del 100% de ser no sliver con ese índice. Para ello, lo primero juntaremos todos los datos obtenidos en los desplazamientos de la cartografía para cada escala. Obtenemos así un conjunto de datos que utilizaremos en Excel para obtener unos histogramas de frecuencia que se detallan en los siguientes apartados.

El histograma tipo buscado sería el que no tuviera solapes entre los polígonos slivers y los polígonos no slivers, es decir tendría que haber una zona en la cual no se encontrara ningún polígono sliver y ningún polígono no sliver, como por ejemplo en la gráfico siguiente, en el que se ve una separación entre el valor máximo de los polígonos slivers y el valor mínimo de los polígonos no slivers para un índice determinado (ver gráfico 1).

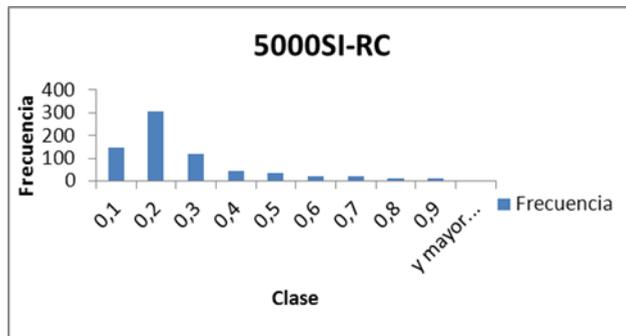


**Gráfico 1.** Histograma tipo buscado

En el histograma se puede observar que no hay polígonos slivers con valores en el índice superiores a 5 y no hay polígonos no slivers con valores en el índice inferiores a 7, por lo tanto existe un salto entre el 5 y el 7 en el cual no hay polígonos por lo tanto podríamos decir en este caso que un valor de 6, por ejemplo, supondría un umbral de diferenciación entre sliver y no sliver. Esta es la situación ideal buscada para la determinación de los polígonos slivers. En los apartados siguientes vamos a obtener este tipo de histogramas para las distintas escalas y métodos empleados y buscaremos en ellos el tipo de umbrales antes indicados.

### 6.3.1 Obtención de histogramas de frecuencia

Recordamos que para cada escala y cada mapa se efectuó cuatro desplazamientos mínimos para crear polígonos slivers. Para cada mapa y cada escala se clasificaron los polígonos en slivers y no slivers, así como los valores de los polígonos para cada índice estudiado. Con todos los resultados obtenidos se crearon los histogramas de frecuencia para cada escala. Para cada uno de los dos índices se separaron los datos de los polígonos slivers y los que no son slivers. Los histogramas de frecuencia recogen los intervalos de clase para cada índice en el eje de abscisas y el número de polígonos en el eje de ordenadas. Por ejemplo, el histograma de frecuencia (ver gráfico 2) nos dice en el título que la escala utilizada es la 1/5000, que son slivers y el método empleado es el del cálculo de la razón de circularidad en un polígono, los intervalos de clase son 0,1, al, 0,9.



**Gráfico 2.** Cálculo del radio máximo círculo inscrito en un polígono sliver a escala 1/5000

#### 6.3.1.1 *Intervalos de clase utilizados en los histogramas de frecuencia*

Dependiendo de la escala y el método se han utilizado los intervalos de clase siguientes en los histogramas de frecuencia:

Para el método de la razón de circularidad el cual es adimensional los intervalos de clase son constantes y de 0,1 de ancho, los valores oscilan entre el 0,1 al 0,9. Estos valores se establecen para todas las escalas utilizadas.

Por último para el método del área se ha seguido el siguiente criterio para establecer los intervalos de clase. Para el IGN y en el MTN25, las superficies inferiores a 144 m<sup>2</sup> apenas pueden representarse en su verdadera magnitud y se

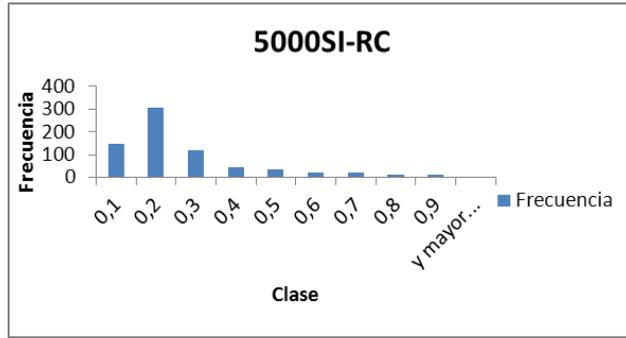
eliminan o bien se representan mediante simbología. Esos  $144 \text{ m}^2$  a 1/25000 suponen un cuadrado de 12 m. de lado, es decir un cuadrado de 0.5 mm. de lado. Esas son aproximadamente las dimensiones mínimas que debe tener un cuadrado simbolizado según otros autores. Podemos seguir ese criterio para establecer como tolerancia que un área  $\leq (0,5 \text{ mm} \times D)^2$  se considera suficientemente pequeño como para no poder ser representado en su verdadera magnitud a esa escala, es decir, puede ser considerado un polígono sliver, pero eso lo dirán después los umbrales que se hallen. Aquí lo que se buscan son los intervalos de clase. Para todas las escala los valores utilizados han sido 1/2 de la tolerancia, la tolerancia, 3/2 de la tolerancia y 2 veces la tolerancia. La tolerancia para la escala 1/5000, teniendo en cuenta el criterio anterior es de 6,25 y los intervalos obtenidos son los que a continuación se detallan: 3,125, 6,250, 9,375, 12,500. En la escala 1/10000 utilizaremos el doble de los valores de la escala 1/5000, en la escala 1/25000 los valores son 78,125, 156,250, 234,375, 312,500. Y por último en la escala 1/50000 los valores serán 312,500, 625,000, 937,500, 1250,000.

### *6.3.1.2 Histogramas de frecuencia individuales a escala 1/5000*

Se han obtenido para los dos métodos indicados los histogramas de frecuencia correspondientes tanto para los polígonos slivers como para los polígonos que no son slivers.

#### *6.3.1.2.1 Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/5000*

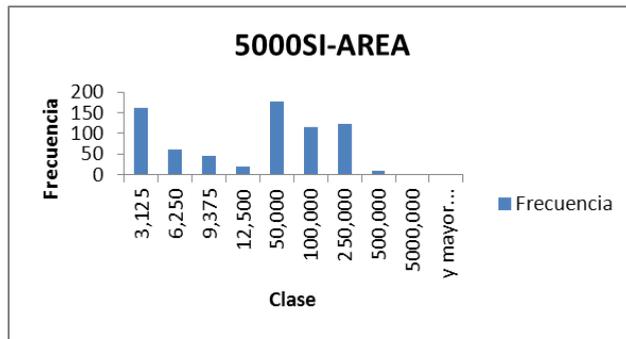
El primer histograma (ver gráfico 4) es el obtenido de la unión de los cuatro mapas usados para la escala 1/5000. A continuación calculamos los datos de la razón de circularidad y obtenemos el número de polígonos que son slivers para los distintos intervalos descritos en el apartado 6.3.1.1. (ver gráfico 3).



**Gráfico 3.** Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono sliver a escala 1/5000

En este histograma vemos que tenemos polígonos slivers en todos los intervalos de clase, lo cual hará difícil diferenciar los polígonos slivers de los que no lo son, encontrándose la mayoría de ellos en los intervalos menores.

El segundo histograma de frecuencia es el correspondiente al cálculo del área de los polígonos slivers, con los intervalos descritos en el apartado 6.3.1.1 anterior (ver gráfico 4).



**Gráfico 4.** Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono sliver a escala 1/5000

Nuevamente en este histograma se aprecia que hay polígonos slivers en todos los intervalos de clase, siendo una distribución bimodal.

A continuación tenemos los datos numéricos de los histogramas de frecuencia con la relación de intervalos de clase y la frecuencia de polígonos que sí son slivers (ver tabla 23). Estos datos se han obtenido para la razón de circularidad y el área.

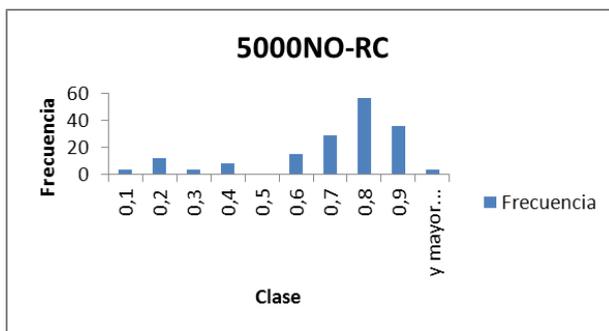
RC		AREA	
Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
0,1	145	3,125	162
0,2	305	6,250	61
0,3	120	9,375	46
0,4	44	12,500	20
0,5	36	50,000	177
0,6	21	100,000	114
0,7	19	250,000	124
0,8	14	500,000	10
0,9	12	5000,000	2
y mayor...	0	y mayor...	0

**Tabla 23.** Datos numéricos slivers. Escala 1/5000

**6.3.1.2.2 Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/5000**

Se realizaron los mismos pasos que para los polígonos slivers del apartado anterior, pero en este caso para los polígonos que no son slivers, obteniendo los dos histogramas de frecuencia correspondientes a cada uno de los métodos empleados.

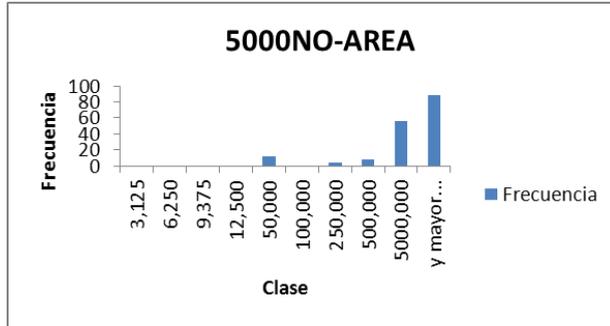
El primero de los histogramas es el correspondiente a la razón de circularidad (ver gráfico 5).



**Gráfico 5.** Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono no sliver a escala 1/5000

En este histograma hay polígonos en todos los intervalos de clase salvo en el intervalo de 0,5 que no hay ningún polígono, la mayoría de los polígonos se encuentran en los intervalos más cercanos a la unidad.

Y en último lugar tenemos el histograma correspondiente al área (ver gráfico 6).



**Gráfico 6.** Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono no sliver a escala 1/5000

En este histograma tenemos la mayoría de los polígonos en los intervalos de clase superiores a 50 m<sup>2</sup>.

A continuación tenemos los datos numéricos de los histogramas de frecuencia con la relación de intervalos de clase y la frecuencia de polígonos que no son slivers (ver tabla 24). Estos datos se han obtenido para los dos métodos utilizados, la razón de circularidad y el área.

**RC**

**AREA**

Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
0,1	4	3,125	0
0,2	12	6,250	0
0,3	4	9,375	0
0,4	8	12,500	0
0,5	0	50,000	12
0,6	15	100,000	0
0,7	29	250,000	4
0,8	56	500,000	8
0,9	36	5000,000	56
y mayor...	4	y mayor...	88

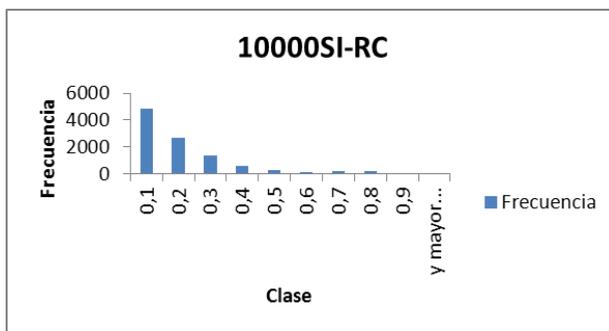
**Tabla 24.** Datos numéricos no slivers. Escala 1/5000

### 6.3.1.3 Histogramas de frecuencia individuales a escala 1/10000

Se han obtenido para los dos métodos indicados anteriormente los histogramas de frecuencia correspondientes, tanto para los polígonos slivers como para los polígonos que no son slivers.

#### 6.3.1.3.1 Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/10000

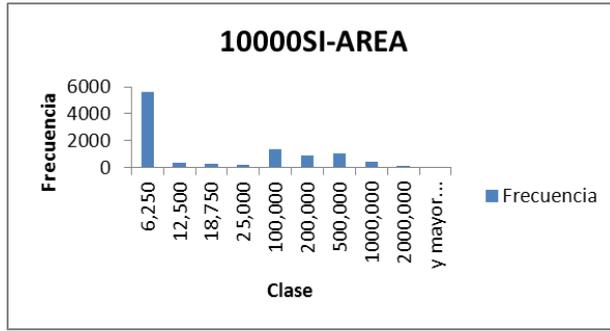
El primero de los histogramas de frecuencia es el obtenido de la unión de los cuatro mapas usados para la escala 1/10000. A continuación calculamos los datos de la razón de circularidad y obtenemos el número de polígonos que son slivers para los distintos intervalos descritos en el apartado 6.3.1.1 (ver gráfico 7).



**Gráfico 7.** Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono sliver a escala 1/10000

En este histograma tenemos en todos los intervalos polígonos slivers, encontrándose la mayoría de los polígonos slivers en los intervalos de clase más pequeños, se aprecia que conforme aumentan los intervalos de clase disminuye el número de polígonos sliver.

El segundo de los histogramas de frecuencia es el correspondiente al cálculo del área de los polígonos slivers, con los intervalos descritos en el apartado 6.3.1.1 anterior (ver gráfico 8).



**Gráfico 8.** Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono sliver a escala 1/10000

En este histograma tenemos en todos los intervalos polígonos slivers, teniendo el mayor número de polígonos slivers en el intervalo más pequeño.

A continuación se muestra la relación de intervalos con el número de polígonos (frecuencia) para el método propuesto la razón de circularidad y el área para polígonos que sí son slivers (ver tabla 25).

RC		AREA	
Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
0,1	4871	6,250	5612
0,2	2653	12,500	356
0,3	1344	18,750	271
0,4	573	25,000	196
0,5	318	100,000	1340
0,6	150	200,000	914
0,7	210	500,000	1105
0,8	215	1000,000	466
0,9	59	2000,000	111
y mayor...	0	y mayor...	22

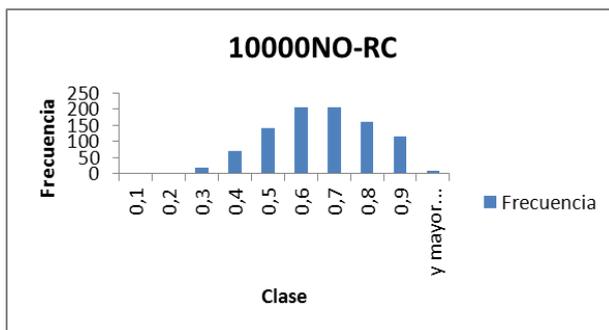
**Tabla 25.** Datos numéricos slivers. Escala 1/10000

Se puede observar numéricamente los intervalos de clase así como el número de polígonos que están por debajo de dicho intervalo de clase.

### 6.3.1.3.2 Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/10000

Se hicieron los mismos pasos que para los polígonos slivers del apartado anterior pero para los polígonos que no son slivers, obteniendo los tres histogramas correspondientes a cada uno de los índices realizados.

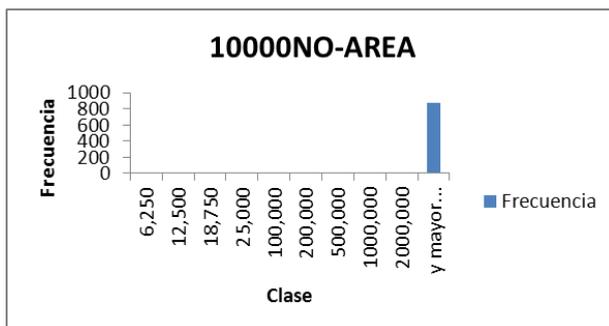
El primero de los histogramas es el correspondiente al cálculo de la razón de circularidad (ver gráfico 9).



**Gráfico 9.** Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono no sliver a escala 1/10000

En este histograma hay polígonos no slivers en todos los intervalos de clase menos en el intervalo de 0,1. La mayoría de los polígonos se encuentran en los intervalos 0,6 y 0,7.

El segundo de los histogramas de frecuencia es el correspondiente al cálculo del área de los polígonos slivers, con los intervalos descritos en el apartado 5.4.1.1 anterior (ver gráfico 10).



**Gráfico 10.** Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono no sliver a escala 1/10000

En este histograma tenemos a todos los polígonos que no son slivers por encima del intervalo 25, encontrándose la mayoría de ellos en los mayores intervalos.

A continuación tenemos los datos numéricos de los histogramas de frecuencia con la relación de intervalos de clase y la frecuencia de polígonos que no son slivers (ver tabla 25). Estos datos se han obtenido para los dos métodos utilizados, la razón de circularidad y el área.

RC		AREA	
Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
0,1	0	6,250	0
0,2	3	12,500	0
0,3	19	18,750	0
0,4	69	25,000	0
0,5	141	100,000	3
0,6	204	200,000	13
0,7	204	500,000	12
0,8	159	1000,000	12
0,9	115	2000,000	16
y mayor...	10	y mayor...	868

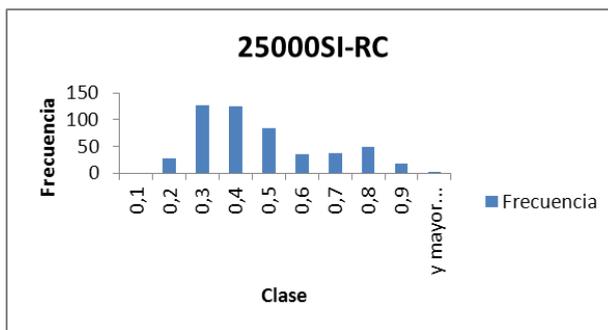
**Tabla 26.** Datos numéricos no slivers. Escala 1/10000

**6.3.1.4 Histogramas de frecuencia individuales a escala 1/25000**

Se han obtenido para los dos métodos indicados los histogramas de frecuencia, tanto para los polígonos slivers como para los polígonos que no son slivers.

**6.3.1.4.1 Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/25000**

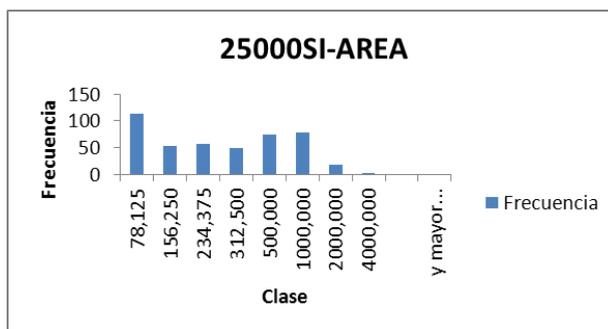
El primero de los histogramas es el obtenido por la unión de los cuatro mapas empleados para la escala 1/25000. Se calculó la razón de circularidad para todos los polígonos que son slivers obteniendo el número de polígonos slivers para cada uno de los intervalos descritos en el apartado 6.3.1.1. (ver gráfico 11).



**Gráfico 11.** Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono sliver a escala 1/25000

En este histograma tenemos polígonos slivers en todos los intervalos menos en el de 0,1, también vemos que la mayoría de los polígonos slivers se encuentran entre los intervalos 0,3 y 0,4.

El segundo de los histogramas es el correspondiente al cálculo del área de los polígonos slivers. Obteniéndose el número de polígonos que se encuentran en los intervalos descritos en el apartado 6.3.1.1 anterior (ver gráfico 12).



**Gráfico 12.** Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono sliver a escala 1/25000

En este histograma tenemos polígonos slivers en todos los índices de los intervalos, pero la mayoría de ellos se encuentra en el índice que tiene menor área.

Relaciones numéricas de intervalos empleados, así como el número de polígonos existentes en dichos intervalos para la razón de circularidad y el área de todos los polígonos que sí son slivers (ver tabla 27).

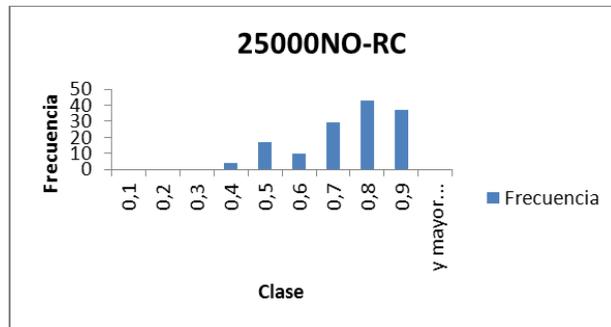
RC		AREA	
Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
0,1	0	78,125	113
0,2	28	156,250	54
0,3	126	234,375	56
0,4	125	312,500	49
0,5	85	500,000	75
0,6	32	1000,000	78
0,7	18	2000,000	19
0,8	23	4000,000	2
0,9	8		0
y mayor...	1	y mayor...	0

**Tabla 27.** Datos numéricos slivers. Escala 1/25000

**6.3.1.4.2 Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/25000**

Se emplearon los mismos pasos que para los polígonos slivers del apartado anterior pero para los polígonos que no son slivers, obteniendo los histogramas correspondientes a cada uno de los cálculos realizados.

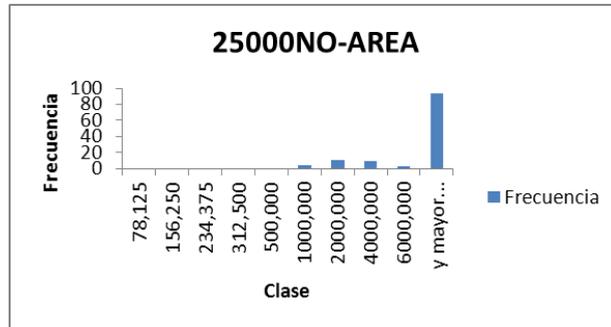
El primero de los histogramas es la correspondiente a la razón de circularidad (ver gráfico 13).



**Gráfico 13.** Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono no sliver a escala 1/25000

En este histograma se encuentran todos los polígonos no slivers en los intervalos de clase de 0,4 en adelante, no existiendo ningún polígono en los intervalos menores de 0,4.

El segundo de los histogramas de frecuencia es el correspondiente al cálculo del área de los polígonos slivers, con los intervalos descritos en el apartado 6.3.1.1 anterior (ver gráfico 14).



**Gráfico 14.** Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono no sliver a escala 1/25000

En este histograma tenemos a todos los polígonos que no son slivers por encima del intervalo 500.

A continuación tenemos los datos numéricos de los histogramas de frecuencia con la relación de intervalos de clase y la frecuencia de polígonos que no son slivers (ver tabla 28). Estos datos se han obtenido para los dos métodos utilizados, la razón de circularidad y el área.

RC		AREA	
Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
0,1	0	78,125	0
0,2	0	156,250	0
0,3	0	234,375	0
0,4	4	312,500	0
0,5	16	500,000	0
0,6	9	1000,000	4
0,7	28	2000,000	11
0,8	39	4000,000	9
0,9	24	6000,000	3
y mayor...	0	y mayor...	93

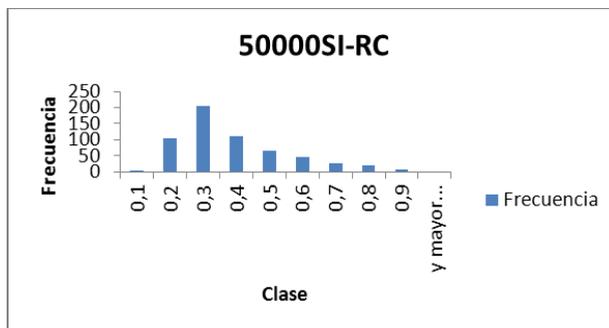
**Tabla 28.** Datos numéricos no slivers. Escala 1/25000

**6.3.1.5 Histogramas de frecuencia individuales a escala 1/50000**

Se han obtenido para los dos métodos indicados los histogramas correspondientes para los polígonos slivers y para los polígonos que no son slivers.

**6.3.1.5.1 Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/50000**

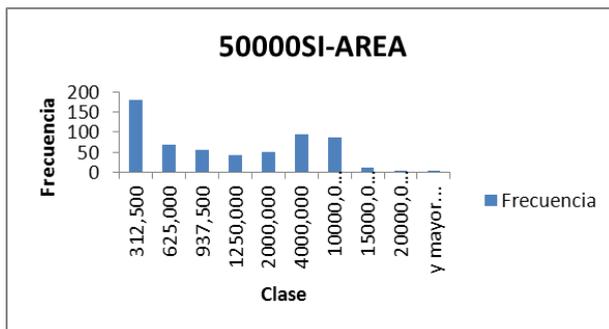
El primero de los histogramas es el obtenido por la unión de los cuatro mapas usados para la escala 1/50000. Calculándose la razón de circularidad se obtuvieron el número de polígonos que son slivers para los distintos intervalos descritos en el apartado 5.4.1.1 (ver gráfico 15).



**Gráfico 15.** Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono sliver a escala 1/50000

En este histograma tenemos polígonos slivers en todos los intervalos desde el 0,1 al 0,9. También se observa que la mayoría de los polígonos slivers se encuentran entre los intervalos 0,4 y 0,1.

El segundo de los histogramas es el correspondiente al cálculo del área de los polígonos slivers, con los intervalos descritos en el apartado 5.4.1.1 anterior (ver gráfico 16).



**Gráfico 16.** Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono sliver a escala 1/50000

En este histograma tenemos polígonos slivers en todos los índices de los intervalos, pero la mayoría de ellos se encuentran en el índice que tiene menor área.

En la siguiente tabla puede verse la relación numérica de intervalos empleados, así como el número de polígonos (frecuencia) existente en dichos intervalos, para la razón de circularidad y el área de todos los polígonos que sí son slivers (ver tabla 29).

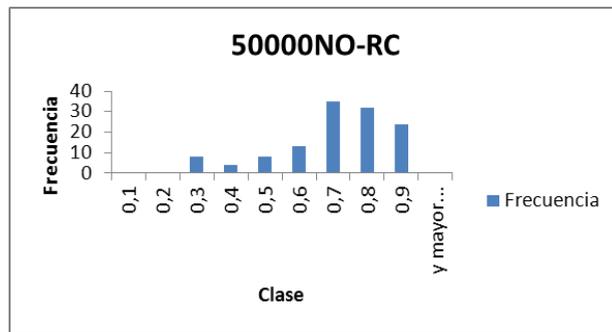
RC		AREA	
Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
0,1	2	312,500	179
0,2	104	625,000	69
0,3	205	937,500	54
0,4	112	1250,000	43
0,5	67	2000,000	51
0,6	45	4000,000	93
0,7	27	10000,000	85
0,8	20	15000,000	12
0,9	9	20000,000	3
y mayor...	0	y mayor...	2

**Tabla 29.** Datos numéricos slivers. Escala 1/50000

**6.3.1.5.2 Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/50000**

Se hicieron los mismos pasos que para los polígonos slivers del apartado anterior como para los polígonos que no son slivers, obteniendo los dos histogramas correspondientes a cada uno de los cálculos realizados.

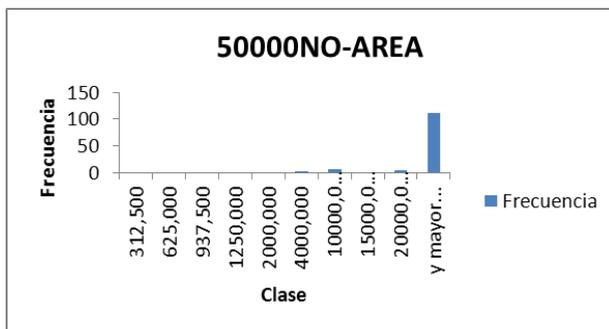
El primero de los histogramas es el correspondiente a la razón de circularidad (ver gráfico 17).



**Gráfico 17.** Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad en un polígono no sliver a escala 1/50000

En este histograma se encuentran todos los polígonos no slivers en los intervalos de clase de 0,3 en adelante, no existiendo ningún polígono en los límites menores de 0,3.

El segundo de los histogramas de frecuencia es el correspondiente al cálculo del área de los polígonos slivers, con los intervalos descritos en el apartado 5.4.1.1 anterior (ver gráfico 18).



**Gráfico 18.** Histograma de frecuencia para el cálculo del área en un polígono no sliver a escala 1/50000

En este histograma tenemos a todos los polígonos que no son slivers por encima del intervalo 4000.

A continuación tenemos los datos numéricos de los histogramas de frecuencia con la relación de intervalos de clase y la frecuencia de polígonos que no son slivers (ver tabla 30). Estos datos se han obtenido para los dos métodos empleados, la razón de circularidad y el área.

RC		AREA	
Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
0,1	0	312,500	0
0,2	0	625,000	0
0,3	8	937,500	0
0,4	4	1250,000	0
0,5	8	2000,000	0
0,6	13	4000,000	1
0,7	35	10000,000	7
0,8	32	15000,000	0
0,9	24	20000,000	4
y mayor...	0	y mayor...	112

**Tabla 30.** Datos numéricos no slivers. Escala 1/50000

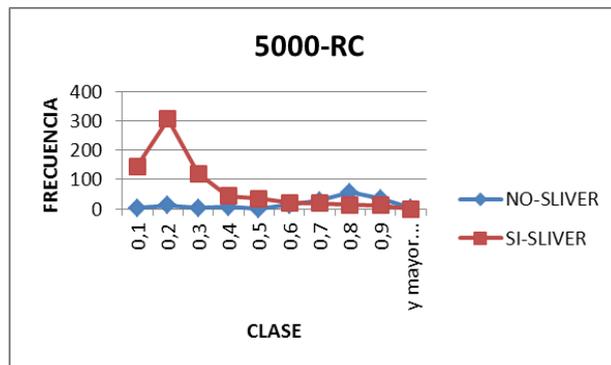
### 6.3.2 Obtención de histogramas de los polígonos slivers y no sliver

En este apartado se han unido en un histograma único los datos de los polígonos slivers y los datos de los polígonos no slivers, obteniéndose los histogramas para las distintas escalas utilizadas.

Con ello se pretende observar si los diversos índices permiten establecer umbrales de diferenciación entre slivers y no slivers, en las distintas escalas tal y como se ve en el gráfico tipo (ver gráfico 1).

#### 6.3.2.1 *Histograma total a escala 1/5000*

En este gráfico (ver gráfico 19) se observa que existen polígonos slivers como no slivers en todas las clases establecidas. Pese a que ambos gráficos tienen unos máximos diferenciados y separados una cierta distancia, no existe un hueco entre las clases de ambos histogramas que permita establecer un umbral de diferenciación claro entre polígonos slivers y no slivers, utilizando la razón de circularidad. Por tanto no se puede alcanzar el objetivo propuesto en el gráfico tipo, donde se podría fijar un valor para el cual por debajo o encima de él todos los polígonos sean de un tipo o de otro. Como mucho se puede establecer un umbral por debajo del cual un polígono será sliver o no con una cierta probabilidad, no alcanzando nunca la certeza.



**Gráfico 19.** Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método razón de circularidad a escala 1/5000

En el siguiente gráfico (ver gráfico 20) se aprecia algo parecido al gráfico anterior, existe solape entre las clases de ambos histogramas. Pese a que no

existen polígonos no slivers con áreas inferiores a 50 m<sup>2</sup>, los polígonos slivers presentan una gran dispersión que abarca desde áreas próximas a cero hasta superficies de 1000 m<sup>2</sup>, mayores que muchos polígonos no slivers.

Hay polígonos que tienen mucha área y son slivers cuando lo normal sería que tuvieran poca área. Por lo tanto tampoco se puede asegurar que este sea un buen índice para la diferenciación de los polígonos slivers y los no slivers.

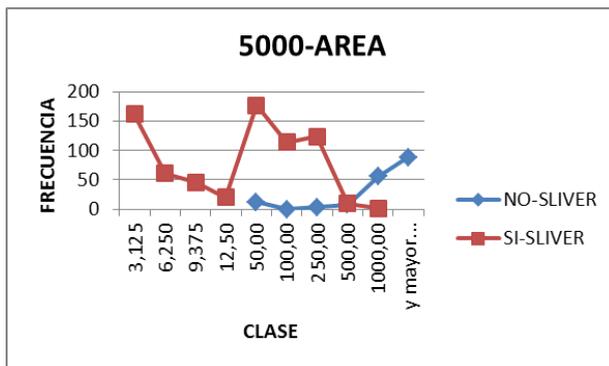


Gráfico 20. Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método área a escala 1/5000

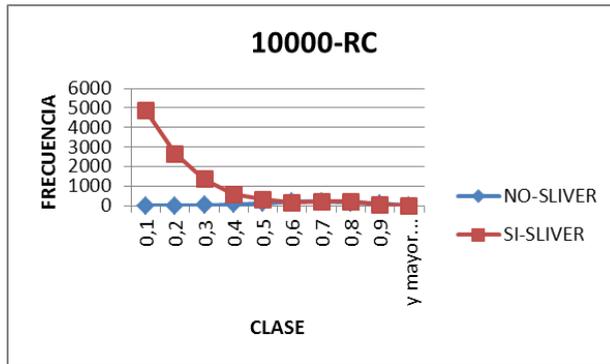
A continuación vemos numéricamente los datos para la obtención de los gráficos anteriores para los distintos métodos (ver tabla 31).

RC			AREA		
Clase	NO-SLIVER	SI-SLIVER	Clase	NO-SLIVER	SI-SLIVER
0,1	4	145	3,125		162
0,2	12	305	6,250		61
0,3	4	120	9,375		46
0,4	8	44	12,500		20
0,5	0	36	50,000	12	177
0,6	15	21	100,000	0	114
0,7	29	19	250,000	4	124
0,8	56	14	500,000	8	10
0,9	36	12	1000,000	56	2
y mayor...	4	0	y mayor...	88	

Tabla 31. Datos numéricos histogramas RC y AREA a escala 1/5000

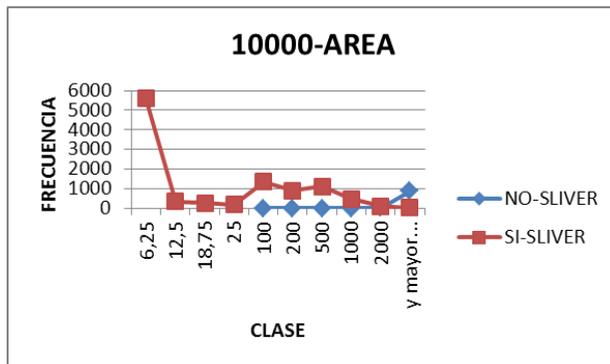
### 6.3.2.2 Histograma total a escala 1/10000

En este gráfico (ver gráfico 21) nuevamente se observa que no existe ninguna separación entre los polígonos slivers y los que no lo son ya que tenemos polígonos con el mismo intervalo de clase que pueden ser slivers o no. Por lo tanto el índice RC no sería muy recomendable para la diferenciación de los polígonos slivers y no slivers.



**Gráfico 21.** Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método razón de circularidad a escala 1/10000

En el gráfico correspondiente al AREA (ver gráfico 22) se aprecia algo parecido al gráfico anterior. Hay solape entre los polígonos slivers y los no slivers a partir de un área de 100 m<sup>2</sup>. Hay polígonos que tienen mucho área y son slivers cuando lo normal es que tengan poco área. Por lo tanto tampoco se observa que sea un buen índice para la determinación de los polígonos slivers y los no slivers.



**Gráfico 22.** Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método área a escala 1/10000

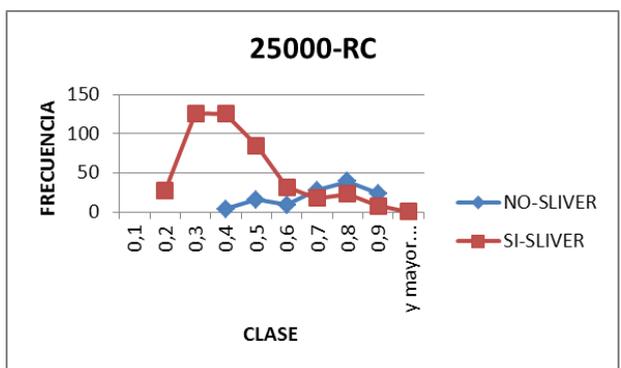
A continuación tenemos los datos numéricos para la obtención de los histogramas anteriores, para los distintos índices empleados (ver tabla 32).

RC			AREA		
	NO-SLIVER	SI-SLIVER		NO-SLIVER	SI-SLIVER
Clase	Frecuencia	Frecuencia	Clase	Frecuencia	Frecuencia
0,1	0	4871	6,250		5612
0,2	3	2653	12,500		356
0,3	19	1344	18,750		271
0,4	69	573	25,000		196
0,5	141	318	100,000	3	1340
0,6	204	150	200,000	13	914
0,7	204	210	500,000	12	1105
0,8	159	215	1000,000	12	466
0,9	115	59	2000,000	16	111
y mayor...	10	0	y mayor...	868	22

**Tabla 32.** Datos numéricos histogramas RC y AREA a escala 1/10000

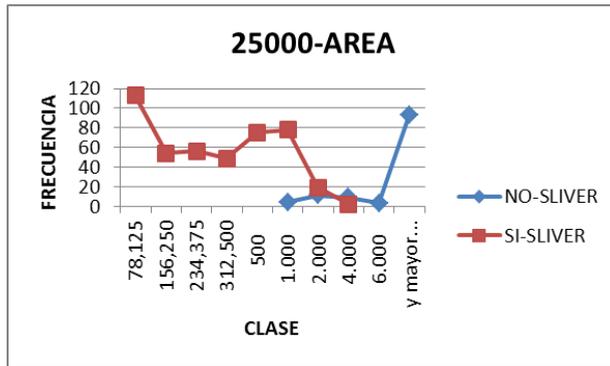
### 6.3.2.3 Histograma total a escala 1/25000

En este histograma (ver gráfico 23) se observa que no existe ninguna separación entre los polígonos slivers y los que no lo son, a partir de un valor mínimo de 0,4 tenemos polígonos que pueden ser slivers o no. Este tipo de índice RC no será el más adecuado para la identificación de los polígonos slivers, de los que no lo son, ya que hay polígonos con los mismos valores, y por lo tanto no se podrá saber si el polígono es sliver o no lo es. Pese a que se podría decir que todos los polígonos no slivers tienen un RC superior a 0,4 no se puede asegurar que todo polígono con RC superior a 0.4 sea no sliver.



**Gráfico 23.** Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método razón de circularidad a escala 1/25000

En el histograma siguiente (ver gráfico 24) ocurre algo parecido al anterior hay solape para los polígonos slivers y los no slivers a partir de un área de 1000 m<sup>2</sup>. Hay polígonos que tienen mucha área y son slivers cuando lo normal sería que tuvieran poca área. Por lo tanto este tipo de índice AREA no sería muy acertado utilizarlo para la diferenciación de los polígonos slivers y los no slivers a estas escalas.



**Gráfico 24.** Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método área a escala 1/25000

A continuación vemos numéricamente los datos para la obtención de los histogramas anteriores para los distintos métodos (ver tabla 33).

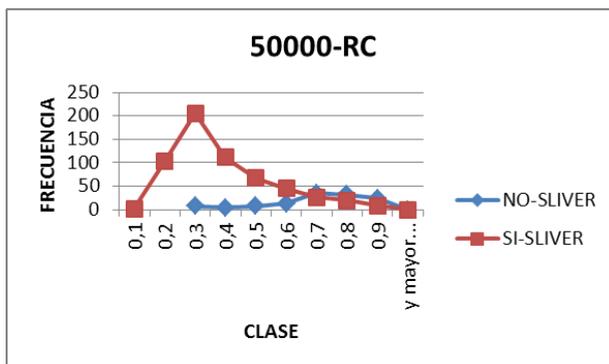
RC			AREA		
Clase	NO-SLIVER Frecuencia	SI-SLIVER Frecuencia	Clase	NO-SLIVER Frecuencia	SI-SLIVER Frecuencia
0,1			78,125		113
0,2		28	156,250		54
0,3		126	234,375		56
0,4	4	125	312,500		49
0,5	16	85	500		75
0,6	9	32	1.000	4	78
0,7	28	18	2.000	11	19
0,8	39	23	4.000	9	2
0,9	24	8	6.000	3	
y mayor...		1	y mayor...	93	

**Tabla 33.** Datos numéricos histogramas RC y AREA a escala 1/25000

### 6.3.2.4 Histograma total a escala 1/50000

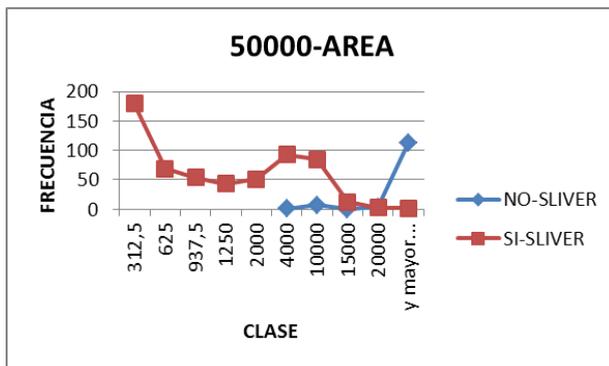
En este histograma (ver gráfico 25) nuevamente se observa que no hay ningún hueco entre los polígonos slivers y los que no lo son. Tenemos polígonos slivers y polígonos no slivers con los mismos valores, siendo el valor mínimo de

los polígonos slivers de 0,3, a partir del cual tenemos polígonos que pueden ser slivers o no. Este índice RC no sería muy recomendable para la diferenciación de los polígonos slivers de los polígonos que no lo son, debido a la incertidumbre que tendríamos para decidir si un polígono es slivers o no lo es. El uso del cálculo de la razón de circularidad para la determinación de los polígonos slivers y los no slivers no sería muy aceptable estas escalas.



**Gráfico 25.** Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método razón de circularidad a escala 1/50000

A continuación se aprecia en el histograma (ver gráfico 26) un cierto parecido al histograma anterior, hay solape para los polígonos slivers y los no slivers a partir de un área de 4000 m<sup>2</sup>. Hay polígonos que tienen mucha área y son slivers cuando lo normal sería que tuvieran poca área. Por lo tanto tampoco podríamos asegurar con este índice AREA que un polígono es sliver o no.



**Gráfico 26.** Polígonos slivers y polígonos no slivers para el método área a escala 1/50000

A continuación vemos numéricamente los datos para la obtención de los histogramas anteriores para los distintos índices (ver tabla 34).

RC			AREA		
	NO-SLIVER	SI-SLIVER		NO-SLIVER	SI-SLIVER
Clase	Frecuencia	Frecuencia	Clase	Frecuencia	Frecuencia
0,1		2	312,5		179
0,2		104	625		69
0,3	8	205	937,5		54
0,4	4	112	1250		43
0,5	8	67	2000		51
0,6	13	45	4000	1	93
0,7	35	27	10000	7	85
0,8	32	20	15000	0	12
0,9	24	9	20000	4	3
y mayor...	0	0	y mayor...	112	2

Tabla 34. Datos numéricos histogramas RC y AREA a escala 1/50000

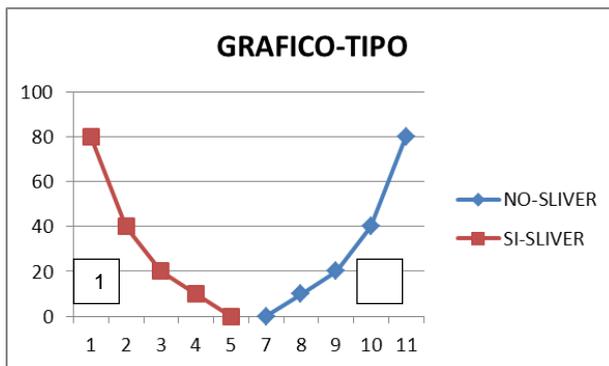
### 6.3.3 Análisis de los histogramas obtenidos y su valoración

Como se ha podido apreciar en los histogramas de frecuencia de los apartados anteriores, hemos obtenido una gran disparidad de gráficos. Muchos de ellos se alejan del histograma de frecuencia ideal, apareciendo zonas de solape entre los polígonos slivers y no slivers. En ocasiones, estas zonas de solape abarcan prácticamente todo el rango de valores del índice lo que hace imposible su utilización para diferenciar polígonos slivers de los no slivers. Por otro lado hay índices que pese a presentar solape, éste no se presenta en todo el rango de valores sino en una zona más o menos extensa. Se hace por tanto, necesario cuantificar el grado en el que un índice presente solape ya que las zonas de solape limitan la exactitud del índice y dificulta el establecer umbrales de diferenciación.

Una zona de solape hace que determinado porcentaje de polígonos slivers puedan ser considerados como no slivers y por tanto no ser detectados permaneciendo sin eliminar en la base de datos. Pero una zona de solape también indica que determinado porcentaje de polígonos no slivers sean considerados como slivers y sean erróneamente eliminados de la base de datos. En el histograma de frecuencia ideal (ver gráfica 27) puede verse que no se producen solape entre polígonos slivers y no slivers. Sería fácil establecer un umbral diferenciador en un valor cercano a 6. Por otro lado, podemos ver que el

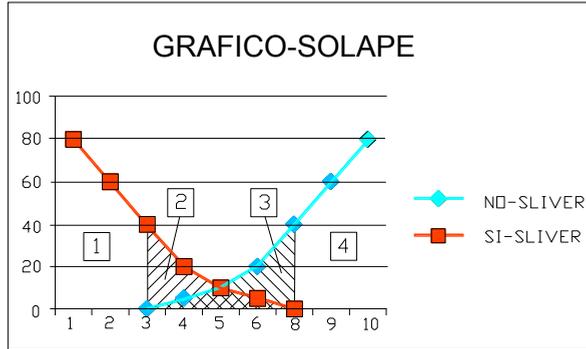
porcentaje de slivers que se detectarían como slivers (zona 1) sería del 100% así como el porcentaje de no slivers considerados como tales.

No obstante, cuando se producen solapes entre slivers y no slivers, aparecen además zonas 2 y 3 (ver gráfico 28) que corresponden precisamente a los polígonos slivers que pueden ser considerados como no slivers y a los polígonos no slivers que pueden ser tomados erróneamente como slivers.



**Gráfico 27.** Gráfico con hueco entre los polígonos slivers y no slivers

En el gráfico solape (ver gráfico 28) se aprecian cuatro zonas. La primera zona corresponde a los polígonos que son slivers (zona 1), la segunda (zona 2) y tercera (zona 3) tienen polígonos slivers y polígonos no slivers existiendo un solape de polígonos, y por último tenemos la cuarta zona (zona 4) que corresponde a los polígonos que no son slivers. Para determinar el grado de certidumbre de cada índice atendiendo a los valores arrojados en los histogramas de frecuencia anteriores, se hace necesario cuantificar cada una de esas cuatro zonas. Hay que notar que los mejores métodos son aquellos que hacen que la zona 1 y 4 sean el 100% y que las zonas 2 y 3 sean el 0%. Cuanto mayor sean las zonas 2 y 3 peor será el método para diferenciar slivers de los polígonos no slivers.



**Gráfico 28.** Gráfica con solape entre polígonos slivers y no sliver

A continuación vamos a obtener el porcentaje de slivers que pueden ser identificados correctamente.

$$\text{Zona 1} = \frac{\text{Sí Slivers total} - \text{Sí Slivers solape}}{\text{Sí Slivers total}} \times 100$$

Porcentaje de no slivers que pueden ser identificados correctamente.

$$\text{Zona 4} = \frac{\text{No Slivers total} - \text{No Slivers solape}}{\text{No Slivers total}} \times 100$$

Porcentaje de polígonos que pueden ser identificados erróneamente.

$$\text{Zona 2} + \text{3} = \frac{\text{Sí slivers solape} + \text{No slivers solape}}{\text{Sí slivers total} + \text{No slivers total}} \times 100$$

Porcentaje de slivers que pueden ser tomados por no slivers (no detectados).

$$\text{Zona 2} = \frac{\text{Sí slivers solape}}{\text{Sí slivers total}} \times 100$$

Porcentaje de no slivers que pueden ser confundidos por slivers

(Siendo correctos)

$$\text{Zona 3} = \frac{\text{No slivers solape}}{\text{No slivers total}} \times 100$$

Para la realización del proceso anterior se han usado los valores obtenidos anteriormente para dichas escalas que son las siguientes. 1/5000, 1/10000, 1/25000, y 1/50000.

### 6.3.3.1 Resultados a escala 1/5000.

El primer índice analizado es el correspondiente a la razón de circularidad (RC). Se observa que todos los polígonos están en solape (ver gráfico 19) obteniéndose los siguientes resultados.

$$\text{Zona 1} = 0\%$$

$$\text{Zona 4} = 0\%$$

$$\text{Zona 2 + 3} = \frac{716 + 168}{884} \times 100 = 100\%$$

$$\text{Zona 2} = \frac{716}{716} \times 100 = 100\% = 100 - \text{Zona 1}$$

$$\text{Zona 3} = \frac{168}{168} \times 100 = 100\% = 100 - \text{Zona 4}$$

Para este índice la indeterminación es total ya que hay solape en todos los polígonos, es decir, en este caso, este índice no es capaz de discernir mediante sus valores si un polígono es sliver o no.

El segundo valor analizado es el correspondiente al ÁREA del polígono y con los datos obtenidos (ver gráfico 20) se tienen los siguientes porcentajes.

$$\text{Zona 1} = \frac{716 - 427}{716} \times 100 = 40.36\%$$

$$\text{Zona 4} = \frac{168 - 80}{168} \times 100 = 52.38\%$$

$$\text{Zonas 2 + 3} = \frac{427 + 80}{884} \times 100 = 57.35\%$$

$$\text{Zona 2} = \frac{427}{716} \times 100 = 59.63\% = 100 - \text{Zona 1}$$

$$\text{Zona 3} = \frac{80}{168} \times 100 = 47.61\% = 100 - \text{Zona 4}$$

Tan solo un 40,36% de los polígonos que son slivers, pueden ser identificados como tales sin dudas. Para el caso de los polígonos no slivers, el porcentaje es ligeramente superior, 52,38% o analizándolo desde otro punto de vista, el 59,63% de los polígonos slivers presentan valores del índice similares a polígonos no slivers y el 47,61% de los polígonos no slivers presentan valores similares a los slivers. Esto significa que el 57,35% de los polígonos del mapa no pueden ser identificados inequívocamente por este índice.

### 6.3.3.2 Resultados a escala 1/10000

El primer índice empleado, corresponde a la razón de circularidad (RC). Se observa (ver gráfico 21) que todos los polígonos no slivers están en solape, con los polígonos slivers. Con los datos obtenidos de la tabla (ver tabla 32) se han obtenido los siguientes porcentajes.

$$\text{Zona 1} = \frac{10393 - 5522}{10393} \times 100 = 46,86\%$$

$$\text{Zona 4} = \frac{924 - 924}{924} \times 100 = 0\%$$

$$\text{Zonas 2 + 3} = \frac{5522 + 924}{11317} \times 100 = 56,95\%$$

$$\text{Zona 2} = \frac{5522}{10393} \times 100 = 53,13\%$$

$$\text{Zona 3} = \frac{924}{924} \times 100 = 100\%$$

Como puede verse, el 100% de los polígonos no slivers presentan valores similares a los polígonos slivers. Eso quiere decir que ningún polígono no sliver puede ser identificado como tal con toda certeza con este índice. Lo mismo ocurre al 53,13% de los polígonos slivers lo que significa que en este mapa el 56,95% de los polígonos no pueden ser inequívocamente identificados.

El segundo de los valores analizados, es el método del ÁREA (ver gráfico 22) obteniendo los siguientes porcentajes con los datos de la tabla (ver tabla 32).

$$\text{Zona 1} = \frac{10393 - 3958}{10393} \times 100 = 61,91\%$$

$$\text{Zona 4} = \frac{924 - 924}{924} \times 100 = 0\%$$

$$\text{Zonas 2 + 3} = \frac{3958 + 924}{11317} \times 100 = 43,13\%$$

$$\text{Zona 2} = \frac{3958}{10393} \times 100 = 38,08\%$$

$$\text{Zona 3} = \frac{924}{924} \times 100 = 100\%$$

Con este valor, nuevamente el 100% de los polígonos no slivers se muestran en la zona de solape lo que significa que ningún polígono no sliver puede diferenciarse de un sliver debido a los valores dados por este índice.

Sin embargo, el porcentaje de polígonos slivers claramente identificables es mejor que el caso anterior 61,91% y en general, el porcentaje de polígonos no identificables inequívocamente se ha reducido al 43,13% aunque sigue siendo un porcentaje muy elevado.

### 6.3.3.3 Resultados a escala 1/25000

El primer índice analizado, es el correspondiente a la razón de circularidad (RC). Para este índice tenemos a todos los polígonos que no son slivers en solape con los polígonos que son slivers (ver gráfico 23). Se ha obtenido los siguientes porcentajes con los datos de la tabla (ver tabla 35).

$$\text{Zona 1} = \frac{446 - 291}{446} \times 100 = 34,75\%$$

$$\text{Zona 4} = \frac{120 - 120}{120} \times 100 = 0\%$$

$$\text{Zonas 2 + 3} = \frac{291 + 120}{566} \times 100 = 72,61\%$$

$$\text{Zona 2} = \frac{291}{446} \times 100 = 65,24\%$$

$$\text{Zona 3} = \frac{120}{120} \times 100 = 100\%$$

Para este índice el porcentaje de polígonos no slivers que presentan valores similares a los polígonos slivers es del 100% por lo tanto ningún polígono

no sliver puede diferenciarse de un polígono sliver. El porcentaje de polígonos slivers que se pueden identificar es del 34.75%. El porcentaje de polígonos que no pueden ser identificados inequívocamente en este mapa es del 72.61%.

El segundo de los valores utilizados es el correspondiente al ÁREA (ver grafico24) y para este valor según la tabla (ver tabla 35) se obtienen los siguientes resultados.

$$\text{Zona 1} = \frac{446 - 99}{446} \times 100 = 77.80\%$$

$$\text{Zona 4} = \frac{120 - 24}{120} \times 100 = 80\%$$

$$\text{Zona 2 y 3} = \frac{99 + 24}{566} \times 100 = 21.73\%$$

$$\text{Zona 2} = \frac{99}{446} \times 100 = 22.19\%$$

$$\text{Zona 3} = \frac{24}{120} \times 100 = 20\%$$

Con este valor se ve que el 22,19% de los polígonos no slivers se encuentran en la zona de solape, siendo el porcentaje de polígonos claramente identificables como slivers de un 77,80%, y el porcentaje en este mapa es de un 21,73% de polígonos que no pueden ser inequívocamente identificados. Este porcentaje se ha reducido considerablemente comparándolo con el valor anterior.

#### 6.3.3.4 Resultados a escala 1/50000

En el primer método analizado es el de la razón de circularidad (RC). En este método todos los polígonos se encuentran en solape y los porcentajes obtenidos serán los que a continuación tenemos.

$$\text{Zona 1} = \frac{591 - 485}{591} \times 100 = 17,93\%$$

$$\text{Zona 4} = \frac{124 - 124}{124} \times 100 = 0\%$$

$$\text{Zonas 2 + 3} = \frac{485 + 124}{715} \times 100 = 81,17\%$$

$$\text{Zona 2} = \frac{485}{591} \times 100 = 82,06\%$$

$$\text{Zona 3} = \frac{124}{124} \times 100 = 100\%$$

Se obtiene un 81,17% en la zona 2 y 3 , con esta cifra, parece ser que empeora para escalas grandes, y para escalas pequeñas alcanzando un mínimo para escalas medias como 1/10000 con un porcentaje del 56,95% de polígonos no identificables, por otro lado inaceptable.

El segundo valor corresponde al ÁREA, obteniendo los siguientes porcentajes.

$$\text{Zona 1} = \frac{591 - 195}{591} \times 100 = 67\%$$

$$\text{Zona 4} = \frac{124 - 124}{124} \times 100 = 0\%$$

$$\text{Zonas 2 + 3} = \frac{195 + 124}{715} \times 100 = 27,29\%$$

$$\text{Zona 2} = \frac{195}{591} \times 100 = 32,99\%$$

$$\text{Zona 3} = \frac{124}{124} \times 100 = 100\%$$

Nuevamente los peores resultados se obtienen a escalas grandes y pequeñas obteniendo un mínimo para escala 1/25000 con un 21,73% de porcentaje, siendo inaceptable.

### **6.3.4 Casos que presentan dificultades en la diferenciación de polígonos.**

Como se ha podido ver en los valores obtenidos de los histogramas, existen polígonos slivers con formas y tamaños similares a polígonos no slivers y

también al contrario, polígonos no slivers con formas y tamaños similares a los de los polígonos slivers.

En este apartado se va a mostrar precisamente esos polígonos, tanto slivers como no slivers, que en las diversas escalas forman las zonas de solape 2 y 3 vistas en el apartado anterior.

Se emplean las mismas escalas que en los apartados anteriores para los ejemplos de los polígonos slivers y no slivers.

#### 6.3.4.1 Figuras a escala 1/5000

A continuación representaremos algunos ejemplos de polígonos slivers como de polígonos no slivers, para estos polígonos se ha calculado la razón de circularidad (RC) obteniéndose una serie de valores adimensionales.

En este caso los polígonos con los valores muy bajos deberían de ser polígonos alargados y conforme el valor crece deberían de ser los polígonos redondeados. El problema es que hay polígonos no slivers con valores pequeños y con valores altos. Tampoco se encuentra una separación entre los índices de los polígonos slivers y los polígonos no slivers para poder identificarlos. A continuación se puede ver algunos ejemplos de polígonos slivers y no slivers con los índices bajos, medios y altos de la razón de circularidad.

En el primer caso (ver figura 32) el índice calculado de la razón de circularidad es de 0,089 el cual nos indica que al ser alargado con mucho perímetro frente al área que tiene debería de ser sliver, cuando no lo es, ya que es un camino en este caso.



Location:	505.628,535 4.712.173,203 Unkn
Field	Value
FID	185
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	3234,830387
Perimetro	2245,378798
RC	0,089793
DIST	3,11322

**Figura 32.** *Polígono no sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,089*

En el siguiente ejemplo (ver figura 33) vemos un polígono que también es alargado pero menos estrecho que el polígono anterior, el índice de la razón de circularidad es de 0,342, el cual es bajo también y por lo tanto podría ser confundido con un polígono sliver cuando no lo es.



Location: 505.780,986 4.711.974,140 Unknown U	
Field	Value
FID	159
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	55476,515434
Perimetro	2438,606459
RC	0,342387
DIST	68,790304

**Figura 33.** Polígono no sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,342

En la figura siguiente (ver figura 34) tenemos un polígono con una forma entre un rectángulo y algo triangular, es un polígono que da un valor de 0,592 con el índice razón de circularidad, este índice tiene un valor intermedio, con el cual podría confundirse con un polígono sliver cuando no lo es.

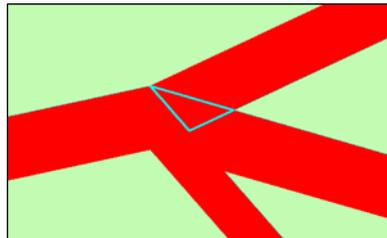
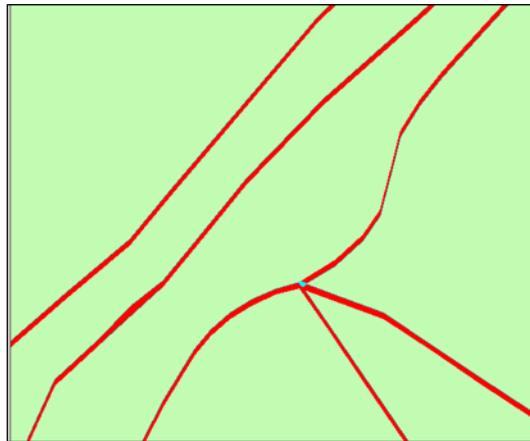


Location: 505.363,173 4.712.053,141 Unknown U	
Field	Value
FID	105
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	20849,106619
Perimetro	864,466078
RC	0,592108
DIST	51,525122

**Figura 34.** Polígono no sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,592

En la figura siguiente (ver figura 35) tenemos un caso diferente a los anteriores. En esta figura tenemos un índice de razón de circularidad de 0,714 el

cual nos debería indicar que sería un polígono con cierta forma redondeada ya que su índice es muy elevado. Los polígonos que tienen una cierta forma cuadrada, triangular etc. también suelen dar valores muy altos con este índice. En este caso el índice nos indica que el polígono no debería de ser sliver pero en este caso sí es un polígono sliver.

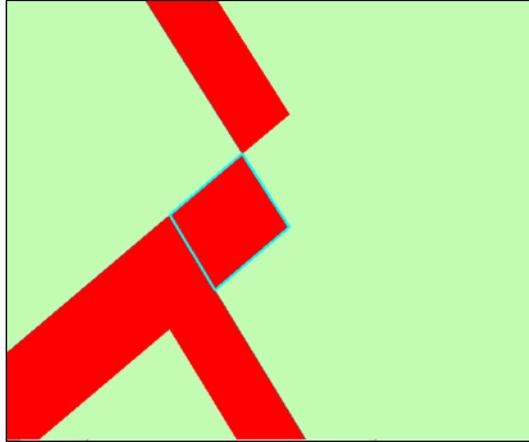


Location:	505.909,131 4.711.995,527 Unknown U
Field	Value
FID	93
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	0,27219
Perimetro	2,589997
RC	0,714071
DIST	0,19781

**Figura 35.** Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,714

En el siguiente ejemplo (ver figura 36) tenemos un polígono con un valor del índice de 0,880 este polígono tiene una forma cuadrangular, por lo tanto, nos tiene que dar un índice muy elevado, como así sucede. Este índice indicaría que

el polígono no debería de ser sliver. Este polígono podría ser confundido, con un polígono que no fuera sliver cuando sí lo es.

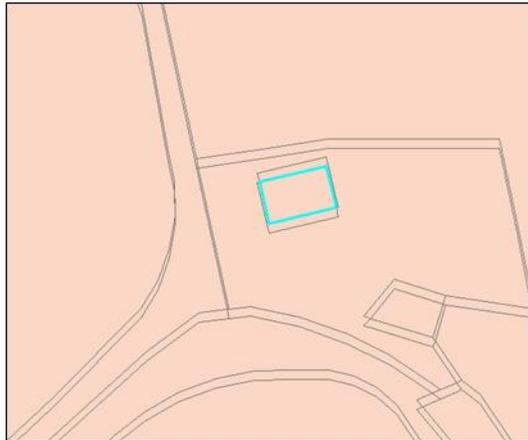


Field	Value
FID	182
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	0,646813
Perimetro	3,237363
RC	0,880649
DIST	0,322789

**Figura 36.** Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,880

Para finalizar podríamos decir que los polígonos slivers que tienen una forma compacta, similar a una circunferencia nos dan unos valores de RC muy altos como por ejemplo las formas triangulares, rectángulos cortos, cuadrados etc.

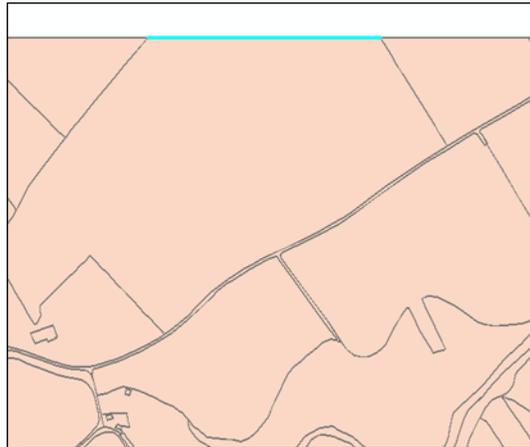
El segundo valor analizado **ÁREA** corresponde a la determinación del área del polígono. En los ejemplos siguientes se van a ver tres polígonos con áreas diferentes. El primero de los casos es un polígono que tiene un área muy pequeña (ver figura 37). Por lo tanto podría considerarse como un polígono sliver, debido al tamaño de su área, pero como se ha visto en el histograma, también hay polígonos con esta área que no son slivers. En este ejemplo el polígono no es un sliver.



Location:	505.418,097 4.711.969,023 Unknown L
Field	Value
FID	58
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	33,089152
Perimetro	23,694103
RC	0,860612
DIST	2,119236

**Figura 37.** Polígono no sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método del Área. AREA 33,089 m<sup>2</sup>

El siguiente de los polígonos (ver figura 38) tiene un área mayor que el del ejemplo anterior, por lo tanto según el valor del área, el polígono en cuestión debería de ser considerado como un polígono que no es sliver, como se ha visto en el ejemplo anterior. Pero también hay polígonos que son slivers que tienen áreas similares a los no slivers. En este caso el polígono es un sliver y para el método en cuestión no se puede afirmar que el polígono sea un sliver, aunque cumpla con la mayoría de las características de los polígonos no slivers, puesto que es un polígono estrecho, alargado y tiene mucho perímetro con respecto al área.



Location:	505.474,382 4.712.443,628 Unknown U
Field	Value
FID	29
Shape	Polygon
Sliver	SI
Area	291,9587
Perimetro	586,390836
RC	0,103295
DIST	0,49996

**Figura 38.** Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método del Área. AREA 291,95 m<sup>2</sup>

Por último tenemos un polígono (ver figura 39) con un área mucho mayor que el polígono anterior, por lo cual debería ser considerado el polígono como no sliver. Sucede lo mismo que en el caso anterior, también hay polígonos slivers que tienen el mismo área, por lo tanto tampoco se puede saber si el polígono en cuestión es o no sliver. Analizando el polígono se puede ver que el polígono tiene toda la forma por sus características de ser un polígono sliver. En el ejemplo el polígono es sliver y el valor del área no nos indicaría si es o no sliver el polígono.



Location:	505.794,352 4.711.889,853 Unknown U
Field	Value
FID	156
Shape	Polygon
Sliver	SI
Area	508,141306
Perimetro	1388,66063
RC	0,057544
DIST	0,496087

**Figura 39.** Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método del Área. AREA 508,14 m<sup>2</sup>

#### 6.3.4.2 Figuras a escala 1/10000

A continuación se empleará el índice cálculo de la razón de circularidad. **(RC)**. Para este índice los polígonos con valores muy bajos, deberían ser slivers y conforme el valor aumenta, los polígonos, no deberían ser slivers. Pero esto no siempre ocurre, ya que nos encontramos casos en los cuales hay polígonos con valores pequeños que no son slivers y polígonos slivers con valores altos, tampoco se encuentra una separación entre los índices de los polígonos slivers y los polígonos no slivers para poder identificarlos correctamente. A continuación podemos ver algunos ejemplos de polígonos con los índices bajos, medios y altos calculados con el índice de la razón de circularidad, tanto para polígonos slivers como para polígonos no slivers.

En la siguiente figura (ver figura 40) tenemos un polígono con forma estrecha y alargada. El valor calculado por el índice de la razón de circularidad es de 0,12 siendo un índice bajo y por lo tanto debería de ser sliver. En este caso

hay una correspondencia entre el índice calculado y el polígono en cuestión ya que este es sliver, por lo tanto en este ejemplo, el índice si identifica correctamente al polígono como sliver.



Location: 661.264,258 4.381.050,445 Meters	
Field	Value
FID	1035
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	589,271592
Perimetro	716,915404
RC	0,120031
DIST	0,950268

**Figura 40.** Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,12

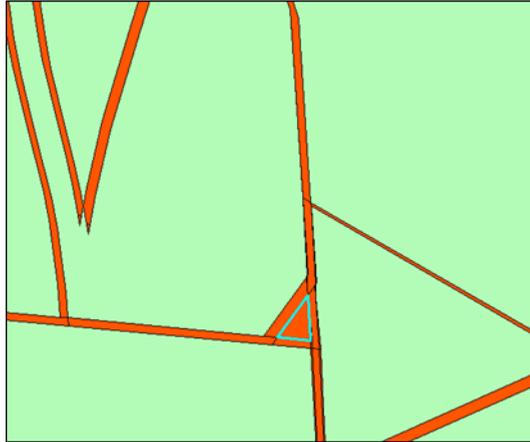
En la siguiente figura (ver figura 41) tenemos un polígono que no es sliver. Para dicho polígono el valor del índice obtenido por la razón de circularidad es de 0,24, este valor es un poco más alto que el caso anterior, pero el valor sigue siendo bastante bajo. Debería de ser sliver cuando no lo es.



Location:		660.808,747 4.380.079,004 Meters
Field	Value	
FID	1894	
Shape	Polygon	
Sliver	No	
Area	63599,452146	
Perimetro	3576,315874	
RC	0,249975	
DIST	37,606522	

**Figura 41.** *Polígono no sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,25*

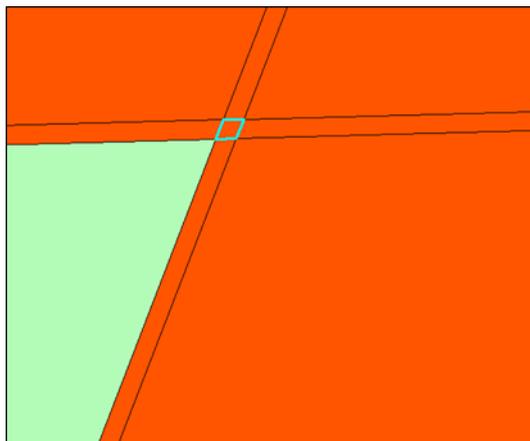
En la figura siguiente (ver figura 42) se tiene un caso diferente a los anteriores. Para este polígono el valor del índice de razón de circularidad es de 0,739, este valor debería indicar que no es un polígono sliver, ya que su valor es muy elevado, pero en este caso es sliver. Este polígono tiene una forma triangular, y como se ha dicho anteriormente, este tipo de polígonos responde a unos valores muy altos para este índice. También puede darse el caso contrario al anterior, que con un valor del índice muy alto los polígonos no sean slivers.



Location: 661.990,338 4.379.927,058 Meters	
Field	Value
FID	1394
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	20,126104
Perimetro	21,51395
RC	0,739205
DIST	1,629878

**Figura 42.** Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,739

Por último se tiene un polígono con cierta forma cuadrada, y con un valor del índice de 0,85, este valor debería indicar que el polígono no es sliver, ya que el valor de su índice es muy elevado, pero en este caso el polígono es sliver (ver figura 43).



Location: 661.802,056 4.379.829,100 Meters	
Field	Value
FID	1931
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	0,000025
Perimetro	0,020918
RC	0,851192
DIST	0

**Figura 43.** Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,851

Como en el caso de la escala anterior, se puede decir que los polígonos que tienen una forma compacta, similar a una circunferencia nos dan unos valores de RC muy altos, como por ejemplo las formas triangulares, rectángulos cortos, cuadrados etc. Por lo tanto, no sería un buen método para la determinación de los polígonos slivers así como los polígonos no slivers para los ejemplos vistos.

El segundo método analizado ÁREA corresponde con la determinación del área del polígono. Para este método, un área pequeña debería indicar que el polígono es sliver.

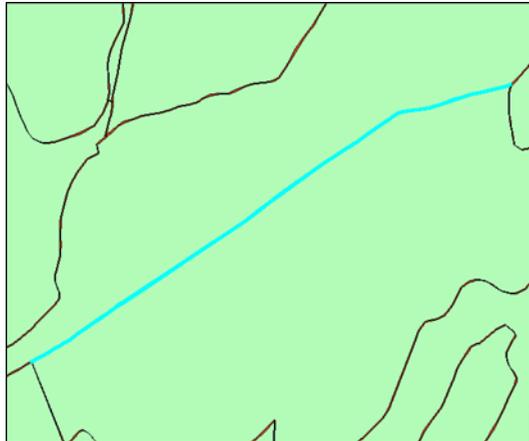
En los tres ejemplos siguientes se va a observar polígonos con áreas diferentes. El primero de los casos es un polígono con un área pequeña (ver figura 44) la cual debería indicarnos por el tamaño del área que el polígono es sliver, pero en este ejemplo el polígono no es sliver.



Location: 659.481,151 4.382.592,599 Meters	
Field	Value
FID	1161
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	89,26903
Perimetro	45,81455
RC	0,731058
DIST	3,59626

**Figura 44.** Polígono no sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método del Área. AREA 89,27 m<sup>2</sup>

En el siguiente de los polígonos (ver figura 45) se tiene un área, mucho mayor que el caso anterior, por lo tanto, el polígono no debería ser sliver, pero en este ejemplo el polígono es sliver. Este polígono presenta un contorno estrecho y alargado las cuales son características de los polígonos slivers

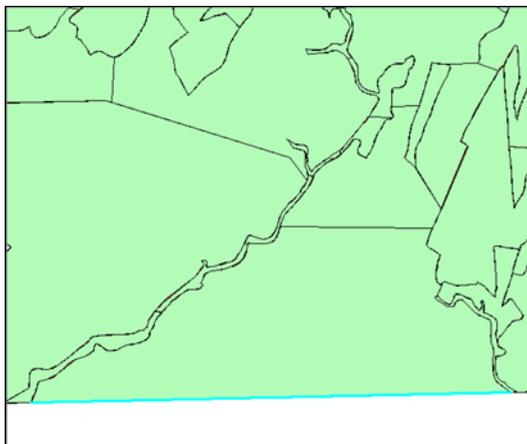


Location: 661.299,824 4.380.605,763 Meters	
Field	Value
FID	900
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	1599,592371
Perimetro	1679,520269
RC	0,084416
DIST	0,992427

**Figura 45.** Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método del Área. AREA 1599,59 m<sup>2</sup>

Por último se tiene un polígono (ver figura 46) con un área más del doble que el polígono anterior, con este valor del área el polígono no debería de ser sliver, pero en este caso lo es.

Este tipo de polígonos muy estrechos y alargados con una superficie muy grande se suelen dar sobre todo en los contornos de los mapas, en los cuales no hay coincidencia.



Location: 657.763,043 4.378.717,654 Meters	
Field	Value
FID	44
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	3735,81512
Perimetro	5182,698543
RC	0,041806
DIST	0,7214

**Figura 46.** Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método del Área. AREA 3735,815 m<sup>2</sup>

Como en el caso de la escala anterior, el método del cálculo del área tiene bastantes indeterminaciones para distinguir si los polígonos son slivers o no son slivers. No es un método, muy acertado, en los casos analizados anteriormente, como se ha podido comprobar.

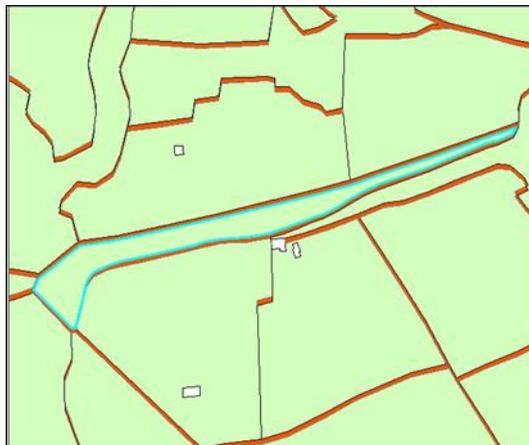
#### 6.3.4.3 Figuras a escala 1/25000

A continuación se utilizará el valor del índice de la razón de circularidad. (RC). Para este índice, como se ha dicho en el apartado 6.3.4.2 anterior los polígonos con valores muy bajos, deberían de ser slivers y conforme el valor aumenta, los polígonos, no deberían de ser slivers.

Para esta escala tampoco se encuentra una separación entre los valores del índice en los polígonos sliver y no sliver, por lo tanto tampoco se puede identificar correctamente.

En este apartado se muestran seis polígonos diferentes, los cuales abarcan distintos valores para el cálculo del índice de la razón de circularidad. El primero de los polígonos es el correspondiente a la figura (ver figura 47). Dicho polígono tiene un valor del índice de razón de circularidad de 0,325, el cual se puede considerar como un valor bajo para los márgenes establecidos para la razón de circularidad, esto nos lleva a determinar que dicho polígono es sliver cuando no lo es.

Como se puede apreciar en la figura, la forma del polígono es alargado y estrecho y por lo tanto tiene un valor bajo de la razón de circularidad.



Location: 736.263,382 4.445.631,941 Meters	
Field	Value
FID	52
Shape	Polygon ZM
Sliver	No
Perimetro	1147,201203
RC	0,325858
DIST	21,082421
AREA	11120,5503

**Figura 47.** Polígono no sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,325

El segundo de los polígonos es un caso parecido al anterior. Este polígono (ver figura 48), tiene un valor de 0,447 para la razón de circularidad,

encontrándose en el intermedio de los valores de los índices. Es un polígono que tiene una forma intermedia entre alargado y cuadrado, el cual nos presenta un índice medio. Dicho polígono no es sliver y con el valor del índice no se podría determinar si es o no sliver.



Location: 736.777,304 4.445.552,595 Meters	
Field	Value
FID	30
Shape	Polygon ZM
Sliver	No
Perimetro	625,110251
RC	0,447152
DIST	22,064748
AREA	6217,48425

**Figura 48.** Polígono no sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,447

El tercero de los polígonos es un polígono estrecho, pequeño y alargado (ver figura 49), el cual tiene un índice de razón de circularidad situado en la zona intermedia, con un valor de 0,456. En este ejemplo no se sabría diferenciar si es o no slivers.

Tanto el polígono anterior que no es sliver, como este polígono que sí es sliver, nos dan unos valores de la razón de circularidad muy similares, como consecuencia, no se podrían diferenciar los polígonos sliver de los no sliver en estos ejemplos.



Location: 736.214,984 4.445.750,765 Meters	
Field	Value
FID	136
Shape	Polygon ZM
Sliver	Si
Perimetro	24,021152
RC	0,456542
DIST	0
AREA	9,57062

**Figura 49.** Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,456

El cuarto de los polígonos utilizados como ejemplo, es el correspondiente a un polígono con una zona estrecha y alargada en la parte superior y en la parte inferior izquierda tiene una zona tipo rectángulo. Para este polígono (ver figura 50), el valor del índice es de 0,47, un valor muy parecido al caso del polígono anterior, siendo totalmente diferente, tanto en su forma como su tamaño. Según el valor del índice, el cual se encuentra en la zona intermedia de la tabla tampoco podríamos distinguir si este polígono es sliver o no, cuando se ve claramente que no es sliver.



Location:	736.081,960 4.445.675,903 Meters
Field	Value
FID	138
Shape	Polygon ZM
Sliver	No
Perimetro	1289,803206
RC	0,474862
DIST	52,580331
AREA	29851,88602

**Figura 50.** Polígono no sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,474

El quinto de los polígonos, es un polígono (ver figura 51) muy pequeño, que tiene una forma cuadrada y que es sliver. Como se dijo anteriormente este tipo de polígonos que tienen formas cuadradas suelen dar unos valores bastante elevados, por lo tanto no debería de ser sliver, cuando sí que lo es. El valor del índice es de 0,903, el cual se encuentra en el límite superior del valor del índice.



Location: 736.155,959 4.445.533,607 Meters	
Field	Value
FID	49
Shape	Polygon ZM
Sliver	Si
Perimetro	20,69526
RC	0,903581
DIST	1,969908
AREA	27,82697

**Figura 51.** Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,903

Por último tenemos el sexto polígono, dicho polígono (ver figura 52) tiene una forma similar al anterior, pero es mucho mayor debido a su tamaño. El valor del índice también debe de encontrarse en la zona superior. Como se puede comprobar el polígono tiene un valor del índice de 0,985 casi idéntico al anterior, pero en este caso dicho polígono no es sliver, por lo tanto este índice para este tipo de polígonos, no identificaría bien si el polígono es o no sliver.



Location: 736.291,817 4.445.889,804 Meters	
Field	Value
FID	128
Shape	Polygon ZM
Sliver	No
Perimetro	611,443554
RC	0,895383
DIST	71,254064
AREA	23851,77309

**Figura 52.** Polígono no sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,895

La razón de circularidad como se ha podido observar, no es un gran índice para poder determinar los polígonos slivers de los no slivers, para esta escala y cartografía empleada, ya que obtenemos índices muy parecidos dependiendo de la forma del polígono. Las formas cuadradas, triangulares etc. tienen valores muy altos, en cambio los polígonos con formas alargadas y estrechas nos dan unos valores muy bajos, no pudiendo identificar cuáles de los polígonos son slivers y cuáles no. El problema no es el índice. El problema es que hay slivers de muchos tipos y formas y no slivers que tienen formas y tipos muy parecidos a los slivers también.

A continuación se va a analizar el método correspondiente al cálculo del ÁREA.

En este método se van a mostrar tres polígonos, con diferentes áreas. El primero de los casos corresponde a un polígono (ver figura 53) con un área de 768 m<sup>2</sup>. Con dicha área cabría suponer que no es un polígono sliver, como en

realidad no lo es, pero esto no quiere decir que polígonos con áreas superiores no sean slivers. Como en los siguientes dos casos analizados.



Location: 736.533,860 4.445.981,691 Meters	
Field	Value
FID	114
Shape	Polygon ZM
Sliver	No
Perimetro	133,663334
RC	0,735139
DIST	8,039932
AREA	768,34105

**Figura 53.** Polígono no sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método del Área. AREA 768,34 m<sup>2</sup>

El segundo de los ejemplos es el que a continuación aparece representada gráficamente (ver figura 54) el polígono tiene un área de 1435 m<sup>2</sup> la cual es casi el doble que la del polígono anterior, por lo tanto este polígono debería de no ser sliver, cuando en realidad lo es.



Location: 736.316,477 4.445.655,654 Meters	
Field	Value
FID	54
Shape	Polygon ZM
Sliver	Si
Perimetro	598,300842
RC	0,224503
DIST	2,450578
AREA	1435,73533

**Figura 54.** Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método del Área. AREA 1435,73 m<sup>2</sup>

Como último de los polígonos observados, tenemos otro polígono (ver figura 55) que tiene una superficie similar al anterior, y como en dicho caso también es sliver. Véase que los polígonos slivers que son muy alargados presentan una gran superficie y por lo tanto tampoco se podrían identificar como slivers.



Location: 736.369,732 4.445.406,843 Meters	
Field	Value
FID	1
Shape	Polygon ZM
Sliver	SI
Perimetro	635,244326
RC	0,217475
DIST	1,907259
AREA	1518,76332

**Figura 55.** Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método del Área. AREA 1518,76 m<sup>2</sup>

Estos polígonos son característicos en los contornos de los mapas, suelen ser muy estrechos pero con una gran longitud, por lo tanto tienen un área considerable.

El método del cálculo del área para esta escala y cartografía analizada, presenta bastantes indeterminaciones a la hora de poder distinguir entre los polígonos slivers y los que no lo son.

#### 6.3.4.4 Figuras a escala 1/50000

Para el primero de los índices empleados corresponde a la razón de circularidad (RC), se ha elegido seis polígonos, los cuales se reparten por todos los intervalos de clase establecidos para la razón de circularidad.

En primer lugar tenemos un polígono (ver figura 56), con un valor de 0,22. Este valor es bastante bajo en los intervalos de clase, luego el polígono debería de considerarse sliver en el ejemplo empleado, pero esto no siempre ocurre, como pasa es el caso presente, en el cual el polígono no es sliver, aunque tenga un valor muy bajo de la razón de circularidad.



Location:	665.117,076 4.459.736,927 Unkno
Field	Value
FID	129
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	19754,556444
Perimetro	2244,528754
RC	0,22198
DIST	32,365152

**Figura 56.** Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,221

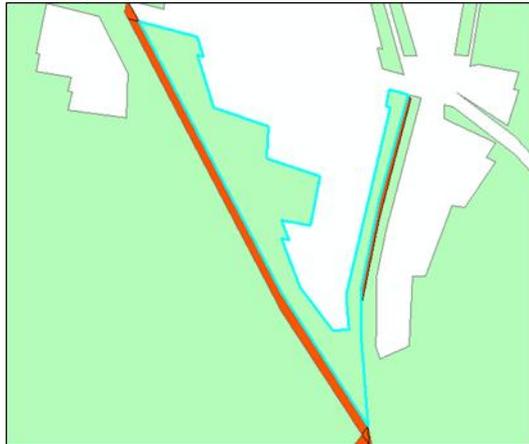
El siguiente de los polígonos (ver figura 57), tiene un valor de 0,269, el cual es un valor muy bajo en los intervalos de clase, y muy parecido al caso anterior. Para este ejemplo ocurre lo mismo que el caso anterior el polígono no es sliver. Esto es debido a la forma en hache que tiene el polígono, siendo además estrecho y alargado.



Location: 665.112,584 4.459.502,230 Unkn	
Field	Value
FID	113
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	4050,028676
Perimetro	837,959532
RC	0,269222
DIST	10,351674

**Figura 57.** Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,269

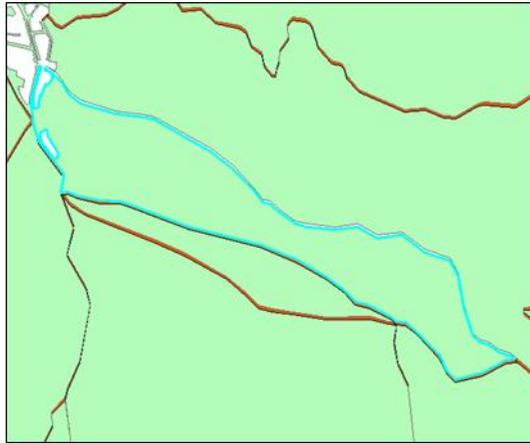
A continuación tenemos un polígono (ver figura 58), con un valor de 0,315. Este polígono, al tener una forma en uve y además ser muy estrecho, nos arroja un valor del índice de la razón de circularidad bastante bajo. Este valor del índice es un poco mayor que el valor del índice anterior, pero se puede considerar dentro de los intervalos de clase un valor bajo. En este ejemplo el polígono no es sliver.



Location:	665.171,352 4.459.365,625 Unkn
Field	Value
FID	105
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	5863,450302
Perimetro	859,080531
RC	0,315971
DIST	14,223603

**Figura 58.** Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,315

En cuarto lugar, el polígono que se tiene como ejemplo es un polígono bastante grande casi rectangular pero estrecho con respecto a su longitud. Este polígono (ver figura 59), tiene un valor de 0,454, valor intermedio para la determinación de si es o no sliver. Como se puede apreciar, este polígono no es sliver, y según el valor anteriormente dicho, no sabríamos si es o no sliver.



Location:	665.526,036 4.459.109,123 Unkn
Field	Value
FID	102
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	382140,07041
Perimetro	4825,418636
RC	0,454131
DIST	146,778755

**Figura 59.** Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,454

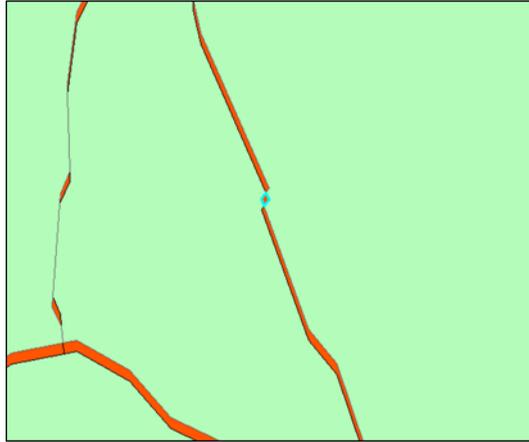
En este caso tenemos un polígono (ver figura 60) que es sliver, pero el cual nos da un valor del índice de 0,469, dicho valor es muy parecido al anterior, pero en este caso sucede lo contrario que en el ejemplo anteriormente expuesto.



Location: 665.117,949 4.459.615,119 Unknd	
Field	Value
FID	140
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	7,691533
Perimetro	20,937053
RC	0,469565
DIST	0

**Figura 60.** Polígono sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0,469

Por último el polígono (ver figura 61) tiene una forma cuadrada, y es muy pequeño, al tener una forma tipo cuadrada el valor del índice nos dará un valor elevado, y por consiguiente este polígono se encuentra en la parte superior de los intervalos de clase. Este polígono es sliver y debido al valor del índice, podría confundirse con un polígono que no fuera sliver.



Location: 665.418,480 4.457.951,862 Unkn	
Field	Value
FID	40
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	45,80715
Perimetro	29,272926
RC	0,819607
DIST	2,740378

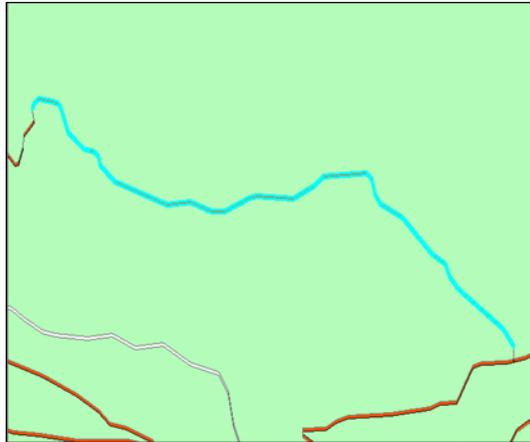
**Figura 61.** Polígono sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método de Razón de circularidad. RC 0.819

Como ya se dijo anteriormente para este índice los polígonos que tienen una forma cuadrada, triangular etc. nos dan unos resultados con valores muy altos, es decir no serían polígonos sliver, cuando en realidad sí que son, también puede ocurrir el caso contrario que el polígono sea tipo cuadrado y que no sea sliver. En los ejemplos anteriores se ha visto polígonos con valores bajos que no son slivers y polígonos con valores altos que sí son slivers. Este aspecto incide negativamente en la identificación de los polígonos slivers.

Para continuar se estudiará el segundo de los métodos empleados el cual corresponde al cálculo del ÁREA.

Para este método se va a disponer de tres polígonos los cuales tienen áreas diferentes. Inicialmente se tiene un polígono (ver figura 62) con una forma muy estrecha y alargada. Dicho polígono, debido a sus características debería de considerarse sliver. Como se ha visto en el histograma hay polígonos que no son

slivers y tienen menor área que la del polígono del ejemplo, por lo tanto este valor no nos indica si el polígono es o no sliver.



Location:	666.595,354 4.459.251,352 Unknow
Field	Value
FID	157
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	14225,326935
Perimetro	3774,776409
RC	0,112007
DIST	4,969576

**Figura 62.** Polígono sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método del Área. AREA 14225,77 m<sup>2</sup>

El siguiente caso corresponde con un polígono (ver figura 63) que tiene un área un poco mayor que el polígono anterior, también es muy estrecho y alargado. En este caso ocurre lo mismo que en el caso anterior hay polígonos que no son slivers y tienen menos área que este que sí es sliver.



Location: 666.290,355 4.460.005,571 Unkno	
Field	Value
FID	9
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	21909,542
Perimetro	4403,254401
RC	0,119165
DIST	5

**Figura 63.** Polígono sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método del Área. AREA 21909,54 m<sup>2</sup>

Para finalizar se tiene un polígono (ver figura 64), que tiene una forma triangular, el cual tiene más área que los anteriores y no es sliver. En este caso también hay polígonos no sliver que tienen más área que este polígono en concreto, por lo tanto tampoco se podría diferenciar si el polígono es sliver o no con la cartografía usada.



Location:	665.678,975 4.459.897,438 Unknown
Field	Value
FID	152
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	30236,466185
Perimetro	713,471413
RC	0,86396
DIST	72,02096

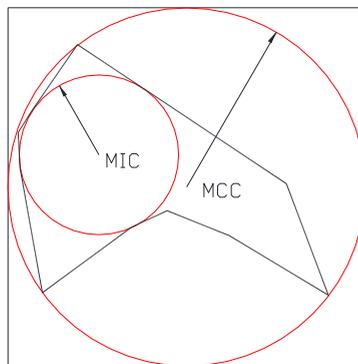
**Figura 64.** Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método del Área. AREA 30236,46 m<sup>2</sup>

## 7. PROPUESTA MÉTODO ALTERNATIVO

### 7.1 ALGORITMOS MÁXIMO CÍRCULO INSCRITO A UN POLÍGONO CUALQUIERA

#### 7.1.1 El problema del máximo círculo inscrito

Como se ha visto, son muchos los autores que plantean índices de forma utilizando el cálculo del máximo círculo inscrito (MIC) como el mínimo círculo circunscrito (MCC) (ver figura 65). (Ehrenburg, 1892; Tickell, 1931; Wadell, 1933).



**Figura 65.** *Máximo círculo inscrito y mínimo círculo circunscrito*

Se pueden encontrar varios algoritmos para el cálculo del mínimo círculo circunscrito (Karkazis & Karagiorgis, 1986; Sy-Ming Guu & Du-Ming Tsai, 1998; Boteelho, 2004). Si bien el problema del mínimo círculo circunscrito no presenta problemas en su implementación, el máximo círculo inscrito representa un verdadero escollo tanto en la búsqueda de algoritmos satisfactorios como en las implementaciones posteriores.

A continuación se pasa a explicar los diversos tipos de métodos encontrados para el cálculo del MIC de un polígono en formato digital, dejando de lado los métodos manuales, es decir, se busca que sean susceptibles de ser automatizados mediante software.

Estos métodos se clasifican en dos grandes grupos:

- Algoritmos vectoriales que requieren que el formato de codificación de la información sea vectorial.
- Algoritmos ráster que permiten calcular el MIC trabajando con imágenes digitales.

Ambos tipos de algoritmos pueden ser útiles bien porque trabajemos con ambos tipos de cartografía o bien porque existen herramientas informáticas que nos permiten pasar de un formato a otro.

Otros autores han optado por un método manual para hallar en MIC. Tal es el caso de investigadores en petrología tratando de determinar la redondez de fragmentos de roca (Folk, 1968).

#### *7.1.1.1 Algoritmos Vectoriales*

Por lo general, la cartografía vectorial suele utilizarse en grandes escalas más que la cartografía ráster. La cartografía vectorial viene asociada a la idea de precisión y de definición de los contornos y posición de los elementos geográficos. Sin embargo, la elaboración de algoritmos para realizar cálculos en formato vectorial requiere más trabajo y conocimientos en geometría, algoritmia y programación que para los análogos en formato ráster.

Desde el punto de vista geométrico y algorítmico el máximo círculo circunscrito tiene similar planteamiento que el mínimo círculo circunscrito. Se trata de determinar el centro  $(X_C, Y_C)$  y el radio del círculo que cumpla lo siguiente:

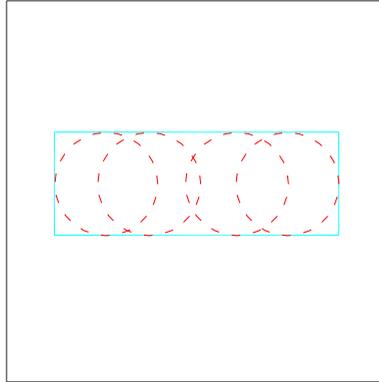
Máximo r

$$(X_i - X_C)^2 + (Y_i - Y_C)^2 \geq r^2$$

Donde  $X_i$  e  $Y_i$  son las coordenadas de cada uno de los vértices del polígono. (Martinez, 2012; Sy-Ming Guu & Du-Ming Tsai, 1998)

Pese a que este planteamiento da resultados correctos en el caso del mínimo círculo circunscrito, los diversos autores no recomiendan utilizar la función Lagrangiana para resolver este problema ya que normalmente no

presenta convergencia. (Martinez, 2012; Sy-Ming Guu & Du-Ming Tsai, 1998) tampoco lo recomienda. Esto ocurre en muchas ocasiones ya que un polígono puede presentar varios máximos, es decir, varias soluciones, como sería el caso (ver figura 66).



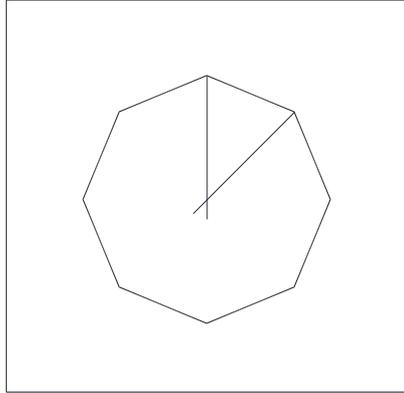
**Figura 66.** Posibles MIC.

Este método es utilizado a menudo cuando se puede garantizar que la solución del máximo círculo inscrito es única como puede ser el caso de polígonos cuasi-circulares (Sy-Ming Guu & Du-Ming Tsai, 1998)

En efecto, el cálculo del MIC en formato vectorial es complejo y ha provocado la aparición de algoritmos más simplificados destinados a tipos particulares de polígonos. Así es frecuente ver algoritmos para el cálculo del MIC para polígonos convexos y para el resto de polígonos.

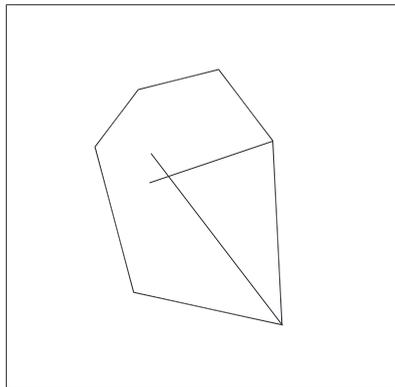
#### *7.1.1.1.1 Para polígonos convexos. Limitaciones*

El caso más sencillo de calcular es el de los polígonos regulares, independientemente del número de lados. La obtención del centro del MIC es la obtención del centro geométrico de la figura. Basta con determinar la intersección entre las bisectrices de los ángulos internos formados con los lados (ver figura 67).



**Figura 67.** *Polígono regular con bisectrices*

No obstante, este procedimiento sólo es válido para polígonos regulares. Un polígono irregular no daría el resultado esperado pese a ser convexo (ver figura 68).

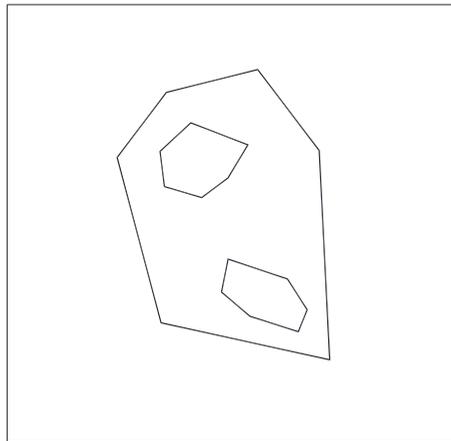


**Figura 68.** *Polígono irregular con bisectrices*

Son muchos los casos en la naturaleza como en la industria que nos encontramos ante polígonos convexos e irregulares a los que hay que calcular el MIC. Para ello, han aparecido numerosos algoritmos satisfactorios y relativamente fáciles de implementar que se utilizan actualmente con frecuencia (Dasarathy, 1975; Martinez, 2012; Garcia-Castellanos, 2007)

No vamos a detenernos a explicar estos algoritmos y sus aplicaciones ya que presentan serias limitaciones para su aplicación en cartografía y más concretamente en la búsqueda de polígonos slivers.

Como es de suponer, la limitación principal es que no se pueda aplicarlo a cualquier polígono, tanto cóncavo como convexo. Por otro lado, estos algoritmos no están pensados para calcular el MIC en polígonos convexos que tengan islas en su interior (ver figura 69).



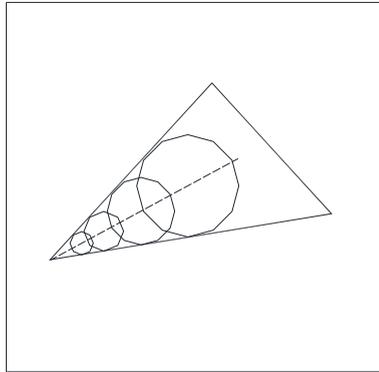
**Figura 69.** *Polígono convexo con islas en el interior*

Si bien esta última limitación no es realmente importante en la caracterización de polígonos slivers ya que no suelen tener islas en su interior, hay que darse cuenta que los polígonos que se tratarán serán convexos en contadas ocasiones. Se necesita, por tanto, un método más general y aplicable, al menos, a las características geométricas de los polígonos slivers.

#### *7.1.1.1.2 Para cualquier polígono. Limitaciones*

Son numerosos los algoritmos que se pueden encontrar en la literatura referentes a la determinación del MIC cuando se trata de polígonos convexos. No obstante, son muy pocos los autores que han llegado a resultados sobresalientes cuando los polígonos son de cualquier tipo. La complejidad algorítmica aumenta del mismo modo que lo hace la casuística de los polígonos a analizar.

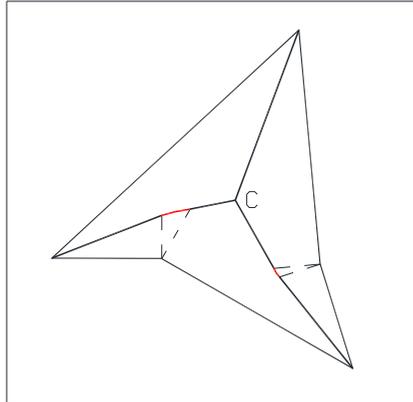
Entre ellos, se va a destacar el algoritmo propuesto por (Karkazis & Karagiorgis, 1986). Su algoritmo, generalizable a las tres dimensiones, se basa en el concepto de “Círculo rodante” (Rolling Circle) (ver figura 70).



**Figura 70.** *Círculo rodante*

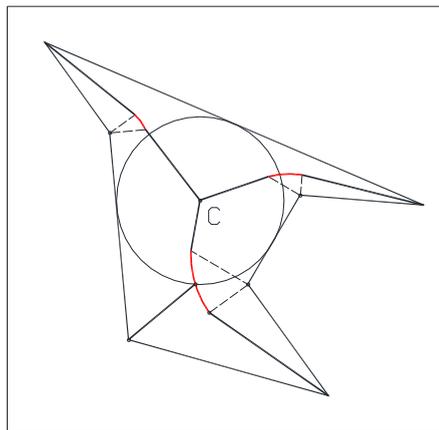
Partiendo del vértice más occidental del polígono, se va calculando la trayectoria de un círculo tangente a ese vértice (Pilot Tangential Point) y a otro lado, mientras que el primer vértice va desplazándose a lo largo del perímetro del polígono en sentido contrario a las agujas del reloj.

La trayectoria seguida por el centro del círculo describe líneas rectas y parábolas. Cuando el vértice recorra todo el perímetro, el centro del círculo tangente habrá descrito una trayectoria compuesta por rectas y parábolas. Uno o varios de los puntos de esa trayectoria contendrán al centro del MIC (ver figura 71).



**Figura 71.** *Possible centro del MIC*

Por lo general, en la intersección de tres o más trayectorias se encuentra el centro buscado (ver figura 72).



**Figura 72.** *Trayectoria del círculo rodante y posible centro del MIC*

Este algoritmo resuelve el problema del MIC en cualquier polígono tanto si es convexo como cóncavo. No obstante tiene dos problemas:

Por un lado la dificultad de su implementación. Pese a que no es imposible, la programación de este algoritmo requiere de librerías de programación con funciones específicas. Por otro lado, los autores dejan

propuesto el problema de los polígonos con islas en su interior, caso que complica aún más el algoritmo inicial.

Si bien sabemos que los polígonos slivers no suelen tener islas, antes de aplicar el algoritmo a un polígono deberíamos descartar previamente que no tuviese islas o clasificarlo como no sliver de antemano.

### 7.1.1.2 Algoritmos ráster

Básicamente, los algoritmos que calculan el MIC en imágenes ráster se basan en el cálculo de distancias euclidianas para cada pixel con respecto al contorno más próximo (Rembo et al., 2007).

A partir de una imagen que contiene nuestros polígonos en formato ráster, se trata de obtener una nueva imagen en la que cada pixel contenga la distancia euclidiana entre cada pixel y su contorno más próximo (ver figura 73).

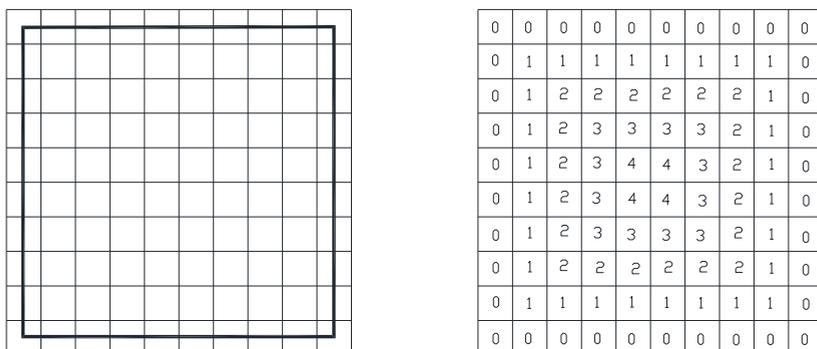
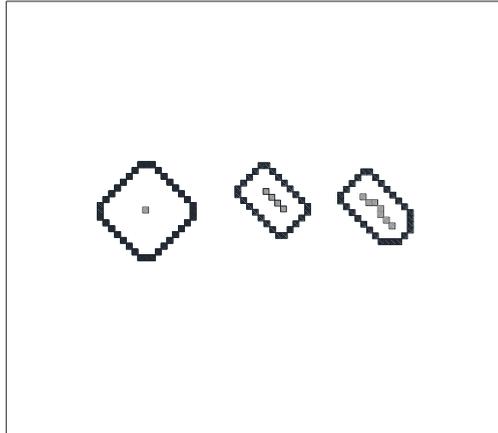


Figura 73. Distancia euclidiana

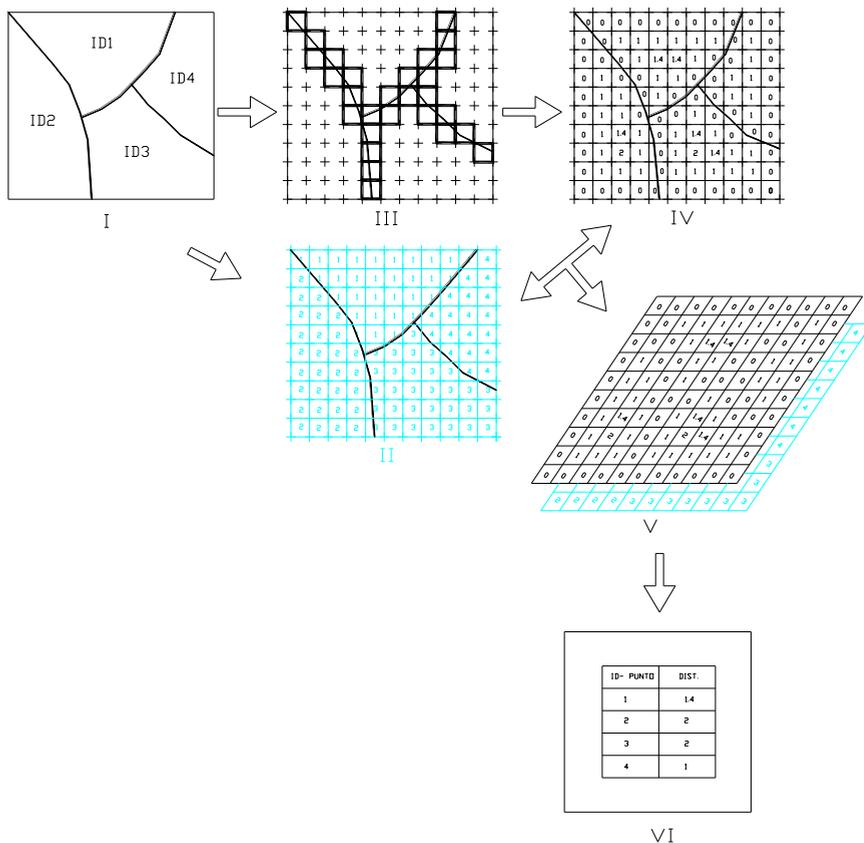
El cálculo del mapa de distancias es bastante sencillo de implementar y la mayoría del software de sistemas de tratamiento de imágenes y de sistemas de información geográfica incorporan rutinas que lo calculan.

Una vez calculado el mapa de distancias, los centros de los círculos máximos inscritos en cada polígono corresponden al píxel o píxeles que tienen la máxima distancia al contorno más próximo (ver figura 74).



**Figura 74.** *Centros de círculos en ráster*

En el caso de tener una cartografía vectorial habrá que rásterizar la capa de polígonos a los que hay que calcular el radio del círculo máximo inscrito antes de aplicar el algoritmo, el procedimiento podría ser similar al de la siguiente figura (ver figura 75).



**Figura 75.** Procedimiento del cálculo MIC.

Partimos de una cartografía vectorial de polígonos (I), cada uno con un identificador único que los distingue de los demás.

A partir de él se crean dos mapas ráster: Uno conteniendo en cada pixel simplemente el identificador del polígono original (II) y otro mapa binario con los contornos rasterizados (III).

Con el mapa binario de los contornos se obtiene el mapa de distancias (IV) de modo que cada pixel contendrá la distancia al contorno más próximo.

Con el mapa de distancias y el mapa de identificadores hay que realizar un búsqueda combinada en ambos mapas localizando para cada ID la distancia máxima que aparece en el otro mapa.

De este modo (V), se obtiene una relación de la máxima distancia existente en cada uno de los identificadores. Por supuesto, esas distancias máximas corresponden precisamente al radio del máximo círculo inscrito en cada polígono (VI).

Si bien estos procedimientos son de muy sencilla aplicación, en tanto en cuanto están todos implementados en muchos software, suelen tener varios problemas o limitaciones.

En primer lugar tenemos que tener en cuenta que trabajamos con imágenes en lugar de dibujos vectoriales. Esto quiere decir que si queremos alcanzar la precisión requerida para localizar polígonos pequeños o estrechos como los slivers, tenemos que reducir el tamaño del pixel. Eso implica trabajar con imágenes de gran peso.

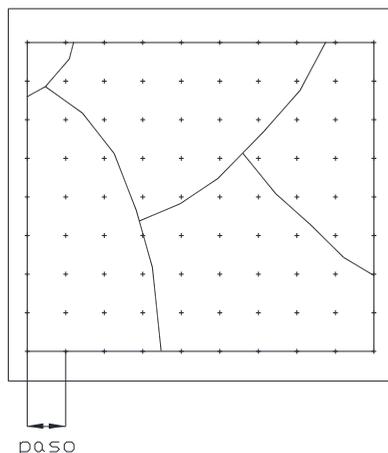
En segundo lugar, trabajar con imágenes de gran peso implica que el tiempo necesario para procesar cada imagen aumenta considerablemente lo que lo hace poco efectivo a la hora de buscar polígonos slivers. En este sentido se han elaborado algoritmos que tratan de reducir el tiempo de cálculo y hacerlo más robusto (Rembo et al., 2007).

## **7.2 PROCEDIMIENTO UTILIZADO**

El procedimiento utilizado en este estudio es en realidad una mezcla de los vistos anteriormente. No pretende ser un algoritmo rápido ni eficiente sino sencillo de programar y que nos permita continuar con la parte principal de nuestro estudio.

El fundamento básico es el siguiente:

El mapa en cuestión se subdivide en una malla regular de puntos separados una distancia prefijada y dependiente de la escala llamada PASO (ver figura 76).



**Figura 76.** Superposición de la malla de puntos en el mapa

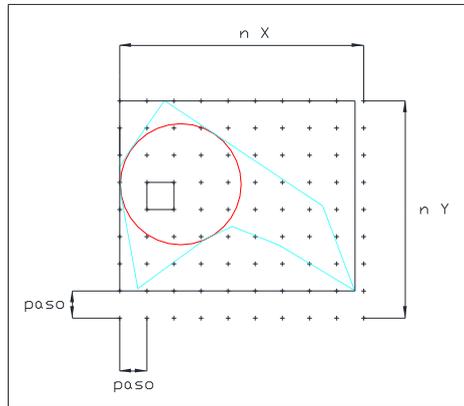
El paso puede hacerse lo pequeño que se quiera. Cuanto menor sea el paso mayor será el número de puntos a tratar. Para cada punto hay que averiguar a qué polígono pertenece y cuál es la distancia más corta a su contorno. De este modo, hay que buscar para cada polígono, el punto de su interior que mayor distancia al contorno proporciona. Ese punto corresponde al centro del MIC y la distancia el radio del círculo buscado.

Ahora bien, para utilizar este procedimiento se pensaron dos alternativas:

Por un lado podemos seguir el procedimiento explicado arriba. Eso implica trabajar con una malla de puntos grande. Por ejemplo, una hoja habitual a escala 1:10.000 puede tener unas dimensiones reales de 7 x 5 km. A esa escala puede considerarse lícita una tolerancia gráfica de 2 metros. Sin embargo, para que la precisión del cálculo del MIC sea precisa deberíamos poner un paso de 15 cm, por ejemplo. Con ello resulta una matriz de 46.667 x 33.334 puntos = 1.555.597.778 puntos. Si empleamos una variable de tipo double (8 bytes) para almacenar cada una de esas distancias necesitaríamos reservar una memoria de 7,24 GB para la matriz de puntos.

Pese a los avances actuales en el hardware y en el software, muchos sistemas de información geográfica que trabajan con lenguajes interpretados no permiten reservar memoria para matrices tan grandes.

Por otro lado, podemos utilizar el mismo procedimiento pero esta vez haciendo el estudio polígono a polígono. Se toma uno de los polígonos del mapa, se buscan sus dimensiones y se calcula la malla de puntos de separación el PASO que podemos superponer (ver figura 77).



**Figura 77.** Cálculo del MIC para un polígono

Con ello se tendrá una malla de  $nX$  número de puntos en el eje de abscisas y  $nY$  puntos en el eje de ordenadas. Cada punto de la malla forma un cuadrado con los puntos vecinos. Para cada cuadrado de la malla nos preguntamos si está dentro o fuera del polígono en cuestión.

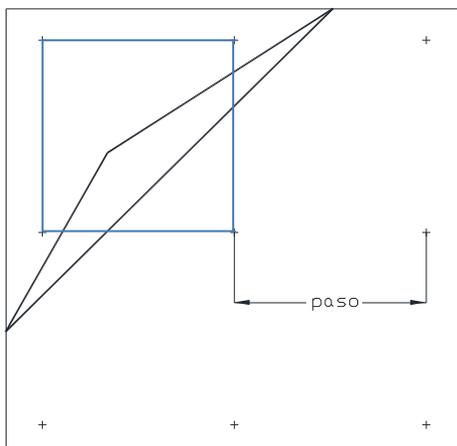
Existen tres posibilidades:

- Que el cuadrado esté fuera del polígono
- Que el cuadrado esté dentro del polígono
- Que el cuadrado toque el contorno del polígono

Si el cuadrado está fuera se pasa directamente a otro cuadrado ya que ninguno de sus puntos será el centro del MIC.

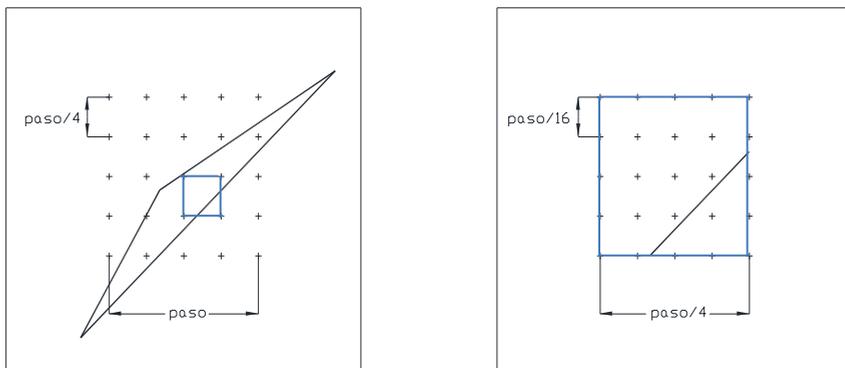
Si el cuadrado está dentro se busca la mínima distancia desde su centro al contorno del polígono. De todos los cuadrados que estén dentro del polígono, habrá uno o varios que den una distancia mínima al contorno más grande que el resto. Esa será la distancia buscada.

Sin embargo, puede darse el caso, especialmente en los polígonos slivers, polígonos alargados o en polígonos pequeños, en que los cuadrados consultados no caigan ninguno dentro del polígono sino que toquen al contorno (ver figura 78).



**Figura 78.** Polígono sliver con su contorno

En esos casos y para calcular con más precisión el radio del MIC, se procede a dividir el cuadrado en 16 partes dividiendo el paso por cuatro (ver figura 79).



**Figura 79.** Doble división del paso

Nuevamente se vuelve a operar del mismo modo iterando hasta que el paso se divide por 16, o lo que es lo mismo en nuestro ejemplo, hasta que el

nuevo paso sea 0,125 m. En ese momento ya se dispone de suficiente información para determinar la distancia máxima de entre las distancias mínimas al contorno del polígono. Esa distancia corresponderá al radio del MIC.

Así se continúa con todos y cada uno de los polígonos del mapa en cuestión.

Hay que tener en cuenta que con este segundo procedimiento se procesan, en realidad, más puntos que en el primero pero las matrices a procesar cada vez son de dimensiones menores y, por tanto, más fáciles de gestionar por lenguajes de programación interpretados que no permiten la gestión de la memoria por parte del usuario.

En el apéndice II puede verse el código del programa implementado en ArcGis.

### **7.3 MÉTODO PROPUESTO**

El método que se propone es el del cálculo del máximo círculo inscrito en un polígono. Lo denominaremos DIST. Este método lo incluiremos dentro de los índices derivados de las dimensiones de los círculos inscritos y circunscritos. Para este método propuesto hay que determinar una tolerancia mínima establecida para el diámetro del círculo a partir de la cual todos los polígonos con menor distancia serían slivers.

La vista humana puede alcanzar los 0,05 mm en buenas condiciones de visión. No obstante, en cartografía se adopta el convencionalismo de establecer que se perciben magnitudes de hasta 1/4 de milímetro, con errores inferiores a 1/5 de milímetro. Este límite de percepción visual se establece de 0,2 mm. Otros países adoptan otros valores como 0,15 mm etc.

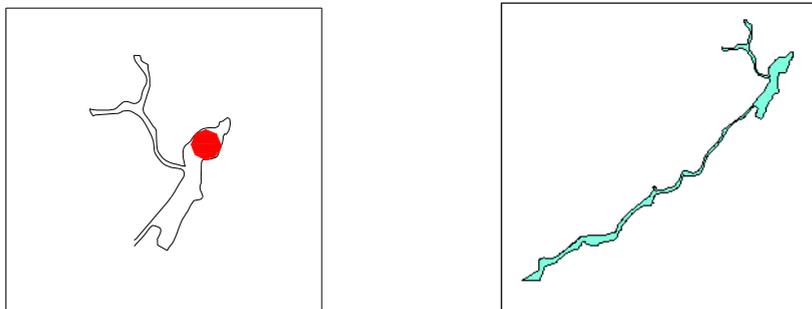
Este límite está relacionado con la escala del plano y por lo tanto con su representación. A una escala de 1/1000 no tendrán representación todos los objetos inferiores a 20 cm. La distancia mínima establecida debe de ser la del límite de percepción visual por el denominador de la escala.

El siguiente paso es el de calcular el máximo círculo inscrito en un polígono. Si el diámetro es menor que la distancia mínima calculada anteriormente el polígono debería de ser un sliver.

### **7.3.1 Aplicación del método a distintas formas de polígonos**

Los polígonos a los que aplicamos el cálculo del máximo círculo inscrito, son polígonos que presentaron problemas de identificación para los índices analizados anteriormente en el apartado 4.4.

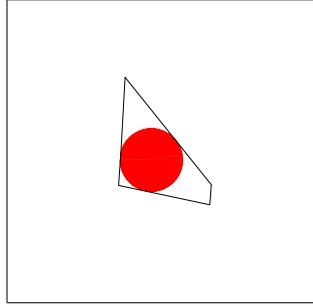
El primer polígono es un polígono alargado, estrecho casi en su totalidad y con un radio del círculo inscrito de 60 m. (ver figura 80). Dicho polígono no es sliver.



**Figura 80.** Radio máximo círculo inscrito 60m.

Con las fórmulas anteriores y los índices correspondientes nos dice que es un polígono sliver. Pero si aplicamos el método descrito, y conocemos a qué escala está la cartografía, por ejemplo a escala 1/50000 veremos que la tolerancia calculada es de 10 m. Entonces como el diámetro del círculo inscrito es mayor que la distancia calculada no sería sliver, teniendo las formas características de los sliver.

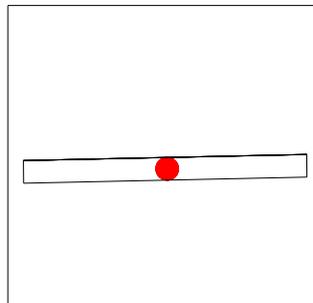
El segundo de los polígonos analizados, es un polígono que tiene una cierta forma triangular y con un radio del máximo círculo inscrito de 0.65 m. (ver figura 81).



**Figura 81.** Radio máximo círculo inscrito 0,65m.

Con la razón de circularidad y otros índices de forma se decía que este polígono no era alargado y, por tanto, no podía ser sliver. Sin embargo en realidad sí lo es. El presente polígono está extraído de una cartografía a escala 1/10000 y por tanto la tolerancia gráfica es de 2m. Dado que el diámetro del MIC obtenido es de 1,0302 m. menor que la tolerancia, nos indica que se trata de un polígono pequeño altamente sospechoso.

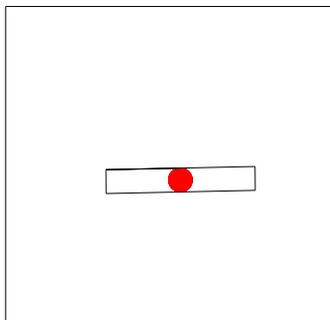
El tercero de los polígonos es el correspondiente a un polígono no sliver muy estrecho y alargado con un radio del máximo círculo inscrito de 0,30 m. (ver figura 82).



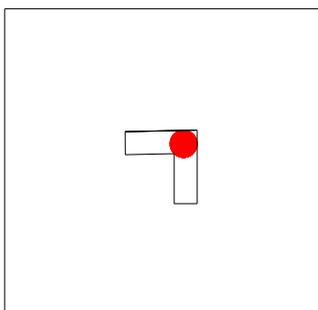
**Figura 82.** Radio máximo círculo inscrito 0.30m.

La escala en este caso es de 1/1000 la tolerancia gráfica calculada sería de 20 cm. Como el diámetro es de 60 cm. no sería sliver en cambio con las fórmulas anteriores sí que sería un sliver.

El cuarto y quinto polígono no son slivers, a estos polígonos les sucede algo parecido a los anteriores, sabiendo que la escala a la que tenemos la cartografía es de 1/50000, sabiendo el radio del máximo círculo inscrito, que en este caso será el mismo para los dos polígonos de 5,94 m. (ver figura 83 y 84).



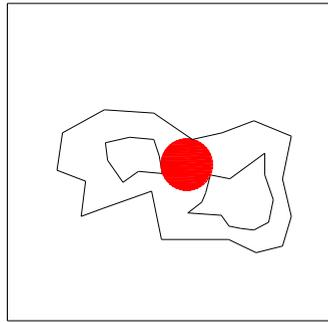
**Figura 83.** Radio máximo círculo inscrito 5,94 m



**Figura 84.** Radio máximo círculo inscrito 5,94 m

Para la escala de representación de 1/50000 la tolerancia gráfica calculada es de 10 m. y como el diámetro es de 11,88 m. mayor que la tolerancia calculada, estos polígonos no serían slivers. Con las formulas anteriores sí serian slivers.

Y por último tenemos un polígono no sliver que contiene islas (ver figura 85). Este tipo de polígonos que contienen islas suelen admitir entre ellas un círculo de tamaño razonable y es difícil imaginar que entre las islas no haya más espacio que la anchura que podría tener un sliver. Un ejemplo que podría parecerse a lo que estamos diciendo es un campo de arrozales donde los polígonos de tierra se reducen a los caminos que hay entre parcelas de arroz. Pero estos caminos tienen anchura suficiente para no considerarlos slivers. Se recuerda que este tipo de polígonos generaban importantes problemas de identificación en casi todos los índices analizados.



**Figura 85.** Radio máximo círculo inscrito 2799 m

### **7.3.2 Aplicación del índice DIST a cartografía a distintas escalas**

En este apartado se ha empleado la misma cartografía y las mismas escalas que las utilizadas para el cálculo de los índices de RC y AREA, por lo tanto, se han generado los mismos polígonos slivers al aplicarse los mismos desplazamientos y tolerancias establecidas para las escalas anteriores. Se han clasificado los polígonos en slivers y no slivers, obteniéndose para cada polígono analizado un valor DIST, a continuación se ha obtenido los histogramas de frecuencia para cada escala y cada polígono, sabiendo si es o no sliver.

### **7.3.3 Intervalos de clase utilizados en los histogramas de frecuencia**

Para el método propuesto se han calculado los intervalos de clase iguales a 1/4, 1/2, 3/4, 1 de la tolerancia, y valores mayores de la tolerancia, obteniéndose para cada escala los siguientes valores (ver tabla35).

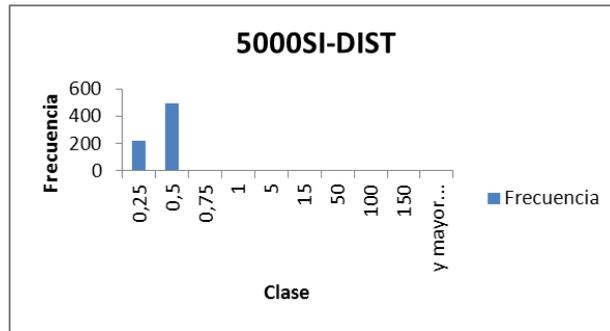
Intervalos	1/4	1/2	3/4	1	Valores mayores a la tolerancia				
1/5000	0.25	0.5	0.75	1	5	15	50	100	150
1/10000	0.5	1	1.5	2	5	10	100	200	500
1/25000	1.25	2.5	3.75	5	15	50	100	150	200
1/50000	2.5	5	7.5	10	15	50	100	Valores mayores	

**Tabla 35.** Intervalos de clase para los histogramas de frecuencia. Método DIST

#### ***7.3.3.1 Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/5000***

El histograma de frecuencia (ver gráfico 29) es la que corresponde al cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono, que es el método propuesto.

Se ha realizado la unión de todos los polígonos slivers de los cuatro mapas utilizados para la escala 1/5000, obteniéndose un total de 221 polígonos sliver menores de 0,25 m. de radio y 495 polígonos menores de 0,5 m. de radio. Dicha información aparece representada gráficamente (ver gráfico 29).



**Gráfico 29.** Histograma de frecuencia para el cálculo del radio máximo inscrito en un polígono sliver a escala 1/5000

En este histograma se encuentran todos los polígonos slivers en dos intervalos de clase.

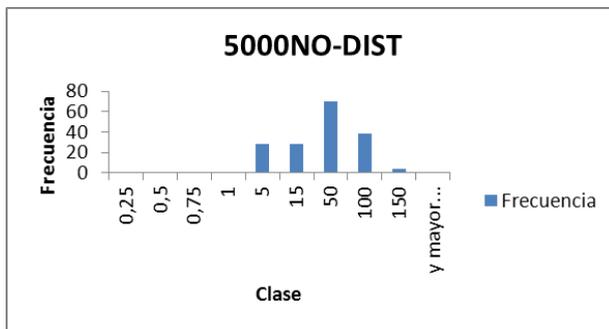
A continuación se tienen los datos numéricos del histograma de frecuencia, la relación de intervalos de clase y la frecuencia de polígonos que sí son slivers (ver tabla 36).

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>
0,25	221
0,5	495
0,75	0
1	0
5	0
15	0
50	0
100	0
150	0
y mayor...	0

**Tabla 36.** Datos numéricos histogramas. Polígonos sí slivers a escala 1/5000. Método DIST

### 7.3.3.2 Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/5000

El histograma está representado gráficamente (ver gráfico 30) para el método del cálculo del radio del máximo círculo inscrito, en este caso es para todos los polígonos que no son slivers.



**Gráfico 30.** Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono no sliver a escala 1/5000

En este histograma se encuentran todos los polígonos que no son slivers por encima del intervalo de clase de 5 m. no encontrándose ningún polígono por debajo de 1 m.

A continuación se tiene los datos numéricos del histograma de frecuencia con la relación de intervalos de clase y la frecuencia de polígonos que no son slivers (ver tabla 37).

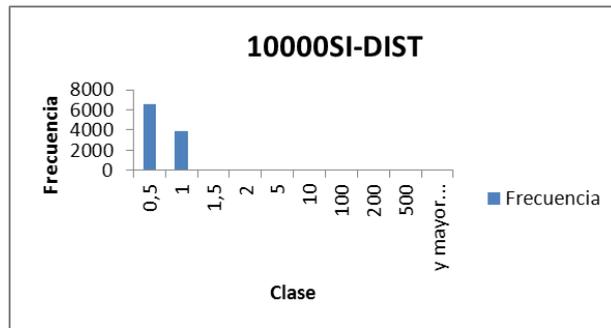
Clase	Frecuencia
0,25	0
0,5	0
0,75	0
1	0
5	28
15	28
50	70
100	38
150	4
y mayor...	0

**Tabla 37.** Datos numéricos histograma. Polígonos no slivers a escala 1/5000. Método DIST

### 7.3.3.3 Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/10000

El histograma es el que corresponde al cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono.

Se ha realizado la unión de todos los polígonos slivers de los cuatro mapas utilizados para la escala 1/10000. Obteniéndose un total de 6521 polígonos sliver menores de 0,5 m. de radio, 3850 polígonos menores de 1 m. 18 polígonos menores de 1,5 m. y 7 polígonos menores de 2 m. de radio (ver gráfico 31).



**Gráfico 31.** Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono sliver a escala 1/10000

En este histograma tenemos a todos los polígonos slivers entre cuatro intervalos de clase correspondientes al 0,5, 1, 1,5 m. y por último al 2 m.

A continuación se muestra la relación de intervalos con el número de polígonos pertenecientes a cada intervalo, para el método propuesto, para polígonos que sí son slivers (ver tabla 38).

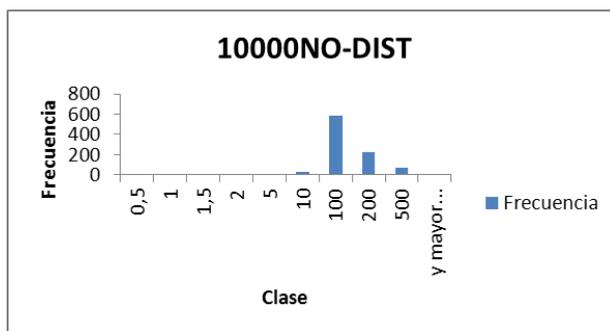
Clase	Frecuencia
0,5	6521
1	3850
1,5	18
2	7
5	0
10	0
100	0
200	0
500	0
y mayor...	0

**Tabla 38.** Datos numéricos histograma. Polígonos slivers a escala 1/10000.Método DIST

Se puede observar numéricamente que no se encuentra ningún polígono no sliver por encima del intervalo 2.

#### 7.3.3.4 Histogramas de frecuencia para polígonos no slivers. 1/10000

Se plantearon los mismos pasos que para los polígonos slivers del apartado anterior pero para los polígonos que no son slivers, obteniendo el siguiente histograma (ver gráfico 32).



**Gráfico 32.** Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono no sliver a escala 1/10000

En este histograma se encuentran todos los polígonos que no son slivers por encima del intervalo de clase de 5 m, todos los polígonos están por encima de la tolerancia establecida de 2 m.

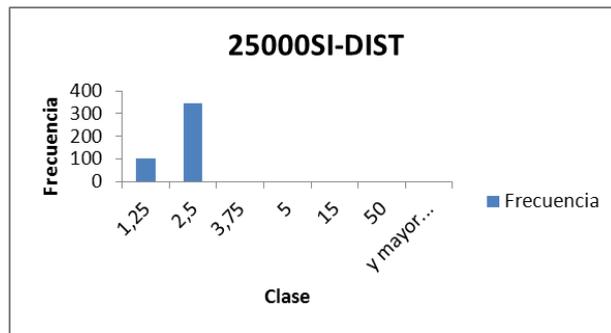
A continuación se tienen los datos numéricos del histograma de frecuencia con la relación de intervalos de clase y la frecuencia de polígonos que no son slivers (ver tabla 39).

Clase	Frecuencia
0,5	0
1	0
1,5	0
2	0
5	11
10	24
100	584
200	226
500	71
y mayor...	8

**Tabla 39.** Datos numéricos histograma. Polígonos no slivers a escala 1/10000. Método DIST

**7.3.3.5 Histogramas de frecuencia para polígonos slivers. 1/25000**

Para este histograma se hizo la unión de todos los polígonos slivers de los cuatro mapas utilizados para la escala 1/25000, obteniéndose un total de 446 polígonos sliver menores de 5 m. de radio, 0 polígonos menores de 3,75 m., 344 polígonos menores de 2,5 m. y 102 polígonos menores de 1,25 m. de radio (ver gráfico 33).



**Gráfico 33.** Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono sliver a escala 1/25000

Como se puede apreciar todos los polígonos slivers se encuentran por debajo del índice de clase de 2,5 m., no habiendo ningún polígono slivers por encima de este índice.

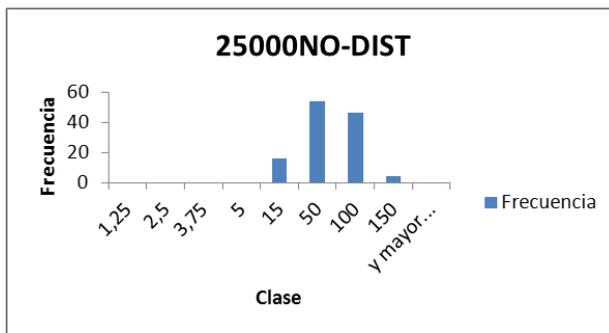
Relación numérica de intervalos utilizados, así como el número de polígonos existentes en dichos intervalos, para el método propuesto, de los polígonos que sí son slivers (ver tabla 40).

Clase	Frecuencia
1,25	102
2,5	344
3,75	0
5	0
15	0
50	0
100	0
150	0
200	0
y mayor...	0

**Tabla 40.** Datos numéricos histograma. Polígonos slivers a escala 1/25000. Método DIST

### 7.3.3.6 Histograma de frecuencia para polígonos no slivers. 1/25000

Para la realización del proceso se realizó los mismos pasos que para los polígonos slivers del apartado anterior pero para los polígonos que no son slivers, obteniendo la gráfica correspondiente. A continuación, se calculó el radio del máximo círculo inscrito a cada uno de los polígonos que no son slivers (ver gráfico 34).



**Gráfico 34.** Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono no sliver a escala 1/25000

Observando dicho histograma tenemos a todos los polígonos que no son slivers, por encima del intervalo de clase de 5 m, siendo la tolerancia establecida para esta escala de 5 m.

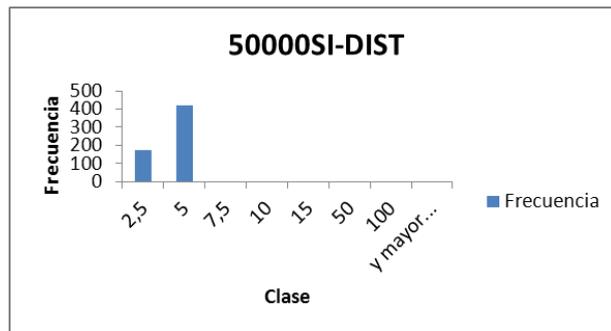
A continuación se aportan los datos numéricos del histograma de frecuencia con la relación de intervalos de clase y la frecuencia de polígonos que no son slivers (ver tabla 41).

Clase	Frecuencia
1,25	0
2,5	0
3,75	0
5	0
15	16
50	54
100	46
150	4
200	0
y mayor...	0

**Tabla 41.** Datos numéricos histograma. Polígonos no slivers a escala 1/25000. Método DIST

**7.3.3.7 Histograma de frecuencia para polígonos slivers. 1/50000**

Para finalizar se ha obtenido el histograma de frecuencia, para el cual se ha realizado la unión de todos los polígonos slivers de los cuatro mapas utilizados para la escala 1/50000, obteniéndose un total de 591 polígonos sliver menores de 10 m. de radio, 0 polígonos menores de 7,5 m., 418 polígonos menores de 5 m. y 173 polígonos menores de 2,5 m. de radio. (ver gráfico 35).



**Gráfico 35.** Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono sliver a escala 1/50000

Como se puede apreciar todos los polígonos slivers se encuentran por debajo del índice de clase de 7,5 m, no encontrándose ningún polígono sliver por encima de este índice.

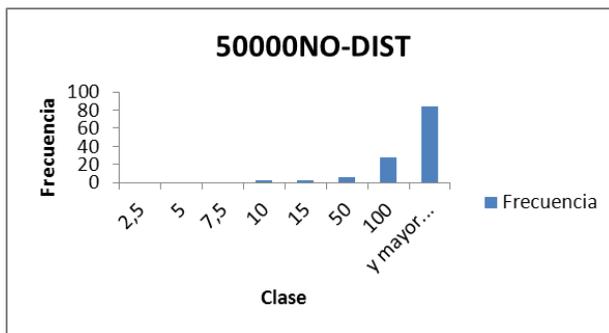
A continuación se especifica la relación numérica de los intervalos empleados, con el número de polígonos existente en dichos intervalos todos los polígonos que sí son slivers (ver tabla 42).

Clase	Frecuencia
2,5	173
5	418
7,5	0
10	0
15	0
50	0
100	0
200	0
300	0
y mayor...	0

**Tabla 42.** Datos numéricos histograma. Polígonos slivers a escala 1/50000. Método DIST

### 7.3.3.8 Histograma de frecuencia para polígonos no slivers. 1/50000

Se procesaron los datos, para los polígonos no slivers, obteniendo el siguiente histograma (ver gráfico 36).



**Gráfico 36.** Histograma de frecuencia para el cálculo del radio del máximo círculo inscrito en un polígono no sliver a escala 1/50000

En este histograma, todos los polígonos que no son slivers, se encuentran por encima del intervalo de clase de 10 m, que es la tolerancia establecida para esta escala.

A continuación se tienen los datos numéricos del histograma de frecuencia con la relación de intervalos de clase y la frecuencia de polígonos que

no son slivers. Estos datos se han obtenido para el método propuesto (ver tabla 43).

Clase	Frecuencia
2,5	0
5	0
7,5	0
10	3
15	3
50	6
100	28
y mayor...	84

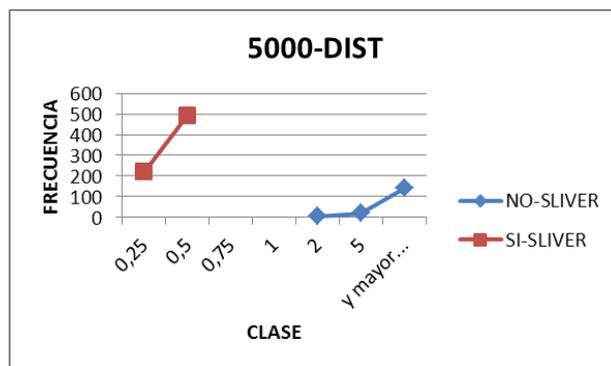
**Tabla 43.** Datos numéricos histograma. Polígonos no slivers a escala 1/50000. Método DIST

### 7.3.4 Histograma de los polígonos slivers y no sliver para el método DIST

En este apartado se han unido en un histograma único los datos de los polígonos slivers y los datos de los polígonos no slivers, obteniéndose los histogramas para las distintas escalas utilizadas.

#### 7.3.4.1 Histograma total a escala 1/5000

En este histograma (ver gráfico 37) se ha utilizado los intervalos descritos en el apartado 7.3.3 anterior, obteniendo 168 polígonos no slivers y 716 polígonos slivers.



**Gráfico 37.** Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método Dist. a escala 1/5000

En este gráfico (ver gráfico 37) se observa que entre el valor máximo de los polígonos slivers y el valor mínimo de los polígonos no slivers hay un hueco, donde no se encuentra ningún polígono. Esto nos permitirá poder situar un umbral en dicho hueco que separe a ambos lados los polígonos slivers de los que no lo son, por lo tanto se tendrá una banda en la cual no se encuentre ningún polígono. Se puede decir que este gráfico es muy parecido al histograma tipo buscado.

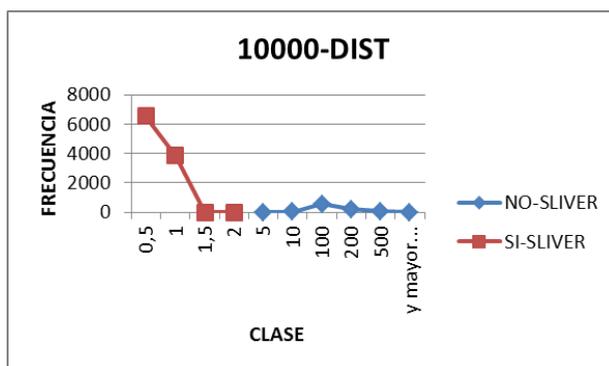
A continuación se representan los datos numéricos para la obtención del gráfico anterior, para el método propuesto (ver tabla 44).

	NO-SLIVER	SI-SLIVER
0,25		221
0,5		495
0,75		
1		
2	6	
5	22	
y mayor...	140	

**Tabla 44.** Datos numéricos histograma. Método DIST a escala 1/5000

### 7.3.4.2 Histograma total a escala 1/10000

Para este histograma se han obtenido 924 polígonos no slivers y 10393 polígonos slivers, aplicando los intervalos descritos en el apartado 7.3.3 anterior (ver gráfico 38).



**Gráfico 38.** Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método Dist. a escala 1/10000

En este histograma (ver gráfico 38) se observa que no hay solape entre los polígonos que son slivers y los que no lo son, este hueco se aprecia entre el límite superior de clase 2 m. y el límite inferior de clase 5 m. de radio, por lo tanto se tiene una zona en la cual no se encuentra ningún polígono. En este caso podríamos establecer un umbral de diferenciación entre sliver y no sliver entorno a la cifra de 3 ó 3,5 m.

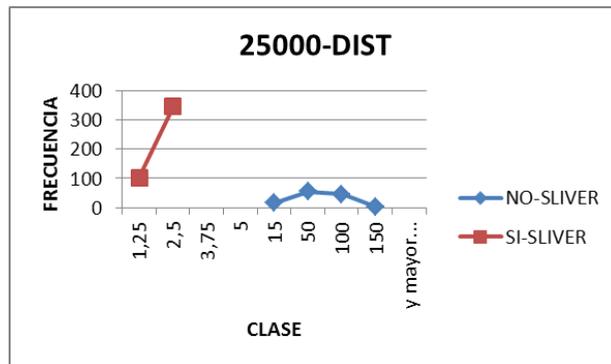
A continuación vemos numéricamente los datos para la obtención del histograma anterior (ver tabla 45).

	NO-SLIVER	SI-SLIVER
Clase	Frecuencia	Frecuencia
0,5		6521
1		3850
1,5		18
2		7
5	11	
10	24	
100	581	
200	226	
500	71	
y mayor...	8	

**Tabla 45.** Datos numéricos histograma. Método DIST a escala 1/10000

### 7.3.4.3 Histograma total a escala 1/25000

Para la obtención de este histograma se han utilizado los intervalos descritos en el apartado 7.3.3 anterior, obteniéndose un total de 120 polígonos no slivers y un total de 446 polígonos slivers (ver gráfico 39).



**Gráfico 39.** Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método Dist. a escala 1/25000

Con los datos obtenidos en este histograma (ver gráfico 39) se observa que no hay solape entre los polígonos que son slivers y los que no lo son, este hueco se aprecia entre el valor máximo de los polígonos slivers que es de 2,5 m. de radio y el valor mínimo de los polígonos no slivers que es de 15 m. de radio. Por lo tanto nos encontramos con una zona en la cual no hay ningún polígono. Esto nos permitiría situar un umbral en dicha zona que separe los polígonos que son slivers de los que no lo son. Se podría decir que este índice empleado sería un buen método para detectar los polígonos slivers de los polígonos que no son slivers.

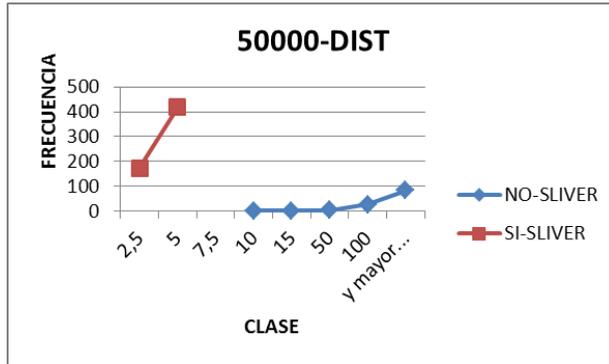
Los datos obtenidos para la confección del histograma anterior se representan en la siguiente tabla (ver tabla 46).

	NO-SLIVER	SI-SLIVER
Clase	Frecuencia	Frecuencia
1,25		102
2,5		344
3,75		
5		
15	16	
50	54	
100	46	
150	4	
y mayor...		

**Tabla 46.** Datos numéricos histograma. Método DIST a escala 1/25000

#### 7.3.4.4 Histograma total a escala 1/50000

Para este histograma se han utilizado los intervalos descritos en el apartado 7.3.3 anterior, el número total de polígonos no slivers es de 124 y el número de polígonos slivers es de 591 (ver gráfico 40).



**Gráfico 40.** Polígonos slivers y polígonos no sliver para el método Dist. a escala 1/50000

En este histograma (ver gráfico 40) se observa que no hay solape entre los polígonos que son slivers y los que no lo son, este hueco se aprecia entre los valores máximos de los polígonos slivers y los valores mínimos de los polígonos no slivers, siendo estos valores de 5 m. de radio y de 10 m. de radio respectivamente. Se aprecia una zona en la cual no hay ningún polígono. En esta zona podríamos establecer un umbral de diferenciación entre sliver y no sliver entorno a la cifra de 7,5 m. Este índice DIST también sería un buen método para la diferenciación de los polígonos slivers de los polígonos que no lo son.

A continuación se aportan los datos numéricos para la obtención del histograma anterior (ver tabla 47).

	NO-SLIVER	SI-SLIVER
Clase	Frecuencia	Frecuencia
2,5		173
5		418
7,5		
10	3	
15	3	
50	6	
100	28	
y mayor...	84	

**Tabla 47.** Datos numéricos histograma. Método DIST a escala 1/50000

### **7.3.5 Análisis de los histogramas obtenidos y su valoración**

En los histogramas de frecuencia anteriores, se ha podido observar que todos los histogramas presentan un salto entre los polígonos slivers y los no slivers. Dicho salto se presenta en todas las escalas analizadas para la cartografía empleada. Estos histogramas se acercan mucho al histograma ideal, y por lo tanto se podría establecer un umbral diferenciador entre los polígonos slivers y los no slivers.

El porcentaje de slivers que se detectan como sliver se encuentran todos en la zona 1 siendo el 100%, y los polígonos detectados como no slivers están todos en la zona 4 apreciándose un 100% de polígonos no slivers, no encontrándose ningún polígono en las zonas 2 y 3.

#### ***7.3.5.1 Resultados a escala 1/5000.***

Se observa que entre los polígonos slivers y los polígonos no slivers hay un salto, dicho salto se produce entre los polígonos que tienen un radio del máximo círculo inscrito mayor de 0,5 m. y los menores de 2 m. por lo tanto no se aprecian polígonos en solape. Este método diferencia o clasifica los polígonos slivers de los que no lo son o lo que es lo mismo, ningún sliver puede ser tomado como no sliver y viceversa.

Zona 1=100%

Zona 4=100%

#### ***7.3.5.2 Resultados a escala 1/10000***

Para esta escala sucede como en el caso anterior, hay un hueco entre polígonos sliver y los polígonos no slivers, dicho hueco se produce entre los

polígonos que presentan un valor del radio del máximo círculo inscrito de 2 m. y los polígonos con valores mayores de 5 m. Por lo tanto en este método ningún sliver puede ser considerado como no sliver y al contrario. Obteniendo unos porcentajes del 100% en la identificación de los polígonos slivers y no slivers.

Zona 1=100%

Zona 4=100%

#### *7.3.5.3 Resultados a escala 1/25000*

Para esta escala y para los mapas analizados con el método propuesto, se aprecia, que hay un salto entre polígonos sliver y los polígonos no slivers correspondiente a los polígonos con valores de 2,5 m. y los polígonos con valores de 15 m. Este método nos proporciona una diferencia entre los polígonos slivers y los que no lo son y por lo tanto no se cometerá ninguna identificación errónea en la determinación de los polígonos slivers y de los polígonos no slivers.

Zona 1=100%

Zona 4=100%

#### *7.3.5.4 Resultados a escala 1/50000*

Y por último para esta escala, sucede como en todos los casos anteriores respecto al método propuesto. Hay un salto entre polígonos sliver y los polígonos no slivers. Este salto se encuentra entre los polígonos con valores de 5 m. y los polígonos con valores de 10 m. Este método nos proporciona una diferencia entre los polígonos slivers y los que no lo son y por lo tanto no se comete ningún fallo en la determinación, obteniéndose unos porcentajes del 100%.

Zona 1=100%

Zona 4=100%

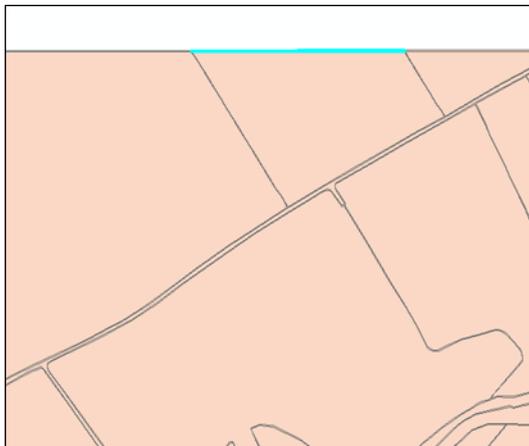
### **7.3.6 Aplicación del método propuesto a polígonos que presentaban dificultades en la diferenciación con los métodos RC y AREA.**

En este apartado se ha analizado, una serie de polígonos, los cuales presentaban dificultades en la diferenciación de si eran o no slivers, por medio de los métodos de RC y AREA. A estos polígonos se le ha aplicado el método propuesto, para todas las escalas y tipo de cartografía empleada anteriormente.

#### *7.3.6.1 Figuras a escala 1/5000*

Para esta escala y cartografía empleada, se van a analizar dos polígonos diferentes en cuanto a su forma. Para cada polígono se calculará el radio del máximo círculo inscrito al polígono, comparándose con la tolerancia correspondiente.

En la primera de las figuras tenemos un polígono que es sliver y el método DIST nos da un resultado de 0,5 m. por lo tanto por debajo del umbral establecido para esta escala, que está entre 0,5 m. y 2 m. También se puede observar que es el típico polígono sliver estrecho y alargado, con mucho perímetro con respecto al área y con una gran elongación así como un gran perímetro frente al área que genera (ver figura 86).

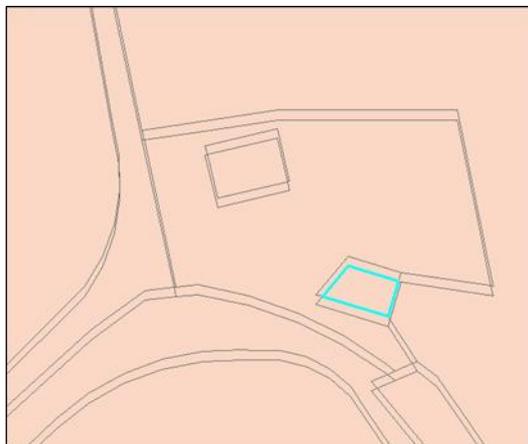


Location: 505.772,440 4.712.443,939 Unknown U	
Field	Value
FID	30
Shape	Polygon
Sliver	SI
Area	185,059162
Perimetro	372,465907
RC	0,129471
DIST	0,499977

**Figura 86.** Polígono sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método propuesto. DIST 0.5

En la tabla de la figura se observa que el polígono en cuestión tiene un área 185.05 m<sup>2</sup> valor mucho mayor que el polígono del ejemplo siguiente, por lo tanto se podría considerar que el polígono no sería sliver, cuando sí que lo es. Con respecto al valor de la razón de circularidad se podría decir que es un valor bastante bajo, lo que correspondería a un polígono sliver. Por último, con el valor obtenido por el método propuesto el polígono confirma que en realidad se trata de un polígono sliver.

En la segunda figura tenemos un polígono que no es sliver el cual tiene un valor del máximo círculo inscrito de 1,75 m., valor por encima de la tolerancia empleada para dicha escala (ver figura 87). Por tanto, el método acierta de nuevo caracterizando al polígono como no sliver.



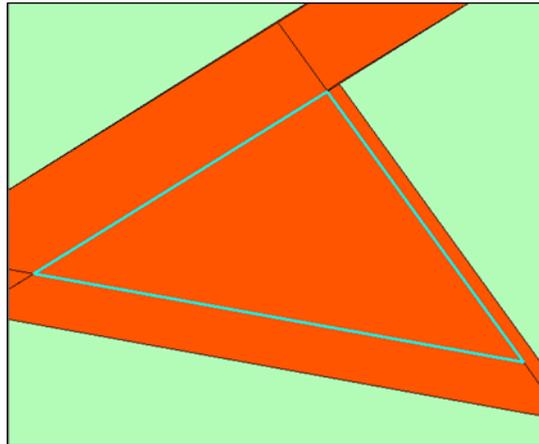
Location: 505.428,970 4.711.956,616 Unknown U	
Field	Value
FID	54
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	23,072923
Perimetro	20,154838
RC	0,844845
DIST	1,759201

**Figura 87.** *Polígono no sliver a escala 1/5000. Dato calculado por el método propuesto Dist. DIST 1.759*

En el ejemplo del polígono, se puede apreciar que no tiene las características típicas de los slivers ya que no tiene mucho perímetro con respecto al área, no es estrecho y alargado etc. En este caso el polígono tiene un área muy pequeña con respecto al ejemplo anterior, por lo tanto debería de ser sliver. En cuanto a la razón de circularidad, ésta se encuentra casi en el límite superior, y por lo tanto no debería de ser sliver el polígono, como así es. Con respecto al método propuesto no presenta ninguna dificultad en determinar que un polígono es o no sliver.

### 7.3.6.2 Figuras a escala 1/10000

Con el método propuesto DIST se puede observar que para los polígonos slivers como para los polígonos no sliver no se aprecian indeterminaciones en su identificación, como ejemplos se representan las dos figuras siguientes. En la primera de las figuras tenemos un polígono que es sliver y con el método DIST se obtiene un valor de 1,81 m, Este valor se encuentra por debajo del umbral calculado anteriormente para dicha escala el cual es de 3 a 3,5 m. lo que caracteriza acertadamente al polígono representado en la figura (ver figura 88) como polígono sliver.



Location: 657.577,781 4.381.631,444 Meters	
Field	Value
FID	1473
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	30,572446
Perimetro	27,115748
RC	0,72285
DIST	1,818692

**Figura 88.** Polígono sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método Propuesto. Dist. DIST 1.818

En este caso la forma que tiene el polígono, no es la habitual de un sliver, no es alargado y estrecho, tiene casi la misma área que perímetro etc. también se puede observar que es un polígono que tiene forma triangular y por lo tanto la razón de circularidad tiene un valor alto. El valor alto de la RC indica que se trata de un polígono no alargado y no similar a las formas típicas de los slivers. Por tanto la RC no lo caracterizaría correctamente.

La segunda figura (ver figura 89) es un polígono que también tiene forma triangular, este polígono no es sliver, es el caso contrario al ejemplo anterior. Para este polígono, el valor obtenido por el cálculo del método de DIST es de 3,59 m. valor que se encuentra por encima del umbral calculado, que es de 3 a 3,5 m. para la escala empleada y la cartografía empleada.



Location: 659.481,272 4.382.591,406 Meters	
Field	Value
FID	1161
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	89,26903
Perimetro	45,81455
RC	0,731058
DIST	3,59626

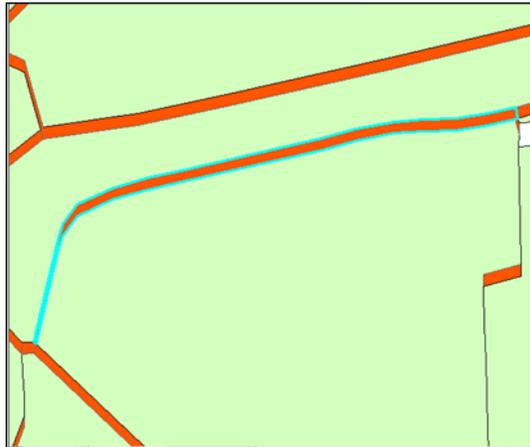
**Figura 89.** Polígono no sliver a escala 1/10000. Dato calculado por el método propuesto. Dist. DIST 3.596

En los dos ejemplos anteriores expuestos, los polígonos no cumplen las características típicas de los slivers, esto es debido a su forma triangular, no tiene mucho perímetro con respecto al área, y además no son estrechos ni alargados, etc. También se observa que la respuesta de la razón de circularidad es casi la misma para los dos polígonos, pero siendo uno sliver y el otro no. Sin embargo, el método propuesto DIST para esta escala y cartografía tampoco presenta dificultades para poder determinar si un polígono es sliver o no.

### 7.3.6.3 Figuras a escala 1/25000

Para esta escala se presentan dos ejemplos de polígonos.

El primero es un polígono sliver, estrecho y alargado (ver figura 90) obteniéndose por el método DIST un valor del radio del máximo círculo inscrito de 2,49 m. Este valor es inferior al umbral obtenido para esta escala que es de 2,5 a 15 m. por lo tanto este polígono es sliver lo que caracteriza acertadamente al polígono representado en la figura como polígono sliver.

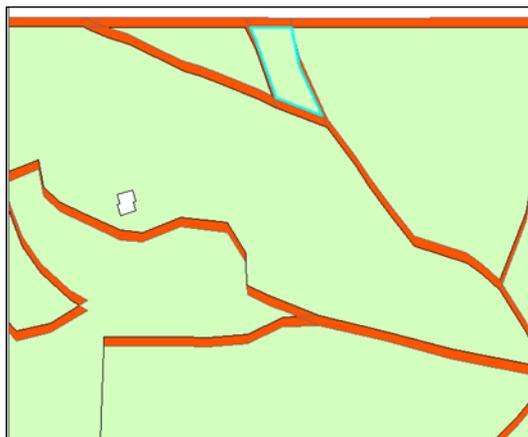


Location: 736.212,629 4.445.605,240 Meters	
Field	Value
FID	50
Shape	Polygon ZM
Sliver	Si
Perimetro	512,398756
RC	0,221844
DIST	2,49749
AREA	1028,25679

**Figura 90.** Polígono sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método propuesto. Dist. DIST 2.497

No ocurre lo mismo con el método del área. Este polígono tiene una superficie de 1082m<sup>2</sup>, mayor que muchos otros polígonos no slivers como casas, depósitos etc. Sin embargo, la razón de circularidad, con un valor de 0,22 lo caracteriza claramente como estrecho y alargado, acertando plenamente.

El segundo de los polígonos, corresponde a un polígono el cual tiene un valor de DIST de 8,039 m. Con este valor podremos asegurar que dicho polígono no es sliver, y en este ejemplo analizado el polígono no es sliver, por lo tanto el método no presenta ningún problema a la hora de diferenciar los polígonos slivers de los que no los son (ver figura 91).



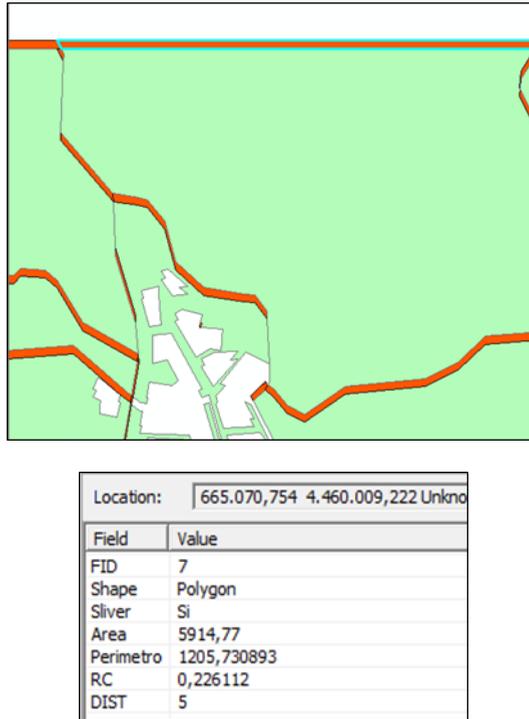
Location:	736.534,204 4.445.984,909 Meters
Field	Value
FID	114
Shape	Polygon ZM
Sliver	No
Perimetro	133,663334
RC	0,735139
DIST	8,039932
AREA	768,34105

**Figura 91.** *Polígono no sliver a escala 1/25000. Dato calculado por el método propuesto. Dist. DIST 8.039*

Este polígono presenta una forma rectangular, casi cuadrada, teniendo un área grande, pero menor que el ejemplo anterior, con lo cual no se podría determinar si el polígono es o no sliver por el método del área. En cambio el valor calculado por la razón de circularidad se encuentra en la parte superior de la imagen del índice, indicándonos que se trata de un polígono compacto y por lo tanto lejano al típico polígono sliver.

#### 7.3.6.4 Figuras a escala 1/50000

Se ha utilizado como ejemplo dos polígonos diferentes, para esta escala. El primero de los polígonos (ver figura 92) tiene una forma muy alargada y estrecha, el cual se encuentra en el límite superior del mapa, este polígono tiene un radio de máximo círculo inscrito de 5 m., valor por debajo del umbral que se fijó, entre 6 y 9, por lo cual el polígono sería sliver, como así sucede.



**Figura 92.** *Polígono sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método propuesto. Dist. DIST 5.00*

En este polígono se puede observar el tamaño del área, existiendo polígonos con menor área que no son sliver, como es el caso de la figura (ver figura 92). En relación a la razón de circularidad el resultado se encuentra en la zona baja, y por lo tanto debería de ser sliver, pero también hay polígonos con estos resultados y no son slivers.

El segundo de los polígonos (ver figura 93), tiene una forma un tanto extraña ya que tiene una parte estrecha y alargada combinada con otra más pequeña y ancha. El valor obtenido para DIST es de 10,35 m., valor superior al umbral establecido para dicha escala, por lo tanto este polígono no es sliver, como así se puede apreciar.



Location:	665.224,872 4.459.474,033 Unknow
Field	Value
FID	113
Shape	Polygon
Sliver	No
Area	4050,028676
Perimetro	837,959532
RC	0,269222
DIST	10,351674

**Figura 93.** Polígono no sliver a escala 1/50000. Dato calculado por el método propuesto. Dist. DIST 10.351

Este polígono tiene un área menor que el anterior y no es sliver. También tiene un valor muy similar de la razón de circularidad del caso anterior, pero el polígono no es sliver.

Se vuelve a comprobar que para el método propuesto, la escala y la cartografía empleada no se aprecia ninguna indeterminación en la identificación de los polígonos slivers de los que no lo son. Por lo tanto sería un buen método a emplear a la hora de determinar si un polígono es o no sliver.

## **8. COMPROBACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO**

### **8.1 INTRODUCCIÓN**

Hasta ahora los slivers utilizados en los ejemplos para los distintos métodos, han sido creados voluntariamente mediante desplazamientos acordes a las cifras razonables para cada escala. En el presente capítulo se pretende comprobar la bondad del método propuesto aplicándolo directamente a cartografía oficial a diversas escalas, por organismos diferentes encargados de la elaboración de la misma. Los slivers a detectar no habrán sido generados artificialmente sino que aparecen naturalmente al superponer diversas capas de dichos datos digitales.

Se han procesado dos cartografías a distintas escalas, una de ellas a escala 1/50000 y la otra a 1/25000.

El proceso seguido es común a las dos cartografías analizadas, y responde al esquema que se indica a continuación:

- Descarga de cartografía oficial, de distintos organismos, a la misma escala y el mismo sistema geodésico de referencia.
- Unión de dicha cartografía.
- Extracción de la información.
- Análisis

### **8.2 CARTOGRAFÍA OFICIAL UTILIZADA**

Actualmente existen diferentes organismos públicos los cuales nos permiten descargar gratuitamente cartografía a distintas escalas. Dentro de estos organismos públicos podemos distinguir varios niveles, en un primer lugar se encuentra el nivel estatal del cual dependen los siguientes organismos:

Gobierno de España

datos.gob.es (Open Data del Sector Público español)

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

IDE MAGRAMA

Red de Parques Nacionales

SIA Sistema Integrado de Información del agua

Confederaciones Hidrográficas

Confederación Hidrográfica del Duero

Confederación Hidrográfica del Ebro

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

Confederación Hidrográfica del Guadiana

Confederación Hidrográfica del Júcar

Confederación Hidrográfica del Segura

Confederación Hidrográfica del Tajo

Confederación Hidrográfica Miño-Sil

Ministerio de Economía y Competitividad

Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Institut de Ciències del Mar - Colección de Perfiles Sísmicos

Institut de Ciències del Mar - ESEOO

Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados

Instituto Geológico y Minero de España

Catálogo de Información Geocientífica del IGME

Ministerio de Fomento

Instituto Geográfico Nacional

Centro de Descargas -CNIG

Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas

Dirección General de Catastro

Sede Electrónica del Catastro: Descarga de datos y cartografía por municipio

Ministerio de Industria, Energía y Turismo

Datos Abiertos

Estaciones de servicios y postes marítimos

Otros

Red Europarc España

Cartografía de espacios protegidos

En el segundo nivel es el autonómico al cual pertenecen las Comunidades Autónomas y en el último nivel es el local en el cual se encuentran los Ayuntamientos.

En esta página se pueden consultar las direcciones de los Servicios Web disponibles en España, en los tres ámbitos territoriales (nacional, regional y local) <http://www.idee.es/web/quest/directorio-de-servicios>.

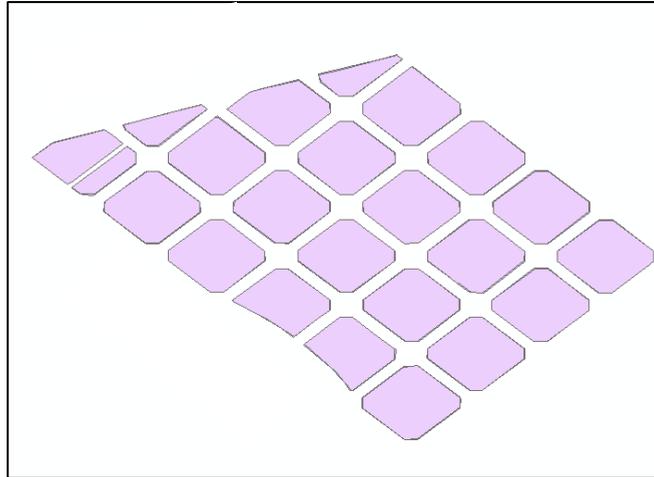
## **8.3 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO**

### **8.3.1 Descarga de la cartografía a escala 1/25000**

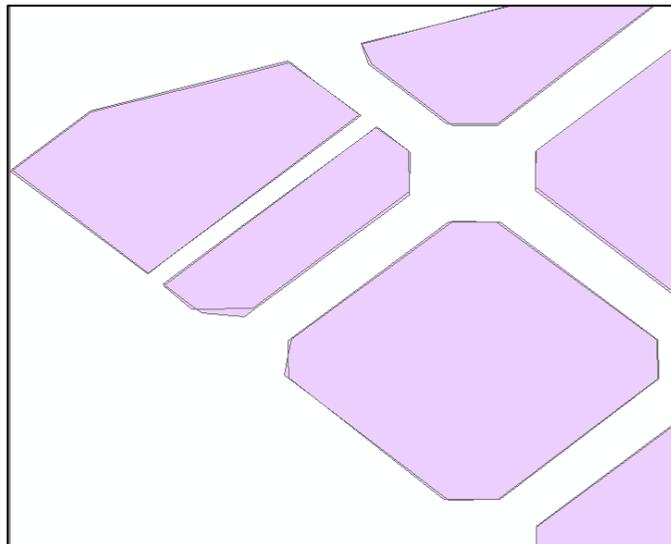
En primer lugar se descargó del IGN el III cuadrante de la hoja 421 a escala 1/25000 de Barcelona teniendo como sistema de referencia ETRS 89. De dicha hoja se procedió a elegir una zona en la cual se encuentran representadas una serie de manzanas. Dichos elementos pueden garantizar precisión posicional. A continuación del ICC (Instituto Cartográfico Catalan) se descargó la misma zona de representación, a la misma escala y con el mismo sistema de referencia geodésico.

### **8.3.2 Unión de la cartografía a escala 1/25000**

Una vez obtenida la cartografía, se superpusieron entre ellas, observando que había zonas en las cuales no coincidían los polígonos y por lo tanto se apreciaban sliver (ver figura 94 y 95)



**Figura 94.** *Unión de cartografía a escala 1/25000*



**Figura 95.** *Detalle de la unión de la cartografía a escala 1/25000*

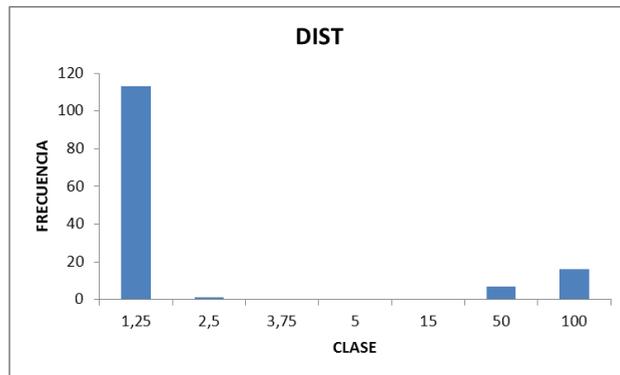
### 8.3.3 Extracción de la información a escala 1/25000

Una vez realizada la unión de la cartografía, se obtuvieron un total de 137 polígonos en la zona indicada anteriormente, de los cuales 114 son polígonos slivers y 23 no son slivers.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Para el método propuesto DIST.

Una vez procesada la información, se obtuvo el siguiente histograma de frecuencia (ver gráfico 41). el cual, se puede observar que hay 114 polígonos que tienen como máximo círculo inscrito un valor menor de 2,5 m. y el resto de los polígonos mayores o igual a 50 m. (ver gráfico 41). Los datos numéricos se encuentran en la tabla siguiente (ver tabla 48).



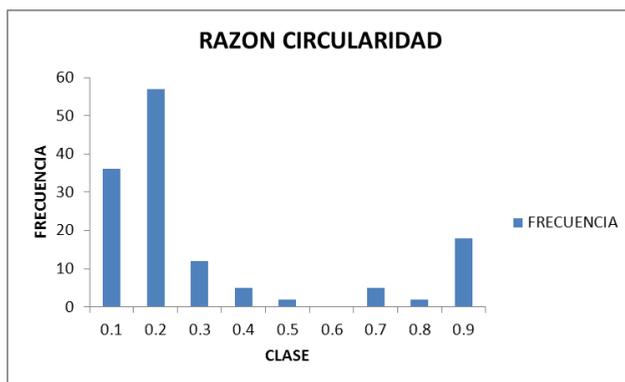
**Gráfico 41.** Histograma de frecuencia para el cálculo del radio máximo inscrito a escala 1/25000

CLASE	FRECUENCIA
1,25	113
2,5	1
3,75	0
5	0
15	0
50	7
100	16

**Tabla 48.** Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/25000. Método DIST

Para el método de RAZON DE CIRCULARIDAD.

Los datos obtenidos se encuentran entre todos los intervalos de valores establecidos, obteniéndose la mayoría de polígonos entre el intervalo 0.1 y 0.3. Dicha información aparece representada gráficamente (ver gráfico 42). En la siguiente tabla (ver tabla 49) se aportan los datos numéricos empleados para el histograma de frecuencia obtenido.



**Gráfico 42.** Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad a escala 1/25000

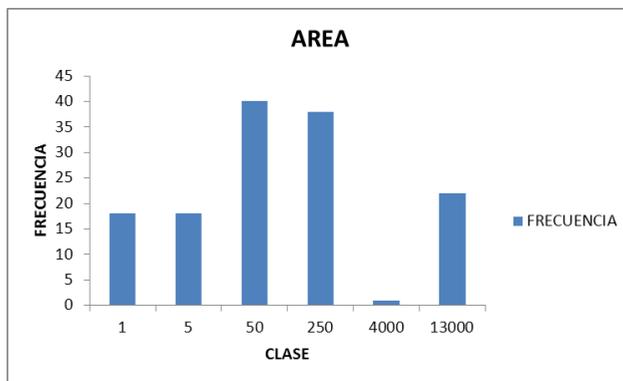
CLASE	FRECUENCIA
0,1	36
0,2	57
0,3	12
0,4	5
0,5	2
0,6	0
0,7	5
0,8	2
0,9	18

**Tabla 49.** Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/25000. Método RC

En el método del AREA.

Se tienen 114 polígonos que abarcan una superficie menor de 250 m<sup>2</sup> y 23 polígonos mayores de esa área (ver gráfico 43). En la tabla (ver tabla 50) se

detallan el número de polígonos que pertenecen a cada clase, para la confección del histograma de frecuencia anterior.



**Gráfico 43.** Histograma de frecuencia para el cálculo del área a escala 1/25000

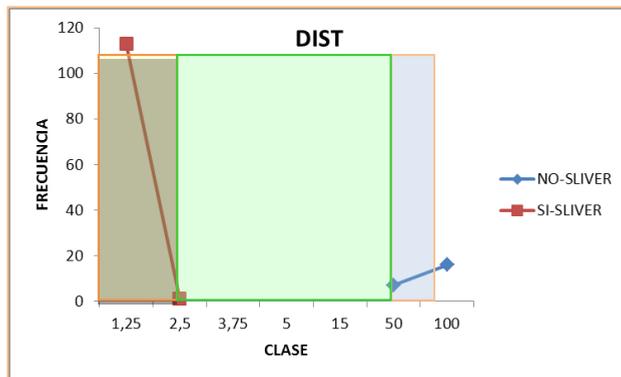
CLASE	FRECUENCIA
1	18
5	18
50	40
250	38
4000	1
13000	22

**Tabla 50.** Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/25000. Método ÁREA

### 8.3.4 Análisis

Con los datos obtenidos anteriormente se evaluaron los tres métodos empleados. El primer método utilizado DIST nos dio un resultado de 114 polígonos sliver y 23 polígonos que no son slivers. Según el estudio realizado anteriormente, para que un polígono sea considerado sliver, el radio del máximo círculo inscrito debe encontrarse por debajo del umbral establecido. Para esta escala es inferior a 2,5 m. En nuestro caso todos los polígonos slivers analizados tienen un valor de DIST igual o inferior a 2,5 m. justo por debajo del umbral establecido para esta escala y en este método. Igualmente todos los polígonos no slivers tienen su valor de DIST igual o superior a 50 m., muy por encima del límite superior 2,5 m. - 15 m. establecido para esta escala. Dicha información

aparece representada gráficamente (ver gráfico 44). Los datos para esta representación son los de la tabla (ver tabla 51).



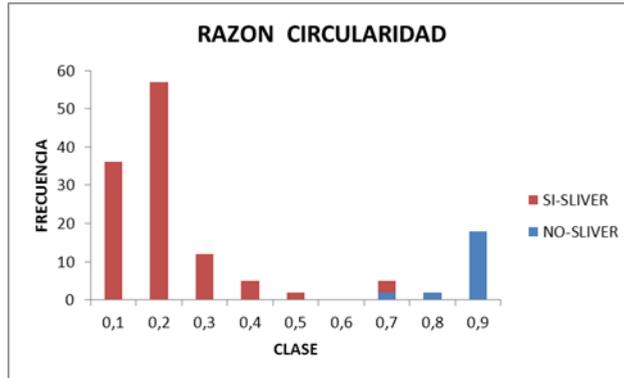
**Gráfico 44.** Análisis de los datos para el método DIST a la escala 1/25000

	NO-SLIVER	SI-SLIVER
Clase	Frecuencia	Frecuencia
1,25		113
2,5		1
3,75		
5		
15		
50	7	
100	16	

**Tabla 51.** Datos numéricos histograma DIST a escala 1/25000

En el método RC, para los polígonos que son slivers (114) se obtuvieron un rango de valores comprendidos entre 0,1 y 0,7.

Como se ha dicho en apartados anteriores el método RC hace que los valores arrojados por los polígonos slivers estén muy repartidos a lo largo de la imagen de valores posibles (0, 1]. Esto mismo ocurre en este caso haciendo difícil establecer un valor de RC que separe los slivers de los no slivers. Incluso tenemos polígonos no slivers que comparten valor de RC de 0,7 con otros tres.



**Gráfico 45.** Análisis de datos para el método RC a escala 1/25000

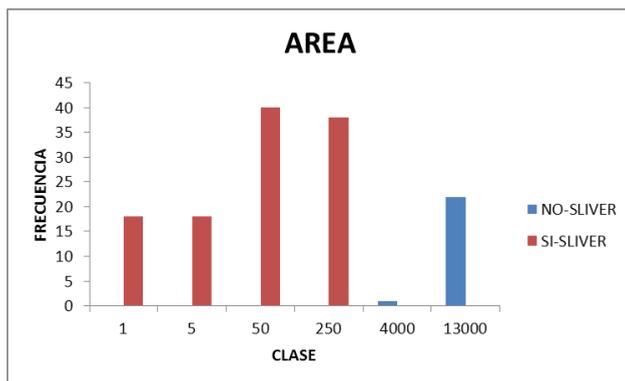
Este análisis puede ser interpretado en términos generales como un método poco preciso para la identificación de los polígonos slivers.

Los datos numéricos para el análisis son los representados en la tabla siguiente (ver tabla 52).

	NO-SLIVER	SI-SLIVER
Clase	Frecuencia	Frecuencia
0,1		36
0,2		57
0,3		12
0,4		5
0,5		2
0,6		0
0,7	3	2
0,8	2	
0,9	18	

**Tabla 52.** Datos numéricos histograma RC a escala 1/25000

Para terminar tenemos el método del AREA en el cual tenemos 114 polígonos con valores inferiores a 250 m<sup>2</sup> y 23 polígonos con valores superiores (ver gráfico 46). En este caso se puede apreciar una gran diferencia entre las áreas de los polígonos slivers y de los no slivers, esto es debido a la cartografía empleada ya que estamos tratando con manzanas de edificios en cartografía urbana, todos ellos de áreas grandes y redondeados e uniformes, que permiten la aparición de polígonos slivers muy alargados con área grande.



**Gráfico 46.** Análisis de datos para el método AREA a escala 1/25000

Los datos numéricos para el análisis son los representados en la tabla siguiente (ver tabla 53).

	NO-SLIVER	SI-SLIVER
Clase	Frecuencia	Frecuencia
1		18
5		18
50		40
250		38
4000	1	
13000	22	

**Tabla 53.** Datos numéricos histograma AREA a escala 1/25000

### **8.3.5 Descarga de la cartografía a escala 1/50000**

Se procedió a la búsqueda de cartografía en el Instituto Geográfico Nacional (IGN). El Centro de Descargas es un sitio web del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) desde donde se pueden descargar gratuitamente ficheros de información geográfica digital generada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>.

Dentro de esta página existen tres tipos de descargas las cuales se definen a continuación:

- Descarga sin licencia, libre y gratuita de información geográfica digital para cualquier uso.
- Descarga gratuita u obtención de información geográfica digital para uso no comercial, con aceptación de licencia de uso.

- Información geográfica digital para uso comercial

De las descargas anteriores se empleó el segundo tipo. Para este tipo hay que estar registrado. Se descargó el MTN50 Vectorial de las Comunidades Autónomas a escala 1/50000 (ver figura 96).



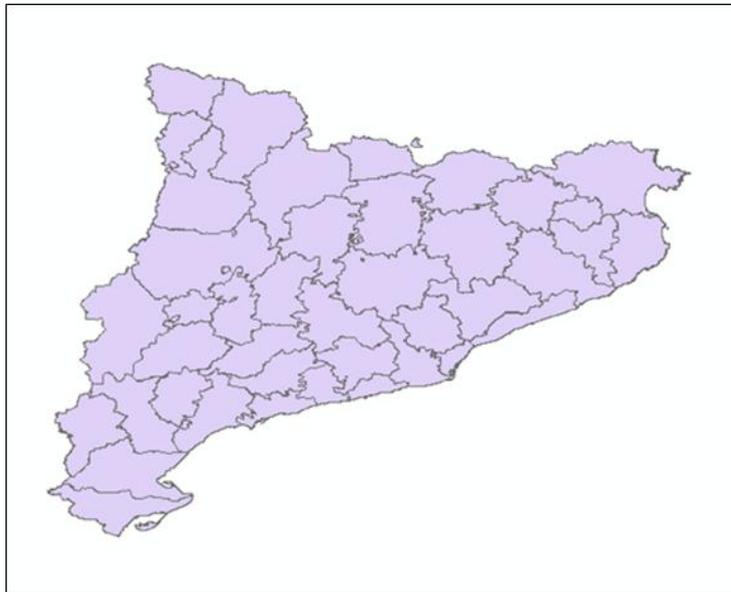
**Figura 96.** *Mapa de las Comunidades Autónomas*

Según el Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, se adoptó como sistema geodésico de referencia el oficial en España que es el ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989).

En España actualmente coexisten dos sistemas de referencia el ED50 y el ETRS89 por lo tanto hay que tener en cuenta el problema de tener cartografías en distintos sistema de referencia, las cuales producirán errores de alineaciones y por consiguiente desplazamientos horizontales en la misma zona. Si se tiene cartografía con distintos sistemas de referencia sería necesario aplicar métodos de transformación a una de ellas para que las dos se encuentren en el mismo sistema de referencia.

Una vez descargado el MTN50 Vectorial de las Comunidades Autónomas a escala 1/50000 se procedió a descargar del Instituto Cartográfico Catalán <http://www.icc.cat/vissir3/index.html?lang=es> el mapa comarcal topográfico

1/50000 de la Comunidad Autónoma de Cataluña, siendo el sistema de referencia empleado el ETRS89 (ver figura 96).



**Figura 97.** *Mapa comarcal topográfico de la Comunidad Catalana*

### **8.3.6 Unión de la cartografía a escala 1/50000**

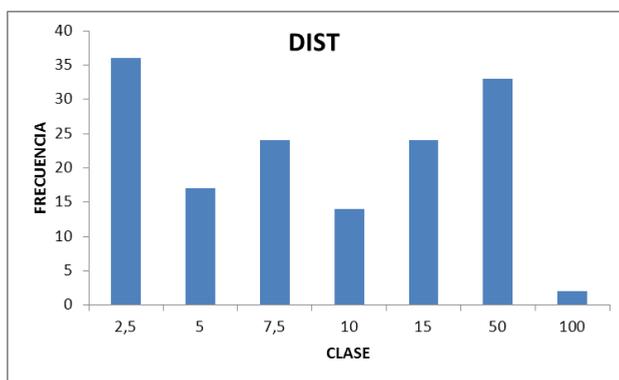
Una vez obtenida la cartografía del IGN y del ICC, se procedió a realizar la unión ya que están a la misma escala y en el mismo sistema de referencia, hay que decir que se hizo la prueba con límites administrativos, ya que son elementos que pueden asegurar una buena calidad y precisión horizontal. Caso distinto serían los límites de usos del suelo por ejemplo. Una vez se hizo la unión se contrastaron los resultados obtenidos, observándose que los límites de las Comunidades Autónomas del IGN y del ICC no coincidían, produciéndose una serie de solapes entre ellas (ver figura 98). La zona representada es la división entre la Comunidad Autónoma Valenciana y La Catalana. En la figura siguiente (ver figura 99) se puede apreciar un detalle de las zonas de unión, las cuales no coinciden como debería suceder, produciéndose una serie de polígonos slivers.



Para todos los polígonos encontrados se calculó el radio del máximo círculo inscrito (DIST), la razón de circularidad (RC) y el área del polígono (AREA), obteniéndose los siguientes datos:

Para el método propuesto DIST.

Una vez procesada la información, se obtuvo el siguiente histograma de frecuencia (ver gráfico 47). En él se puede observar que de los 150 slivers hay 77 polígonos que se encuentran por debajo del umbral establecido de 7,5 m. necesario para considerarse por este método. Se tendría un porcentaje del 50% de detección de polígonos sliver, para esta cartografía y esta escala.



**Gráfico 47.** Histograma de frecuencia para el cálculo del radio máximo inscrito de los polígonos a escala 1/50000

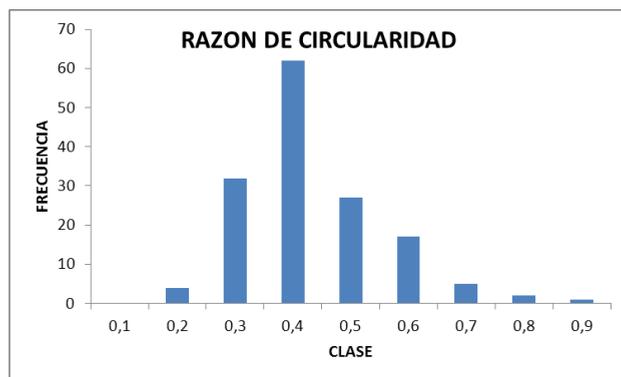
En la tabla (ver tabla 54) se detallan el número de polígonos que pertenecen a cada clase, para la confección del histograma de frecuencia anterior.

CLASE	FRECUENCIA
2,5	36
5	17
7,5	24
10	14
15	24
50	33
100	2

**Tabla 54.** Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/50000.Método DIST

Para el método de (RC).

Con este método, se obtuvo el siguiente histograma de frecuencia (ver gráfico 48). Los datos obtenidos varían para cada intervalo, desde los 4 polígonos que se encuentran en el intervalo 0,2, a los 62 polígonos que están en el intervalo 0,4 hasta el único polígono para la clase 0,9.



**Gráfico 48.** Histograma de frecuencia para el cálculo de la razón de circularidad de los polígonos a escala 1/50000

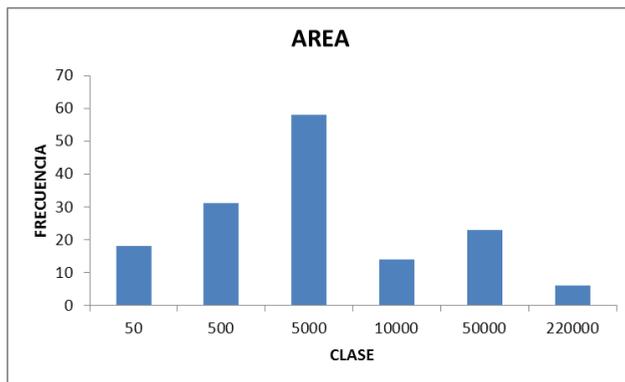
En la siguiente tabla (ver tabla 55) se aportan los datos numéricos empleados para el histograma de frecuencia obtenido.

CLASE	FRECUENCIA
0,1	0
0,2	4
0,3	32
0,4	62
0,5	27
0,6	17
0,7	5
0,8	2
0,9	1

**Tabla 55.** Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/50000. Método RC

Por último para método del AREA.

Se tienen polígonos que abarcan diferentes áreas, desde los 18 polígonos menores de 50 m<sup>2</sup> hasta los 6 polígonos comprendidos entre 50000 m<sup>2</sup> y 220000 m<sup>2</sup> (ver gráfico 49) encontrándose la mayoría de polígonos en el intervalo de clase de 5000 m<sup>2</sup>.



**Gráfico 49.** Histograma de frecuencia para el cálculo del área de los polígonos a escala 1/50000

La información obtenida para la representación del histograma es la que a continuación se representa (ver tabla 56)

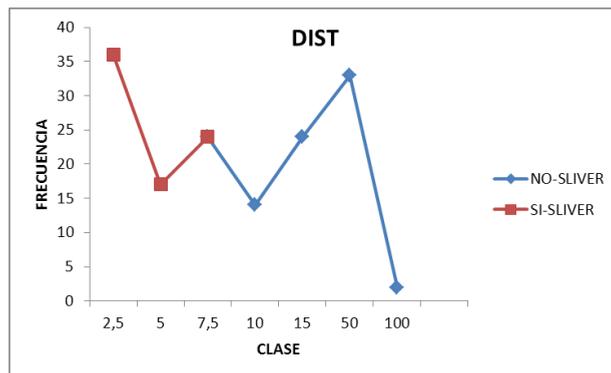
CLASE	FRECUENCIA
50	18
500	31
5000	58
10000	14
50000	23
220000	6

**Tabla 56.** Datos numéricos histograma. Polígonos a escala 1/50000. Método ÁREA

### 8.3.8 Análisis

Con los resultados obtenidos anteriormente se puede afirmar que, dado que todos los polígonos analizados son slivers, ningún método ha sido capaz de identificar a todos los polígonos.

No obstante, el mejor de los tres métodos empleados es sin duda, el método DIST el cual presenta un porcentaje del 50% de identificación de polígonos (ver gráfico 50), ya que todos estos polígonos se encuentran por debajo del umbral establecido anteriormente, pero hay que señalar que no acierta con el resto de los polígonos.



**Gráfico 50.** Análisis de los datos para el método DIST.

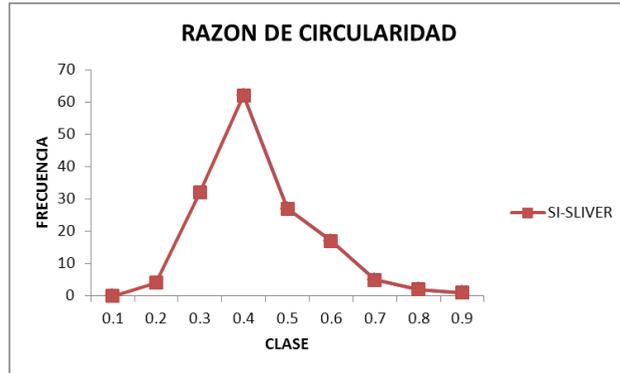
Esto es debido a la falta de precisión en los datos cartográficos. Los lindes entre las provincias presentan unas diferencias de notable consideración a la hora de su representación, y por lo tanto se pueden considerar como equivocaciones y no como errores. A continuación tenemos como ejemplo (ver figura 100) un polígono que tiene un radio del máximo círculo inscrito de 62,27 m. valor muy por encima de las tolerancias establecidas para esta escala.



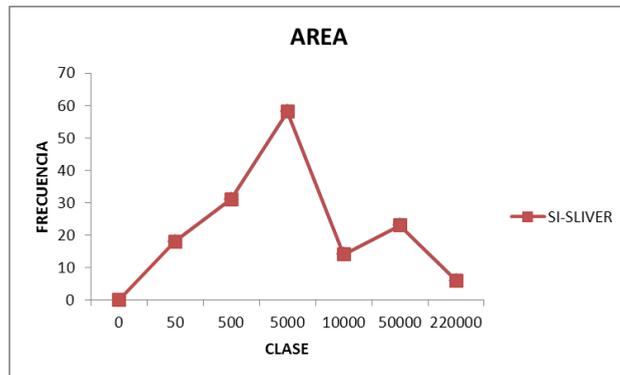
FID	1
Shape	Polygon
Sliver	Si
Area	219345,526725
Perimetro	7465,448512
RC	0,222389
DIST	62,274206

**Figura 100.** *Equivocacion en la cartografia*

Con los métodos analizados de RC y AREA al no haber ningún umbral establecido previamente, tampoco se puede definir a partir de qué intervalo o que área los polígonos no son slivers (ver gráfico 51 y 52).



**Gráfico 51.** Análisis de datos para el método RC



**Gráfico 52.** Análisis de datos para el método AREA

En estos gráficos se observa que hay polígonos en todos los valores establecidos para los índices, tanto para valores más pequeños, como para los valores más grandes en la razón de circularidad.

Con respecto al método AREA se puede decir lo mismo que para el anterior método, ya que hay polígonos en todos los intervalos, ocurriendo lo mismo para el método de área.



## **9. CONCLUSIONES**

En la actualidad cada vez se demanda más cartografía tanto por parte de los usuarios, las empresas o los organismos oficiales. Son muchas las tareas que requieren de cartografía digital de calidad y actualizada: diseño de obra civil, planeamiento, paisajismo, impacto ambiental, conservación, etc. En buena parte esa demanda se ve cubierta con la existencia de las infraestructuras de datos espaciales y los servidores cartográficos que facilitan enormemente la descarga y obtención de cartografía.

Posteriormente, con la utilización de los Sistemas de Información Geográfica es relativamente sencillo hacer consultas y operaciones de geoprosesamiento con dicha cartografía de cara a obtener información valiosa difícilmente alcanzable con otras herramientas.

No obstante, uno de los problemas fundamentales que se encuentra el usuario y profesional que emplea la cartografía digital es la aparición de polígonos slivers especialmente cuando se superpone cartografía de distintas procedencias. Estos polígonos slivers además de ser difíciles de detectar producen resultados engañosos en muchas de las consultas efectuadas en las bases de datos además de ser polígonos que estropean la calidad gráfica de los resultados.

Eliminar los polígonos slivers es relativamente fácil una vez han sido detectados. El problema radica precisamente en poder localizarlos. La norma ISO 19138 no explica cómo detectarlos pero indica dos parámetros que pueden servir para caracterizarlos: la Razón de circularidad y el Área de los mismos. Estos dos métodos son los más utilizados por muchos de los SIG actuales para detectar posibles polígonos slivers.

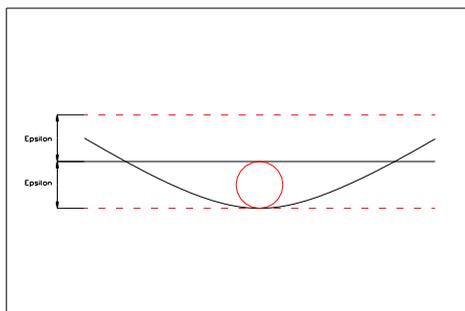
En los primeros apartados de esta tesis se ha tratado de demostrar con ejemplos prácticos que estos dos índices, además de otros muchos índices de forma empleados para otras muchas aplicaciones, no permiten discriminar adecuadamente si un polígono es sliver o no. Para ello se ha utilizado cartografía oficial a diversas escalas. Para un determinado valor de razón de circularidad o

de área, no se puede determinar con toda certeza si se trataría de un polígono sliver o uno que no lo es. Esto es debido fundamentalmente a la enorme variedad de formas y tamaños que presentan los polígonos slivers como ha quedado patente en los numerosos ejemplos que en esta tesis se muestran.

En esta tesis se presenta un método alternativo que llamamos DIST que en realidad supone computar el radio del máximo círculo inscrito a cada polígono. Este valor no es adimensional y por tanto varía con la escala en la que se aplique. No obstante, aplicada a la cartografía anterior demuestra que en el 100% de los casos el método discrimina los polígonos slivers de los que no lo son. Por otro lado, es lógico que el índice arroje estos buenos resultados teniendo en cuenta que los polígonos utilizados han sido creados en “laboratorio” precisamente con un tamaño similar a la tolerancia exigible en cada escala.

Simplificando, podríamos decir que la figura de error de posición planimétrica correspondiente a un punto de la cartografía en realidad podría ser un círculo y que para una escala determinada y un tipo de elemento determinado podría exigirse que sus puntos estuvieran donde se dicen que están y dentro de ese círculo de incertidumbre para cada coordenada.

Dos cartografías con misma precisión exigible en sus puntos que se superponen, podrían generar polígonos slivers pero todos ellos deberían tener como máximo círculo inscrito uno con un radio cercano a la tolerancia exigida.



**Figura 101.** *Máximo círculo inscrito con radio a la tolerancia exigida*

Por tanto, la utilización del máximo círculo inscrito tiene lógica. A su vez, se plantea la duda de si se debe aplicar este método antes o después de aplicar

cualquier otro tipo de tolerancia de limpieza a la cartografía. Pese a que en la mayoría de ocasiones las tolerancias de limpieza ya han sido aplicadas para cuando la cartografía llega a manos del usuario, es preferible aplicar este método antes. En efecto, las tolerancias de limpieza pueden solucionar muchos de los polígonos slivers automáticamente así como producir efectos no deseados en muchos detalles de nuestro mapa. Unido a que hoy en día podemos hacer zoom y acercarnos hasta ver los mínimos detalles de la cartografía, siempre es conveniente aplicar tolerancias de limpieza por debajo de la tolerancia gráfica adoptada por convencionalismo y que ciframos en 0,2 mm por el denominador de la escala. Además, aplicando las tolerancias de limpieza podemos hacer que polígonos reales y correctamente registrados, pasen a ser detectados como slivers tras haberles aplicado tolerancias de limpieza.

En esta tesis se ha tratado también de aplicar el método DIST a cartografía real y a polígonos slivers reales. Los resultados obtenidos no han sido tan categóricos como en los ensayos anteriores, debidos fundamentalmente a que la cartografía de partida contenía polígonos slivers con dimensiones superiores a la tolerancia gráfica exigible a esas escalas. Por tanto no estaríamos hablando de polígonos de error o slivers sino de equivocaciones o de grados de generalización distintos o bien de cartografías con criterios de precisión distintos. Por tanto, se puede decir que si dos cartografías de mismas escalas cumplen con las tolerancias exigibles en sus puntos y se superponen, suelen generar polígonos slivers casi de modo inevitable pero esos polígonos debería tener como círculo máximo inscrito uno con un radio inferior o igual a la tolerancia exigida de modo que el método DIST queda justificado como procedimiento para detectar dichos polígonos.

## **9.1 LINEAS FUTURAS**

Como ha quedado dicho en el apartado anterior, los polígonos slivers son en muchas ocasiones inevitables y por otro lado, un problema que hay que localizar y eliminar de nuestras bases de datos geográficas.

Este trabajo ha tratado de analizar los procedimientos que se podían seguir para detectar polígonos slivers en la cartografía digital y ha aportado un método que a priori permite detectarlos en muchos más casos que los métodos usados hasta ahora.

No obstante, el método presenta dificultades a la hora de ser implementado de modo que nos proporcione una solución rápida y precisa para cualquier cartografía. Es aquí donde se puede hacer un especial esfuerzo a la hora de buscar una implementación del algoritmo del máximo círculo inscrito a un polígono cualquiera en formato vectorial. Esta implementación además de precisa debe ser rápida y válida para cualquier cartografía vectorial a cualquier escala. Es necesaria su rapidez debido a que se puede llegar a trabajar con miles de polígonos en un mismo análisis lo que nos puede llevar a cifras de minutos o incluso horas si el tiempo empleado en cada polígono es grande. Si bien los polígonos slivers no contienen islas en su interior queda pendiente la implementación del algoritmo para polígonos que contengan estas islas en su interior. Y generalizando se podría proponer su implementación en tres dimensiones aunque escapa de las pretensiones y necesidades actuales del presente problema.

También se ha podido ver la gran cantidad de índices y métodos que podrían ser utilizados para detectar polígonos slivers, unos con más éxito que otros. En determinados polígonos sliver con una forma característica son unos métodos los que mejor los caracterizan mientras que cuando la forma o dimensiones cambian son otros índices los que mejor funcionan. Se plantea aquí la posibilidad de utilizar un procedimiento combinado que utilice los diversos índices y valorar sus resultados en su conjunto. Posiblemente unos índices ayudarán en unos casos mientras que otros índices resolverán el problema con otros polígonos.

Se ha visto que los polígonos slivers pueden ser generados mediante muchos procedimientos, desde la propia digitalización o compilación de datos hasta en las operaciones de superposición. Muchas de estas fuentes de error pueden ser evitadas, consiguiendo de este modo cartografía limpia de polígonos slivers y con unos parámetros de precisión aceptables.

No obstante, pese a disponer de cartografía “limpia”, se ha visto que los polígonos slivers pueden aparecer de modo inevitable en la superposición de cartografía.

Finalmente se plantea la posibilidad de detección de los polígonos slivers dentro de las herramientas de superposición de polígonos, es decir, en el momento mismo de ser generados. No hablamos de eliminación de los mismos sino de la detección y clasificación de posibles polígonos slivers como tal en el momento mismo de ser generados, evitando que el usuario tenga que buscarlos o que al ignorarlos obtenga resultados erróneos sin ser percibidos.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Ariza, F. J. (2005). Control de Calidad posicional. Universidad de Jaen
- Atkinson, A. (2005). *Control de calidad posicional en cartografía. Analisis de los principales estandares y propuesta de mejora*. Jaen.
- Austin, R. F. (1984). Spatial Statistics and Models, chapter Measuring and comparing two-dimensional shapes, pages 293-312. En G. L. Gaile, & C. J. Willmott (Edits.). Boston: D. Reidel.
- Bachi, R. (1973). Geostatistical Analysis of Territories. In Bulletin: International Statistical Institute (Proceedings of the 39 th Session) volume 45, pages. 121-131.
- Barret, P. J. (1980). The shape of rocks particles, a critical review. *Sedimentology*, 27, pages 291-303.
- Blair, D. J., & Biss, T. H. (1967). The measurement of shape in geography: an appraisal of methods and techniques. *Bulletin of quantitative data for geographers*, 11, pages 1-45.
- 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), pages 35-47. Obtenido de [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6T6X-3RM016J-](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T6X-3RM016J-)
- 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>
- Boggs, S. J. (1992). *Petrology of sedimentary rocks*. Macmillam Publishing Co, New York, NY.

- Bosque, S. J. (1997). *Sistemas de Informacion Geografica*. Madrid: Rialp.
- Botelho, M. Firer, M. (2004). Algoritmo discreto para determinação do círculo máximo inscrito num pólígono. Porto Alegre.
- Boyce, R. R., & Clar., W. A. (1964). The concept of shape in Geography. *The Geographical Review*, 54, pages 561-572. Obtenido de <http://www.jstor.org/pss/212982>
- Brewer, C. A. (2005). *Designing Better Maps: a guide for Gis user*. 380 New York street, Redlands, California. Esri Press.
- Bunge, W. (1962). Theoretical Geography. En *Lund Studies in Geography* (págs. 1-210). Lund: C. W. K. Gleerup Publishers.
- Burrough, P. (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resource Assrsment*. Monographs on Soil and Resurces Survey. No 12, Oxford Sciencie Publicatiopns, New York
- Burrough, A, P. (1990). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resource Assessment*. Oxford: Clarendon Press.
- Campbell, J. (2001). *Map use |& analysis* (4 ed.). New York: McGraw-Hill.
- Chorley, P. M. (1957). A new standard for estimating drainage basin shape. *American Journal of Science*, 225, 138-141.
- Chrisman, N. R. (1983). Epsilon filtering: a technique for automated scale changing. In 43 rd Annual Meeting of the American Congress on Surveying and Mapping (págs. 322-331). Washington, DC.
- Chrisman, N. R. (1987). Efficient digitizing through the combination of appropriate hardware and software for error detection and editing. *International Journal of Geographical Information Science*, 1(3), 265-277. Obtenido de <http://www.informaworld.com/10.1080/02693798708927813>
- Clark, M. W. (1981). Quantitative shape analysis: A review. *Mathematical Geology*, 13(4), 303-320. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1007/BF01031516>

- Cole, J. (1964). *Study of Major and Minor Civil Divisions of Political Geography*. Paper presented to 20 th International Geographical Congress.
- 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.
- Dasarathy, a. W. (1975). On Some Maximin Location of Classifier Ptoblems. Computer Scieince Conference, Washington. D.C.
- Davis, J. C. (2002). *Statistics and data analysis in Geology* (Third ed.). John Wiley \& Sons.
- Dryden, K. V. (1998). *Statistical Shape Analysis*. John Wiley and Sons.
- Ehrenburg, K. (1892). Studies on the measurement of the horizontal shapes of areas.
- Folk, R. L. (1968). *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas: Hemphill's.
- 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%3AISI\\_WOS\\_XML;id=doi%3A;genre=;isbn=;issn=0038-5417;date=1975;volume=16;issue=10;spage=676;epage=687](http://sfxadc.bib.upv.es:3210/sfx_local?sid=metalib%3AISI_WOS_XML;id=doi%3A;genre=;isbn=;issn=0038-5417;date=1975;volume=16;issue=10;spage=676;epage=687)
- Garcia-Castellanos, D. a. (2007). Poles of Inaccessibility : A Calculation Algorithm for the Remontest Places on Earth. *Scottinsh Geographical Journal*, 227-233.
- Griffith, D. A. (1982). Geometry and Spatial Interaction. *Annals of the Association of American Geographers*, 72(3), 332-346. Obtenido de <http://www.blackwell-synergy.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8306.1982.tb01829.x>

- Günter, S. (1875). Coastal development: a mathematical contribution to comparative geography. *Archiv. der Math. und Physik*, 57.
- Hagget, P. (1969). *Locational Analysis in Human Geography*. London.
- Horton, R. (1932). Drainage basin characteristics Transactions of the American. *Geophysical Union*, 13: 350-361.
- Huebner, K. E. (1995). *Accuracy and Precision*. Colorado.
- J.Huebner, K. E. (1995). *Error, Accuracy, and Precision*. Boulder: The University of Colorado.
- Janoo, V. C. (1998). *Quantification of shape, angularity and surface texture of base course materials*. Special report 98-1, 22 pp, US Army Corps of Engineers Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover.
- Jeffrey Star, J. E. (1990). *Geographic Information Systems*. New Jersey: Prentice Hall Ptr.
- Karkazis, J., & Karagiorgis, P. (s.f.) (1986). *A Method to locate the maximum circle inscribed a polygon*. Belgian Journal of Operations. Research, statistics and Computer Science, vol. 26, n. 3, pag. 1-36
- Klajnsek, G., & Zalik, B. (2005). Merging polygons with uncertain boundaries. *Computers & Geosciences*, 31(3), 353-359. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V7D-4F02KWP-6/1/9b54ab50a209864272eae82f23b3942e>
- Koeln, S. C. (1994). *Geographic Information Systems*. Bethesda: Bookhout ed Reseaech and Management Techniques for Wildlife and Habitat.
- 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.
- Martinez, O. (2012). *An Efficient Algorithm to Calculate the Center of the Biggest Inscribed Circle in an Irregular Polygon*.
- Miller, V. C. (1953). *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee*. Tech. Report 3, Dept. of Geol., Columbia University, New York.
- Moellering, H., & Rayner, J. N. (1981). The Harmonic Analysis of Spatial Shapes Using Dual Axis Fourier Shape Analysis (DAFSA). *Geographical Analysis*, 13, 64-77.
- Moellering, H., & Rayner, J. N. (1982). The Dual Axis Fourier Shape Analysis of Closed Cartographic Forms. *The Cartographic Journal*, 19, 53-59.
- Morrison. (1995). Spatial data quality. Elements of spatial data quality. *International cartographic association*.
- Muraveyski, S. (1948). Essays on the theory and methods of lake morphometry. *Vopr. geogr.*, No 7.
- Nagel. (1835). On coastal development of continents. *Annal. von Berghaus*, 12.
- Pentland, A. (1927). A method of measuring the angularity of sands. In *Proceedings and Transactions of the Royal Society of Canada*, volumen 21 of 3.
- Rembo Xia, W. L. (2007). *Robust Algorithm for Detecting the Maximun Inscribed Circle*. Beijing: Computre- Aided desing y Computer Graphics.
- Reock, E. J. (1961). A Note : Measuring Compactness as a Requirement Of Legislative Apportionment. *Mindwest Journal of Political sciencie*, Vol. 5 No 1.
- Ritter, C. (1852). *Die Erdkunde im Verhaltyniss zur Natur und Geschichte des Menschen, oder allgemeine vergleichende Geographie*. 2d edition Part I Book 1.

- Rohrbach, C. (1890). On mean frontier distances.
- 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>
- Sample, V. A. (1994). *Remote Sensing and in Ecosystem Management*. Washington D.C.
- Santos, J, M. (2008). Los sistemas de información geografica vectoriales: El funcionamiento de ArcGis. Universidad nacional de educación a distancia
- Schumm, S. A. ( 1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at perth amboy. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67(5): 597-646.
- Sherman. G. E. (2008). Desktop Gis: Mapping the planet with open source tools. Pragmatic Bookshelf. Obtenido de [http://www.amazon.com/desktop-Gis-Mapping\\_planet-source/dp/1934356069/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&s=book&qid=1252421774 &sr=1-1](http://www.amazon.com/desktop-Gis-Mapping_planet-source/dp/1934356069/ref=sr_1_1?ie=UTF8&s=book&qid=1252421774 &sr=1-1)
- Stewart, J. Q., & Warntz, W. (1958). Macrogeography and social science. *Geographical Review*, 48(2), 167-184.
- Stoddart, D. R. (1965). The shape of atolls. *Marine Geology*, 3(5), 369-383.
- SY-Ming Guu, D.-M. T. (s.f.). *Measurement of Roudness a nonlinear approach*.
- Thünen, J. H. (1966). *Isolated state: An English edition of Der isolierte Staat*. (P. Hall, Ed.) Oxford: Pergamon Press.
- Tickell, F. G. (1931). *The Examination of Fragmental Rocks*. Stanford: Stanford University Press.
- Veregin, H. (1989). *Accuracy of Spatial Database*, chapter Error modeling for the map operation, pages 3-18 Taylor and Francis, London London.
- Vereshchagin, G. (1930). Methods of lake Morphometry. *Ekspeditsii*, part II Geography.
- Wadell, H. (1933). Sphericity and roundness of rock particles. *Journal of Geology*, 41, 310-331.

Wenzhoung Shi, Cheung.-K. C. and Tong Xiaohua (2004). Modelling error propagation in vector-based overlay analysis. *ISPRS Journal of Photogrametry. Remote Sensing*, 59:47-59.



## Apéndice I

Rutina implementada en VBA para ArcGis 9.3 que permite rastrear todos los polígonos de una capa y permitir al usuario que decida visualmente si se trata de un polígono sliver o no. También crea el campo Razón de Circularidad, Área y Perímetro rellenándolos con sus valores.

```

Sub decideSliver()

    Dim pMxdoc As IMxDocument
    Set pMxdoc = ThisDocument

    Dim pMapa As IMap
    Set pMapa = pMxdoc.FocusMap

    Dim pCapa As IFeatureLayer
    Dim pEnumFeat As IEnumFeature
    Dim pFeat As IFeature
    Dim pFeatClass As IFeatureClass

    Set pCapa = pMxdoc.SelectedLayer

    If pCapa Is Nothing Then

        MsgBox "Debe seleccionar la capa sobre la que actuar"

    Else

        Set pFeatClass = pCapa.FeatureClass

        If pFeatClass.ShapeType = esriGeometryPolygon Then

            MsgBox "La capa sobre la que se actuará es: " & pCapa.Name

            'Creación de campos

            Call crearCampo(pFeatClass, "Sliver", esriFieldTypeString)
            Call crearCampo(pFeatClass, "Area", esriFieldTypeDouble)
            Call crearCampo(pFeatClass, "Perimetro", esriFieldTypeDouble)
            Call crearCampo(pFeatClass, "RC", esriFieldTypeDouble)

        End If

    End If

End Sub

```

```

'Actualización de campos
Call actualizaAreaPerimetro(pFeatClass)
Call actualizaRC(pFeatClass)

    'se visualizará cada elemento y se preguntará si es sliver o
no

Dim nElementos As Long
Dim campo As Long
Dim pActiveView As IActiveView
Set pActiveView = pMapa
Dim pQFilter As IQueryFilter
Set pQFilter = New QueryFilter
Dim pFeatureSelection As IFeatureSelection
Set pFeatureSelection = pCapa
pQFilter.WhereClause = "Sliver = '"
Dim pFeatureCursor As IFeatureCursor 'colección de registros
seleccionados
Set pFeatureCursor = pFeatClass.Search(pQFilter, False)
pFeatureSelection.SelectFeatures pQFilter, esriSelectionResultNew,
False
nElementos = pFeatureSelection.SelectionSet.Count
Dim pQFilterE As IQueryFilter
Set pQFilterE = New QueryFilter

Set pFeat = pFeatureCursor.NextFeature 'cojo el primer registro
seleccionado
campo = pFeat.Table.FindField("Sliver")
Dim vale As Integer
vale = 0

```

Do While Not (pFeat Is Nothing) And vale <> -1 'entro en el bucle que pregunta

```

    pQFilterE.WhereClause = "FID = " & pFeat.OID
'
    Set pFeat = pFeatClass.GetFeature(i)
    pActiveView.Extent = pFeat.Extent
    pActiveView.Refresh

    'Invalidate only the selection cache
    'Flag the original selection
    pActiveView.PartialRefresh esriViewGeoSelection, Nothing,
Nothing
    'Perform the selection
    pFeatureSelection.SelectFeatures pQFilterE,
esriSelectionResultNew, False
    'Flag the new selection
    pActiveView.PartialRefresh esriViewGeoSelection, Nothing,
Nothing

    'Ahora toca escribir info en la tabla sobre cada elemento
    Dim pCmdItem As ICommandItem
    Do
        vale = 0
        Pregunta.Label2.Caption = "Faltan: " & Str$(nElementos)
        Pregunta.Show
        If Pregunta.ActiveControl.Name = "cbSi" Then
            pFeat.Value(campo) = "Si"
            pFeat.Store
            nElementos = nElementos - 1
            vale = 1
        ElseIf Pregunta.ActiveControl.Name = "cbNo" Then
            pFeat.Value(campo) = "No"
            pFeat.Store

```

```

        nElementos = nElementos - 1

        vale = 1

        ElseIf Pregunta.ActiveControl.Name = "Cancelar" Then

            vale = -1

        ElseIf Pregunta.ActiveControl.Name = "Mas" Then

            Set pCmdItem =
Application.Document.CommandBars.Find(arcid.PanZoom_ZoomInFixed)

            pCmdItem.Execute

        ElseIf Pregunta.ActiveControl.Name = "Menos" Then

            Set pCmdItem =
Application.Document.CommandBars.Find(arcid.PanZoom_ZoomOutFixed)

            pCmdItem.Execute

        Else

            MsgBox "tecla no valida"

        End If

        Loop While vale = 0

        Set pFeat = pFeatureCursor.NextFeature

    Loop

    pFeatureSelection.Clear

    Set pCmdItem =
Application.Document.CommandBars.Find(arcid.PanZoom_FullExtent)

    pCmdItem.Execute

    MsgBox "Se acabó"

Else

    MsgBox "La capa seleccionada no es de polígonos"

End If

End If

End Sub

Sub crearCampo(fc As IFeatureClass, Nombre As String, Tipo As
esriFieldType)

    Dim Lcampo As Long

```

```

Dim campo As IField

Dim pFieldEdit As IFieldEdit

Lcampo = fc.FindField(Nombre)

If Lcampo = -1 Then

    MsgBox "Esta capa no tiene el campo " & Nombre & " y se creará"

    Set campo = New Field

    Set pFieldEdit = campo

    With pFieldEdit

        .Name = Nombre

        .Type = Tipo

    End With

    fc.AddField campo

Else

    MsgBox "Esta capa ya contiene el campo " & Nombre

End If

End Sub

```

```

Sub actualizaAreaPerimetro(fc As IFeatureClass)

Dim pCursor As IFeatureCursor

Set pCursor = fc.Update(Nothing, True)

'area

Dim pCalculo As ICalculator

Set pCalculo = New Calculator

With pCalculo

    Set .Cursor = pCursor

    .PreExpression = "Dim dblArea as double" & vbNewLine & _
        "Dim pArea as IArea" & vbNewLine & _
        "Set pArea = [Shape]" & vbNewLine & _
        "dblArea = pArea.Area"

```

```

        .Expression = "dblArea"

        .Field = "Area"

    End With

    pCalculo.Calculate

    Set pCursor = fc.Update(Nothing, True)

    'perimetro

    Set pCalculo = New Calculator

    With pCalculo

        Set .Cursor = pCursor

        .PreExpression = "Dim dblPeri as double" & vbNewLine & _
            "Dim pCurve as ICurve" & vbNewLine & _
            "Set pCurve = [Shape]" & vbNewLine & _
            "dblPeri = pCurve.Length"

        .Expression = "dblPeri"

        .Field = "Perimetro"

    End With

    pCalculo.Calculate

End Sub

```

```

Sub actualizaRC(fc As IFeatureClass)

    Dim pCursor As IFeatureCursor

    Set pCursor = fc.Update(Nothing, True)

    Dim pCalculo As ICalculator

    Set pCalculo = New Calculator

    With pCalculo

        Set .Cursor = pCursor
    End With
End Sub

```

```
.PreExpression = "Dim dblRC as double" & vbNewLine & _  
    "dblRC =  
sqr((4*3.14159265358979*[Area])/[Perimetro]^2) "  
.Expression = "dblRC"  
.Field = "RC"  
End With  
pCalculo.Calculate  
End Sub
```

## Apendice II

Programa que permite escribir en una tabla, el identificador de los polígonos de una capa y el radio del círculo máximo inscrito en cada polígono. El programa pedirá el paso de resolución que utilizará para buscar el centro de los círculos.

```
' Circulo.bas

'Dim pFeat As IFeature

Sub circulo()

    Dim pMxdoc As IMxDocument 'Hago que la variable pMxdoc sea la aplicación
    Arcmap actual

    Set pMxdoc = ThisDocument

    Dim pMapa As IMap          'pMapa será el mapa actual

    Set pMapa = pMxdoc.FocusMap

    Dim pCapa As IFeatureLayer 'creo variable para la capa sobre la que
    actuar

    Dim pFeat As IFeature 'creo variable para la feature (punto) sobre el
    que actuar

    Dim pFeatClass As IFeatureClass 'idem para la featureclass que
    representa esa capa

    Dim i As Long

    Dim npol As Long

    Dim dist As Double

    Dim Ldist As Long

    'Dim Lfid As Long

    Dim extension As IEnvelope

    Dim Pmin As IPoint

    Dim Pmax As IPoint

    Dim paso As Double
```

```

paso = 10 'original=2 Y EXCEPCION 0.1

Set pCapa = pMxdoc.SelectedLayer 'pCapa será la capa de datos
seleccionada en el ToC

If pCapa Is Nothing Then

    MsgBox "Debe seleccionar la capa sobre la que actuar"

Else

    Set pFeatClass = pCapa.FeatureClass

    If pFeatClass.ShapeType = esriGeometryPolygon Then 'la capa válida
debe ser de polis

        MsgBox "La capa sobre la que se actuará es: " & pCapa.Name

        'Si no está creado, hay que crear el campo DIST

        Ldist = crearCampo(pFeatClass, "DIST", esriFieldTypeDouble)

        'Lfid = pFeatClass.FindField(FID)

        npol = pFeatClass.FeatureCount(Nothing) - 1

        Estado.Show

        For i = 0 To npol

            Set pFeat = pFeatClass.GetFeature(i)

            '.....

            'If pFeat.Value(Ldist) = 0 Then

            '.....

            Estado.Label1.Caption = "Polígono: " & Str$(i) & " de: " &
Str$(npol)

            Estado.Repaint

            Set extension = pFeat.Extent

            Set Pmin = extension.LowerLeft

```

```

Set Pmax = extension.UpperRight

dist = distancia(pFeat, Pmin, Pmax, paso)

pFeat.Value(Ldist) = dist

pFeat.Store

.....

'End If

.....

Next i

Else

    MsgBox "La capa: " & pCapa.Name & " no es de polígonos"

End If

End If

Estado.Hide

MsgBox "Se acabó"

End Sub

```

## APENDICE

---

Function distancia(pFeat As IFeature, Pmin As IPoint, Pmax As IPoint, paso As Double) As Double

'devuelve el radio del máximo círculo inscrito dentro del poligono pasado

Dim nX As Long

Dim nY As Long

Dim i As Long

Dim j As Long

Dim punto As IPoint

Dim pRelOp As IRelationalOperator

Dim dist As Double

Dim pColecPtos As IPointCollection

Dim punto1 As IPoint, punto2 As IPoint, punto3 As IPoint, punto4 As IPoint

Dim btoca As Boolean

Dim poligono As IPolygon2

Dim pFinal As IPoint

Dim distanciaCurva As Double

Dim bdentro As Boolean

Set punto = New Point

Set poligono = pFeat.ShapeCopy

dist = 0

distancia = 0

nX = CLng((Pmax.X - Pmin.X) / paso)

nY = CLng((Pmax.Y - Pmin.Y) / paso)

Set punto1 = New Point

Set punto2 = New Point

Set punto3 = New Point

Set punto4 = New Point

```

For i = 0 To nX - 1
  For j = 0 To nY - 1
    'creamos el cuadrado

    Set pColecPtos = New Polygon

    punto1.X = Pmin.X + (paso * i)
    punto1.Y = Pmin.Y + (paso * j)
    punto2.X = Pmin.X + (paso * i)
    punto2.Y = Pmin.Y + (paso * (j + 1))
    punto3.X = Pmin.X + (paso * (i + 1))
    punto3.Y = Pmin.Y + (paso * (j + 1))
    punto4.X = Pmin.X + (paso * (i + 1))
    punto4.Y = Pmin.Y + (paso * j)

    pColecPtos.AddPoint punto1
    pColecPtos.AddPoint punto2
    pColecPtos.AddPoint punto3
    pColecPtos.AddPoint punto4
    pColecPtos.AddPoint punto1

    Set pRelOp = pFeat.Shape

    btoca = pRelOp.Overlaps(pColecPtos)

    If btoca Then

      If paso > 0.62 Then 'original = 0.13 Y EXCEPCION 0.2

        dist = distancia(pFeat, punto1, punto3, paso / 4)

      Else

        punto.X = punto1.X + (paso * 0.5)

        punto.Y = punto1.Y + (paso * 0.5)

        poligono.QueryPointAndDistance esriNoExtension, punto,
False, pFinal, distanciaCurva, dist, True

      End If
    End If
  End For
End For

```

```

    End If

    bdentro = pRelOp.Contains(pColecPtos)

    If bdentro Then

        punto.X = punto1.X + (paso * 0.5)

        punto.Y = punto1.Y + (paso * 0.5)

        poligono.QueryPointAndDistance esriNoExtension, punto, False,
pFinal, distanciaCurva, dist, True

    End If

    If dist > distancia Then

        distancia = dist

    End If

Next j

Next i

End Function

```