UNIVERSIDAD DE JAÉN

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CARTOGRÁFICA, GEODÉSICA Y FOTOGRAMETRÍA

TESIS DOCTORAL

GENERALIZACIÓN DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

PRESENTADA POR:
MANUEL ANTONIO UREÑA CÁMARA

DIRIGIDA POR:
DR. D. FRANCISCO J. ARIZA LÓPEZ

JAÉN, 23 DE SEPTIEMBRE DE 2004

ISBN 978-84-8439-346-7

Nombre y apellidos del autor

Manuel Antonio Ureña Cámara

Título de la Tesis Doctoral

Generalización de cascos urbanos en modelo raster

I.S.B.N.

978-84-8439-346-7

Fecha de Lectura

23 de Septiembre de 2004

Centro y Departamento en que fue realizada la lectura

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Composición del Tribunal/Dirección de la Tesis

Dirección de la Tesis	Dr. D. Francisco J. Ariza López
Presidente/a del Tribunal	Dr. D. Rafael Ferrer Torio
Vocales	Dr. D. Javier Iribas Cardona
	Dr. D. Miguel Ángel Bernabé Poveda
	Dr. D. Luis Joyanes Aguilar
Secretario/a	Dr. D. Tomás M. Fernández del Castillo

Calificación Obtenida

Sobresaliente Cum Laude

Universidad de Jaén

tesis doctoral

Resumen

Este documento se centra en la investigación llevada a cabo en el proceso de generalización cartográfica, más concretamente en la generalización de cascos urbanos y modelo de representación híbrido. El trabajo sigue un esquema clásico de tesis doctoral con una introducción, unos antecedentes, el material y método, los resultados, y para finalizar las conclusiones obtenidas. Sin embargo, desde el punto de vista funcional, se han desarrollado tres aspectos fundamentales, el primero ha sido la implementación de un motor de generalización, el segundo el desarrollo de un proceso basado en este motor para la generalización de cascos urbanos y el tercero el análisis de resultados, incluyendo la revisión por parte de un grupo de expertos en la materia.

El motor de generalización, basado en una estructura híbrida raster-vector, incluye un conjunto de herramientas que podemos dividir en cuatro tipos de operadores: selección, generalización, algebra de mapas y morfología matemática. Utilizando este motor generalización se ha desarrollado un proceso para la generalización semiautomática de cascos urbanos. Debido a la versatilidad del motor de generalización los procesos y soluciones presentados en este documento son sólo algunos de entre todos los posibles, aunque es necesario indicar que el proceso ha seguido un método exhaustivo de revisión empleando retroalimentación hasta en dos ocasiones. El proceso de generalización se ha realizado para nueve cascos urbanos, a partir de la determinación de un conjunto de características dentro de una estructura híbrida raster-vector, para el paso de cascos urbanos de escala 1/25000 a 1/50000. Los resultados han demostrado que este proceso de generalización reduce el tiempo de trabajo requerido en comparación con los procesos vectoriales utilizados actualmente.

Abstract

This document is developed in order to present the development in cartographic generalization of urban city-block maps in hybrid representation model. The research follows classic Ph Degree schema in the following order: an introduction, the state of the art, the material and method, the results and finally the conclusions. However, in a more practical point of view, three main issues are stated: the first refers to a generalization engine, the second is concerned with the application of this generalization engine to various urban city-block maps and the third analyses these results.

The generalization engine, based on a raster-vector structure, includes a toolbox containing four set of operators: selection, generalization, map algebra and mathematical morphology. A generalization process based on this engine is used to achieve semiautomatic generalization of a city-block map. Due to the high level of versatility of the generalization engine, the processes and solutions presented here are only a few among the many possible. The generalizations are taken from nine BCNRV obtained from nine urban city block maps when reducing scale from S25k (1/25000 scale map) to S50k (1/50000 scale map). The results demonstrate that this generalization process reduces the human workload of edition time and conflict solving in comparison with current vector processes.

UNIVERSIDAD DE JAÉN

GENERALIZACIÓN DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

MANUEL ANTONIO UREÑA CÁMARA

tesis doctoral

“Leave the beaten path and dive into the woods; you are certain to find something interesting”

Alexander Graham Bell

A mis padres y mi hermana.

A Ana Belén.

A mi abuelo.

Agradecimientos:

En primer lugar desearía expresar mi agradecimiento al director de esta tesis doctoral, sin él no se hubiese llegado a buen puerto en este documento.

En segundo lugar deseo agradecer a todas las personas que han colaborado aportando mapas, fuentes de información y conocimiento a este trabajo.

En tercer lugar agradezco la colaboración al grupo de expertos, cuyos inestimables consejos en la encuesta realizada han guiado y animado este trabajo.

Finalmente deseo agradecer el apoyo que me ha prestado toda mi familia y Ana Belén, todos ellos han sufrido el tiempo empleado en la realización de este trabajo y me han animado a continuar y terminar la investigación que se iniciada hace largo tiempo.

Índices

Índice de contenidos

1. Introducción 26
1.1. Objetivos 30
1.2. Hipótesis de trabajo 31
1.3. Desarrollo de la tesi 31
2. Antecedentes 33
2.1. Modelos de Realidad 36
2.1.1. Modelo de realidad raster. 37
2.2. Modelos de Generalización 38
2.2.1. Modelo de Generalización de Cuenin 41
2.2.1.1. Selección 41
2.2.1.2. Esquematización 42
2.2.1.3. Armonización 43
2.2.2. Modelo Conceptual de Robinson y col. (1987, texto original de 1984) 43
2.2.2.1. Elementos de la generalización 44
2.2.2.2. Controles de la generalización. 44
2.2.3. Modelo Conceptual Comprensivo de McMaster y Shea (1.992). 45
2.2.3.1. Objetivos filosóficos 45
2.2.3.2. Evaluación cartométrica 46
2.2.3.3. Transformaciones espaciales y de atributos en Generalización 47
2.2.4. Conclusiones a los modelos de generalización 49
2.3. Morfología Matemática 50
2.3.1. Operaciones básicas 52
2.3.2. Operaciones compuesta 54
2.3.3. Otras operaciones 55
2.3.4. Operaciones condicionadas 59

2.3.5. Aplicabilidad de las operaciones 59
2.4. Particiones del espacio (Diagramas de Voronoi 59
2.4.1. Método incremental de obtención de diagramas de Voronoi 62
2.4.2. Método divide y vencerás para la obtención de diagramas de Voronoi. 66
2.4.3. Método de deslizamiento de plano ("Plane Sweep Method") 69
2.4.4. Conclusiones a las particiones del espacio 72
2.5. Recorrido de grafos. 72
2.5.1. Algoritmo de Dijkstra. 73
2.5.2. Algoritmo de Ford 74
2.5.3. Algoritmo de Floyd y Warshall 75
2.5.4. Conclusiones a los recorridos de grafos 76
2.6. Teoría de la percepción 77
2.6.1. Thorisson, K. (1994): Simulando agrupaciones perceptivas: Aplicación a la interacción Hombre – Máquina. 80
2.6.2. Rome, E. (2001): Simulando asociaciones perceptuales empleando los principios de la Gestalt. 81
2.6.3. Anders, K. H. (2003): Aproximación de clusters jerárquica para la obtención de agrupaciones de objetos 82
2.6.4. Conclusiones a la teoría de la percepción 85
2.7. Estado de los trabajos en generalización cartográfica y de evaluación de resultados 86
2.7.1. Mecanismos de segmentación y generalización 86
2.7.1.1. Generalización de cascos urbanos en modelos de representación vectorial 88
2.7.1.1.1 Mackaness (1995): Análisis de las Redes Viarias Urbanas para su aplicación en Generalización Cartográfica 89
2.7.1.1.2 Jones, Bunday y Ware (1995): Generalización de mapas empleando una red de triángulos irregulares. 91
2.7.1.1.3 Regnauld (1998): Generalización de edificaciones: Estructura espacial de tipo grafo y representación cartográfica. 95
2.7.1.1.4 Hangouet (1998): Aproximación y métodos para la automatización a la generalización cartográfica; aplicación al perímetro urbano 98

2.7.1.1.5 Ruas (1999) : Modelo de generalización de datos geográficos en base a constreñimientos y autonomía 102
2.7.1.1.6 Sester (2000): Generalización basada en ajustes mínimos cuadráticos 105
2.7.1.1.7 Agent Project (1997-2000)..... 106
2.7.1.1.8 Bader (2001): Métodos de minimización de energía para el desplazamiento de entidades en generalización cartográfica 108
2.7.1.1.9 Boffet (2001): Método de creación de información multinivel para la generalización de cartografía urbana 112
2.7.1.2. Generalización en modelos de representación raster..... 115
2.7.1.2.1 Monmonier (1983): Generalización de mapas de usos del suelo 116
2.7.1.2.2 Schylberg (1993): Generalización de Datos Cartográficos en entorno raster 117
2.7.1.3. Generalización de cascos urbanos en modelos de representación raster 119
2.7.1.3.1 Su, Li y Lodwick (1997a, 1997b, 1998a y 1998b): Generalización de diferentes mapas basada en morfología matemática... 119
2.7.1.3.2 Ureña (1998): Generalización de Cascos Urbanos en Formato Raster y Ureña y Ariza (2000): Mathematical Morphology Applied to Raster Generalization of Urban City Block Maps 123
2.7.1.4. Conclusiones de los mecanismos de segmentación y generalización. 124
2.7.2. Métodos de evaluación de resultados 125
2.7.2.1. Índices basados en el histograma de la imagen 126
2.7.2.2. Índices basados en medidas de autocorrelación 127
2.7.2.3. Índices representativos de la comparación de dos imágenes: Índices locales..... 129
2.7.2.4. Índices basados en la comparación de dos imágenes: Índices basados en la teoría de conjuntos borrosos. 131
2.7.2.5. Otras medidas 133

2.7.2.5.1 Medidas desarrolladas a partir de la matriz de confusión..... 133
2.7.2.5.2 Medidas basadas en la teoría de autómatas finitos..... 134
2.7.2.5.3 Extensión de la Divergencia de Kullback a carácter cuasi-local 135
2.7.2.6. Conclusiones a las medidas 136
2.8. Estado del software con sistemas de generalización..... 137
2.8.1. MGE/MG..... 138
2.8.2. MAGE 139
2.8.3. CHANGE 139
2.8.4. Lamps2 Generalizer..... 141
2.8.5. Ruas (2001): Proyecto de Generalización Automática: Proceso de aprendizaje a partir de la generalización Interactiva. Informe para la OEEPE..... 143
2.8.6. Conclusiones al software de generalización..... 148
3. Material y método..... 149
3.1. Material 150
3.1.1. Mapas Empleados..... 151
3.1.2. Observaciones al material..... 152
3.2. Método 153
3.2.1. Pretratamiento..... 154
3.2.1.1. Procesos de los mapas analógicos 155
3.2.1.2. Procesado de los mapas digitales..... 157
3.2.1.3. Rasterización..... 158
3.2.1.4. Conclusiones al pretratamiento..... 159
3.2.2. Creación de entidades a partir de imágenes raster..... 160
3.2.2.1. Cálculo y obtención de características de objetos 164
3.2.2.1.1 Proceso para la determinación de objetos..... 165
3.2.2.1.2 Proceso para la determinación de características de objetos (o enriquecimiento de objetos)..... 168
3.2.2.2. Determinación de la red de adyacencia 171
3.2.2.2.1 Obtención de la división del espacio mediante polígonos de Voronoi 171
3.2.2.2.2 Obtención de la red de adyacencia de objetos 177

3.2.2.3. Determinación de las calles del mapa y enriquecimiento de las mismas ..... .179
3.2.2.3.1 Algoritmo de cierre urbano. 181
3.2.2.3.2 Determinación de intersecciones de calles..... 184
3.2.2.3.3 Enlace de elementos de intersección..... 185
3.2.2.3.4 Mejora de las calles..... 187
3.2.2.3.4.1 Mejora de las calles empleando Douglas-Peucker inverso..... 187
3.2.2.3.4.2 Mejora de las calles empleando hormigas 189
3.2.2.3.4.3 Comentarios a la mejora de las calles 190
3.2.2.3.5 Enriquecimiento de las calles..... 190
3.2.2.4. Determinación de los ejes axiales. 193
3.2.2.5. Resultados previos a la creación de entidades en imágenes raster ... 195
3.2.3. Motor de generalización 196
3.2.3.1.1 Procesos de selección..... 197
3.2.3.1.2 Operadores de generalización 198
3.2.3.1.2.1 Operador de amalgamación..... 199
3.2.3.1.2.2 Operador de cierre semiconvexo. 200
3.2.3.1.2.3 Operador de eliminación 200
3.2.3.1.2.4 Operador de desplazamiento 201
3.2.3.1.2.5 Operador de reconstrucción de caminos 203
3.2.3.1.3 Operadores de álgebra de mapas..... 203
3.2.3.1.4 Operadores de morfología matemática 204
3.2.3.2. Unificación de los objetos segmentados para la obtención de zonas. 204
3.2.3.3. Conclusiones al motor de generalización 206
3.2.4. Metodología de comprobación de resultados 206
3.2.4.1. Análisis visual. 207
3.2.4.2. Análisis visual por un grupo independiente de expertos 208
3.2.4.3. Análisis empleando medidas evaluadoras 213
3.2.4.4. Retroalimentación del sistema. 214
4. Resultados y discusión 215
4.1. Resultados para cada casco urbano 216

4.1.1. Determinación de la muestra inicial de cascos urbanos 217
4.1.2. Ampliación de la muestra. Extrapolación de resultados..... 220
4.1.3. Primer ajuste del motor de generalización 221
4.2. Resultados del análisis visual. 223
4.2.1. Segundo ajuste del motor de generalización. 225
4.2.2. Elección del conjunto de soluciones a enviar al grupo de expertos. 226
4.3. Valoración del grupo de expertos 227
4.3.1. Almería 229
4.3.2. Bilbao 233
4.3.3. Burgos..... 236
4.3.4. Jaén 237
4.3.5. La Carolina 239
4.3.6. Logroño 241
4.3.7. Majadahonda 242
4.3.8. Mengíbar. 244
4.3.9. Pamplona 245
4.3.10. Resumen de las valoraciones del grupo de expertos 247
4.3.11. Tercer ajuste al motor de generalización 251
4.4. Valoraciones de las medidas evaluadoras..... 252
4.4.1. Almería 253
4.4.2. Bilbao. 254
4.4.3. Burgos. 254
4.4.4. Jaén 255
4.4.5. La Carolina 256
4.4.6. Logroño 256
4.4.7. Majadahonda 257
4.4.8. Mengíbar. 258
4.4.9. Pamplona 258
4.4.10. Resumen del análisis de la medidas evaluadoras. 259
4.5. Análisis de los resultados de los expertos frente al resultado de las medidas evaluadoras. 260
4.6. Análisis del resultado de las soluciones tras los ajustes realizados..... 262

4.7. Conclusiones 263
5. Conclusiones 265
5.1. Requerimientos sobre los datos de partida. 267
5.2. Innovaciones 267
5.2.1. Modelo Cartográfico Numérico Raster – Vector. 267
5.2.2. Motor de generalización 269
5.3. Resultados obtenidos. 271
5.4. Futuras líneas de investigación 273
6. Bibliografía 275

Índice de Anejos

Anejo 1: Mapas de los cascos urbanos originales..... 284

Anejo 2: Resultados iniciales de La Carolina. (CD)..... 302

Anejo 3: Resultados para La Carolina con cierres morfológicos circulares. (CD)..... 304

Anejo 4: Resultados para La Carolina con cierres morfológicos cuadrados y superposición de originales. (CD)..... 306

Anejo 5: Resultados de la aplicación de la selección del grupo D a todos los cascos urbanos. (CD: Ejemplo para Jaén y La Carolina)..... 308

Anejo 6: Resultados de la aplicación de la selección del grupo D a todos los cascos urbanos y posterior apertura. (CD)..... 312

Anejo 7: Encuesta enviada al grupo de expertos. (CD)..... 340

Anejo 8: Cascos urbanos generalizados enviados al grupo de expertos. (CD)..... 347

Anejo 9: Mejores resultados de generalización seleccionados en el proceso de los resultados..... 384

Anejo 10: Generalización realizada en Jaén empleando el motor de generalización tras el tercer ajuste..... 394

Anejo 11: Generalización realizada en Jaén empleando el motor de generalización tras el tercer ajuste y la revisión manual interactiva. 396

Índice de tablas

Tabla 1. Transformaciones espaciales vectoriales indicadas por McMaster y Shea (1992). 47
Tabla 2. Pseudocódigo del algoritmo de Dilatación. 53
Tabla 3. Pseudocódigo del algoritmo de erosión 54
Tabla 4. Pseudocódigo de la transformación de prueba y fallo. 56
Tabla 5. Pseudocódigo de la obtención de Voronoi mediante la técnica de bucketing. Los números 0, 1 y 2 representan los 3 primeros puntos a insertar. 66
Tabla 6. Pseudocódigo de cálculo de Voronoi por el método Divide y Vencerás 67
Tabla 7. Pseudocódigo de unión de dos diagramas de Voronoi para el método divide y vencerás..... 69
Tabla 8. Pseudocódigo de cálculo de Voronoi empleando el método de deslizamiento del plano..... 71
Tabla 9. Pseudocódigo del algoritmo de Dijkstra de obtención de caminos mínimos en grafos..... 74
Tabla 10. Pseudocódigo del algoritmo de Ford de recorrido de grafos. 75
Tabla 11. Pseudocódigo del algoritmo de Floyd de determinación de distancias y arcos recorridos. 76
Tabla 12. Pseudocódigo del algoritmo HPGCL según lo indicado por Anders (2003). 84
Tabla 13. Antecedentes de la generalización urbana en modelo de representación vectorial 88
Tabla 14. Reglas de relación entre las funciones de entrada y de salida. Implementada a partir de las reglas descritas por Power, Simms y White 132
Tabla 15. Posibles estados de las 3 imágenes de trabajo. El estado 1 representa el valor en la imagen original, el estado 2 representa el valor en la imagen

generalizada manualmente (aquella que deseamos aproximarnos), finalmente el estado 3 representa el resultado de la imagen generalizada por cualquier mecanismo. 134
Tabla 16. Mapas fuente junto a sus escalas y orígenes 151
Tabla 17. Niveles y colores de los DGN conservados 157
Tabla 18. Pseudocódigo del algoritmo de determinación de objetos empleando propagación de ondas 167
Tabla 19. Algoritmo de propagación de ondas o de semillas recursivo. 168
Tabla 20. Definiciones de los elementos a obtener de cada objeto 169
Tabla 21. Pseudocódigo del algoritmo de Voronoi empleando distancias de Manhattan 173
Tabla 22. Pseudocódigo del algoritmo de Voronoi empleando distancias euclídeas y técnicas de bucketing 176
Tabla 23. Pseudocódigo del cálculo de la red de adyacencia de objetos y de sus líneas de vision 178
Tabla 24. Pseudocódigo del algoritmo de obtención del cierre urbano. 182
Tabla 25. Pseudocódigo del algoritmo de mejora de calles empleando Douglas-Peucker inverso. 189
Tabla 26. Propiedades obtenidas para las calles 191
Tabla 27. Propiedades únicas de ejes axiales. El resto de propiedades son una extensión al concepto de eje axial como conjunto de calles. 195
Tabla 28. Pseudocódigo del operador de amalgamación 199
Tabla 29. Pseudocódigo del operador de eliminación. 201
Tabla 30. Pseudocódigo del algoritmo de desplazamiento de objetos 203
Tabla 31. Pseudocódigo de la unificación de zonas empleando distancias. 204
Tabla 32. Códigos de conflictos (códigos originales de la encuesta de la OEEPE). Los elementos en rojo representan los que poseen el código de error indicado. 209
Tabla 33. Listado de expertos junto a su institución y los cascos urbanos enviados. El listado se encuentra en estricto órden alfabético. 211
Tabla 34. Número de revisores para cada casco urbano según el diseño de envió de la encuesta 212
Tabla 35. Elección inicial de parámetros de generalización 217

Tabla 36. Elección de parámetros reforzados para el grupo D 220
Tabla 37. Resultados del análisis visual por parte de 3 investigadores independientes..... 223
Tabla 38. Selección de generalización para su posterior comprobación por parte de un grupo de expertos y en medidas evaluadoras. 227
Tabla 39. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Almería. 230
Tabla 40. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Almería. 231
Tabla 41. Ejemplos de conflictos 440 y 464 en el casco urbano de Almería para el mapa 39. Todas las imágenes se encuentran a escala 1/25000. 233
Tabla 42. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Bilbao. 234
Tabla 43. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Bilbao..... 234
Tabla 44. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 40 de Bilbao. ... 235
Tabla 45. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Burgos..... 236
Tabla 46. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Burgos..... 237
Tabla 47. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 41 de Burgos. .. 237
Tabla 48. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Jaén 238
Tabla 49. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Jaén. 238
Tabla 50. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 19 de Jaén 239
Tabla 51. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de La Carolina. 239
Tabla 52. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para La Carolina. 240
Tabla 53. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 17 de La Carolina. 240

Tabla 54. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Logroño..... 241
Tabla 55. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Logroño. 241
Tabla 56. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 19 de Logroño. 242
Tabla 57. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Majadahonda..... 243
Tabla 58. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Majadahonda 243
Tabla 59. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 11 de Majadahonda. 244
Tabla 60. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Mengíbar..... 244
Tabla 61. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Mengíbar..... 245
Tabla 62. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 43 de Mengíbar 245
Tabla 63. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Pamplona..... 246
Tabla 64. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Pamplona. 246
Tabla 65. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 1 de Pamplona. 247
Tabla 66. Resumen de las mejores soluciones indicadas por los expertos para cada conjunto de cascos urbanos. El campo Número de los conflictos representa el número de zonas con los conflictos indicados en la mejor solución y tras la barra el número total de zonas con los conflictos indicados en todas las soluciones. 248
Tabla 67. Relación de rangos existentes para los conflictos de los diferentes mapas utilizados. El porcentaje está calculado suponiendo el valor máximo como el 100%. 250
Tabla 68. Rangos de los índices y valores óptimos buscados..... 253
Tabla 69. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Almería. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores 253

Tabla 70. Tabla resumen de las medidas evaluadoras para Bilbao. Las celdas marcadas en verde indican los índices más prometedores..... 254
Tabla 71. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Burgos. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores 255
Tabla 72. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Jaén En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores 255
Tabla 73. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para La Carolina. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores 256
Tabla 74. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Logroño. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores 257
Tabla 75. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Majadahonda. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores 257
Tabla 76. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Mengíbar. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores 258
Tabla 77. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Pamplona. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores 258
Tabla 78. Resumen de las mejores soluciones indicadas por las medidas evaluadoras. La aparición de dos soluciones indica la imposibilidad de distinción entre ambas..... 259
Tabla 79. Comparativa de las mejores soluciones indicadas por los expertos y las indicadas por las medidas evaluadoras. 260
Tabla 80. Comparativa de las mejores soluciones extraídas a partir del número de conflictos y las indicadas por las medidas evaluadoras 261
Tabla 81. Comparativa temporal entre los procesos de generalización de dos organismos productores de cartografía y el proceso propuesto en esta tesis doctoral. 262

Índice de figuras

Figura 1. Resumen del método desarrollado en la tesis doctoral. Los rectángulos con sombra representan la imagen de partida (1/25000), los rectángulos verdes imágenes u objetos generados durante el proceso. Los azules claros procesos o resultados intermedios. 24
Figura 2. Transformación para contar los píxeles negros 50
Figura 3. Transformación aplicada al elemento estructurante. El elemento tiene un píxel blanco que indica que debe pertenecer al fondo, uno con cruz que no indica condición y uno negro que debe pertenecer a la figura. La flecha indica el punto de aplicación. 51
Figura 4. Dilatación de una imagen. Los píxeles grises representan las celdas que han pasado a formar parte del objeto 53
Figura 5. Erosión de una imagen. Los píxeles grises representan los elementos que han pasado de figura a fondo. 54
Figura 6. Apertura de la imagen. Los píxeles grises son las celdas que han pasado a formar parte del fondo. 55
Figura 7. Cerramiento. Los píxeles grises representan los añadidos al objeto original. 57
Figura 8. Transformación de prueba y fallo. Los píxeles grises intermedios representan los que se han eliminado del objeto original. Los del objeto final representan los eliminados en la aplicación completa de la transformación. El elemento estructurante de abajo posee píxeles blancos que indican que deben pertenecer al fondo. 58
Figura 9. Aligerado de la imagen con los elementos estructurantes propuestos para la transformación de prueba y fallo. Los píxeles grises de la última imagen representan los que han desaparecido del objeto 58

Figura 10. Engrosamiento de la imagen. Los píxeles grises intermedios son los que han desaparecido del objeto. Los finales son los que añade al mismo la transformación de engrosamiento. Como en el caso de la transformación de prueba y fallo los píxeles blancos del elemento estructurante representan los píxeles que deben pertenecer al fondo 58
Figura 11. Representación de una triangulación de Delaunay (línea continua) para tres puntos. Se muestra de forma simultánea su diagrama de Voronoi (línea discontinua). Las flechas indican que semirrectas que se extienden hasta el infinito. 60
Figura 12. Ejemplo de modificación del diagrama de Voronoi. Los puntos rellenos pertenecen al diagrama de Voronoi dibujado, el punto vacío es el que se va a insertar..... 62
Figura 13. Ejemplo de elección de puntos externos para evitar elementos de intersección infinita. 63
Figura 14. Ejemplo de bucketing sobre árbol Quadtree. 65
Figura 15. Línea de enlace de ambos diagramas de Voronoi obtenidos por un método divide y vencerás. ..... .68
Figura 16. Determinación del Lower common support (línea de d a g). 69
Figura 17. Método de deslizamiento del plano. (a) Voronoi con 5 generadores. (b) Imagen en el espacio de deslizamiento de planos (la recta s es el proceso de deslizamiento de planos). 70
Figura 18. Ejemplo de soluciones de asociación propuestas por Thorisson (1994). Las imágenes están en blanco y negro según el original. Los distintos recuadros de las salidas representan diferentes asociaciones perceptivas posibles..... 81
Figura 19. Operaciones de exageración (izquierda) y colapso (derecha) mediante la estructura SDS..... 92
Figura 20. Amalgamación de objetos por el método de desplazamiento..... 93
Figura 21. Aplicación de la simplificación de límites de edificios 94
Figura 22. Ejemplo de ARM segmentado. 96
Figura 23. Resultados del operador de estructuración. (a) Imagen antes de la aplicación. (b) Imagen después de la aplicación..... 97

Figura 24. Amalgamación por desplazamiento. a) Versión original.
b) Versión por desplazamiento estético. c) Versión por desplazamiento simple. 98
Figura 25. Amalgamación por rellenado del espacio. a) Situación original.
b) Situación tras la amalgamación. 98
Figura 26. Esqueletización de una edificación y posterior selección de
diferentes componentes. 99
Figura 27. Ejemplos de representaciones equivalentes de edificios. 100
Figura 28. Ejemplo de reestructuración de la forma del edificio empleando
esqueletizaciones..... 101
Figura 29. Ejemplo de tipificación. de Hangouet (1998). a) Situación original.
b) Situación tras aumentar el tamaño de los edificios. c) Situación final 101
Figura 30. Situaciones tratadas por el algoritmo de unificación. La zona
rayada es la candidata a unificarse 104
Figura 31. Ejemplo antes (en azul) y después (en verde) del resultado del
operador de simplificación de edificios..... 106
Figura 32. Estados de un agente. 107
Figura 33. Ville de Trets antes y después de la generalización. 108
Figura 34. Resultados del algoritmo de desplazamiento propuesto por Bader.
Los objetos grises son las posiciones originales, las líneas continuas negras
representan los mismos objetos tras el proceso de desplazamiento..... 110
Figura 35. Aplicación de los desplazamientos más rotaciones. Los edificios
grises son la posición original, los negros la posición desplazada y
los rojos la desplazada y con rotación.....111
Figura 36. Ejemplo de cerramiento urbano por dilatación y simplificación
por Douglas-Peucker. 113
Figura 37. Ejemplo de reducción de la resolución de la imagen empleando
el concepto de miniceldas 116
Figura 38. Filtro para la segmentación empleado por Schylberg. 117
Figura 39. Serie de elementos estructurantes para la obtención de polígonos convexos,
las zonas grises indican que no importa el valor que tomen. 123
Figura 40. Ejemplo de proceso de generalización empleando CHANGE. 140
Figura 41. Uso de las relaciones topológicas durante la generalización en Lamps2. . 142

Figura 42. Proceso de generalización de mapas KMS en Lamps2 Generalizer. Las superficies huecas son los edificios originales. Las superficies rellenas son la propuesta de generalización del Lamps2..... 143
Figura 43. Relaciones entre sistemas y salidas 144
Figura 44. Resultados de las diferentes soluciones para el test de la BDTopo..... 146
Figura 45. Esquema del método de trabajo (versión resumida..... 154
Figura 46. Procesos previos para la adecuación de datos (Pretratamiento). 155
Figura 47. Modelo E-R desarrollado en las imágenes originales. 161
Figura 48. Esquema del proceso de enriquecimiento de la imagen para obtener una BCNRV 162
Figura 49. Estructura de almacenamiento de entidades utilizada de la BCNRV..... 164
Figura 50. Fases durante el proceso de detección de objetos empleando el algoritmo de semillas. (a) – (d) diferentes fases de evolución del algoritmo, los marcos azules indican píxeles actualmente bajo búsqueda. (e) Evolución del algoritmo en cuanto a los objetos (cada color diferente representa un objeto distinto). 166
Figura 51. Enriquecimiento producido para los objetos. 170
Figura 52. Proceso para la determinación de la Red de Adyacencia. 171
Figura 53. Desarrollo del algoritmo de Voronoi para distancias de Manhattan. Para el Desarrollo de Voronoi cada color representa una zona de influencia de cada objeto. Para el Desarrollo de las distancias cuanto más claro sea el color mayor distancia. 173
Figura 54. Desarrollo del algoritmo de Voronoi para distancias euclídeas. Cada color representa un objeto diferente. Los recuadros azules representan el píxel que se está tratando en la actualidad. Los números dentro del reticulado verde representan las distancias del píxel actualmente tratado hasta cada retícula. ... 176
Figura 55. Fases del proceso de obtención de las calles..... 179
Figura 56. Imagen de objetos agrupados por el polígono externo. La zona blanca representa el polígono externo. Las zonas de color son los diferentes objetos (una variación en tono/valor representa un objeto diferente 180
Figura 57.Ejemplo del desarrollo del algoritmo de cierre urbano. Las recta rojas representan el enlace de adyacencia, los recuadros azules los píxeles tratados. La línea verde la distancia calculada..... 182

Figura 58. Ejemplo de cierre del casco urbano, la imagen (a) es la original, la (b) es el cierre con el algoritmo de distancias y la (c) el cierre empleando criterios de morfología matemática (Cierre con núcleo de 20 píxeles = 50 metros 184
Figura 59. Obtención de intersecciones de calles (elementos claros de la imagen b) a partir de la división del espacio en polígonos de Voronoi (a 184
Figura 60. Relación entre la imagen original de Voronoi (a) con los píxeles intersección (más claros) y unión (más oscuros) de la imagen (b). 186
Figura 61. Ejemplo de Douglas-Peucker inverso (el círculo claro representa el único punto insertado). 188
Figura 62. Proceso de mejora de las calles. 188
Figura 63. Proceso de enriquecimiento de datos de las calles. 191
Figura 64. Diferentes ejes axiales incluyendo elementos curvos (a) y elementos no alineados (b), la variación de valor indica. Ejemplos extraídos de La Carolina (imagen ampliada unas 10 veces). 194
Figura 65. Desarrollo del cálculo de los ejes axiales 194
Figura 66. Proceso de generalización desarrollado. 197
Figura 67. Ejemplo de núcleo morfológico para aplicar el desplazamiento. El recuadro azul representa el origen del núcleo, el píxel negro representa píxel de fondo y el resto representan píxeles sin condición..... 202
Figura 68. Modelo del motor de generalización tras las modificaciones propuestas en el proceso de extrapolación de resultados (Las flechas rojas indican modificaciones sobre el modelo de amalgamación base 222
Figura 69. Motor de generalización con la nueva propuesta tras el análisis visual. Las flechas rojas representan los nuevos elementos añadidos. Las flechas verdes representan elementos modificados en pasos anteriores..... 226
Figura 70. Motor de generalización con las modificaciones propuestas por el grupo de expertos (flechas rojas) junto con las modificaciones propuestas en fases anteriores (flechas verdes). 252
Figura 72. Modelo E-R desarrollado en las imágenes originales para la obtención de la BDNRV..... 268

Figura 73. Esquema del proceso de enriquecimiento de la imagen para obtener una BCNRV 269
Figura 74. Motor de generalización con las modificaciones propuestas por el grupo de expertos..... 270

Introducción

1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) han llegado a formar parte del panorama de muchas ingenierías utilizándose tanto para la toma de decisiones como para simulación y otras funciones más complejas como el control.

La fuente de datos de estos S.I.G. generalmente se ha obtenido con un gran esfuerzo de digitalización de mapas analógicos en diversas formas. Esta demanda de datos en formato digital, junto con la evolución de la informática como apoyo a la producción de mapas, ha empujado a los organismos productores de Cartografía a convertir sus bases analógicas en Bases Cartográficas Numéricas (B.C.N.), donde se almacena actualmente toda la información que luego es editada para la producción final del mapa que llega al usuario o, para directamente, ser vendida en ese formato.

Sin embargo, el almacenamiento de un exceso de información en las B.C.N. ha creado una necesidad de investigar en mecanismos que permitan "aligerar" esas grandes bases de datos en función de las necesidades (bien sea por el fin de la B.C.N. o por un cambio en la resolución).

El resultado de estos mecanismos de aligerado ha sido variado, pero en el campo específico de reducción de información hay bastantes ejemplos basados en clasificaciones de atributos, o en reducción de los modelos cartográficos, o en aplicación de sistemas jerárquicos, han conseguido cubrir las expectativas formuladas inicialmente para ellos.

Sin embargo, en el campo de la representación cartográfica los resultados no han sido tan prometedores. Se han desarrollado diversos proyectos para realizar cambios en resolución (es decir, una variación en escala máxima de visualización), obteniendo algunas aproximaciones interesantes pero sin llegar a alcanzar los resultados que puede ofrecer cualquier cartógrafo de forma manual.

Pero, ¿cuál es la razón para que sea necesario el estudio particular de la representación cartográfica?. Desde el punto de vista de la cartografía, esta razón está tan obvia que ni

siquiera ha llegado a plantearse. De hecho, cualquier persona que ha trabajado con un S.I.G. o un mapa interactivo habrá podido observar como los objetos aparecen o desaparecen en bloque (generalización de datos mediante una asimilación y eliminación de atributos) o peor aún, todos los objetos aparecen agolpados impidiendo por completo la lectura.

Esta razón ya sería suficiente para implicar la necesidad de un mecanismo de generalización cartográfica que permita una visualización coherente de los datos de una manera más próxima al usuario que los maneja. Pero, además, esto conlleva una ventaja económica asociada, puesto que un sistema capaz de reducir el tiempo empleado por un cartógrafo en la generalización supone una mejora en la eficiencia, por lo que se puede producir un mayor número de mapas.

Además, se pueden indicar dos ventajas adicionales que podrían ser aplicadas a un sistema de este tipo:

- Repetitividad de soluciones: El mecanismo semiautomático desarrollado siempre obtendrá las mismas soluciones frente a los mismos datos, por lo que no se deben esperar comportamientos erráticos.
- Si el sistema alcanza una bondad en soluciones suficiente como para requerir pocas modificaciones por parte del cartógrafo puede ser aplicado como un mecanismo de visualización en tiempo real e incorporado a diversas tecnologías S.I.G. y de servidores de mapas.

Las ventajas económicas y de repetitividad han llevado a numerosos investigadores a enfocar sus esfuerzos dentro de este campo. Los enfoques han sido muy variados, pero por lo general los estudios se han desarrollado de un modo similar al de cualquier otra ingeniería, es decir, dividir el problema en partes y tratar de resolver inicialmente cada una de ellas, para luego resolver la fase de unificación. Esto ha llevado a una proliferación de algoritmos, especialmente en el modelo de realidad vectorial y, sobre todo, en la faceta de elementos lineales, que, según diferentes estudios suelen constituir un 90% de los elementos existentes en un mapa (y por tanto en cualquier B.C.N.), eso sí, incluyendo los límites de los elementos superficiales como líneas. Sin embargo, el

resto de elementos no han sido estudiados en igual manera ni en otros sistemas de representación.

Los esfuerzos iniciales en generalización se basaron únicamente en algoritmos sencillos que se aplicaban por igual a todas las entidades salvo por un conjunto de parámetros que introducía el usuario. Esto evolucionó a sistemas capaces de dividir los objetos en otros más pequeños y proponer diferentes soluciones para cada uno de ellos, hasta llegar a sistemas que además permiten resolver conflictos entre las distintas entidades antes y después de generalizar.

Sin embargo, y pese a que todos los sistemas desarrollados han alcanzado grandes logros en los elementos individuales sobre los que se aplican, todavía se está muy lejos de las soluciones completamente automáticas. Es por esta razón que los esfuerzos iniciales de Universidades y grupos de investigación han ido reduciéndose hasta ser superados por los esfuerzos de las grandes empresas del sector que proponen sistemas no inteligentes, empleando *scripts* o guiones predefinidos que realizan un conjunto de operaciones básicas sobre una zona para poder ser repetidas en un futuro, siendo el usuario (cartógrafo) el que indica todas estas operaciones, un sistema similar a la inteligencia amplificada propuesta por Weibel en (Müller y col., 1995).

Tras esta breve descripción del panorama queda claro que los esfuerzos iniciales en investigación han dejado lugar a los sistemas pragmáticos, sin que se llegue a una solución por parte de unos y otros. Dentro de este panorama se enmarca este trabajo que tratará de resolver una pequeña parte de la generalización que será la de cascos urbanos, que por considerarlos entidad individual permiten su extracción del mapa (eso si junto a sus vías de entrada y otras características adyacentes) para la generalización particular de esta parte y luego integración sin una mayor modificación.

La razón fundamental de aplicar el esfuerzo e investigación que supone esta tesis doctoral a la generalización de un elemento tan localizado como son los cascos urbanos fue debido a que gran parte del tiempo que se emplea en la generalización de mapas es utilizado en la generalización de cascos urbanos. Si a esto se une el conocimiento de que prácticamente todos los organismos oficiales de cartografía utilizan mecanismos manuales. La elección de este elemento particular supone por tanto dos handicaps, el

primero es trabajar en zonas poco investigadas y en segundo lugar reducir al máximo posible el tiempo empleado en esta generalización.

El mecanismo que se va a emplear estará basado en la generalización raster. La razón de la selección de este sistema será justificada posteriormente (apartados 2.3.5 y apartado 2.7.4), pero se puede adelantar que una de las causas fundamentales fue la innovación de probar un modelo de realidad alternativo al ya utilizado por otros investigadores.

1.1. OBJETIVOS.

El objetivo principal que se pretende desarrollar en esta tesis doctoral es la creación de un motor de generalización en entorno raster para aplicarlo sobre diversas partes del casco urbano.

Las limitaciones del objetivo principal vienen impuestas por dos hechos fundamentales:

- No se tratará de buscar una solución automática y universal, sino objetivizar la generalización manual y apoyarla para simplificar en la mayor medida posible los trabajos posteriores de los cartógrafos.
- Los resultados deben ser guiados por la consulta a un grupo de expertos que, por la diversa formación de la cual proceden, serán una fuente importante pero, a su vez, subjetiva.

En cualquier caso, el objetivo principal, necesita para su desarrollo de, al menos, dos objetivos secundarios, en concreto:

- Un sistema que permita segmentar las distintas partes del casco urbano (núcleo histórico, diferentes zonas de ensanche, etc).
- El desarrollo de medidas evaluadoras adecuadas para diferenciar la bondad de la generalización tanto si se dispone o no de la solución manual.

Para el desarrollo de estas líneas se emplearán algoritmos propios y otros adaptados. Como fuente de datos se utilizará cartografía convencional a diferentes escalas y cuestionarios desarrollados sobre la base de algunos existentes en organizaciones nacionales e internacionales.

1.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO.

Para el correcto cumplimiento de los objetivos marcados en esta tesis doctoral los supuestos utilizados se basarán en:

- La posibilidad de reconocer, tal y como hace un experto humano, las diferentes zonas de actuación dentro de un casco urbano de forma total o parcialmente automática.
- La posibilidad de desarrollar nuevas medidas o modificar algunas existentes para detectar una generalización adecuada de una no adecuada si se dispone de un patrón válido para un casco urbano.
- La posibilidad de desarrollar medidas que identifiquen una generalización adecuada sin conocer otra existente.
- La posibilidad de emular el mecanismo empleado por el experto dentro de las zonas diferenciadas.

1.3. DESARROLLO DE LA TESIS.

La tesis doctoral que aquí se presenta seguirá una distribución tradicional de cualquier trabajo de investigación, desarrollando los siguientes apartados (por estricto orden de presentación):

- Antecedentes (Capítulo 2): Se hará una revisión de los trabajos realizados por otros investigadores, así como todos los conceptos que deban ser empleados durante el método y de los sistemas de software disponibles en el mercado.
- Material y método (Capítulo 3): Se describirá el material sobre el que se realizará la tesis doctoral así cómo las razones de su empleo. Después se describirán los métodos desarrollados en esta tesis y las propuestas para el motor de generalización, así como los sistemas de comprobación de resultados.
- Resultados (Capítulo 4): Se analizarán los resultados obtenidos mediante el método empleando análisis visuales, consultas a expertos independientes del proceso y utilizando medidas para la determinación de la bondad de forma automática.

- Conclusiones (Capítulo 5): Se extraerán las conclusiones más importantes del trabajo.

Durante el desarrollo de la tesis doctoral se irán incluyendo conclusiones a los diversos apartados que servirán para la fijar las ideas más relevantes así como para facilitar la lectura de este documento.

Antecedentes

2. ANTECEDENTES.

En este apartado se realizará una revisión de las diferentes materias que se tendrán en cuenta en el apartado de método, y, además se realizará una revisión de los trabajos enfocados en el campo a desarrollar de esta tesis doctoral.

Para entender mejor la diversidad y alcance de los apartados contenidos en este capítulo se considera de interés, en aras a la claridad, incluir aquí una visión general del método que se va a desarrollar (Figura 1).

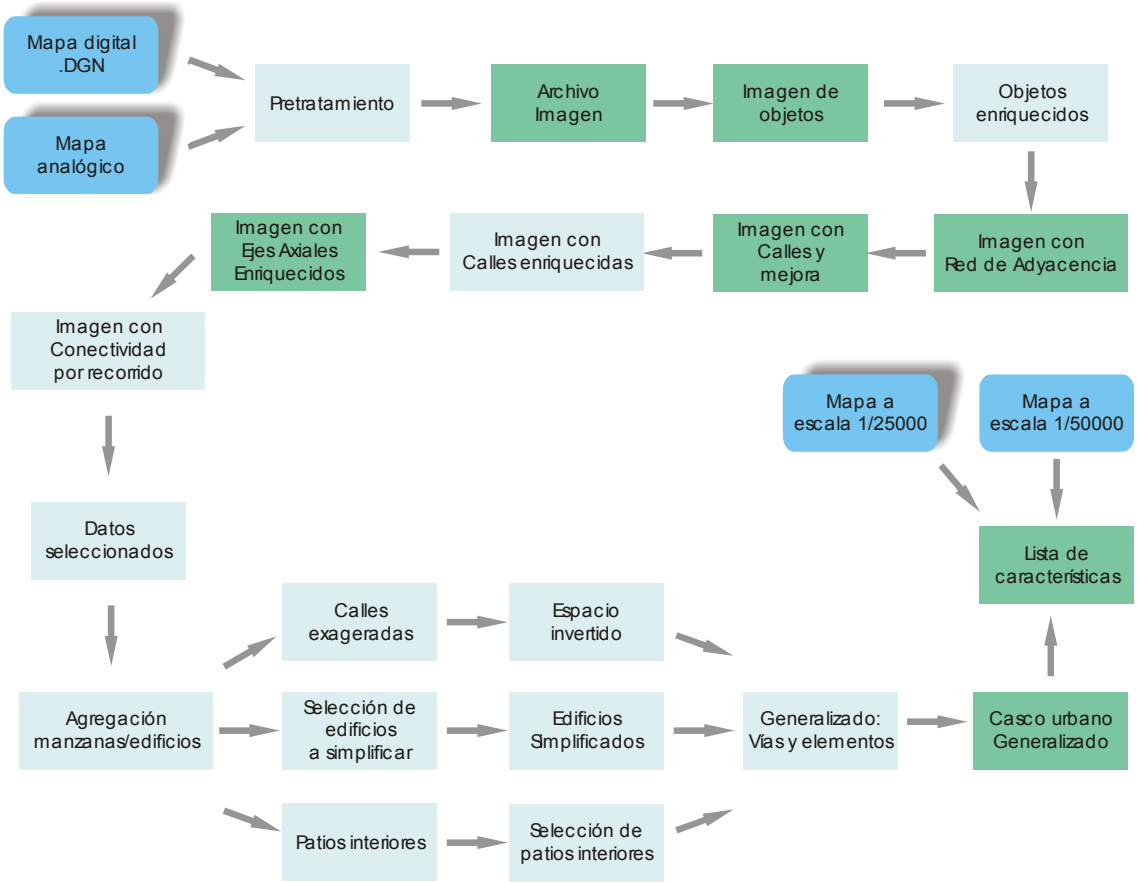


Figura 1. Resumen del método desarrollado en la tesis doctoral. Los rectángulos con sombra representan la imagen de partida (1/25000), los rectángulos verdes imágenes u objetos generados durante el proceso. Los azules claros procesos o resultados intermedios.

Básicamente, el proceso mostrado en la Figura 1 consiste en la determinación de un conjunto de objetos (manzanas, calles, etc.) soportados bajo un doble entorno raster-vector enlazados mediante topología de distancias basadas en la segmentación del espacio en regiones de adyacencia (empleando polígonos de Voronoi). Todos estos

elementos serán enriquecidos añadiendo un conjunto de atributos inicialmente geométricos y posteriormente cualitativos.

Debido a esta diversidad de atributos y doble sistema de representación, es necesario un análisis amplio de los antecedentes que será plasmado en un conjunto de apartados que tratarán de:

a) Modelos de realidad existentes: Es necesaria una descripción para referenciar el modelo a emplear.
b) Modelos de generalización conceptuales: Servirá para dar una idea global de los procesos de generalización y luego clasificar dentro de los mismos los operadores de generalización desarrollados.
c) Morfología matemática: Se utilizará en diferentes operadores de generalización como los cierres, las aperturas controladas para la obtención de ejes axiales de profundidad 1 (ver apartado 3.2).
d) Particiones del espacio: Este proceso será un punto clave de todo el desarrollo del trabajo debido a que las manzanas/edificios siempre son objetos aislados (no tienen contigüidad espacial con otros objetos iguales), por lo que las particiones serán la base de los cálculos de redes de adyacencia (apartado 3.2.2.2) y las calles (apartado 3.2.2.3).
e) Teoría de grafos: Las calles que se obtengan formarán parte de una red viaria, como tal, muchas de las características de las mismas son asimilables a un grafo, entre ellas la que se denominará conectividad por recorrido (apartado 3.2.2.3.5).
f) Elementos perceptivos (*gestalt*): Los elementos perceptivos permitirán realizar selecciones cuyos criterios cumplan con los criterios cognitivos de los cartógrafos.
g) Estado de las investigaciones existentes.
h) Situación del software existente aplicable a generalización: Se analizará el software y las diferentes plataformas desarrolladas por sectores públicos o privados.

2.1. MODELOS DE REALIDAD.

Desde un punto de vista conceptual el mundo representado por la cartografía, como un proceso de abstracción del mundo real, puede llevar a dos puntos de vista diferentes que generan los consiguientes modelos de realidad, así, el mundo real puede ser modelizado mediante:

- Una representación de los elementos más relevantes: Este es el caso típico de representación en un modelo de la realidad vectorial, en el se emplean diferentes entidades (puntos, líneas y superficies) para representar los elementos más importantes de la realidad.
- Una parcelación del espacio y posterior toma de datos dentro de las parcelas: Este es el caso del modelo de realidad raster, donde se obtienen valores medios o puntuales dentro de zonas discretas del espacio con el fin de cuantificar o clasificar un único hecho del territorio.

Ambos modelos de realidad poseen sus pros y sus contras. Por esta razón, conviene realizar una definición más correcta de los mismos que aproxime en mayor medida las posibilidades individuales:

- El modelo de representación vectorial es un modelo donde la realidad es continua en espacio, su construcción se basa en el álgebra vectorial y sus elementos de representación son el punto, la línea y la superficie.
- El modelo de representación raster es un modelo donde la realidad se encuentra discretizada espacialmente y en atributo, sus elementos de representación son siempre estructuras superficiales capaces de llenar el espacio. Así, por ejemplo en una imagen[1] digital en blanco y negro los elementos discretos son estructuras cuadradas que cuantifican la cantidad de brillo de una longitud de onda determinada.

Ante estos dos modelos es claro que ambos son contrapuestos, las ventajas e inconvenientes parten precisamente de su fundamento, así, por ejemplo, un modelo de representación vectorial admite la inclusión de múltiples atributos para cada objeto,

[1] Representación de una característica cuantitativa o cualitativa del terreno previa subdivisión del mismo en un conjunto de celdas que cubran la superficie del mismo, y que generalmente serán cuadradas. Por tanto, la imagen estará formado por un número determinado de filas (eje Y) y columnas (eje X), siendo el orden ascendente de filas de arriba a abajo y el de columnas de izquierda a derecha.

mientras que en un modelo de representación raster es necesaria una imagen para cada uno de estos atributos. Por el contrario, operaciones muy usadas, como la superposición de mapas son sencillas en el modelo raster donde son simples cálculos entre celdas, y muy complejas en el modelo vectorial, donde requieren operaciones de intersección y cálculo de topologías.

Como se puede observar ningún modelo es excluyente de otro ni tampoco es mejor que el otro, en el entorno SIG se está optando por aplicar las operaciones en el modelo de implementación más sencillo o más rápido, para, posteriormente, realizar de nuevo la conversión al modelo de realidad utilizado. Estos cambios en los modelos de representación conllevan una pérdida de precisión y forma de los objetos por lo que, según indican Peter y Weibel (1999), no deben ser repetitivamente utilizados, y tan sólo empleables de forma puntual en algunos procesos.

Como el trabajo de la tesis se centrará en la utilización del modelo de realidad raster, aunque de una forma algo diferente a lo acostumbrada, se desarrollará este modelo en mayor profundidad.

2.1.1. MODELO DE REALIDAD RASTER.

El fundamento del modelo de representación raster digital es muy próximo al de muestreo, en la realidad se toma una zona de donde se extraen una serie de datos o muestras, si dichas muestras se obtienen de puntos aislados se denomina modelo raster en malla (por ejemplo al crear un modelo digital de elevaciones en fotogrametría), si por el contrario se dispone de los valores medios de pequeñas superficies se emplea el concepto de celdilla o píxel (como los datos de los satélites de teledetección). En cualquier caso, se discretiza el espacio y se eliminan los problemas de obtener valores en todos los infinitos puntos de una zona sustituyéndolos por una muestra de los mismos. Para reducir aún más los datos se llega a su discretización en el eje de atributos, reduciendo los valores a una serie de “clases”. Un ejemplo claro de esta representación son los datos obtenidos de sensores de teledetección, ya que de todos los valores de intensidad recibidos se muestrean un número determinado de los mismos, y de la diferencia de voltaje producida en el sensor se muestrean a su vez una serie de

intervalos, este doble muestreo, espacial y de atributos es lo que conduce a las actuales representaciones raster.

La representación de objetos en el formato raster es implícita, ya que se posee todo el conocimiento de la zona, para cualquier píxel se puede obtener su valor o atributo representativo, pero se desconoce la forma de los objetos que generan dicha representación, objetos que para ser obtenidos necesitan de gran cantidad de cálculos adicionales.

Por esta razón las B.C.N. (Bases Cartográficas Numéricas) raster son, en cierta forma, opuestas a las vectoriales, y su representación es también bastante diferente. Existen una gran variedad de formas de almacenamiento de un modelo de representación de datos raster, el más básico, y el empleado en la mayor parte de los casos, es el denominado almacenamiento extensivo, es decir, donde se guarda el valor de todos los píxeles o celdas de forma explícita. Aparte de esta forma de grabación existen otras cuyo objetivo fundamental es la reducción del espacio necesario para el almacenamiento de la información en formato raster, basándose en todos los casos en eliminar la repetición de los datos como la codificación *Run-Length*, los basados en transformaciones como el JPEG (*Joint Photographicc Expert Group*), el WI (Basado en la transformación Wavelet), así como otros que extraen su fuerza de cambiar la forma de agrupación de píxeles, como el *Run-Length* basado en el orden de Hilbert o de Morton, o los ya conocidos Quadtrees que dividen el espacio en función de la necesidad de precisión del mismo.

Todos los diferentes mecanismos de almacenamiento de representación raster poseen ventajas e inconvenientes claros, pero en general, se recomienda el empleo del modelo de representación exhaustiva para poder realizar ciertas operaciones, como por ejemplo los gradientes, que son imposibles de calcular en otros tipos de almacenamiento salvo tras su conversión a extensivo.

2.2. MODELOS DE GENERALIZACIÓN.

La conversión de todos los datos analógicos a formato digital ha arrastrado consigo a la cartografía. Los métodos digitales son rápidos, repetitivos y revisables, además de dotar

al cartógrafo de herramientas antes no disponibles, y poder unir los datos de un conjunto de fuentes diferentes (teledetección, fotogrametría, captura topográfica o bases alfanuméricas de encuestas) en una única base de datos. Este hecho ha llevado a la producción de mapas en formato digital para su posterior impresión en papel o difusión directa en ese formato digital. Actualmente la idea es avanzar un paso más, es decir, aprovechar estos datos ya obtenidos para conseguir mapas a menores escalas o con fines diferentes a los originales, aquí es donde aparece la necesidad de generalizar, necesidad con la que no todos los cartógrafos están de acuerdo, pero que resulta patente en los casos antes citados.

La generalización es "*uno de los procesos cartográficos que pone en juego las técnicas y desarrollos intelectuales más importantes del cartógrafo*" (McMaster, 1992). Es por esta razón que el proceso de generalización es uno de los más difíciles de obtener de forma automática, y por lo que es uno de los campos de mayor investigación ya desde los trabajos de Eckert en 1921, hasta la actualidad. De hecho, han existido numerosos intentos de esquematizar el proceso de generalización que realizaban los cartógrafos, dando lugar a un gran número de modelos conceptuales de generalización (se extraen algunos de McMaster, 1992):

- El Modelo de Ratajski (1967): Divide los procesos de generalización en cuantitativos y cualitativos, los primeros consisten en la reducción del contenido del mapa en función de la escala, y los segundos son los procesos de generalización resultantes de la transformación de formas elementales de simbolización a otras más abstractas.

  El concepto más interesante de su modelo es el denominado Punto de Generalización, es decir, el momento en el cual es necesaria la aplicación de la generalización. Para Ratajski este momento viene definido por la pérdida de capacidad interpretativa del mapa, cuando esto ocurre es necesaria una generalización.
- El Modelo de Morrison (1969): Este modelo se basa en cuatro elementos básicos de generalización que se aplican siguiendo esta secuencia: clasificación, simplificación, simbolización e inducción. Conceptualiza el desarrollo de la obtención del mapa como una serie de transformaciones sobre un conjunto de elementos, el conjunto inicial es la realidad, de la cual el cartógrafo, mediante conocimientos propios y una clasificación de dicha

realidad, obtiene otro conjunto, al que luego se aplica la simplificación, simbolización y finalmente la inducción, obteniendo lo que denomina el mapa físico.

- El Modelo de Generalización de Cuenin (1972): Se centra en el empleo de tres mecanismos básicos: selección, esquematización y armonización. Así, en primer lugar, se escogen los elementos importantes para la escala y función del mapa eliminando el resto. Después, se simplifican y aplican las operaciones de generalización necesarias. Finalmente se debe armonizar el conjunto del mapa, tratando de eliminar la falta de homogeneidad entre todos los elementos y manteniendo su topología.
- El Modelo de Nickerson y Freeman (1986): Este modelo fue desarrollado para su aplicación en sistemas expertos. Parte de un mapa a una escala al que se le aplican una serie de operaciones sobre los símbolos (borrado, combinación, simplificación), luego se realiza un escalado de los mismos y se obtiene un *mapa a escala intermedia*, donde todos los símbolos se encuentran ampliados un factor igual a la relación de escalas pero los datos están a la escala original. Nickerson y Freeman proponen, después de obtener el mapa a escala intermedia, la nueva localización de los símbolos y elementos del mapa, para hacer finalmente el escalado y la recolocación de la toponímia, obteniendo así el mapa a la escala final.
- El Modelo de Brassel y Wibel (1988): Este modelo divide la generalización en cinco procesos interrelacionados:
    - Reconocimiento de estructuras, donde se identifican los objetos, sus relaciones e importancia de los mismos.
    - Reconocimiento de procesos, donde se seleccionan los procesos apropiados para la generalización deseada.
    - Modelado de procesos: En este paso se compilan las reglas y procedimientos de la librería de procesos.
    - Ejecución del proceso: Los datos del modelado de procesos son aplicados a la base de datos original para obtener la generalizada.
    - Visualización de resultados.

Todos los modelos poseen desarrollos bastante acertados, aunque incompletos, el modelo conceptual comprensivo de McMaster y Shea (1992) va a unificar todos los demás modelos y contestará a todas las preguntas de cómo, cuándo y por qué generalizar.

Pese a que posteriormente se han desarrollado otros modelos conceptuales, no se consideran suficientemente importantes como para su comentario, además, las mejoras e investigación actuales no van guiadas por el empleo de un modelo conceptual más o menos elaborado, sino por un conjunto de mecanismos más o menos sofisticados que permitan la generalización.

2.2.1. MODELO DE GENERALIZACIÓN DE CUENIN.

El modelo de generalización propuesto por Cuenin (1972), es un modelo simple en su concepción pero que cumple con todos los requisitos para que su aplicación consiga resultados adecuados. Se basa en la siguiente definición:

> "La generalización es por tanto la operación que, por selección, esquematización y armonización, reconstituye sobre el mapa la realidad de la superficie representada extraídas en función del destino del mapa, de su tema, de su escala y de las particularidades de la región cartografiada."

Tanto Cuenin como otros autores (McMaster, Müller, etc.) están de acuerdo con la definición de la necesidad de la generalización en función del destinatario, del tema y por variaciones de la escala. Quizás lo más innovador de este modelo sea la determinación de los pasos a seguir para realizar la generalización: la selección, esquematización y armonización.

2.2.1.1. Selección.

Para Cuenin la Selección es el método por el cual, cuando existen conflictos entre diferentes objetos en un mapa se eligen aquellos de mayor relevancia eliminando los

que se consideran menos interesantes. Los criterios de selección pueden ser cualitativos o cuantitativos, los primeros pueden ser, la elección de una ciudad por su rango administrativo, frente a un criterio cuantitativo como la selección de una vía en función de su longitud. Evidentemente, en todos los casos el umbral de aplicación o no de la selección viene determinado por una pérdida de la legibilidad del mapa, en ese momento será necesario distinguir entre elementos importantes o no para la representación deseada.

2.2.1.2. Esquematización.

La primera fase de la esquematización es la creación de simbología asociada a los elementos del mundo real a representar, ya desde el estado de concepción inicial del mapa. Se distinguen dos tipos de esquematizaciones:

a) La esquematización estructural: Que consiste en "*la simplificación voluntaria de las formas de los elementos lineales y de los contornos de los elementos zonales; como resultado de una parte de la supresión de sinuosidades y de angularidades donde la amplitud es demasiado pequeña con respeto a las reglas de legibilidad*". Además, en ciertos casos es necesario mantener algunos accidentes dentro de los objetos geográficos, debidos fundamentalmente a su importancia para el destino del mapa, lo que obliga a una exageración de estos accidentes y una supresión de otros, dando lugar a la operación que se denomina *caricaturización*.

b) La esquematización conceptual: Es el "*resultado de un cambio en el nivel de observación; la reducción del número de categorías de objetos representados se traduce en el abandono de las clases inferiores para una mayor separación en los intervalos de las clases conservadas, en valores cuantitativos y cualitativos, y, eventualmente, por una modificación de la implantación*". En este caso se denomina como *implantación* al tipo de simbología asociado a un objeto, así, por ejemplo, en el caso de los cascos urbanos pueden ser desde elementos superficiales a simplemente un símbolo puntual.

2.2.1.3. Armonización.

Para Cuenin éste es el concepto que guía todos los pasos de generalización, ya que según sus propias palabras:

> *Poco a poco la elección de la estructura, la implantación y del número exacto de objetos, junto con las reglas llevan al riesgo, conscientemente o no, de romper el equilibrio natural del mapa para favorecer ciertas categorías de detalle en detrimento de otras [...].*[2]

Es decir, la armonización es un concepto que permite evitar los errores provocados por los efectos de la generalización y la simbolización asociadas a los elementos gráficos que hace una equiparación de elementos reales de muy diferente categoría. Así, la armonización se puede definir como la conservación de la posición relativa de ciertos objetos juiciosamente seleccionados, y el mantenimiento de las proporciones entre los diversos elementos del mapa (seleccionados y esquematizados en un grado comparable), de tal forma que se preserve la concordancia geográfica y la coherencia de la representación.

Según la definición anterior la armonización es una especie de sistema supervisor que permite mantener la sensación global del mapa independientemente del grado de generalización sufrido.

2.2.2. MODELO CONCEPTUAL DE ROBINSON Y COL. (1987, TEXTO ORIGINAL DE 1984).

El modelo de Robinson y col. se desarrolla fundamentalmente distinguiendo dos partes claves en el proceso de generalización:

---

[2] El texto extraido del documento original es : "*Au fur et à mesure que l'on séloigne de la structure, de l'implantation et du nombre exact des objets, on accroit la part de convention et on risque, consciemment ou non, de rompre l'equilibre natural de la carte en favorisant certaines catégories de détails au détriment des autres […]*"

- Elementos: Estos son las diversas operaciones que se incluyen en la generalización cartográfica.
- Controles: Mecanismos de guiado de los elementos que los adecuan a las diferentes necesidades de los mapas.

Se desarrollarán cada una de estas claves en apartados diferentes.

2.2.2.1. Elementos de la generalización.

Tal y como se ha expresado en la introducción anterior, los elementos de la generalización son las operaciones cartográficas, en este sentido los autores distinguen cuatro categorías de procesos:

- Simplificación: Son todas aquellas operaciones que tratan de determinar las características más relevantes de los datos para la eliminación de aquellos elementos no interesantes para un mapa y la exageración de los más importantes.
- Clasificación: Es una operación similar a la anterior, es decir, trata de obtener los elementos relevantes de entre los disponibles, pero, en lugar de hacerlo mediante una eliminación, se realizará mediante una redistribución de clases buscando una reagrupación, ordenación o escalado de los datos.
- Simbolización: En esta categoría se engloban todos aquellos elementos que permiten asignar los diferentes tipos de símbolos a los objetos que han pasado por cualquiera de los dos procesos anteriores.
- Inducción: Se engloban dentro de inducción todos aquellos procesos lógicos que permiten la obtención de nueva información, o una mejor representación de la información existente, a partir de los datos disponibles. En ejemplo de los propios autores la representación de un mapa de isotermas en lugar de simples elementos puntuales mostrando temperaturas.

2.2.2.2. Controles de la generalización.

Por controles de la generalización se entienden todos aquellos mecanismos que guían los elementos de generalización anteriormente expuestos. Robinson y col. (1987) indican los siguientes:

- Objetivo: El objetivo viene representado por la finalidad que debe cumplir el mapa, esto limitará los elementos más importantes dentro de la generalización, por lo que fijará los procesos de selección.
- Escala: Este es un *"factor fundamental en el tipo y grado de generalización que debe utilizarse"*. Así, para escalas grandes la mayor parte de la generalización se realiza mediante clasificación y simbolización, mientras que para escalas pequeñas se emplean más simplificaciones manteniéndose el proceso de simbolización. Lo más importante, en todo caso, es mantener una armonía entre el grado de generalización aplicado a todos los elementos del mapa teniendo en cuenta las posibles variaciones internas de escalas.
    - Limitaciones gráficas: Los objetos se representan empleando 7 elementos gráficos básicos (color, valor, tamaño, forma, espaciado, orientación y localización) cuya interpretación se ve afectada por variables físicas, fisiológicas y psicológicas.
- Calidad de los datos: El mapa debe mantener la mayor calidad posible respecto de las fuentes originales, sin embargo, también debe indicarse dicho grado de exactitud en el mapa, bien sea mediante explicaciones o mediante diagramas representativos.

2.2.3. MODELO CONCEPTUAL COMPRENSIVO DE MCMASTER Y SHEA (1.992).

El modelo de McMaster y Shea se basa en tres principios básicos que desarrollan lo que es la generalización:

- Los objetivos filosóficos: Que indican por qué debemos generalizar.
- La evaluación cartométrica: Que indica cuándo se debe generalizar.
- Las transformaciones espaciales y de atributos: Que indican cómo se debe generalizar.

2.2.3.1. Objetivos filosóficos.

Las necesidades de generalización son denominadas por McMaster y Shea como objetivos filosóficos, que subdividen en tres grandes clasificaciones:

- Elementos teóricos: Son aquellas necesidades que aparecen al reducir la escala de un mapa. Distinguen las siguientes: reducción de la complejidad,

mantenimiento de la precisión espacial y de atributos, mantenimiento de la calidad estética, de la jerarquía lógica y aplicación consistente de las reglas de generalización. En cierta medida estas son las razones más comunes para la aplicación de la generalización, ya que la complejidad alcanzada por el mapa reducido es una de las principales consecuencias observadas.

- Elementos específicos de la aplicación: Se refieren a las limitaciones que se imponen sobre los datos en función del uso definitivo del mapa, distinguiendo tres elementos fundamentales: el propósito del mapa y los usuarios finales, la propiedad de la escala seleccionada y el mantenimiento de la claridad y legibilidad del mapa.
- Elementos computacionales: Con el aumento de la potencia informática la cantidad de datos geográficos almacenados y procesados ha aumentado en la misma medida. Por esta razón, los problemas no resolubles por tiempo o espacio de almacenamiento permanecen siendo irresolubles para el nuevo volumen de datos.

2.2.3.2. Evaluación cartométrica.

El segundo gran apartado del modelo conceptual comprensivo de McMaster y Shea se refiere al hecho de cuándo se generaliza, es decir, la evaluación cuantitativa de algunas propiedades del mapa (cartometría), que se vuelve a subdividir en tres grandes grupos:

- Condiciones geométricas: Son los problemas o conflictos geométricos que pueden ocurrir al reducir la escala de un mapa, es decir, si los objetos geográficos se superponen unos a otros (coalescencia), el excesivo número de elementos en una zona (congestión), etc. Todos ellos determinan una pérdida en la legibilidad del mapa final.
- Medidas espaciales y lógicas del mapa: Son un conjunto de índices y valores que determinan de una forma más o menos aproximada parámetros para indicar la necesidad de generalización del mapa a la escala reducida, así, se tienen cálculos de densidad, de distribución, longitud y sinuosidad, de forma, de distancia, de comportamiento perceptivo y medidas abstractas (complejidad, homogeneidad, ... que difícilmente son cuantificables mediante operaciones sencillas).

- Controles de las transformaciones. Son tres grupos de controles que distinguen qué elementos vamos a emplear, y los operadores y parámetros apropiados para generalizar sobre los elementos seleccionados. Un ejemplo parecido de este control se puede ver en Ruas (1999) y en el Proyecto Agente (basado en los sistemas de conflictos de Ruas).

2.2.3.3. Transformaciones espaciales y de atributos en Generalización.

En este último gran apartado del modelo conceptual comprensivo es donde se muestran las operaciones que se van a emplear para la generalización, sin embargo, los operadores existen mucho antes, de hecho, tanto Cuenin (1973) como Robinson (1984) ya utilizan algunos de ellos. El interés de mostrar este listado es porque esta es la primera clasificación de operadores propuesta por cualquier modelo conceptual. McMaster y Shea distinguen dos grandes grupos en función de sobre qué se trabaje, así diferencian entre transformaciones espaciales, referidas a modificaciones aplicadas sobre los elementos que definen los objetos (puntos, líneas y superficies), y transformaciones de atributos, referidas a cambios que se producen en la información representada por el objeto. Las transformaciones espaciales propuestas aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Transformaciones espaciales vectoriales indicadas por McMaster y Shea (1992).

Operación	Descripción
Simplificación	Es una reducción en la complejidad del elemento, como puede ser una reducción del número de nodos en una polilínea, pero manteniendo las partes más significativas.
Suavizado	Reduce cambios bruscos en los elementos, pudiendo estos perder parte de su aspecto original, pero manteniendo las tendencias.
Agregación	Unión de varios elementos puntuales formando un área continua, este proceso generalmente ocurre debido a que los elementos areales al ser escalados dan lugar a puntos que luego unificamos bajo una misma superficie.
Amalgamado	Unión de varios elementos superficiales para formar un nuevo elemento areal continuo.
Unión	La unión es la aplicación de las 2 funciones anteriores sobre elementos lineales, fusionando por ejemplo los 2 límites de una carretera, ...
Colapso	Reducción de los elementos superficiales a elementos lineales o puntuales por efecto de acercamiento de sus límites.

Operación	Descripción
Refinamiento	Eliminación parcial de algunos objetos, por ejemplo la eliminación de unos afluentes de un río a una determinada escala.
Exageración	Ampliación de ciertos elementos importantes para su perfecta visualización tras el cambio de escala.
Mejora	Cambio de la simbología empleada con un elemento para el mantenimiento de los más significativos.
Desplazamiento	Consiste en recolocar los elementos del mapa para evitar conflictos. Además sirve para subsanar los problemas que generan otros operadores como la exageración, la mejora, el suavizado, etc. que provocan superposiciones de elementos, y por tanto, una necesidad de desplazamientos para evitar dichas colisiones.

Las transformaciones de atributos definidas en el modelo, que representan además los métodos de generalización raster, son de dos tipos básicos:

- Clasificación: Es la agrupación de objetos en categorías que comparten atribuciones similares o idénticas.
- Simbolización: La simbolización es el proceso que hace visible los resultados de la generalización. Ocurre como consecuencia de dos casos, el primero es debido a una modificación en la escala de medida de los datos, por ejemplo una conversión de una escala de intervalos en ordinal. El segundo caso se debe a un cambio en el tipo de datos, en este caso se refiere a efectos propios de datos geométricos, como por ejemplo pasando de representaciones superficiales a lineales.

En ningún momento de estos apartados del modelo conceptual se ha relacionado los operadores con su aplicación en el campo de representación raster. Primero, y para no dar lugar a dudas, se considerará que el cambio de atributos de un modelo raster provoca, aunque sólo de forma visual y nunca en estructuras puesto que no se dispone de objetos sino de píxeles, la impresión en el usuario de la aplicación de operadores espaciales, por lo que es totalmente legítima la relación entre ciertas operaciones y su posible aplicación a la representación raster.

Siguiendo el criterio del párrafo anterior los operadores de simplificación, suavizado, agregación y mejora no tienen una aplicación u obtención directa por los métodos raster actualmente empleados. Por el contrario, los operadores de amalgamación, unión y

colapso son fácilmente obtenibles mediante el empleo bien de un filtrado, bien de la aplicación de algún operador morfológico. Las operaciones de exageración y desplazamientos también son fácilmente emulables mediante métodos de morfología matemática, empleando núcleos o elementos relativamente simples.

La operación de refinado, tal y como está descrita, es de difícil aplicación, salvo que se obtengan medidas auxiliares como distancias u otro tipo de elementos que permitan la reconstrucción del objeto, lo que obligaría a un paso al dominio vectorial, por lo que no sería plenamente aplicable desde el punto de vista raster.

Con respecto a las transformaciones de atributos, estas son igualmente factibles en el modelo vectorial y raster, debido, fundamentalmente a que en el segundo se almacenan atributos, de forma que es posible reclasificarlos o cambiar su tipo, aunque con un coste temporal superior que en el primero.

2.2.4. CONCLUSIONES A LOS MODELOS DE GENERALIZACIÓN.

Existen muchos y muy diversos modelos de generalización, en el apartado 2.2 se han desarrollado los más conocidos. La mayor parte de ellos tratan la generalización desde el punto de vista de un cartógrafo experimentado, aunque en algunos casos (McMaster y Shea, 1992) estos modelos incluyen conceptos y desarrollos más aplicados al entorno de generalización automática, semiautomática o asistida.

En cualquier caso, el modelo de representación raster se ve como una especie de añadido a los modelos convencionales vectoriales en la generalización, tratándolos sólo como modificaciones de los atributos (valores o niveles digitales de las imágenes raster), y sin concederles otras características esenciales como mecanismos de selección, etc.

De todas formas, el estudio de los modelos lleva al conocimiento de parámetros esenciales como son las mínimas distancias interobjetos, las superficies mínimas cartografiables, etc. Así como la necesidad, muy importante, del concepto de Armonización (Cuenin, 1972), o del porqué generalizar (McMaster y Shea, 1992).

2.3. MORFOLOGÍA MATEMÁTICA.

La morfología matemática es la ciencia de la figura, forma y estructura, basada en la teoría de conjuntos. Fue desarrollada por los geoestadistas franceses G. Matheron y J. Serra durante la década de los 60 (Matheron, 1.975; Serra, 1.982). Desde entonces ha encontrado una aplicación creciente en el proceso de imágenes digitales (Su, Li y Lodwick, 1.997b).

La morfología matemática se puede dividir en dos grandes apartados, los conjuntos de aplicación y las operaciones a aplicar, que tiene gran analogía con el álgebra tradicional, de forma que las operaciones serían las sumas, restas, productos, ... y los conjuntos serían los operandos. Matheron y Serra distinguen dos tipos de operandos, las imágenes y los elementos estructurantes, los primeros son el conjunto de datos sobre el que se aplicara la operación, también denominada transformación, y el segundo son los datos que se desea comparar de alguna forma con el conjunto inicial. Dicho así puede parecer extraño, pero, estos dos conjuntos de datos se usan cotidianamente en muchas aplicaciones, así, por ejemplo el contar el número de píxeles de la imagen se puede ver desde el punto de vista de una transformación, donde los datos de partida son la imagen de la que se van a contar los píxeles, y el elemento estructurante sería un píxel del color que se desea contar, la transformación a realizar sería simplemente dejar como 1 todos los píxeles de la imagen donde al situar el elemento sobre los mismos se tuviera el valor deseado y como 0 el resto, dando como resultado una imagen donde los píxeles de valor 1 nos indicarían el número de coincidencias (ver Figura 2).

Figura 2. Transformación para contar los píxeles negros.

La transformación antes propuesta tiene, por supuesto, una resolución más directa y rápida, pero la fuerza de dicha transformación radica en que es posible, modificando el elemento estructurante, no sólo contar píxeles, sino figuras más complejas. Así Serra y

Matheron definen los elementos estructurantes como un conjunto de datos que pueden ser:

- Puntos que deben pertenecer a la imagen.
- Puntos que deben pertenecer a la imagen complementaria.
- Puntos que pueden pertenecer a la imagen o la complementaria, y por tanto, no indican ninguna condición.
- Origen del elemento estructurante.

Se desarrollará un ejemplo de aplicación de un elemento estructurante con las especificaciones anteriores (ver Figura 3).

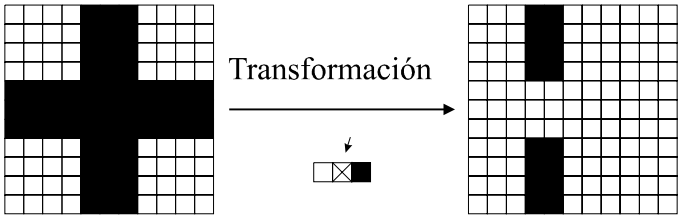


Figura 3. Transformación aplicada al elemento estructurante. El elemento tiene un píxel blanco que indica que debe pertenecer al fondo, uno con cruz que no indica condición y uno negro que debe pertenecer a la figura. La flecha indica el punto de aplicación.

Como se puede observar en la imagen anterior, la aplicación del nuevo elemento da el número de coincidencias con el elemento propuesto, de forma que sólo se mantendrán los píxeles que tengan a su izquierda uno blanco y a su derecha uno negro, sin importar lo que valga el valor central. El punto de aplicación ha provocado además un efecto de desplazamiento de los valores.

Una vez desarrollados los operandos, se explicarán las operaciones realizables, para simplificar su estudio se clasifican en los siguientes tipos:

- Operaciones Básicas: Dilatación y erosión.
- Operaciones compuestas: Apertura y cerramiento.
- Otras operaciones: Transformación de prueba y fallo, aligerado y engrosamiento.
- Operaciones condicionadas: Aplicación de los tres conjuntos de operaciones anteriores a elementos limitados mediante máscaras.

2.3.1. OPERACIONES BÁSICAS.

Existen dos operaciones básicas en la morfología matemática que son la dilatación y la erosión. Se desarrollarán ambas junto con sus pseudocódigos y las complejidades algorítmicas asociadas[3]. Por comodidad, en todos los ejemplos gráficos se utilizarán elementos estructurantes cuyo punto de aplicación es el píxel central, representando además los píxeles blancos una condición nula.

La dilatación es el equivalente a la operación de unión de conjuntos para la morfología matemática, la fórmula que la representa es:

$$A \oplus B = \{a + b : a \in A, b \in B\} = \cup_{b \in B} A_b$$

Esta operación viene a expresar el efecto de aumento de píxeles figura que produce el paso de cualquier elemento B sobre una imagen A siempre que algún píxel de B este contenido en A.

En la Tabla 2 y en la Figura 4 se muestra el pseudocódigo de la operación propuesta junto a un ejemplo aplicado sobre una imagen.

---

[3] Se define como orden de complejidad el tiempo que tarda en ejecutarse un algoritmo en función del tamaño y del contenido de los datos, independientemente del compilador o procesador empleado para la ejecución del mismo (Peña, 1998). En este aspecto se distinguen tres ordenes de complejidad en función del tiempo T(x) que representen:

- Tiempo menor: Representa la cota asintótica por debajo del tiempo de ejecución en función de los datos. Su notación es $\Omega(n)$
- Tiempo mayor: Representa la cota asintótica máxima en función de los datos. Es la que suele denominarse, caso peor. Se denomina O(x)
- Tiempo medio: Es la cota asintótica de ejecución media probabilística del algoritmo. No existe notación explícita debido a que en algoritmos complejos requiere de cálculos estadísticos no solucionables, por lo que se suele notar indicando tiempo medio T(x).
- Tiempo exacto: En el caso en el que el tiempo mayor y menor sean iguales se dice que existe orden exacto de complejidad y se nota Θ (x)

Por regla general se estudiará el caso peor y se dará el orden peor. Como ejemplo de la necesidad de este estudio podría valer el que un O(n) es un orden lineal y tardará un tiempo proporcional para resolución del algoritmo empleando 1000 datos como 10000 datos. El $O(n^2)$ tardará un tiempo cuadrático, lo que supone que cualquier duplicación en el número de datos provoca un tiempo de ejecución cuatro veces superior, etc.

Tabla 2. Pseudocódigo del algoritmo de Dilatación.

Algoritmo de Dilatación	
Entrada:	Imagen Original (E)
	Núcleo morfológico (M)
Salida:	Imagen Dilatada (S)

Procedimiento:

```
S = CrearImagen(Filas(E),Columnas(E))
Desde i = 0 hasta Filas(E)
  Desde j = 0 hasta Columnas(E)
    Cumplimiento_Condicion = Falso
    k = 0
    Mientras No(Cumplimiento_Condicion) y k < Numero(M)
      Si E.Píxel(i,j) cumple M.Condicion(k) entonces
        S.Píxel(i,j) = 1
        Cumplimiento_Condicion = Verdadero
      Fin de Si
      k = k + 1
    Fin de Mientras
    Si No(Cumplimiento_Condicion) entonces
      S.Píxel(i,j) = 0
    Fin de Si
  Fin de Desde
Fin de Desde
Devolver S
```

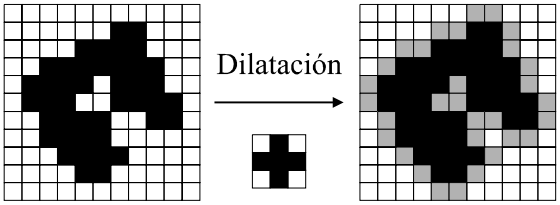


Figura 4. Dilatación de una imagen. Los píxeles grises representan las celdas que han pasado a formar parte del objeto.

El procedimiento así descrito y desarrollado tiene una complejidad algorítmica máxima de O(n*m), es decir un orden máximo de Tamaño Imagen * Tamaño Núcleo.

La erosión es la operación dual de la dilatación, y representa el resultado del paso de un elemento estructurante B sobre la imagen A, donde sólo quedarán aquellos píxeles que contengan por completo al elemento estructurante, su definición formal viene dada por la siguiente ecuación:

$$A\Theta B = \{a : a + b \in A, b \in B\} = \cap_{b \in B} A_b$$

Al igual que la operación anterior, en la Tabla 3 y en la Figura 5 dos se describirán su implementación y un ejemplo de la misma.

Tabla 3. Pseudocódigo del algoritmo de erosión.

Algoritmo de Erosión	
Entrada:	Imagen Original (E)
	Núcleo morfológico (M)
Salida:	Imagen Erosionada (S)

Procedimiento:

```
S = CrearImagen(Filas(E),Columnas(E))
Desde i = 0 hasta Filas(E)
  Desde j = 0 hasta Columnas(E)
  Cumplimiento_Condicion = Verdadero
  k = 0
  Mientras Cumplimiento_Condicion y k < Numero(M)
    Si E.Píxel(i,j) cumple M.Condicion(k) entonces
      S.Píxel(i,j) = 0
      Cumplimiento_Condicion = Falso
    Fin de Si
    k = k + 1
  Fin de Mientras
  Si Cumplimiento_Condicion entonces
    S.Píxel(i,j) = 1
  Fin de Si
  Fin de Desde
Fin de Desde
Devolver S
```

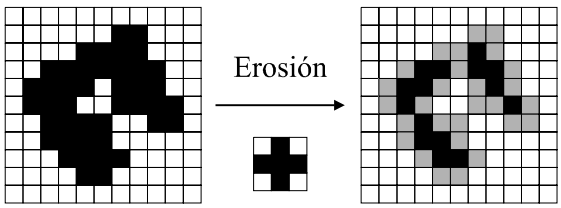


Figura 5. Erosión de una imagen. Los píxeles grises representan los elementos que han pasado de figura a fondo.

Las consideraciones de complejidad algorítmica aplicables al algoritmo de dilatación son equivalentes para este algoritmo, por lo que se considera que su orden es O(n*m)

2.3.2. OPERACIONES COMPUESTAS.

Las dos operaciones desarrolladas en el apartado anterior se componen para obtener otras dos más complejas denominadas apertura y cerramiento.

La primera de ellas, la apertura, consiste en una ampliación de la separación entre objetos. Se basa en la aplicación de una erosión mediante un núcleo estructurante y posteriormente una dilatación de la imagen resultante empleando el mismo elemento. Su formulación viene determinada por :

$$A \circ B = \left(A \Theta B\right) \oplus B$$

Resulta evidente que no es necesaria la creación de un pseudocódigo propio, ya que las dos operaciones utilizadas ya han sido desarrolladas anteriormente y, la solución a esta operación consistirá únicamente en la aplicación sucesiva de las dos operaciones anteriores. Sin embargo, si es aconsejable ver su empleo en la imagen que se esta tratando (Figura 6). En cuanto a la complejidad algorítmica conseguida es del mismo orden que las operaciones individuales O(n*m) ya que la aplicación de un factor constante no cambia el grado de complejidad.

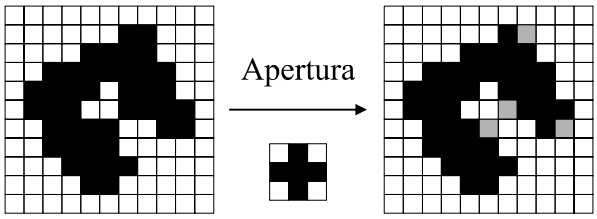


Figura 6. Apertura de la imagen. Los píxeles grises son las celdas que han pasado a formar parte del fondo.

La segunda operación es la opuesta a la anterior, denominada como cerramiento, y consiste en la aplicación sucesiva de una dilatación y una erosión. La formulación que la describe es:

$$A \bullet B = \left(A \oplus B\right) \Theta B$$

Las consideraciones realizadas para la apertura son igualmente aplicables al cerramiento en cuanto a su desarrollo y su complejidad. Un ejemplo de dicha operación aparece en la Figura 7.

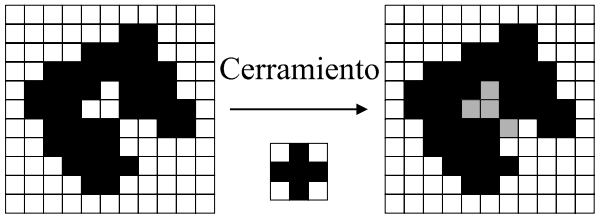


Figura 7. Cerramiento. Los píxeles grises representan los añadidos al objeto original.

2.3.3. OTRAS OPERACIONES.

Existen otras tres aplicaciones descritas por Serra (1982) que representan operaciones más complejas pero que, por regla general, son menos utilizadas.

La primera de ellas es la denominada transformación de prueba y fallo (*Hit & miss transformation*) y viene a indicar la diferencia entre los píxeles modificados por un

núcleo estructurante respecto de otro bajo la aplicación de la operación de erosión. Se encuentra determinada por la siguiente ecuación:

$$A \otimes T = A \otimes (T_1, T_2) = (A \Theta T_1) \cap (A^C \Theta T_2)$$

En la ecuación anterior A^C representa la imagen complementaria de la anterior, que no es más que la imagen cuya suma con la anterior convierte toda la imagen en figura (Serra,1.982). El pseudocódigo aparece en la Tabla 4.

Tabla 4. Pseudocódigo de la transformación de prueba y fallo.

Algoritmo de Transformación de Prueba y Fallo	
Entrada:	Imagen Original (E)
	Núcleo morfológico 1 (M1)
	Núcleo morfológico 2 (M2)
Salida:	Imagen Transformada (S)

Procedimiento:

```
Imagen 1 = Erosion(E,M1)
Imagen 2 = Erosion(E,M2)
S = Crear Imagen(Filas(E),Columnas(E))
Desde i = 0 hasta Filas(E)
  Desde j = 0 hasta Columnas(E)
    Si Imagen_1.Píxel(i,j) = Imagen_2.Píxel(i,j) entonces
      S.Píxel(i,j) = 0
    Sino
      S.Píxel(i,j) = 1
    Fin de Si
  Fin de Desde
Fin de Desde
Devolver S
```

La complejidad o tiempo de ejecución del algoritmo estimada es de O(n * m) + O(n * m) + O(n) = O(n * m). Es decir, del mismo orden de ejecución que el resto de las operaciones propuestas. Un ejemplo de aplicación aparece en la Figura 8.

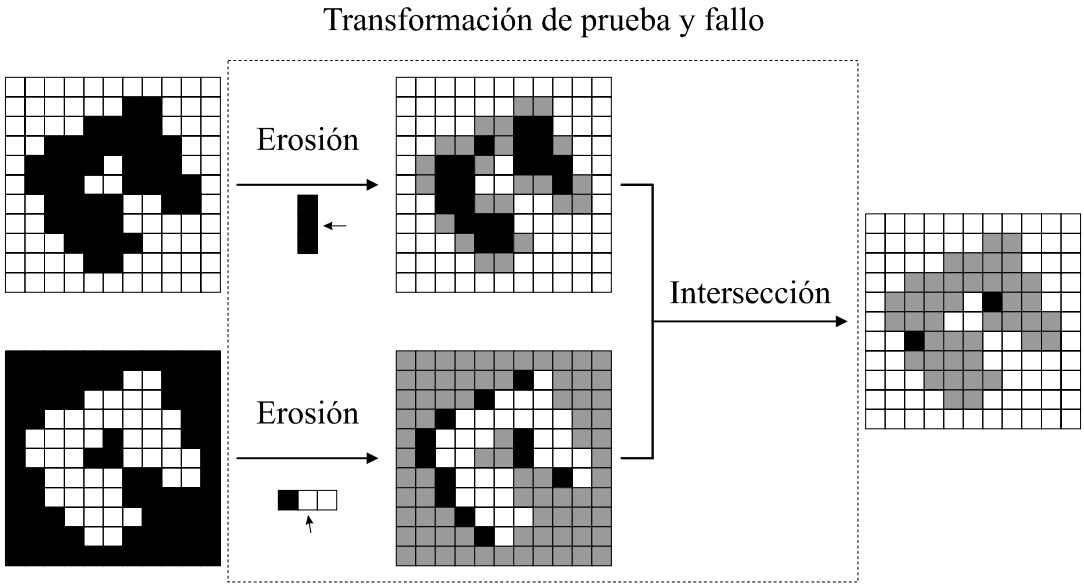


Figura 8. Transformación de prueba y fallo. Los píxeles grises intermedios representan los que se han eliminado del objeto original. Los del objeto final representan los eliminados en la aplicación completa de la transformación. El elemento estructurante de abajo posee píxeles blancos que indican que deben pertenecer al fondo.

La siguiente transformación es la denominada aligerado, que consiste en la obtención de la imagen original salvo aquellos píxeles que no eran comunes en la transformación de prueba y fallo. Su formulación viene determinada por:

$$X0T = X/(X \otimes T),$$

donde la operación X/Y representa el conjunto diferencia, es decir, los píxeles que están en X pero no en Y, y T representa un conjunto de elementos estructurantes. La complejidad algorítmica es O(n * m), siendo su pseudocódigo una simple conjunción de la operación de prueba y fallo con un cálculo de una diferencia de conjuntos. Un ejemplo de aplicación se encuentra en la Figura 9.

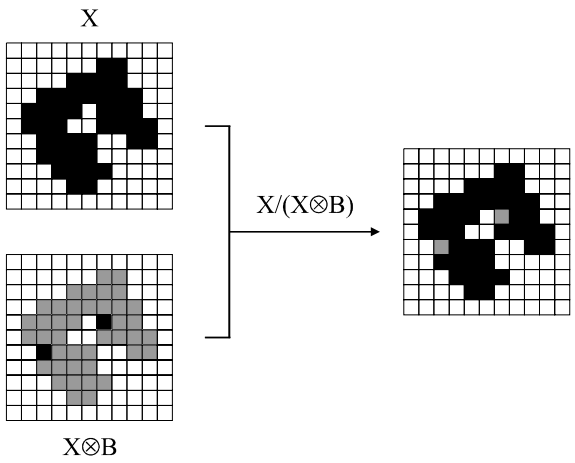


Figura 9. Aligerado de la imagen con los elementos estructurantes propuestos para la transformación de prueba y fallo. Los píxeles grises de la última imagen representan los que han desaparecido del objeto.

Finalmente, la última operación desarrollada por Serra (1982) es la denominada engrosamiento, y que es la operación dual del aligerado, su fórmula es:

$$X \odot T = X \cup \left(X \otimes T\right)$$

Un ejemplo de aplicación aparece en la Figura 10.

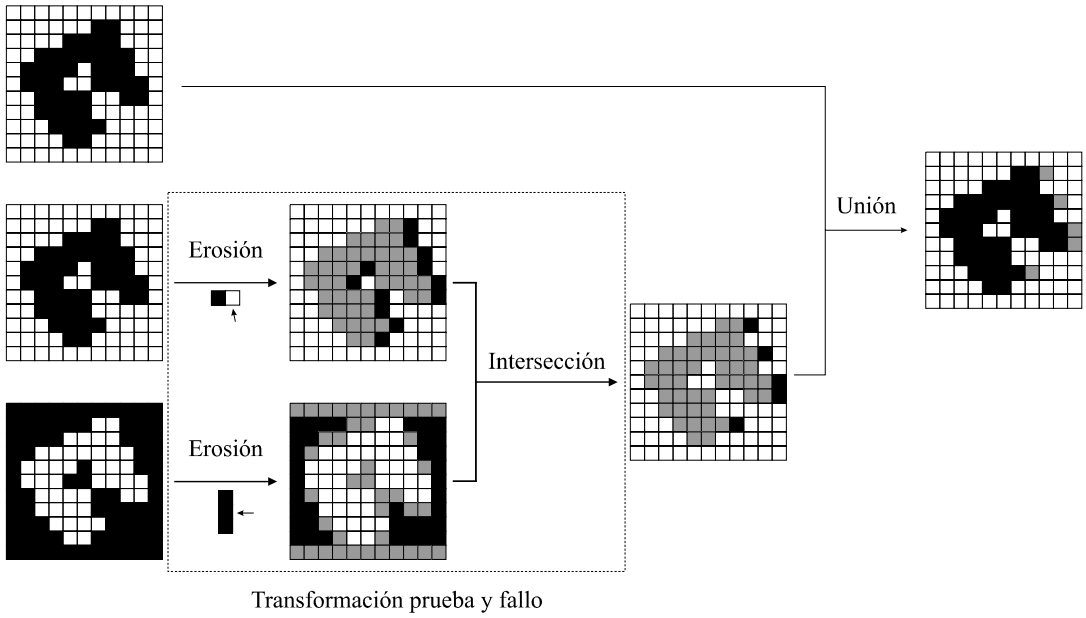


Figura 10. Engrosamiento de la imagen. Los píxeles grises intermedios son los que han desaparecido del objeto. Los finales son los que añade al mismo la transformación de engrosamiento. Como en el caso de la transformación de prueba y fallo los píxeles blancos del elemento estructurante representan los píxeles que deben pertenecer al fondo.

Es importante notar que las transformaciones de aligerado y engrosamiento requieren una buena selección de los elementos estructurantes y sus puntos de origen, sino el

resultado obtenido sería el propio objeto, es decir, estas transformaciones no alterarán las figuras si la selección de núcleos morfológicos no es la adecuada, pero en el caso de que lo sea modificarán la figura aligerándola o engrosándola en función del operador planteado.

2.3.4. OPERACIONES CONDICIONADAS.

Las operaciones anteriormente expuestas (básicas, compuestas y otras operaciones) se completan con las denominadas operaciones condicionadas, que son las mismas descritas pero delimitadas por una tercera imagen que actúa a modo de máscara. Se incluye además la posibilidad de poder aplicar las operaciones no únicamente sobre un solo elemento estructurante sino sobre un conjunto de los mismos.

2.3.5. APLICABILIDAD DE LAS OPERACIONES.

La morfología matemática es una gran herramienta de aplicación a la generalización en representación raster, de forma que las operaciones de amalgamado o supresión de elementos se pueden realizar mediante el empleo de cerramientos o aperturas, y por tanto mediante sucesivas aplicaciones de erosiones y dilataciones (Su, Bo y Lodwick 1997a, 1997b, 1998a y 1998b). Pero los dos operadores anteriores no son los únicos que de los que se dispone mediante estos métodos morfológicos, también, empleando un cambio en el punto de aplicación del elemento estructurante se pueden provocar desplazamientos en los objetos, además la combinación de erosiones y dilataciones consiguen obtener transformaciones de ejes medios y con ello esqueletizaciones de objetos o reducción a sus figuras básicas, así como el cálculo de centroides (Parker, 1997). Son todas estas propiedades las que hacen de la morfología matemática una herramienta altamente apropiada para la obtención de resultados en el campo del análisis de imágenes.

2.4. PARTICIONES DEL ESPACIO (DIAGRAMAS DE VORONOI).

El diagrama de Voronoi de un conjunto de puntos, que se denominaran generadores, es la partición del espacio en tantas regiones como puntos se disponga con la característica de que todos los puntos que pertenecen a una región están más cerca de su generador

que de cualquier otro (extraída de O'Rourke, 1.997, tras Voronoi, 1908 y Dirichlet, 1850). La definición formal del diagrama de Voronoi es:

$$P = \{p_1, p_2, ..., p_n\} \Rightarrow V = \{V(p_1), V(p_2), ..., V(p_n)\},$$

donde P es el conjunto de generadores y V el diagrama de Voronoi con la siguiente propiedad:

$$\forall q \in \Re^2 \Rightarrow \exists p_i / q \in V(p_i) \, y \, dist(q, p_i) < dist(q, p_j), \forall j \in [0, n], j \neq i$$

El interés en el estudio de los diagramas de Voronoi radica en que indican zonas de mayor influencia, permitiendo localizaciones de lugares más cercanos de forma inmediata, así como otro tipo de operaciones de orden espacial. Además, los diagramas de Voronoi son la operación dual de las triangulaciones de Delaunay, de forma que cada punto generador del diagrama es un extremo de un lado de la triangulación y cada lado de la triangulación corta únicamente uno de los lados del diagrama como aparece en la Figura 11, por lo que una vez calculado el diagrama de Voronoi el paso hacia la triangulación de Delaunay es directo.

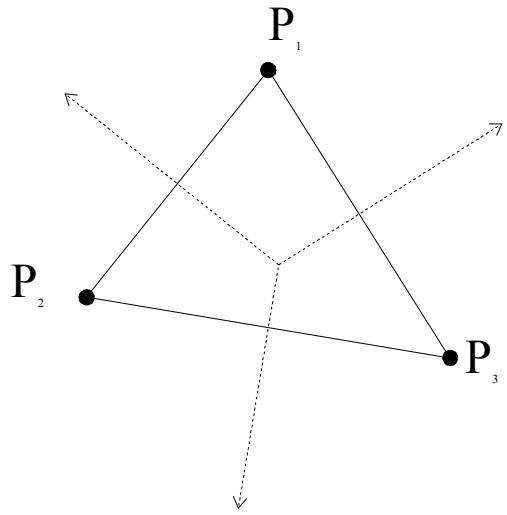


Figura 11. Representación de una triangulación de Delaunay (línea continua) para tres puntos. Se muestra de forma simultánea su diagrama de Voronoi (línea discontinua). Las flechas indican que semirrectas que se extienden hasta el infinito.

Existen múltiples algoritmos para el cálculo de los diagramas de Voronoi, pero todos ellos tienen como entrada el conjunto de puntos generadores y como salida una estructura de datos basada en la representación de los límites del diagrama con campos adecuados para el almacenamiento de la topología (polígono a izquierda y derecha, lados anteriores y siguientes y vértices con origen y final). Una clasificación de los algoritmos para obtener el diagrama de Voronoi, siguiendo a Okabe, Boots y Sugihara (1992) es:

- Por fuerza bruta: Este método no es recomendable por el coste de tiempo y la falta de información topológica. El mecanismo consiste en generar para cada punto n-1 semiplanos con los demás puntos. Luego sólo hay que calcular la intersección de los semiplanos para dar lugar a un conjunto de polígonos. El algoritmo funciona en un tiempo medio T(n) pero el orden de complejidad para el peor de los casos es $O(n^3)$.
- "*Walking method*": Es otro método de fuerza bruta donde los polígonos se construyen en el orden en el que los recorrería un caminante que partiese desde los bordes del diagrama. La complejidad es similar a la anterior.
- Método modificado: Consiste en crear un diagrama inicial e ir modificando paso por paso cada borde hasta asimilar el diagrama creado a un diagrama de Voronoi. Es sensiblemente más rápido que los anteriores siendo su complejidad $O(n^2)$.
- Método incremental: Este método consiste en partir de un diagrama de Voronoi para 2 o 3 generadores y luego ir añadiendo puntos y modificando el diagrama inicial. Con técnicas adecuadas (como se verá en siguientes apartados) se puede conseguir un orden de complejidad O(n) para la media.
- Método incremental: Este método consiste en dividir recursivamente nuestro conjunto de generadores creando el diagrama en el último paso y regenerando todo el conjunto y el diagrama a partir de las hojas del árbol. Existen distintos algoritmos para este método, alcanzando la complejidad óptima en el peor de los casos O(n log n).
- Método "*plane sweep*" o de deslizamiento de plano: Esta es una de las técnicas fundamentales en geometría computacional. Se basa en desplazar una línea vertical y construir el diagrama de Voronoi a partir de ahí, mediante un desplazamiento de esa línea de izquierda a derecha. Su complejidad en el peor de los casos es O(n log n).
- Método de levantamiento ("*lift-up method*"): Este algoritmo se basa en las propiedades que relacionan los diagramas de Voronoi bidimensionales con los polígonos cerrados tridimensionales. En él los generadores del plano se transforman en unos puntos determinados del espacio, creando un polígono convexo cerrado, para finalmente transformar ese polígono tridimensional en un diagrama de Voronoi.

Se desarrollarán los más importantes de entre todos ellos siguiendo los indicados por Okabe.

2.4.1. MÉTODO INCREMENTAL DE OBTENCIÓN DE DIAGRAMAS DE VORONOI.

Este es uno de los métodos conceptualmente más simples, siendo su complejidad media O(n), y la máxima O(n log n) según Goodman y O'Rourke (Goodman y O'Rourke., 1.997).

La idea de este método es que se parte de un diagrama de Voronoi con pocos generadores 2 o 3 y se van insertando el resto de generadores uno por uno modificando el diagrama en cada paso.

La modificación del diagrama es el paso más complejo, siendo necesario al insertar el generador (p) buscar el más próximo, llamémoslo q, y calcular la mediatriz entre ambos que cortará dos lados del polígono de Voronoi definido por q. Ahora se orienta la mediatriz de forma que p quede a la izquierda de la misma. Se selecciona el punto final de esa mediatriz en su intersección con el polígono de Voronoi, luego se calcula otra mediatriz con el generador del polígono adyacente a ese lado y repetimos el proceso hasta volver al punto inicial de la primera mediatriz. Este mecanismo de modificación del diagrama de Voronoi se conoce como algoritmo de crecimiento del límite (*boundary growing procedure*), pudiendo ver en la Figura 12 un ejemplo para los dos primeros pasos.

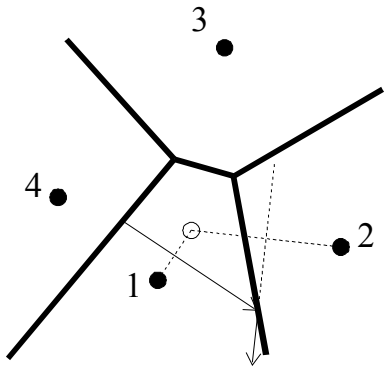


Figura 12. Ejemplo de modificación del diagrama de Voronoi. Los puntos rellenos pertenecen al diagrama de Voronoi dibujado, el punto vacío es el que se va a insertar.

Este mecanismo incremental así explicado posee fundamentalmente tres errores:

1. El primer problema es que todos los extremos que se corten con la mediatriz deben ser finitos, sino ocurre lo que se muestra en la figura 2, donde en el segundo paso no se encuentra la intersección que permita seguir.
2. El segundo problema es la complejidad del algoritmo, se indicó que era O(n), pero en realidad es $O(n^2)$, porque la búsqueda del punto más cercano al nuevo insertado (en el caso de la Figura 12 es el punto 1) requiere, en el peor de los casos recorrer todos los puntos del diagrama, con lo que dicha búsqueda sería O(n) y el algoritmo incremental necesitará insertar todos los puntos, por lo que el orden final sería $O(n^2)$.
3. El tercer problema es debido al tamaño de la subestructura a borrar, como se ve en la Figura 12 al insertar el nuevo generador varios límites desaparecen y otros se añaden, si esta estructura es excesivamente grande no sólo se necesitará tiempo para insertar un punto y su polígono de Voronoi sino también para borrar los límites sobrantes.

Para resolver el primer problema se emplea un conjunto inicial de tres generadores lo suficientemente lejanos como para que no afecten a la solución dada y que además contengan en su interior a todos los demás generadores (ver Figura 13). De esta forma se elimina la posibilidad de tener intersecciones infinitas.

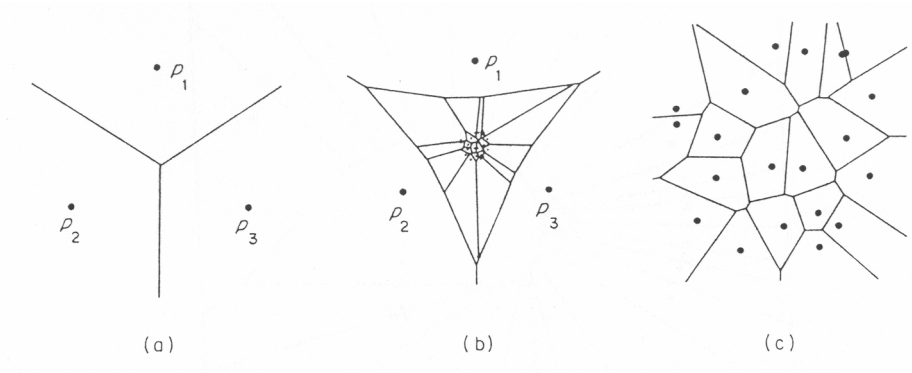


Figura 13. Ejemplo de elección de puntos externos para evitar elementos de intersección infinita.

El error de complejidad se resuelve empleando un algoritmo de búsqueda basado en adyacencias, así, partiendo de un punto cualquiera de la malla se busca cuál de entre los generadores adyacentes está mas cerca del generador a insertar, y se repite esta búsqueda hasta el momento en el que los generadores adyacentes estén más lejos. Este mecanismo es muy sensible al punto inicial elegido para la búsqueda.

Para resolver la elección del punto inicial y el problema del tamaño de la subestructura se emplean de técnicas de *bucketing*. Esta técnica (ver ejemplo en Figura 14), tal y como la desarrolla Okabe, consiste en una división del espacio en regiones cuadradas con el fin de generar un quadtree cuyos elementos más pequeños sumen el menor número entero tal que 4^k sea mayor que el número de generadores. Tras definir esta matriz se numeran los generadores de izquierda a derecha y de arriba abajo reservando los valores 1, 2 y 3 para los tres generadores auxiliares. Para la construcción del árbol se acude a las hojas, de forma que cada cuatro hojas generan un nodo padre que numeraremos con el primer identificador de generador que aparezca entre sus hojas (las hojas van en el siguiente orden: superior izquierda, superior derecha, inferior izquierda e inferior derecha). Finalmente a la raíz del quadtree se le da el valor de 1.

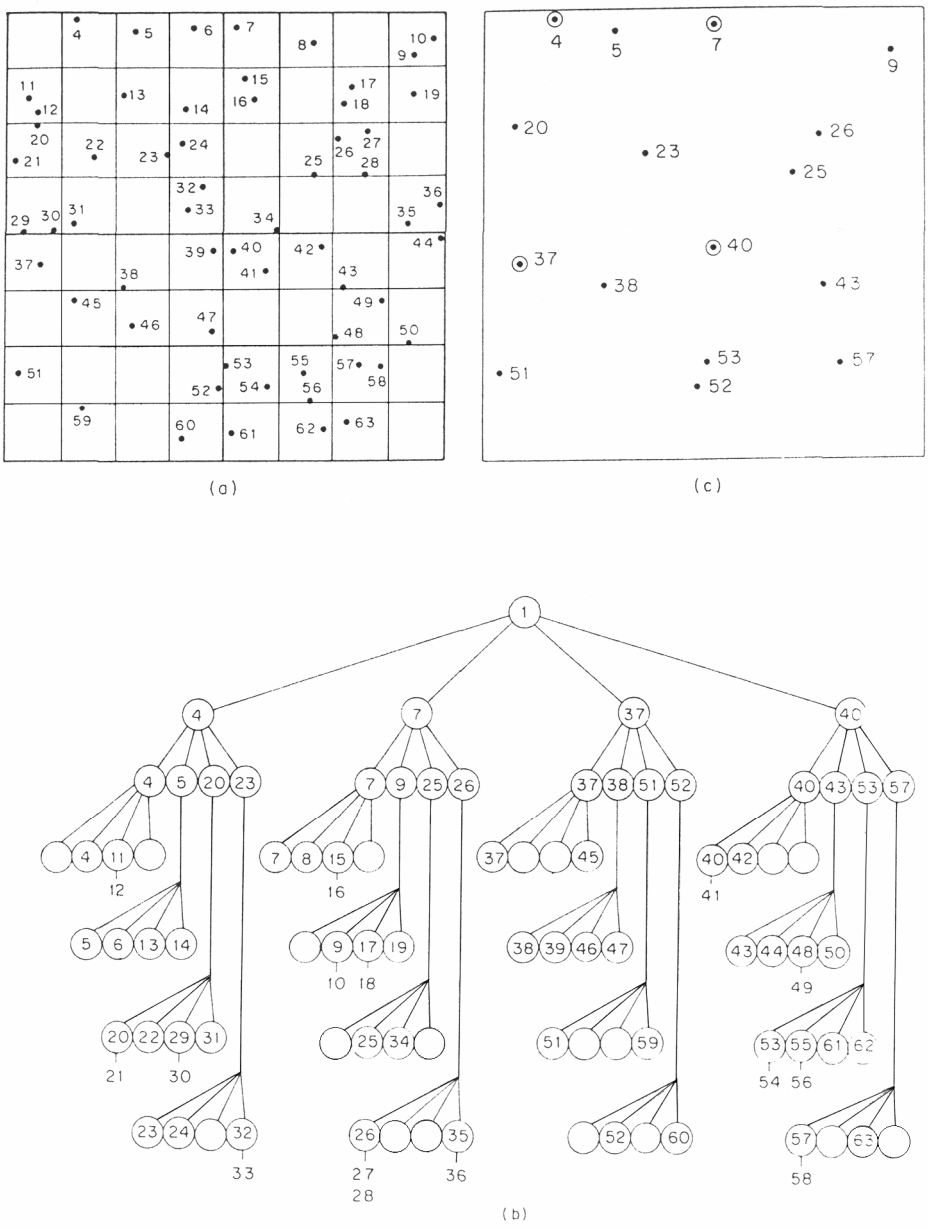


Figura 14. Ejemplo de bucketing sobre árbol Quadtree.

Empleando la técnica del *bucketing* se consigue un algoritmo cuya complejidad media es O(n) cuyos autores son Ohya, Iri y Murota (1984) y que aparece en la Tabla 5.

Tabla 5. Pseudocódigo de la obtención de Voronoi mediante la técnica de bucketing. Los números 0, 1 y 2 representan los 3 primeros puntos a insertar.

Algoritmo de Cálculo de Voronoi por bucketing	
Entrada:	Lista de generadores del diagrama de Voronoi.
Salida:	Estructura que soporta el diagrama de Voronoi y sus relaciones topológicas.

Procedimiento:

```
k = Entero(log4 n) + 1
Arbol_QuadTree = Construir_QuadTree(k,Lista de generadores)
Lista_Ordenada = Ordenar(Lista de Generadores,Codigo del QuadTree)
Voronoi  = Construir Voronoi(Lista Ordenada,0,2)
Lista Ordenada = Lista Ordenada – Lista Ordenada(0)
Lista Ordenada = Lista Ordenada – Lista Ordenada(1)
Lista Ordenada = Lista Ordenada – Lista Ordenada(2)
Mientras Numero(Lista_Ordenada) > 0
  Punto_Actual = Lista_Ordenada(0)
  Lista Ordenada = Lista Ordenada – Lista Ordenada(0)
  Generador = Buscar Generador Más Proximo(Punto Actual, Voronoi)
  Linea Media = Mediatriz(Punto Actual,Generador)
  Inters = Interseccion(Linea Media,Voronoi)
  Poligono_a_Insertar = Crecimiento_del_Limite(Inters,Punto_Actual,Generador,Voronoi)
  Voronoi = Voronoi + Poligono_a_Insertar
  Filtrar Arcos interiores(Voronoi,Poligono a Insertar)
Fin de Mientras
Devolver Voronoi
```

2.4.2. MÉTODO DIVIDE Y VENCERÁS PARA LA OBTENCIÓN DE DIAGRAMAS DE VORONOI.

Los algoritmos que se van a desarrollar son más lentos para el cálculo del diagrama de Voronoi, pero su utilización está muy extendida. En el caso del método divide y vencerás la complejidad es de O(n log n), siendo esta la complejidad óptima para el peor de los casos en el problema de los diagramas de Voronoi.

El método divide y vencerás basa su trabajo en partir un gran problema en dos menores, para luego tratarlos por separado hasta conseguir encontrar un sistema tan simple que se pueda resolver de forma directa y después un sistema para unificar ambas soluciones.

Como desventaja hay que indicar que es necesario que no existan dos generadores con la misma coordenada X, pero por el contrario no es necesario recurrir a tres generadores auxiliares como en el sistema anterior.

El algoritmo expuesto en Okabe, Boots y Sugihara, 1.992, es un mecanismo recursivo de cálculo al estilo de los recorridos por el árbol o del cálculo de determinantes o factoriales, su algoritmo aparece en la Tabla 6.

Tabla 6. Pseudocódigo de cálculo de Voronoi por el método Divide y Vencerás.

Algoritmo de cálculo de Voronoi por el método divide y vencerás	
Entrada:	Lista de generadores
Salida:	Diagrama de Voronoi.

Procedimiento:

```
Si Numero(Lista de generadores) <= 3 entonces
  Si Numero(Lista de generadores) <= 1 entonces
    Devolver {}
  Fin de Si
  Si Numero(Lista de generadores) = 2 entonces
    Devolver Mediatriz(Lista de generadores(0),Lista de generadores(1))
  Fin de Si
  S = Mediatriz(Lista de generadores(0),Lista de generadores(1))+
      Mediatriz(Lista de generadores(1),Lista de generadores(2))+
      Mediatriz(Lista de generadores(2),Lista de generadores(0))
  Devolver S
Fin de Si
Lista Pizq = {}
Lista Pder = {}
Punto Central = Determinar Eje Medio X(Lista de generadores)
Desde i = 0 hasta Numero(Lista de Generadores)
  Si Lista de Generadores(i).X < Punto_Central.X entonces
    Lista_Pizq = Lista_Pizq + Lista de Generadores(i)
  Sino
    Lista Pder = Lista Pder + Lista de Generadores(i)
  Fin de Si
Fin de Desde
Voronoi_Izq = Voronoi_Divide_y_Venceras(Lista_Pizq)
Voronoi_Der = Voronoi_Divide_y_Venceras(Lista_Pder)
Devolver Fusion(Voronoi_Izq,Voronoi_Der)
```

La complejidad del algoritmo anterior es O(log n) salvo para la fusión del diagrama que es el paso más complejo, siendo además necesario que los puntos estén ordenados de izquierda a derecha con lo que no serían necesarias comparaciones posteriores para determinar los conjuntos P_I y P_D.

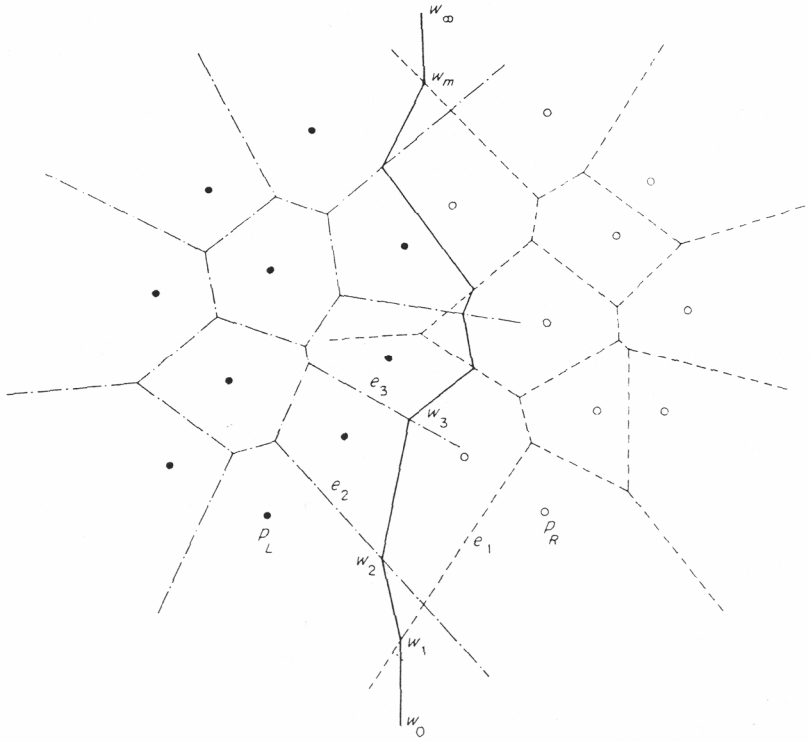


Figura 15. Línea de enlace de ambos diagramas de Voronoi obtenidos por un método divide y vencerás.

La fusión entre los dos diagramas de Voronoi es una línea poligonal quebrada (ver Figura 15) que parte de la mediatriz de la línea que une los dos puntos más bajos (definida como *lower common support* por Okabe con la característica de que cualquier punto de ambos diagramas está por encima de esta línea, ejemplo en Figura 16) y alcanza a los dos más altos. El algoritmo de fusión entre estos dos diagramas de Voronoi especiales aparece en la Tabla 7.

Tabla 7. Pseudocódigo de unión de dos diagramas de Voronoi para el método divide y vencerás.

Algoritmo de Unión de dos diagramas de Voronoi	
Entrada:	Los dos diagramas de Voronoi (d_I,d_D)
Salida:	El diagrama de Voronoi unificado.

Procedimiento:

```
Poligono_Convexo_i = Obtener_Poligono_Convexo(dI)
Poligono Convexo d = Obtener Poligono Convexo(dD)
Lower Common Support = Obtener Dos Puntos Mas Bajos(dI, dD)
Upper_Common_Support = Obtener_Dos_Puntos_Mas_Altos(dI, dD)
w0 = Punto(Mediatriz(Lower Common Support), -∞)
aI = Lower_Common_Support(dI)
aD = Lower_Common_Support(dD)
Linea_Quebrada = {}
Mientras (aI <> Upper_Common_Support(dI)) o (aD <> Upper_Common_Support(dD))
  Si aI.Y < aD.Y entonces
    Linea Quebrada = Linea Quebrada + aI
    aI = Buscar_Siguiente(Mediatriz(aI,aD), Poligono_Convexo_i)
  Sino
    Linea Quebrada = Linea Quebrada + aD
    aD = Buscar Siguiente(Mediatriz(aI,aD), Poligono Conexo d)
  Fin de Si
Fin de Mientras
Linea Quebrada = Linea Quebrada + Punto(Linea Quebrada(Numero(Linea Quebrada)-1).X, +∞)
Intersectar(Linea Quebrada,dI)
Eliminar_Cortes_Sobrantes(dI,Poligono_Convexo_i)
Intersectar(Linea_Quebrada,dD)
Eliminar Cortes Sobrantes(dD,Poligono Convexo d)
Devolver Crear_Topologia(dI,dD)
```

Este algoritmo se ejecuta en un tiempo de O(n) si se siguen ciertos criterios como por ejemplo recorrer el límite izquierdo en el sentido contrario de las agujas del reloj y el derecho en el sentido de las agujas del reloj. Siguiendo este y otros mínimos criterios, se obtiene un tiempo total de cálculo de O(n log n), tal y como se indicó al principio.

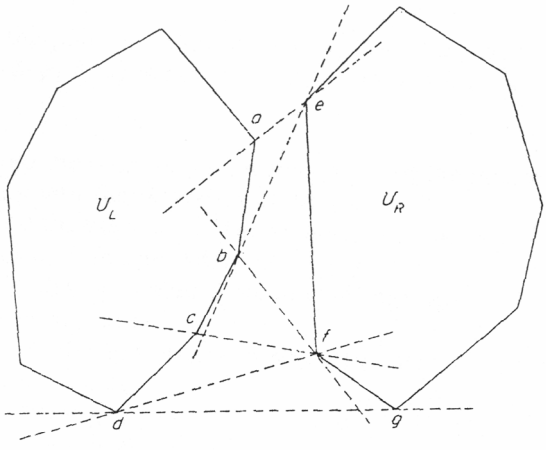


Figura 16. Determinación del Lower common support (línea de d a g).

2.4.3. MÉTODO DE DESLIZAMIENTO DE PLANO ("PLANE SWEEP METHOD")

El método de deslizamiento de plano es una técnica muy empleada en la resolución de problemas bidimensionales. Se basa en el empleo de una línea vertical deslizante

(*sweepline*) que se desplaza a lo largo de todo el plano para que cada vez que la línea toque algún objeto del plano (lo que Okabe denomina un evento) sea resuelta una parte del problema.

Este mecanismo no se puede aplicar directamente al diagrama de Voronoi, pero si se realiza una transformación se podrá resolver el problema. En primer lugar se debe asumir, al igual que en el método anterior, que no existen puntos con igual coordenada X. En segundo lugar se define la función:

$$r(p) = min\{d(p, p_i) / i \in [1, n]\},$$

donde d representa la función distancia entre dos puntos.

Luego se aplica la siguiente transformación sobre todos los generadores que va de $\Re^2 \rightarrow \Re^2$:

$$\varphi(p) = (x(p) + r(p), y(p)),$$

donde x(p) es la coordenada X del punto p e y(p) la coordenada Y.

Esta transformación provoca que un punto que sea generador mantenga sus coordenadas, y que cualquier otro punto del plano se desplace más hacia la derecha cuanto mayor sea su distancia al generador más cercano. Esto en el caso de los límites o bordes de los polígonos de Voronoi provoca que el punto se desplace más a la derecha cuanto más lejos esté de la recta de unión entre los dos generadores que definen ese límite, es decir, generan una hipérbola (ver ejemplo en Figura 17).

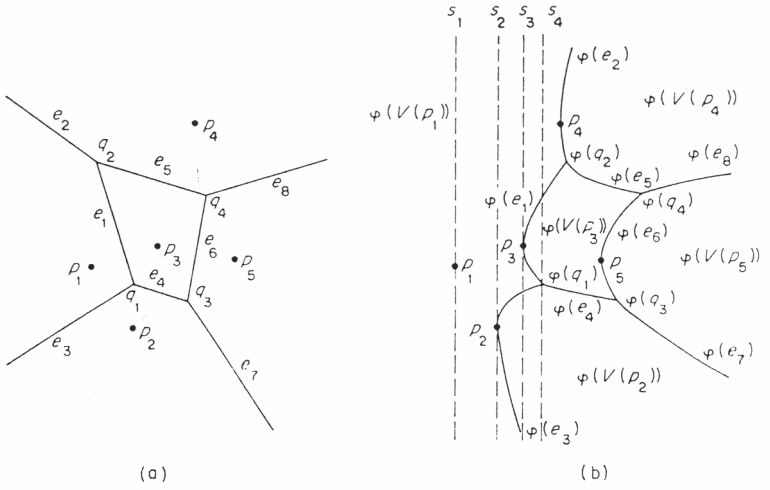


Figura 17. Método de deslizamiento del plano. (a) Voronoi con 5 generadores. (b) Imagen en el espacio de deslizamiento de planos (la recta s es el proceso de deslizamiento de planos).

Según esta transformación la línea vertical deslizante se puede encontrar con los siguientes eventos:

1. Que la línea toque un punto generador.
2. Que la línea toque un vértice del diagrama de Voronoi transformado $\varphi(V)$. Esto ocurre cuando se cortan dos de las hipérbolas creadas al pasar cada punto generador.

Aplicando la transformación anterior, y teniendo en cuenta los dos eventos, es posible obtener el diagrama de Voronoi mediante el método de deslizamiento del plano (ver Tabla 8).

Tabla 8. Pseudocódigo de cálculo de Voronoi empleando el método de deslizamiento del plano.

Algoritmo de cálculo de Voronoi por deslizamiento de plano	
Entrada:	Conjunto de generadores.
Salida:	Diagrama de Voronoi transformado.

Procedimiento:

```
Q = Lista de generadores
pi = Punto_Mas_Izquierda(Q)
Q = Q - pi
L = Lista_de_Regiones_Transformadas(φ(V(pi)))
Mientras Numero(Q) > 0
  pi = Punto Mas Izquierda(Q)
  Q = Q - pi
  Si Es_Generador(pi) entonces
    Region_Transformada = Buscar_Region_Contenedora(L,pi)
    L = L - Region_Transformada
    pj = Generador(Region Transformada)
    L = L + {φ(V(pk)), h⁻(pi,pk), φ(V(pi)), h⁺(pi,pk), φ(V(pk))}
    Q = Q + Intersección(L(Numero(L)-1), h⁻(pi,pk))
    Q = Q + Intersección(L(Numero(L)-1), h⁺(pi,pk))
  Sino
    Para cualquier pj,pk de Q repetir
      Si Existe_Secuencia(L, (h±(pi,pj),φ(V(pj)),h±(pj,pk))) entonces
        L = L - (h±(pi,pj),φ(V(pj)),h±(pj,pk))
        Si Intersección_Hipérbola(pi,pk,h⁺(pi,pk)) entonces
          L = L + h⁺(pi,pk)
          Q = Q - Puntos_Interseccion(h⁺(pi,pk))
          Q = Q + Intersección_Hipérbola(pi,pk, h⁺(pi,pk))
        Sino
          L = L + h⁻(pi,pk)
          Q = Q - Puntos_Interseccion(h⁻(pi,pk))
          Q = Q + Intersección_Hipérbola(pi,pk, h⁺(pi,pk))
        Fin de Si
      Fin de Si
    Fin de Para
  Fin de Si
Fin de Mientras
Devolver Q,L
```

Con esto queda resuelta la obtención del diagrama de Voronoi salvo por el paso de transformación inversa y por la escritura de la estructura adecuada modificando las relaciones topológicas.

Para que la complejidad del algoritmo sea O(n log n) es necesario emplear algunas técnicas en las estructuras de datos, que se resumen en usar un *heap*[4] para representar Q y usar un árbol AVL[5] para representar L.

2.4.4. CONCLUSIONES A LAS PARTICIONES DEL ESPACIO.

En el apartado 2.4 se han expuesto diversos mecanismos de obtención de los diagramas de Voronoi para un conjunto de generadores, todos ellos, versiones bastante depuradas y optimizadas de los algoritmos originales.

El problema que aparece es que todos se basan en un único conjunto de puntos generadores, y estos, en el modelo de representación raster aumentarán en gran medida ya que cada píxel se convertirá en un generador.

Sin embargo, mecanismos con las técnicas de *bucketing* serán de gran utilidad al pasar al modelo de representación raster en el que se trabajará.

2.5. RECORRIDO DE GRAFOS.

Uno de los objetos más analizados dentro del casco, como se verá en posteriores apartados, es la red viaria, dicha red es un conjunto de calles que se enlazan y entrecruzan para comunicar toda la ciudad.

---

[4] Montículo. Estructura de datos que simula un árbol binario ordenado dentro de un vector de elementos.

[5] Estructura de datos en forma de árbol, con la característica de que es un árbol de búsqueda (posee un criterio de ordenación) y con la propiedad de que seleccionados dos nodos cualesquiera del mismo con la misma profundidad la altura de ambos no puede diferir más que en uno. Se denominan AVL por el nombre de sus creadores Adelson-Velskii y Landis.

La gestión y operaciones básicas de análisis de la red viaria pueden ser descritas como operaciones de un grafo donde las intersecciones de calles se denominan vértices y los enlaces entre ellas arcos.

De entre todas las operaciones disponibles se desarrollará la teoría de localización de caminos mínimos porque es el problema más complejo dentro de los estudios en grafos.

En primer lugar se hace necesario describir claramente que se conoce como un camino mínimo de un grafo (digrafo) ponderado: Conjunto de arcos recorridos desde el vértice de origen (s) a un vértice de destino (t), que tiene la propiedad de que la distancia recorrida es la mínima respecto de cualquier otro conjunto de arcos que unen s y t.

Dentro de la definición de camino mínimo existe un concepto de amplia importancia que es e llamado árbol de caminos mínimos (aplicable a la obtención del parámetro que se denominará conectividad por recorrido en el método seguido) y que consiste en el conjunto de caminos mínimos que parten de un vértice origen (s) hasta todos los demás vértices del grafo.

La teoría de grafos indica que la solución, tanto de la obtención de caminos mínimos como de árboles de caminos mínimos son algoritmos no resolubles de forma exacta en tiempo inferior a $O(n^2)$. Se analizarán los tres algoritmos más conocidos y, a la vez, más empleados en la determinación de los caminos óptimos.

2.5.1. ALGORITMO DE DIJKSTRA.

Este es uno de los algoritmos más conocidos y referenciados en la literatura de grafos, su idea fundamental es que el camino mínimo puede descomponerse en subcaminos, así, si P es un camino de longitud mínima entre s y z, y P contiene al vértice v, entonces la parte s a v de P es también camino de longitud mínima. De esta forma, el camino puede calcularse como subcaminos que una vez unidos conforman el camino completo, siempre y cuando se realice en forma de distancias crecientes respecto del origen.

El procedimiento aparece en la Tabla 9 (fundamentado en el desarrollo de Bujalance y col., 1999).

Tabla 9. Pseudocódigo del algoritmo de Dijkstra de obtención de caminos mínimos en grafos.

Algoritmo Dijkstra	
Entrada:	Grafo (digrafo) ponderado positivo (G)
	Vértice de salida (s)
Salida:	Lista de vértices con distancias a s (L)

Procedimiento:

```
L = Lista(G.Numero_Vertices) de Reales
T = Lista(G.Numero_Vertices) de Booleanos
Desde i = 1 hasta G.Numero_Vertices repetir
  Si G.Vertice(i) = s entonces
    L(i) = 0
  Sino
    L(i) = Infinito
  Fin de Si

  T(i) = Verdadero
Fin de Desde


Desde j = 0 hasta G.Numero_Vertices - 1 repetir
  dist = Infinito
  Desde i = 0 hasta G.Numero_Vertices repetir
    Si (L(i) < dist) y (T(i) = Verdadero) entonces
      v = i
      dist = L(i)
    Fin de si
  Fin de Desde

  T(v) = Falso

  Desde i = 0 hasta G.Numero_Vertices repetir
    Si L(i) > L(v) + G.Arco(v,i) entonces
      L(i) = L(v) + G.Arco(v,i)
    Fin de si
  Fin de Desde

Fin de Mientras
```

La complejidad de este algoritmo viene determinada por las modificaciones en la lista de vértices utilizables (o que restan por calcular) T, luego, si en cada iteración se añade un vértice a T, el número de iteraciones externa es n. En cada una se elige una etiqueta mínima, la primera vez entre n-1, la segunda entre n-2, ..., luego la complejidad total de estas elecciones es O(n). Por otra parte, cada arista da lugar a una actualización de etiqueta, que se puede hacer en tiempo constante O(1). Por tanto, la complejidad del algoritmo es $O(n^2) = O(n) * O(n)$.

2.5.2. ALGORITMO DE FORD.

El algoritmo de Ford es una variante del algoritmo de Dijkstra que permite la asignación de pesos negativos en los arcos, aunque no permite la existencia en el digrafo de ciclos de peso negativo.

Tabla 10. Pseudocódigo del algoritmo de Ford de recorrido de grafos.

Algoritmo Ford	
Entrada:	Grafo (digrafo) ponderado (G)
	Vértice de salida (s)
Salida:	Lista de vértices con distancias a s (L)

Procedimiento:

```
L = Lista(G.Numero_Vertices) de Reales
Desde i = 1 hasta G.Numero_Vertices repetir
  Si G.Vertice(i) = s entonces
    L(i) = 0
  Sino
    L(i) = Infinito
  Fin de Si
Fin de Desde

Hubo_Cambio = Verdadero
Mientras Hubo_Cambio repetir
  Hubo_Cambio = Falso
  Desde i = 0 hasta G.Numero_Vertices repetir
    Si L(i) > L(v) + G.Arco(v,i) entonces
      L(i) = L(v) + G.Arco(v,i)
      Hubo_Cambio = Verdadero
    Fin de si
  Fin de Desde
Fin de Mientras
```

La complejidad del algoritmo anterior se estima en O(qn), donde q es el número de vértices, y, por tanto, el número de iteraciones que debe realizar el bucle mientras para actualizar todas las distancias. Como se puede observar este algoritmo será más eficiente en el caso que se disponga de un grafo que posea menos vértices que arcos, y viceversa.

2.5.3. ALGORITMO DE FLOYD Y WARSHALL.

En muchas aplicaciones no es suficiente con poder calcular la distancia de todos los vértices a uno determinado, sino que es necesario calcularla desde dos vértices cualesquiera del grafo. Para resolver este problema se pueden emplear algoritmos que obtengan el camino óptimo de un vértice a todos los demás (Dijkstra) y luego iterarlo para el resto de los vértices, el resultado será un algoritmo de $O(n^3)$. Sin embargo, Floyd y Warshall diseñaron un algoritmo que, en lugar de calcular la distancia entre dos vértices cualesquiera del grafo la calcula de todos contra todos los vértices del grafo.

La idea básica del algoritmo es la construcción de una sucesión de matrices W^0, W^1, ..., W^n, donde el elemento ij de la matriz W^k nos indique la longitud del camino mínimo $i \rightarrow j$ utilizando como vértices interiores del camino los del conjunto $\{v_1, v_2, ..., v_k\}$. La matriz W^0 es la matriz de pesos del digrafo, con $w^0_{ij}=w(ij)$ si existe el arco $i \rightarrow j$, $w^0_{ii}=0$ y $w^0_{ij}=\infty$ si no existe el arco $i \rightarrow j$.

Tabla 11. Pseudocódigo del algoritmo de Floyd de determinación de distancias y arcos recorridos.

Algoritmo Floyd	
Entrada:	Grafo (digrafo) ponderado positivo (G)
Salida:	Matriz de distancias de salida (D)
	Matriz de número de arcos del camino (P)

Procedimiento:

```
D = Lista(G.Numero_Vertices,G.Numero_Vertices) de Reales
P = Lista(G.Numero_Vertices,G.Numero_Vertices) de Enteros

Desde i = 1 hasta G.Numero_Vertices repetir
  Desde j = 1 hasta G.Numero_Vertices repetir
    Si G.Arco(i,j) <> Infinito entonces
      D(i,j) = G.Arco(i,j)
    Sino
      D(i,j) = Infinito
    Fin de Si
  Fin de Desde
Fin de Desde

Desde k = 1 hasta G.Numero_Vertices repetir
  Desde i = 1 hasta G.Numero_Vertices repetir
    Desde j = 1 hasta G.Numero_Vertices repetir
      Si D(i,k) + D(k,j) < D(i,j) entonces
       D(i,j) = D(i,k) + D(k,j)
       P(i,j) = k
      Fin de Si
    Fin de desde
  Fin de Desde
Fin de Desde
```

El algoritmo implementado según el pseudocódigo de la Tabla 11 (parcialmente extraído de Brassard y Bratley, 1997) debe tener un tiempo de ejecución igual a $O(n^3)$, como se ha indicado, igual a la aplicación reiterada del algoritmo de Djikstra, sin embargo, su implementación es más sencilla y, por lo tanto, tendrá una constante más pequeña lo que le proporcionará un funcionamiento más eficiente en la mayor parte de los casos.

2.5.4. CONCLUSIONES A LOS RECORRIDOS DE GRAFOS.

Los algoritmos que se han mostrado para el recorrido de grafos son técnicas clásicas y muy probadas, por lo que su utilidad queda fuera de toda duda.

Como se extrae de la lectura del apartado 2.5 las complejidades algorítmicas son similares en todos ellos, por lo que en principio, todos ellos serían igualmente interesantes para su implementación. Sin embargo, durante el desarrollo del trabajo, se implementará solo uno, en concreto el de Dijkstra. Las razones que llevaron a la utilización de este algoritmo fueron:

- La implementación se hace en dos pasos, por un lado se crea un algoritmo de recorrido de grafos, y por otro, tan sólo iterando el nodo origen y el final se pueden calcular todas las distancias.
- La implementación en dos pasos es muchos más sencilla de depurar y asegura dos productos, por un lado el propio recorrido del grafo y por otro la distancia recorrida.
- El algoritmo se basa en un proceso implementado en otro software por lo que pueden compararse los resultados y su depuración es más eficiente.

2.6. TEORÍA DE LA PERCEPCIÓN.

Los trabajos pioneros sobre percepción humana realizados por los filósofos alemanes: Max Wertheimer, Kurt Koffka y Wolgang Köhler, dieron lugar a la escuela de *Gestalt* (Configuración, Patrón, Forma), aunque la definición del propio término *Gestalt* proviene del filósofo Christian von Ehrenfels, Profesor de la Universidad de Viena y mentor de los anteriores, cuando en el año 1890 en un seminario la describió como "aquellas experiencias que requieren algo más que capacidades sensitivas básicas para su comprensión". Desde este punto de vista la escuela de Gestalt indica la necesidad humana de agrupar conjuntos de elementos dispersos para dar sentido a lo observado Wertheimer (1959):

> "Una cierta región del campo de visión se convierte en crucial, la visión central, pero no se encuentra aislada. Aparece una visión estructural de la situación, dando lugar a cambios del significado, de la asociación, etc. de los elementos. La aparición de estos elementos está regida por lo observado en la región central, que nos lleva a una predicción razonable del resto de partes de esta estructura, que luego son verificadas directa o indirectamente. Dos aspectos están involucrados: La obtención de una imagen completa y consistente, y la visión de la estructura que esta imagen requiere de cada una de las partes.".

La escuela de la *Gestalt* acuñó la expresión ampliamente conocida de que: "el todo es más que la suma de las partes". Como resultado, se desarrollaron un conjunto de leyes de agrupación perceptiva, que algunos autores consideran como cuatro (proximidad, similitud, cerramiento y simplicidad) y los representantes más modernos de la escuela como seis (Foley, 2004):

1. Ley de proximidad: Se asocian aquellos objetos que se encuentran próximos espacialmente, cuanta mayor proximidad más probabilidad de asociación entre dichos objetos.
2. Ley de similitud: Los elementos que mantienen características comunes (forma, tamaño, color, brillo, etc. o una conjunción de ellas), se asocian como un único todo.
3. Ley de continuidad: Los elementos deben seguir un camino continuo, es decir, se tiende a asociar elementos que siguen una función suave sin cambios abruptos cuando se alcanzan intersecciones entre distintos objetos.
4. Ley de cerramiento o de formas perfectas: Los elementos cerrados son más intuitivos que los elementos abiertos, por lo que se tienden a cerrar los perímetros de las figuras aún cuando esto no sea cierto en la realidad.
5. Ley del destino común (*Common Fate*): Esta ley es aplicable al movimiento, en este caso se asimilan como un todo los objetos que se desplacen en la misma dirección.
6. Ley de la Simplicidad (*prägnanz*): Esta ley es considerada como un compendio de todas las leyes anteriores, indicando que la percepción humana siempre trata de obtener la forma más simple de descripción de una imagen.

Todas las leyes anteriores, según la escuela *Gestalt*, se basan en la discriminación de los objetos frente al entorno que los rodea, lo que, en imágenes estáticas puede dar lugar a confusión. Por el contrario, en el mundo real, la variación continua del mundo que existe alrededor provoca la necesidad de lo se que denomina constancia perceptual, este proceso aparece frecuentemente en todas las experiencias (un coche es blanco aún cuando la luz que lo alcanza es mínima y por tanto el color reflejado es gris). El conjunto de constancias aceptadas hasta la actualidad son:

1. Constancia de brillo: Los cambios de iluminación no afectan a la percepción del brillo de un color.

2. Constancia de color: Independientemente de la iluminación de un objeto el color permanece constante. Esta segunda constancia está influenciada por la primera porque el ser humano percibe color y brillo como un todo. Sin embargo, la influencia del tipo de iluminación aquí indicada se refiere a cambios en el brillo de la iluminación y no a cambios en el color de la iluminación, que, obligatoriamente si provocarán variaciones en el color percibido.
3. Constancia de forma: La forma de un objeto permanece constante independientemente de la orientación del mismo. La razón es que la percepción capta el objeto y lo asimila a una representación interna del mismo, por lo que no se modifica.
4. Constancia de tamaño: Los objetos se perciben del mismo tamaño independientemente de la distancia de observación, por ejemplo, la altura de una persona es constante, porque aunque se aleje no se la considera más pequeña.

Otro aspecto importante de la teoría de la percepción se basa en la forma de construcción del mundo percibido, básicamente, todas las experiencias anteriores quedan almacenadas y permiten interpretar el mundo actual, de forma que, por ejemplo, si nunca se ha percibido un objeto previamente no sabremos describirlo como un todo, sino como elementos individuales.

En cualquier caso, los trabajos desarrollados en esta tesis doctoral, y cuya finalidad es la producción de una generalización semiautomática, deberán tratar de mantener los aspectos perceptivos del mapa original, por lo que todas las asociaciones visuales que demuestre un cartógrafo, bien por experiencia previa en generalización, o por conocimientos específicos de la zona, deberán mantenerse en los mecanismos propuestos.

A continuación se comentarán tres trabajos que utilizan técnicas de *Gestalt*. Aunque la mayor parte de este tipo de aplicaciones aparece en el entorno de la interacción hombre-máquina y de la IA, también existen algunas en el entorno cartográfico.

2.6.1. THORISSON, K. (1994): SIMULANDO AGRUPACIONES PERCEPTIVAS: APLICACIÓN A LA INTERACCIÓN HOMBRE – MÁQUINA.

El trabajo de Thorisson es uno de los muchos existentes en cuanto a la agrupación perceptiva, la particularidad, y la razón por la que se trata en este apartado es la sencillez, y a la vez la utilidad del mismo.

El proceso que realiza consiste en una agrupación de objetos en función de criterios de similitud. En concreto, los cuatro criterios usados son:

- Color: Los elementos de igual color tenderán a permanecer bajo un mismo criterio. En concreto utiliza un espacio de color circular.
- Tamaño: Los elementos de tamaños similares tenderán a estar agrupados.
- Forma: Los elementos de igual forma deberán constituir un conjunto.
- Proximidad espacial: Los conjuntos se forman entre elementos con continuidad espacial determinada y cercanos entre sí.

El algoritmo desarrollado, tal y como indica Thorisson, es capaz de mantener dos de los cinco principios de agrupación de la *Gestalt* (desechando el principio de *Common Fate* por pertenecer al campo temporal): Proximidad y similitud de objetos (ver ejemplos en Figura 18).

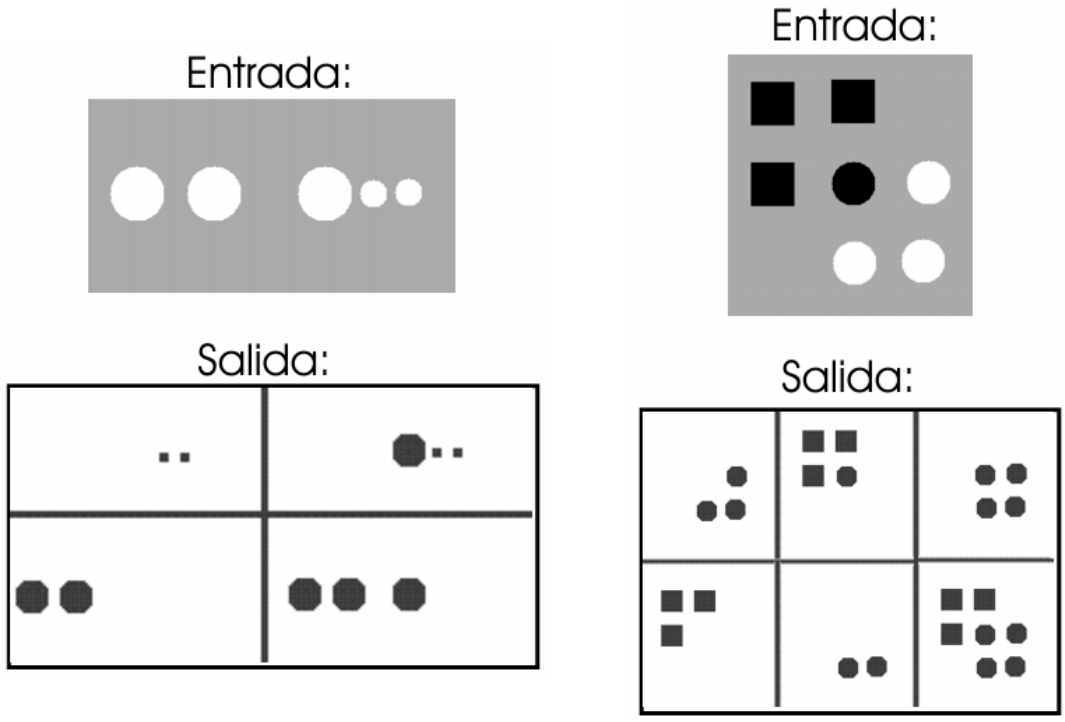


Figura 18. Ejemplo de soluciones de asociación propuestas por Thorisson (1994). Las imágenes están en blanco y negro según el original. Los distintos recuadros de las salidas representan diferentes asociaciones perceptivas posibles.

A pesar de todo es un intento sencillo con figuras simuladas, y tal como Thorisson indica la necesidad de inclusión de otros principios de agrupación (en concreto el de continuidad) y una mejor detección de la forma de los elementos.

2.6.2. ROME, E. (2001): SIMULANDO ASOCIACIONES PERCEPTUALES EMPLEANDO LOS PRINCIPIOS DE LA *GESTALT*.

En este trabajo, Rome (2001), trata de determinar agrupaciones de objetos dentro de entornos conocidos, es decir, en sistemas de generación de primitivas gráficas determinadas y no dentro de imágenes reales. En este aspecto es un trabajo similar al realizado por Thorisson (1994) aunque con un grado mayor de cumplimiento de las leyes de asociación perceptiva.

La propuesta de Rome (2001) es el empleo del siguiente algoritmo:

1. Agrupar por similitud de forma, color, brillo, tamaño y orientación creando 5 clases de parecidos utilizando valores absolutos.

2. Para cada objeto que pertenezca a la clase anterior realizar los siguientes pasos:
    a. Agrupación por proximidad: Construir un entorno local de radio fijo, con un máximo de 8 entidades.
    b. Agrupación por continuidad: Utilizar el principio de buena continuidad con las agrupaciones anteriores.
3. Repetir el paso 2 para los objetos no agrupados utilizando un radio mayor.
4. Parar si todos los objetos se han agrupado o si el radio de entornos locales ha alcanzado la máxima extensión del grafico en cualquiera de sus dimensiones.
5. Extraer las agrupaciones para todas las clases. Unificar los resultados y ordenarlos según algún criterio heurístico.

Los resultados indicados por Rome (2001), son bastante interesantes ya que equiparan perfectamente los criterios de selección perceptiva de la visión humana en los casos mostrados.

Sin embargo, como su propio autor indica los resultados mostrados también asocian elementos no constituyentes de grupos perceptivos, generalmente debido a una incorrecta definición de la agrupación por continuidad.

En cualquier caso, el trabajo, pese a ser interesante en cuanto a la forma de agrupación, usando un vector multidimensional y una posterior unificación, carece de una mayor indicación sobre el proceso realizado, y además, trata con un entorno simulado, falto de ruido y de un número elevado de información, en esta situación es de esperar efectos colaterales y un aumento de las agrupaciones erróneas o falta de grupos de interés.

2.6.3. ANDERS, K. H. (2003): APROXIMACIÓN DE CLUSTERS JERÁRQUICA PARA LA OBTENCIÓN DE AGRUPACIONES DE OBJETOS.

Anders, en este último trabajo, junto con Sester en otros trabajos (Anders y Sester, 2000), ha desarrollado diversos métodos para explotar la ley de proximidad en la generalización cartográfica. En concreto, a la obtención de agrupación de objetos.

La continuidad espacial en este campo se ha asociado al conjunto de grafos existentes entre diferentes elementos del mapa (NNG o *Nearest Neighbour Graph*, MST o ARM o

Minimum Spanning Tree, RNG o *Relative Neighbourhood Graph*, GG o *Gabriel Graph* y DT o *Delaunay Triangulation*). Determinando que la triangulación de Delaunay es el grafo más general, estando todos los anteriores contenidos en ella:

$$NNG \subseteq MST \subseteq RNG \subseteq GG \subseteq DT$$

La definición de los grafos anteriores es (Anders y Sester, 2000):

- $NNG_p(V) = \{Arco(x,y) \mid x,y,z \in V \wedge \delta_p(x,y) < \delta_p(x,z) \wedge z \neq x \wedge z \neq y\}$
- MST: Se definirá en los apartados 2.7.1.1.3 y siguientes.
- $RNG_p(V) = \{Arco(x,y) \mid x,y \in V \wedge Lune_{2,p}(x,y) \cap V = \{\}\}$
- $GG_p(V) = \{Arco(x,y) \mid x,y \in V \wedge Lune_{1,p}(x,y) \cap V = \{\}\}$
- DT: Definido en el apartado 2.4.

En todas las definiciones anteriores, se denomina *x* e *y* a dos nodos cualesquiera, *V* al conjunto de nodos en un espacio d-dimensional y *p* al parámetro que determina la métrica de ese espacio. El resto de funciones quedan definidas como:

- $\delta_p(x,y) = \left(\sum_{i=1}^{d} |x_i - y_i|^p \right)^{\frac{1}{p}}$
- $Lune_{\beta,p}(x,y) = Ball_p\left(x\left(1-\frac{\beta}{2}\right) + y\frac{\beta}{2}, \frac{\beta}{2}\delta_p(x,y) \right) \cap$

$$\cap Ball_p\left(y\left(1-\frac{\beta}{2}\right) + x\frac{\beta}{2}, \frac{\beta}{2}\delta_p(x,y) \right)$$

Con respecto a la definición de $Ball_p$ es el conjunto de puntos del espacio cuya distancia es inferior a una dada: $Ball_p(x,r) = \{y \mid \delta_p(x,y) < r\}$.

Con respecto a la parte innovadora del trabajo, se desarrolla un sistema de agrupación denominado HPGCL (*Hierarchical Parameter-free Graph CLustering*): Un esquema del algoritmo, interpretado según la explicación de Anders (2003) aparece en la Tabla 12.

Tabla 12. Pseudocódigo del algoritmo HPGCL según lo indicado por Anders (2003).

Algoritmo HPGCL	
Entrada:	Lista de Nodos
	Tipo de Grafo (NNG, MST, RNG, GG, DT)
Salida:	Lista de Elementos Asociados

Procedimiento:

```
Clusters = Lista_de_Nodos
Arcos = Calcular_Grafo_Proximidad(Tipo_de_Grafo,Lista_de_Nodos)

Densidades = Mediana(Clusters,{})
Variancias = Mediana(Clusters,Densidades,Arcos)
Lista_Elementos_Asociables = Ordenar(Clusters,Densidades,Variancias)
i = 0
Mientras i < Numero(Lista_Elementos_Asociables) repetir
  Cluster_A = Obtener(Lista_Elementos_Asociables,i)
  Lista_Cluster = {}
  Desde j = i hasta Numero(Lista_Elementos_Asociables) repetir
    Cluster_B = Obtener(Lista_Elementos_Asociables,j)
    Si (Existe_Arco_Entre(Cluster_A,Cluster_B,Arcos)) y
       (Abs(Densidades(Cluster_A)-Densidades(Cluster_B)) < Variancias(Cluster_A)) y
       (Abs(Densidades(Cluster_B)-Densidades(Cluster_A)) < Variancias(Cluster_B)) y
       ((Max(Cluster_A,Cluster_B) <= Max(Cluster_A)) y
        (Max(Cluster_A,Cluster_B) <= Max(Cluster_B)) y
        (Min(Cluster_A,Cluster_B) >= Min(Cluster_B)) y
        (Min(Cluster_A,Cluster_B) >= Min(Cluster_B))) y
       ((Variancias(Cluster_A) >= Variancias(Cluster_A + Cluster_B)) o
        (Variancias(Cluster_B) >= Variancias(Cluster_A + Cluster_B))) entonces
      Lista_Cluster = Lista_Cluster + Cluster_B
    Fin de Si
  Fin de Desde

  Si Numero(Lista_Cluster) > 0 entonces
    Cluster = Cluster - Cluster_A
    Cluster_A = Cluster_A + Lista_Cluster
    Cluster = Cluster_A + Cluster

    Densidades = Mediana(Clusters,{})
    Variancias = Mediana(Clusters,Densidades,Arcos)
    Lista_Elementos_Asociables = Ordenar(Clusters,Densidades,Variancias)
  Sino
    i = i + 1
  Fin de Si
Fin de Mientras

Devolver Lista_Elementos_Asociables
```

El algoritmo indicado por Anders (2003), consiste en la localización de los clusters partiendo de los centroides de los elementos (1 por cada elemento) y asociando todos los clusters iniciales que tengan algún arco común y cumplan las tres condiciones siguientes:

- Compatibilidad de densidad: Las densidades de los clusters deben estar dentro del intervalo determinado por centro cluster ± variancia en ambos casos.
- Compatibilidad de distancia: Los clusters asociados deben ocupar un espacio menor o igual que los originales.
- Compatibilidad de variancias: La variancia del cluster asociado no puede superar la suma de las variancias de los clusters aislados.

En todos los casos, es necesario determinar la densidad del cluster como la mediana de sus arcos internos (arcos que enlazan nodos del cluster) y la variancia como el valor absoluto de las desviaciones de las longitudes de los arcos internos y externos (los que enlazan algún nodo de un cluster con algún cluster externo) con respecto a la densidad.

Según Anders, la aplicación de este mecanismo puede ser muy útil para la determinación de agrupaciones de objetos en generalización cartográfica, y el hecho de poder obtener diferentes grados de asociación (en función del tipo de grafo determinado) puede permitir distinguir elementos con diferentes jerarquías.

2.6.4. CONCLUSIONES A LA TEORÍA DE LA PERCEPCIÓN.

Las leyes de asociaciones perceptivas desarrolladas al principio del apartado 2.6 son un elemento muy importante para la determinación de las similitudes entre objetos, y, por tanto, de la forma de unificación cuasi-local y de determinación del contexto empleado para la generalización por parte del cartógrafo. Por esta razón, será una de las guías principales en la selección de los objetos.

El empleo de grafos para el enlace de objetos es una de las prioridades en la generalización cartográfica, realizando las posibles selecciones utilizando los arcos de esos grafos.

Finalmente, la necesidad de experiencias previas del sistema para dotarlo del conocimiento aplicado por el cartógrafo es una tarea, hoy en día, todavía muy lejos de alcanzar, por lo que el proceso desarrollado carecerá de esta propiedad, y por lo tanto, será incompleto, lo cual dará lugar a un sistema semiautomático. Para el desarrollo de un sistema automático será necesario un aprendizaje y almacenamiento de dicho conocimiento, bien sea enlazado a cascos urbanos en concreto o de forma general a todos los posibles municipios.

2.7. ESTADO DE LOS TRABAJOS EN GENERALIZACIÓN CARTOGRÁFICA Y DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

Los trabajos de generalización realizados hasta la fecha se apoyan en tres aspectos fundamentales:

a) Mecanismos de segmentación, enlace, gestalt.
b) Mecanismos de generalización.
c) Mecanismos de evaluación de resultados.

Los anteriores aspectos deberían ser reflejados independientemente dentro de los antecedentes, sin embargo, y debido a que generalmente el la segmentación es una parte de la generalización, aparecerán conjuntamente. Por esta razón se ha optado por este tratamiento conjunto de los mismos, dejando el tercer aspecto para su exposición independiente puesto que las aplicaciones que se mostrarán no son exclusivas del campo de la generalización cartográfica.

2.7.1. MECANISMOS DE SEGMENTACIÓN Y GENERALIZACIÓN.

Cuando comenzó este trabajo (1998), la generalización en cascos urbanos era un tema que se encontraba en relativamente pocas publicaciones. Sin embargo, los estudios empezaron a aparecer incluso en ese mismo año. Así, en las tesis de Regnauld (1998), Hangouet (1998) y Ruas (1999), especialmente en esta última, ya se mostraban soluciones parciales pero muy similares a las deseadas para el problema, tal y como se mostrará en apartados posteriores.

En todos los casos nombrados, las soluciones adoptadas se encuentra en entorno vectorial, incluso a pesar de las razones apuntadas por Peter and Weibel (1999):

> "*Algunos autores, por ejemplo Su, Li y Lodwick (1998a y 1998b), han propuesto métodos donde los datos vectoriales son convertidos a la estructura raster, generalizados y finalmente transformados de nuevo al modelo vectorial (vector – raster-vector). En general, esta estrategia tiene un mayor sentido que su inversa (raster – vector – raster) ya que la mayor parte de los*

> *operadores raster, especialmente aquellos que tienen en cuenta la vecindad u operaciones contextuales, son más fáciles de implementar que en su entorno vectorial*".

Sin embargo, en el mismo artículo indican la problemática del sistema vector – raster – vector indicando, mostrando que quizás sea un camino sólo usable para casos puntuales y no globalmente:

> "*Esto (la conversión vector-raster-vector) puede compensar por la pérdida relativa de precisión y expresividad semántica que ocurre cuando los datos son transformados. Cuando los datos sean reconvertidos tras la generalización la fuente de datos (vector) nos puede ayudar a la interpretación de las posibles ambigüedades que aparezcan en la conversión raster a vector. Sin embargo, no pueden existir argumentos convincentes que justifiquen una estrategia de generalización donde los datos raster sean convertidos al modelo vectorial para su generalización con la consiguiente conversión a la estructura raster.*".

Las dificultades inherentes a estas fases de conversión, así como la pérdida de información y el entorno basado en álgebra que se puede desarrollar en el formato vectorial ha llevado a un gran desarrollo de los algoritmos en este entorno apartando el entorno raster de los trabajos.

En cualquier caso, e independientemente del enfoque de datos que se vaya a utilizar, se debe indicar que las relaciones complejas existentes en el casco urbano han mostrado una gran resistencia a los procesos de generalización automática. En general debido al gran número de objetos a tratar y del mantenimiento de todas las relaciones entre ellos.

2.7.1.1. Generalización de cascos urbanos en modelos de representación vectorial.

La bibliografía relativa a la generalización de cascos urbanos ha sufrido un gran desarrollo en los últimos años, en la Tabla 13 se muestra una visión general de de los trabajos más importantes que han aparecido.

Tabla 13. Antecedentes de la generalización urbana en modelo de representación vectorial.

Autor(es)	Año	Título	Investigación realizada	Tipología de la investigación		
				Modelos concep.	Enriq. BD	Operad.
Mackaness	1995	Análisis de las Redes Viarias Urbanas para su aplicación en Generalización Cartográfica	Análisis de medidas sobre redes viarias			
Jones, Bunday y Ware	1995	Generalización de mapas empleando una red de triángulos irregulares.	Simplificación, colapso, exageración, amalgamación.			
Hangouet	1998	Aproximación y métodos para la automatización a la generalización cartográfica; aplicación al perímetro urbano	Simplificación de formas por Delaunay. Simplificación de formas por MREs (Orientados y con superficie). Tipificación			
Regnauld	1998	Generalización de edificaciones: Estructura espacial de tipo grafo y representación cartográfica	Eliminación y amalgamación (ARM)			
Ruas	1999	Modelo de generalización de datos geográficos basados en constreñimientos y autonomía	Modelos conceptuales. Operadores de generalización			
Sester	2000	Generalización basada en ajustes mínimos cuadráticos	Operadores de generalización individuales			
Agent Project	1997–2000	Diversos documentos	Mecanismos de generalización y medidas evaluadoras			

Autor(es)	Año	Título	Investigación realizada	Tipología de la investigación		
				Modelos concep.	Enriq. BD	Operad.
Boffet	2001	Método de creación de información multinivel para la generalización de cartografía urbana	Tipificación zonal. Mesobloques. Perímetros urbanos y zonas urbanas			
Bader	2001	Métodos de minimización de energía para el desplazamiento de entidades en generalización cartográfica	Operador de desplazamiento			
Buffet	2001	Método de creación de información multinivel para la generalización de cartografía urbana	Tipificación zonal. Mesobloques. Perímetros urbanos y zonas urbanas			
Bader	2001	Métodos de minimización de energía para el desplazamiento de entidades en generalización cartográfica	Operador de desplazamiento			

Como se deduce de la tabla anterior, la mayor parte de los trabajos realizados dedican sus esfuerzos al desarrollo de los operadores de generalización (amalgamación, desplazamiento, etc.), sin embargo, en algunos casos también se buscan modelos conceptuales y se desarrollan nuevas técnicas de enriquecimiento de los datos disponibles sobre los objetos urbanos.

El orden que nos parece más adecuado, a la vista de la Tabla 13, es el cronológico. A continuación se presentan en este apartado los aspectos más relevantes para el trabajo que se ha desarrollado en esta tesis.

2.7.1.1.1 Mackaness (1995): Análisis de las Redes Viarias Urbanas para su aplicación en Generalización Cartográfica.

El trabajo desarrollado por Mackaness introduce un concepto interesante en el tratamiento de la generalización urbana: El empleo de las vías de comunicación como

indicadores de la importancia de las manzanas. El autor considera las ciudades como un conjunto de relaciones entre las redes de transporte, la morfología urbana y la distribución espacial de los usos e instituciones urbanas, así, la estructura de la ciudad condiciona y es condicionada por las interacciones entre estos elementos. De entre todos ellos da prioridad a las vías de comunicación, aunque advierte que el resto de los elementos debe ser empleado para una generalización más precisa y próxima a la realidad.

Mackaness, siguiendo el *Alpha Analysis* (Hillier y Hanson, 1984), define las vías de comunicación como un importante descriptor de la morfología urbana, ya que delimitan las manzanas, el casco urbano, la densidad de edificios, las angularidades de las calles, etc. El problema se centra en mantener estas características definitorias a menores escalas, donde ocurren los fenómenos de superposición, congestión, … lo que obliga a la reducción de ciertos detalles. Por esta razón será necesario definir qué elementos son fundamentales y cuáles prescindibles, y ahí es donde se emplea el *Alpha Analisys*. Algunas de las medidas que se pueden obtener de este método son:

- Conectividad: Es el número de líneas (vías de comunicación) que cruza a la línea tratada.
- Profundidad: Es el número de líneas que tiene que recorrer la línea tratada para salir del casco urbano.
- Control: Es un número indicativo del acceso relativo de una línea axial (línea de visión) respecto de las otras. Su cálculo se realiza para cada línea axial, asignando a la línea que lo corta un valor 1/n, siendo n la conectividad de esa línea axial. El valor de control es la suma de todos esos valores asignados.

A partir de la definición de estas tres medidas se extraen una serie de índices que permitirán determinar límites en las líneas axiales a partir de los cuales deben ser desestimadas en el proceso de generalización, una de estas medidas es la denominada Asimetría Relativa (Ra para Mackaness):

$$Ra = \frac{\frac{2}{n}\sum_{i=0}^{n}\left(Profundidad_i\right) - 2}{K - 2},$$

donde n es el número de líneas axiales y K indica el número de regiones en el sistema. La asimetría relativa (Ra) está normalizada, de forma que los valores próximos a 1

indican espacios muy profundos, es decir, existirán líneas axiales de mucha profundidad, y valores próximos a 0 indican un sistema bien integrado donde los elementos tiene buenas conexiones.

El empleo del valor de asimetría relativa (aplicándolo a ciertas zonas de la ciudad), junto con los otros indicadores permitiría una determinación de la importancia relativa de los elementos de comunicación, por lo que llevaría a una selección de las líneas axiales que se van a mantener en nuestra generalización. El problema pasa por la definición de las líneas axiales, que, según Mackaness puede ser abordado de múltiples formas, la primera de ellas trataría del empleo de un ajuste de tal forma que se intentase encajar en todos los casos la línea más larga dentro del trazado de las calles del mapa, la otra alternativa es el empleo de la obtención de los denominados núcleos de los polígonos, que son el conjunto de puntos interiores al polígono que pueden ser unidos con todos los vértices del mismo a través de una línea totalmente incluida en su superficie. A mayor tamaño del núcleo mayor grado de conectividad.

El coste de las tareas de obtención de las líneas axíales empleadas en los algoritmos (denominadas líneas de visión), y equivalentes a la red de comunicación es alto y no falto de alcanzar soluciones erróneas o algoritmos de tiempo de cálculo exponencial (por lo tanto impracticable), por lo que el problema sólo se resuelve actualmente mediante el trazado de las líneas de forma manual.

2.7.1.1.2 Jones, Bunday y Ware (1995): Generalización de mapas empleando una red de triángulos irregulares.

Desde el punto de vista de los autores, el espacio puede ser dividido en triángulos, obtenidos mediante una Triangulación Delanuay con Constreñimientos (TDC). Esta es una modificación de la Triangulación Delanuay convencional, donde los lados de los elementos vectoriales del mapa se fuerzan a que sean lados de los triángulos Delanuay. Proponen, por tanto, una división de todo el espacio en triángulos que luego almacena en lo que denominan *Simplicial Data Structure* (SDS o Estructura de Simplices), el término Simplice viene a indicar que está compuesta por el menor objeto geométrico de las dimensiones tratadas (por ejemplo, un punto para dimensión 0, un segmento para dimensión 1,...). En esta estructura se almacena inicialmente el polígono y punteros a

todos los triángulos que forman parte del mismo, de cada triángulo se almacenan punteros a sus lados y un valor lógico indicando si la dirección es horaria o antihoraria, y, finalmente, los lados se almacenan con punteros a sus vértices extremos, un puntero indicando el triángulo a la izquierda y otro indicando el triángulo a la derecha, y un valor lógico que determina si el lado es virtual (se generó en la triangulación) o si es real (es parte de un polígono o elemento existente antes de la triangulación).

La estructura anteriormente definida se emplea para la implementación de distintos operadores de generalización:

- Exageración: Se realiza mediante la obtención de los vértices del límite del polígono y su expansión en la dirección determinada por el lado del triángulo que los contiene (ver Figura 19a). Este método es más exacto que un escalado en el caso de tratar con objetos irregulares porque evita los problemas de intersección entre los límites que aparecen al escalar un objeto uniformemente en todas direcciones.
- Colapso: Se obtiene creando nuevos vértices en los lados de los triángulos que conectan extremos opuestos de un objeto, la unión de los vértices en función de los triángulos existentes a un lado y otro determina el nuevo objeto (ver Figura 19b). Este método tiene el problema de las intersecciones múltiples, cuando hay tres o más puntos compitiendo por unirse entre si se ha de decidir el orden de unión de los mismos, los autores lo resuelven uniendo los dos más próximos y el punto medio de la línea formada con el tercer elemento.

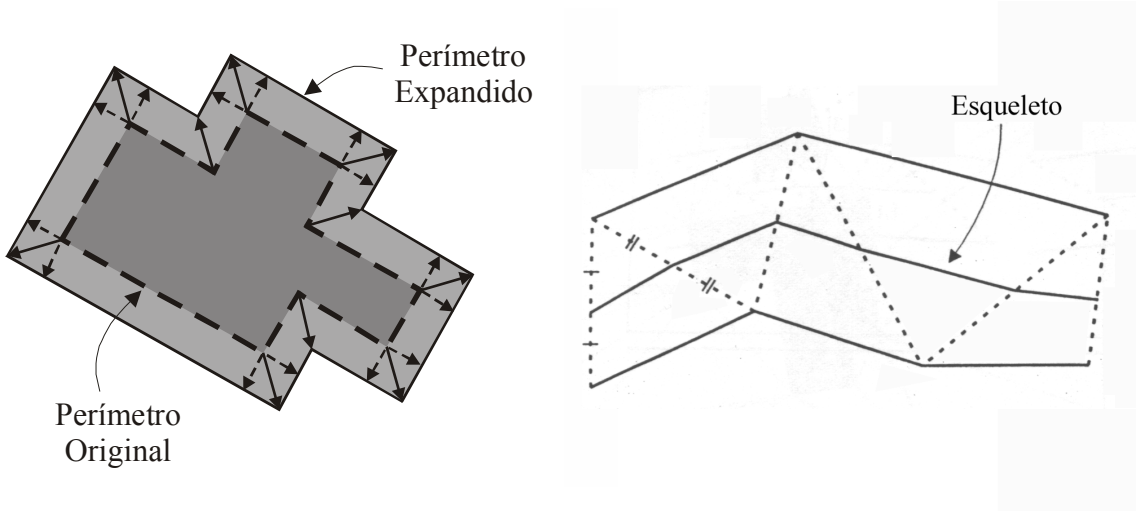


Figura 19. Operaciones de exageración (izquierda) y colapso (derecha) mediante la estructura SDS.

- Amalgamación: Para los autores este efecto de agregación se puede conseguir por dos métodos distintos, el primero de ellos conlleva un desplazamiento de un objeto respecto a otro y el segundo una unión de los triángulos de dos objetos.

  El método de agregación por desplazamiento supone que entre dos objetos existen una serie de triángulos (ver Figura 20), de los cuales se selecciona el que tenga menor altura (definiendo la altura como la distancia perpendicular a un lado real con respecto al vértice opuesto), esta altura define el vector de desplazamiento del objeto, una vez desplazado esa distancia los triángulos dependientes del objeto que se ha movido se modifican. El siguiente paso es una rotación para alinear los dos objetos, para ello, los dos triángulos adyacentes al seleccionado deben degenerar en líneas, en el caso en que no se obtenga de forma directa, la rotación aplicada debe anular la superficie de uno de estos dos triángulos, aquel que tenga dos lados reales en ambos objetos o, si ambos lo tienen, aquel cuyo ángulo entre esos dos lados sea el menor, con esto los objetos están unidos y alineados.

  El método de unión o adopción de triángulos es mucho más simple, se basa en determinar la altura de los triángulos, y aquellos que no superen un umbral predeterminado se convierten en parte de ambos objetos uniéndolos.

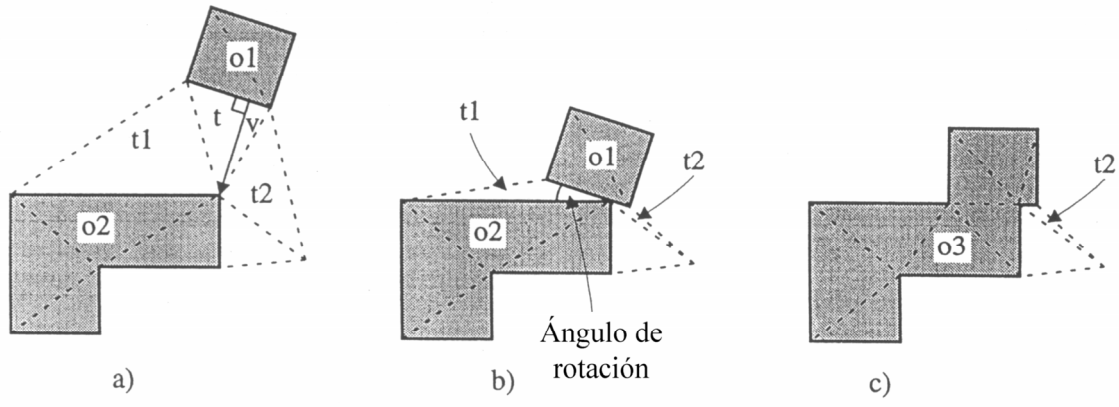


Figura 20. Amalgamación de objetos por el método de desplazamiento.

- Simplificación de límites de edificios: El método de simplificación de límites es relativamente sencillo, se basa en la eliminación de todos aquellos triángulos que poseen un lado real menor que una tolerancia predeterminada,

para borrar el triángulo se provocan una inversión, es decir, se transfiere la distancia inferior al vértice opuesto del triángulo, insertando este nuevo vértice en el polígono tratado (ver Figura 21).

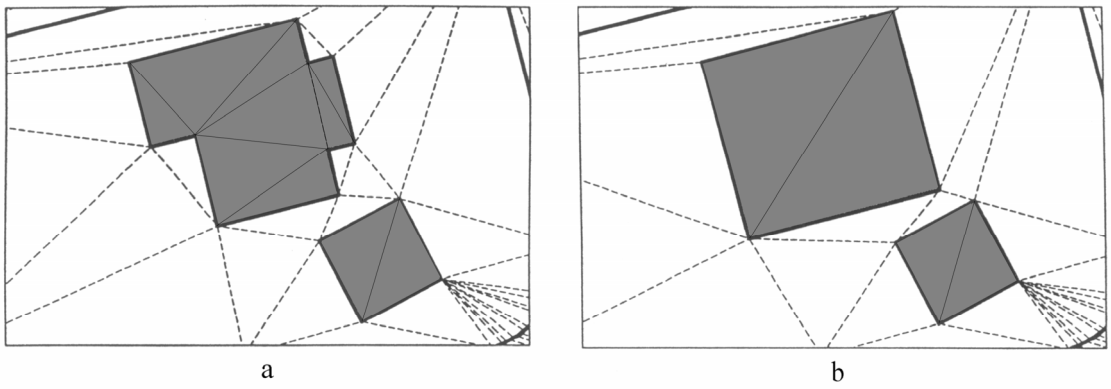


Figura 21. Aplicación de la simplificación de límites de edificios.

- Resolución de conflictos causados por la expansión y el desplazamiento: La aplicación de los métodos de generalización anteriores pueden dar lugar a la superposición de los elementos generalizados, para encontrar estos problemas se recurre a la búsqueda de triángulos invertidos (aquellos que ocupan la región del espacio de otros). La solución de estos problemas pasa por el desplazamiento de los objetos mediante la obtención del vector de los triángulos invertidos, o, en su caso, una combinación lineal apropiada de los vectores de todos los triángulos que han resultado invertidos.

Este trabajo propone, pues, unas operaciones de generalización bastante apropiadas para los cascos urbanos, pero, debe complementarse con el comentado en primer lugar para definir qué elementos se unirán realmente y cuales no, es decir, en todos los casos se choca con el criterio del generalizador, que es capaz de distinguir los elementos que son importantes y las formas que deben permanecer, sabiendo además qué elementos necesitarán una simplificación de su límite y cuáles no, además de poder eliminar los conflictos entre objetos adyacentes sin los problemas encontrados en los métodos automáticos de generalización.

2.7.1.1.3 Regnauld (1998): Generalización de edificaciones: Estructura espacial de tipo grafo y representación cartográfica.

Los trabajos desarrollados por Regnauld, dentro del laboratorio COGIT (*Conception Objet et Généralisation de l'Information Topographique*) del IGN de Francia, tanto en su tesis doctoral como en sus posteriores aportaciones al proyecto Agente, son muy interesantes y resuelven algunos de los casos de generalización dentro de los cascos urbanos, en concreto centra su estudio en las relaciones de vecindad entre cada edificación y las edificaciones próximas. Estas relaciones las limitan a un único vecino empleando lo que llama ARM (Árbol de Recubrimiento Minimal), que según su definición es:

> "*Un árbol de recubrimiento minimal (ARM) es un grafo sin ciclos tal que existe un único camino que una a toda pareja de nodos del grafo. Además, cada arista entre dos nodos está ponderada, y el camino que une dos nodos es aquel cuyo máximo peso de las aristas que lo componen es mínimo*".

Este mecanismo asegura la obtención del vecino más próximo para cada edificio. Dicho ARM es posteriormente segmentado empleando tres de los cinco criterios de Gestalt, es decir, según la proximidad espacial (asegurada por el ARM), según la similaridad controlada por un parámetro de forma y según la continuidad.

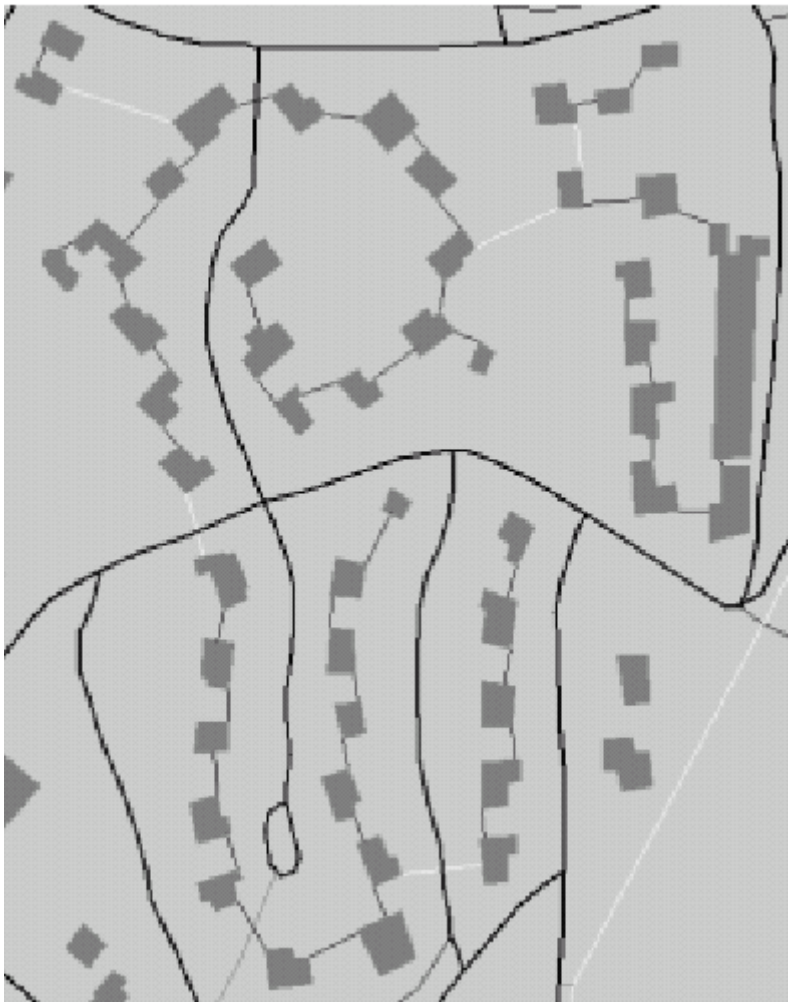


Figura 22. Ejemplo de ARM segmentado.

También desarrolla dos operadores de generalización bastante interesantes:

a) Estructuración (Figura 23): Este operador, trata de reestructurar la situación de los edificios dentro de lo que Regnauld denomina islote urbano (una manzana[6]), provocando tres operaciones básicas: Un preposicionamiento de los edificios en situaciones dependientes de los valores iniciales, una conversión de las estructuras complejas de los edificios en sus rectángulos de igual superficie y finalmente una eliminación de aquellos que no cumplen los criterios de legibilidad y de distancia.

[6] Espacio urbano, edificado o destinado a la edificación, generalmente cuadrangular, delimitado por calles por todos sus lados.

(a) (b)

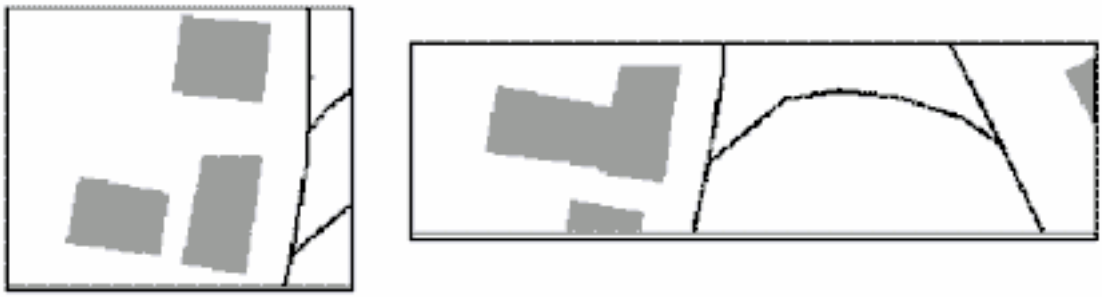
Figura 23. Resultados del operador de estructuración. (a) Imagen antes de la aplicación. (b) Imagen después de la aplicación.

b) Amalgamación: Desarrolla este operador según dos tipologías diferentes. La primera de ellas se basa en una amalgamación por desplazamiento (ver ejemplo en Figura 24), de tal forma que los objetos más ligeros (de superficie menor) se desplazan hacia los más pesados empleando una distancia que puede fijarse de dos maneras diferentes: el método estético en el que el desplazamiento ocurre hasta alcanzar una arista completa, y el método alternativo, donde el desplazamiento viene determinado por la distancia minimal y los ángulos que la conforman.

(a) (b) (c)

Figura 24. Amalgamación por desplazamiento. a) Versión original. b) Versión por desplazamiento estético. c) Versión por desplazamiento simple.

El segundo operador de amalgamación (ver ejemplo en Figura 25) que desarrolla es el de llenado del espacio entre edificios, basado en el cálculo del cierre convexo de ambos objetos y posteriormente la selección de las líneas internas o externas que permiten ese cierre.



(a) (b)

Figura 25. Amalgamación por rellenado del espacio. a) Situación original. b) Situación tras la amalgamación.

Los resultados obtenidos por Regnauld son bastante significativos e interesantes con respecto a la aplicación en zonas de edificaciones continuas y lineales, manteniendo en estos casos todas las propiedades bastante bien, pero no siendo sencilla su aplicación a zonas cerradas o de alta densidad de edificios.

2.7.1.1.4 Hangouet (1998): Aproximación y métodos para la automatización a la generalización cartográfica; aplicación al perímetro urbano.

Hangouet, por su parte, también ha desarrollado dentro del laboratorio COGIT del IGN de Francia, otro conjunto de algoritmos de generalización de edificios, proponiendo siempre una versión basada en triangulaciones de Delaunay y otra basada simplemente en los datos puros de coordenadas.

En primer lugar desarrolla un mecanismo de reconstrucción de vías urbanas y de manzanas de una manera relativamente sencilla, basándose en una estructura similar a la desarrollada por el sistema arco-nodo, dividiendo las calles en *troçon* que no son más que tramos de calles entre dos intersecciones, una vez hecho esto es fácilmente obtenible el límite de una manzana como una sucesión de estos *troçons*, al igual que se obtendría en cualquier algoritmo de cálculo topológico. Posteriormente clasifica los grupos de edificios como elementos perimetrales o no, basándose en la triangulación de Delaunay y la proximidad a un *troçon*, posteriormente los seleccionará para que su actuación se realice en bloque empleando un sencillo sistema de posición próxima en el semiplano. El resultado es un grafo similar al obtenido en un ARM tras su segmentación, sin llegar a obtener unos resultados iguales. Lo importante es el posterior enriquecimiento de la base de datos con los cálculos de un conjunto de cualidades (Naturaleza, tamaño, forma, orientación, orientación respecto de la ruta, distancia a la ruta y espaciado entre edificios), que permiten extraer los edificios más importantes dentro de los grupos anteriores. Todas estas características son calculadas de una forma bastante interesante empleando una esqueletización del edificio en base a una triangulación de Delaunay interna usando los vértices del perímetro (Figura 26).

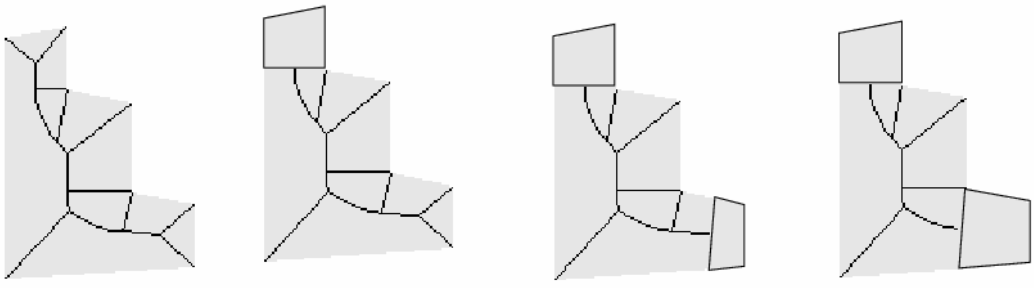
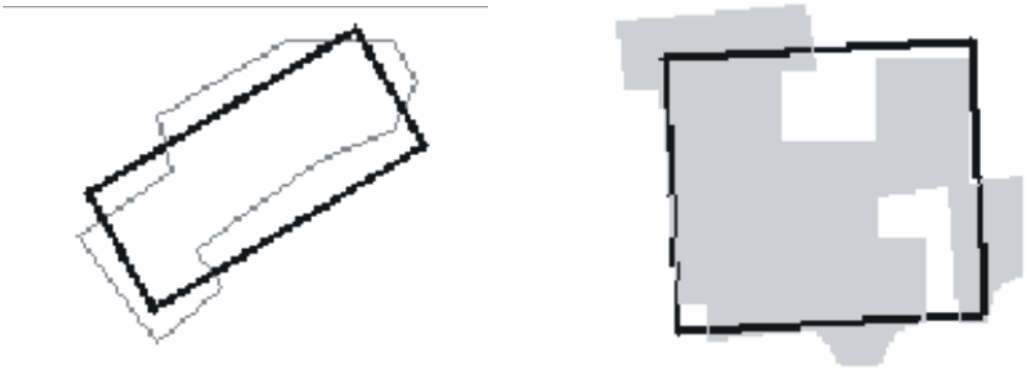


Figura 26. Esqueletización de una edificación y posterior selección de diferentes componentes.

El otro operador interesante empleado por Hangouet es el que denomina de representación equivalente de un edificio, lo llama equivalente porque trata de obtener una nueva representación de un edificio manteniendo la superficie a pesar de los cambios que pueda sufrir su forma exterior. En este caso también propone una solución con Voronoi y otra sin Voronoi. La representación sin Voronoi se basa simplemente en

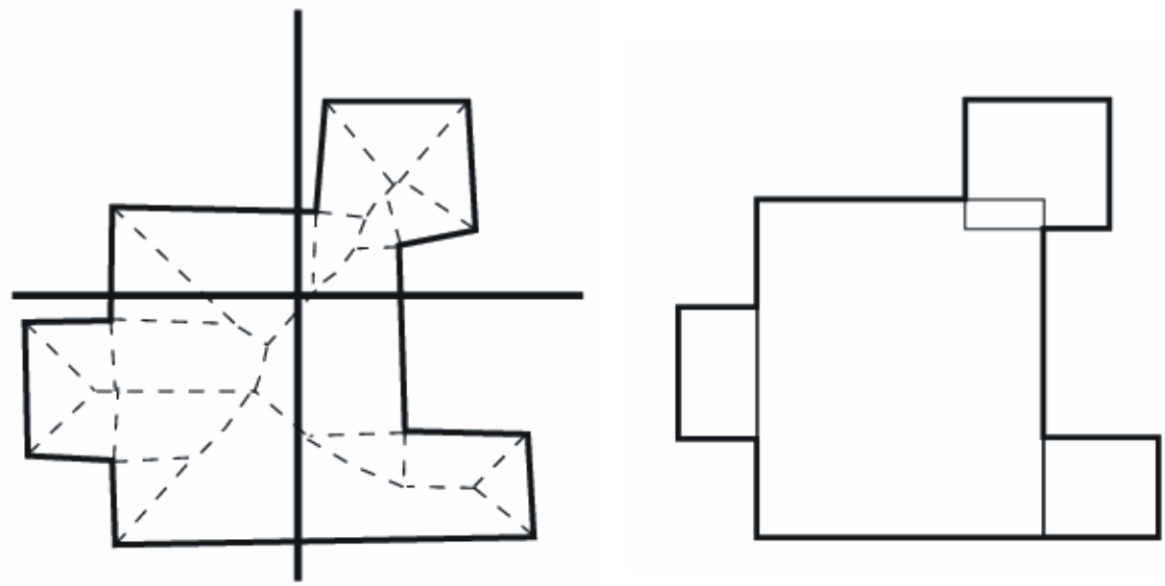
la obtención de la orientación (del párrafo anterior) y el mínimo rectángulo encuadrante en esa orientación, después, dicho rectángulo se escala usando el centro de masas del edificio hasta conseguir que la superficie sea equivalente a la del edificio original (Figura 27). Esta representación es bastante sencilla de obtener pero puede dar algunos problemas, debidos fundamentalmente a la orientación del edificio.



a) b)

Figura 27. Ejemplos de representaciones equivalentes de edificios.

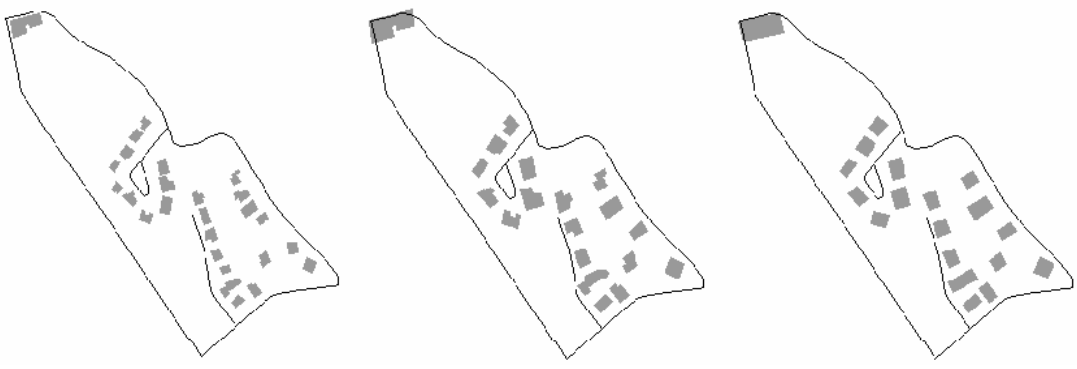
Con respecto al desarrollo con Voronoi, se basa en la esqueletización anteriormente indicada, que segmentada empleando un umbral de longitud máxima de arco permite obtener diversos conjuntos de objetos componentes de la estructura original, dichas componentes son sustituidas por el algoritmo sin Voronoi y después reunificadas en un mismo edificio, en este caso la transformación no es completamente equivalente y además pueden existir problemas cuando los edificios son excesivamente complejos (ver Hangouet 1998).



a) b)

Figura 28. Ejemplo de reestructuración de la forma del edificio empleando esqueletizaciones.

Pero, la operación más importante que desarrolla Hangouet es la de tipificación, una operación similar a la estructuración propuesta por Regnauld (1998), sólo que en este caso no se aplica a sistemas lineales, sino a conjuntos de edificios cualesquiera, consiste en la aplicación de una conversión a rectángulo equivalente para una posterior redistribución de los edificios (y eliminación en el caso de conflictos entre dos edificios), empleando como función de distribución una función lineal autogenerada (es decir, cuyos valores siguientes dependen de los anteriormente obtenidos), además, se mantendrán como elementos fijos todos aquellos cuya orientación respecto de la ruta sea diferente a las del resto del grupo. Para terminar, el algoritmo realiza una dilatación de todos los objetos.



a) b) c)

Figura 29. Ejemplo de tipificación de Hangouet (1998). a) Situación original. b) Situación tras aumentar el tamaño de los edificios. c) Situación final.

2.7.1.1.5 Ruas (1999) : Modelo de generalización de datos geográficos en base a constreñimientos y autonomía

La tesis desarrollada por Ruass es una de las más completas hasta ahora vistas, comparadas con Regnauld (1998) y Hangoüet (1998), ya que incluye no sólo aspectos del casco urbano sino también relativos a elementos lineales. Puede considerarse que propone un nuevo método de generalización (que luego será heredado casi en su totalidad por el Proyecto Agente), y que consiste en las siguientes fases:

a) Enriquecimiento de la base de datos para cada objeto.
b) Comparación de cada una de las características del objeto con las especificaciones del mapa.
c) De entre todas las características comparadas, proponer uno o varios algoritmos que solucionen la que tenga un error más importante.
d) Volver a calcular las características y repetir desde b) hasta llegar al grado de cumplimiento deseado.
e) Aplicar la secuencia a todos los objetos (micro y meso) usando como base las características del nivel macro.

Es decir, se propone un sistema de generalización autoguiado, cada objeto es independiente y tiene una serie de características que debe cumplir para adecuarse a las necesidades del mapa.

Además, todo el proceso se subdivide en función tres niveles de estudio:

a) Nivel micro: Este nivel es definido por Ruas (1999) como aquel en el que se encuentran los datos de base, es decir, los edificios, las vias, etc. Directamente extraídos de la base de datos inicial sin ninguna manipulación posterior.
b) Nivel meso: Este nivel está compuesto por conjuntos de objetos micro o meso que permiten un tratamiento global (como los islotes de Regnauld 1998 o las manzanas de Hangouet 1998).
c) Nivel macro: Este es el nivel superior y agrupa a todos los objetos del mismo tipo, es decir, a todos los ríos, todas las edificaciones, todas las calles, etc.

Cada uno de estos niveles tiene unas condiciones y medidas propias calculables que limitan su rango de generalización y los operadores que se pueden emplear sobre cada objeto. Además, se imponen una serie de priorizaciones sobre cada condición, es decir, existen características más relevantes que otras, por lo que, por ejemplo un tamaño

inferior a un umbral específico es más importante de tratar para un edificio del tipo administrativo que para una casa en medio de un vecindario, y, a su vez, un problema de tamaño es más importante que uno de orientación respecto de la calle próxima. Es decir, se crean unas funciones de prioridad basadas en la condición desarrollada y una prioridad de cada algoritmo que permite solucionar cada una de estas condiciones.

Lo importante de todo este tratamiento de enriquecimiento es el hecho de que una vez obtenidas las características de los objetos (micro, meso y macro), estas características son heredadas e impuestas de unos a otros niveles y la modificación de cualquiera de ellas dispara un sistema de actuación en las demás. Además, las características son modificables como si de un histograma se tratasen, pudiendo expandir sus distancias o repartir los valores entre otras características (por ejemplo desplazando y eliminando ciertos objetos).

Ruas, basándose en el modelo levemente desarrollado en los párrafos anteriores, propone algunos algoritmos para el entorno urbano:

a) Reglas de eliminación de calles: En este apartado, Ruas trata de eliminar la calle que separa dos objetos meso del tipo islote urbano de Regnauld, para ello realiza una preselección de elementos desechables (accesos a edificios que son calles cerradas de longitudes pequeñas o medianas y todos aquellos accesos dentro de las zonas de alta densidad). Después se zonifica el espacio, en concreto Ruas trata los edificios inferiores a un umbral y zonas con densidades elevadas (y que deberán provocar un mayor número de conflictos), ver Figura 30. Una vez seleccionados los candidatos, se unificarán aquellos que cumplan que tengan la menor superficie, la más densa y que su amalgamación (o agregación) genere la zona más compacta siguiendo esta función:

$$Mejor\ situación\left(sit\right)=\min\left(\begin{array}{l}\left(1.1-\text{compacidad}\left(sit,i\right)^2\right)\left(\dfrac{\text{superficie}\left(i\right)}{\text{superficie max}}\right)\\ \left(1+\text{dens max}-\text{densidad}\left(i\right)\right)\end{array}\right)$$

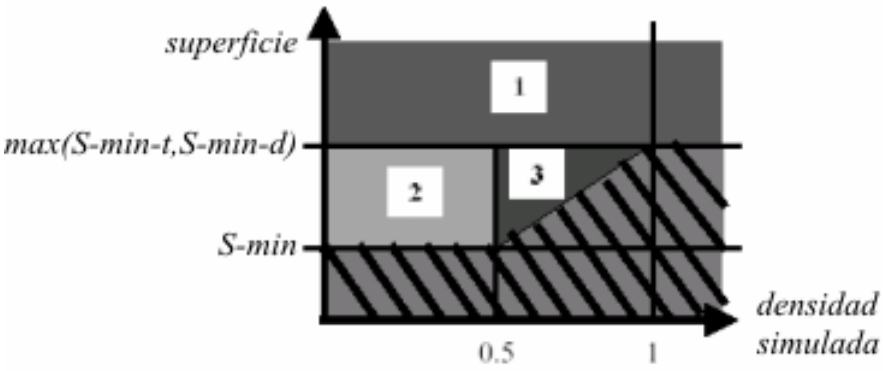


Figura 30. Situaciones tratadas por el algoritmo de unificación. La zona rayada es la candidata a unificarse.

b) Algoritmo de eliminación de edificios: Se pretende eliminar edificios de zonas excesivamente densas con el fin de facilitar los posibles desplazamientos y dilataciones posteriores. Como en el caso anterior se proponen varias soluciones, la primera de ellas basada en una función simple donde se eliminan automáticamente los edificios más pequeños que minimizan la mediana de las distancias y que maximizan la desviación tipo de los ángulos y el número de enlaces entre edificios. En un segundo caso la función es más interesante a la vez que compleja, incluyendo además de los 4 criterios anteriores el de espacios libres en las zonas próximas y el de proximidad global de todos los edificios. Las conclusiones son que el segundo método es una eliminación más eficaz en cuanto a que mantiene la distribución dejando "sitio" para posibles desplazamientos.

c) Algoritmo de desplazamiento de edificios en una manzana urbana: Este algoritmo, el más desarrollado dentro de la tesis, es un algoritmo de desplazamiento parecido al utilizado por Regnauld pero con grandes diferencias en cuanto a la armonización posterior conseguida, los pasos son un calculo de proximidades (empleando Delaunay), cálculo de los vectores desplazamientos desde las vías hacia el exterior en función del grado de insatisfacción (no cumplimiento) de la distancia de percepción visual para posteriormente modificar dichos desplazamientos realizándolos uno a uno en función del mejor candidato en cada momento. Para ello el sistema utiliza un cálculo de energías de atracción repulsión, repeliéndose entre sí cada edificio y siendo atraídos por los huecos. El desplazamiento viene determinado por una función de absorción de tal forma que cada objeto no se desplaza de por si sino que provoca un

desplazamiento proporcional en los objetos vecinos en función de su dirección y distancia al mismo. Además, es necesario en algunas ocasiones la modificación de estos últimos desplazamientos usando dos constreñimientos ortogonales a las vías para evitar los conflictos de simbolización de las mismas.

Como se puede observar, los trabajos desarrollados por Ruas son muy importantes en el estudio de la generalización dentro del entorno vectorial, además de proponer un conjunto de funciones, y sobre todo, un mecanismo de actuación automática para la generalización de cualquier base de datos geográfica, no necesariamente relativa a zonas urbanas.

2.7.1.1.6 Sester (2000): Generalización basada en ajustes mínimos cuadráticos.

Sester, propone en este artículo dos operadores ya vistas en las tres tesis anteriormente referenciadas:

a) Operador de simplificación de edificios: Este operador se basa en la simplificación de la forma del edificio reduciendo el número de detalles en función de los parámetros de tamaño máximo y mínimo de fachada. Para ello utiliza las siguientes reglas de actuación:
    - Intrusión y extrusión: El ángulo entre ambas caras es próximo a 180º. La cara más pequeña se fijará al nivel de la fachada principal.
    - Desplazamiento: El ángulo es aproximadamente 0º. El lado más largo será extendido y el más corto eliminado.
    - Esquina: El ángulo es próximo a 90º. En ese caso las caras son intersecadas.

    Esta regla se aplica a todas las fachadas del objeto partiendo de la fachada más corta para realizar la generalización del edificio y empleando un sistema mínimo cuadrático donde cada parámetro se pondera en función de la longitud de la fachada y la precisión con la que se quiere solucionar el sistema (Figura 31).

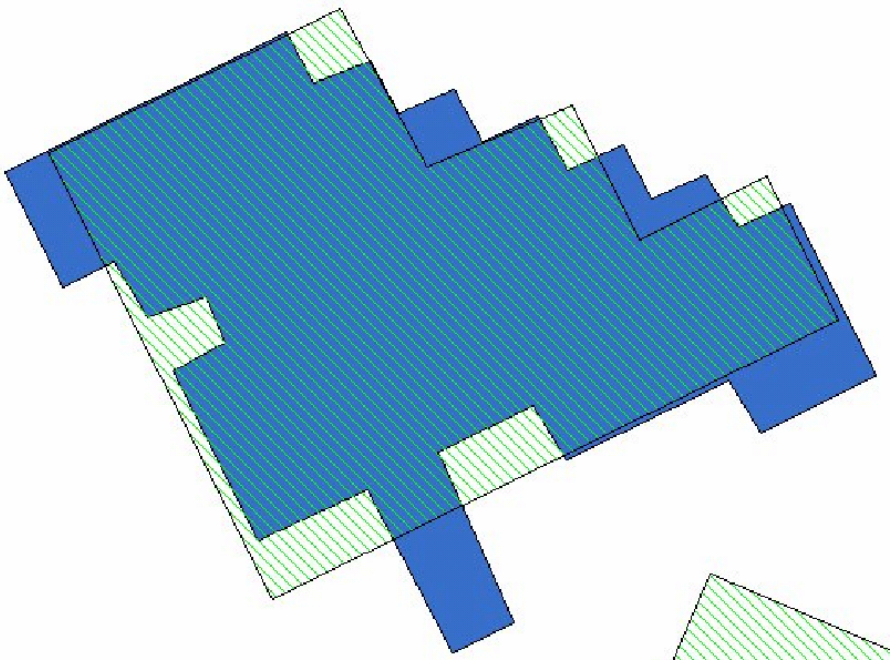


Figura 31. Ejemplo antes (en azul) y después (en verde) del resultado del operador de simplificación de edificios.

b) Operador de desplazamiento: En este caso el desplazamiento es modelado empleando los parámetros de forma (caras, ángulos y orientaciones), las distancias minimales y críticas (para distinguir entre desplazamiento y amalgamación por desplazamiento) y las coordenadas. Todos estos datos se introducen en el modelo mínimo cuadrático con los pesos requeridos que indicarán el grado de cumplimiento deseado.

Los resultados son bastante concluyentes en cuanto a ambos operadores, llegando, en los ejemplos mostrados (sólo 2), a soluciones muy aproximadas a las realizadas de manera manual.

2.7.1.1.7 Agent Project (1997-2000).

El proyecto Agente fue iniciado en el año 1997 dentro del programa Esprit de la Unión Europea. La misión a desarrollar fue (Lamy y col., 1999):

> "*Esta investigación está guiada por el deseo de conseguir la obtención de mapas a diferentes escalas y temáticas partiendo de una única base de datos detallada.*"

Es decir, automatización de todos los procesos de generalización, tanto los realizados como necesidad de los cambios en la escala como los realizados debidos al cambio de la temática del mapa.

Su desarrollo fue llevado a cabo por lo que se denominó el Consorcio del Proyecto Agent que estaba compuesto por cinco entidades:

- El IGN de Francia, encabezado por el laboratorio COGIT.
- La Universidad de Grenoble. Francia.
- La Universidad de Edimburgo, en su Departamento de Geografía.
- La Universidad de Zurich, también en su Departamento de Geografía.
- La empresa Laser Scan (Cambridge, Reino Unido).

El concepto fundamental de desarrollo de la generalización en la que se basa el Proyecto Agente es el que su propio nombre indica, en los Agentes, la definición de Agente no es un concepto concreto, se puede denominar miembro, o cualquier cosa que permita solucionar una tarea en colaboración con otros elementos del mismo tipo (casi como en una red neuronal), sin embargo, lo que si está claro es su funcionalidad (Lami y col. 1999, tras (Luck, 1997):

> *(Los Agentes) son sistemas computacionales donde un conjunto de ellos cooperan para la realización de una tarea que de otra forma no podría ser conseguida*.

Un agente, para cumplir estos objetivos en generalización cartográfica, o en cualquier otra tarea que se le encargue, debe disponer de los siguientes elementos (Lami, 1999):

- Capacidad para percibir y comunicarse entre ellos.
- Conocimiento sobre el cual basarse para diseñar su propio estado de información.
- Capacidad de razonamiento y diseño.
- Capacidad para crear un conjunto de elecciones posibles guiadas por un plan de actuación.
- Ser guiado por el deseo de alcanzar un objetivo.

Estas capacidades se implementan mediante una máquina de estados independientes para cada agente siguiendo el esquema de la Figura 32 (Lami, 1999).

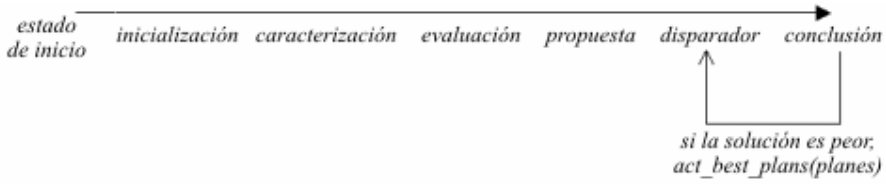


Figura 32. Estados de un agente.

Todas las estructuras de agentes se enmarcan en el sistema de micro, meso y macro agentes al estilo de los niveles especificados por Ruas (1999). Es decir, existen macro agentes que disparan la actividad de meso agentes que a su vez activan los micro agentes, todo ello para aceptar que el disparador principal alcanza su objetivo, y, por tanto, satisface los requerimientos impuestos, si bien, es de indicar que los macroagentes no han sido implementados en el sistema final. Para ello, los agentes calculan una serie de parámetros intrínsecos y extrínsecos (documentos DC4, DC2, DA2 de acceso público del proyecto agente) si no cumplen los objetivos de estos parámetros proponen automáticamente soluciones a sus problemas y las ejecutan. El problema de este proceso es la explosión combinatoria que produciría la no convergencia del sistema para satisfacer todas las características, para los creadores del Proyecto esto se soluciona limitando el número máximo de procesos realizables por cada agente individual o dejando un margen de "insatisfacción" del propio agente.

Los resultados son bastante interesantes en el aspecto en el que alcanza soluciones representables sin gran pérdida de información tanto para elementos lineales como para edificios (ver Figura 33), eso sí, el tratamiento de cada edificio sólo provocará efectos sobre los edificios adyacentes si estos se encuentran en la misma manzana, eliminando, por tanto, la posibilidad de unificación de manzanas y otros tipos de operaciones interzona.

Figura 33. Ville de Trets antes y después de la generalización.

2.7.1.1.8 Bader (2001): Métodos de minimización de energía para el desplazamiento de entidades en generalización cartográfica.

Como Bader (2001) indica en los objetivos de su tesis doctoral:

> "*Este trabajo centra su atención en la optimización de algoritmos para resolver el desplazamiento cartográfico. Este tipo de algoritmo ha sido solo muy recientemente introducido en el campo de la generalización cartográfica*".

En concreto su trabajo se centra en los dos conjuntos clásicos de elementos a desplazar: lineales y bloques urbanos. Dado el objetivo de la investigación llevada a cabo en esta tesis doctoral sólo se comentarán los aspectos relativos a los desplazamientos urbanos.

En lo relativo a los desplazamientos urbanos, el algoritmo propuesto sigue estos pasos (Bader, 2001) :

a) Construir la estructura dúctil, este paso queda subdividido en tres:
    1. Construir el Árbol de Recubrimiento Minimal.
    2. Estructura de elasticidad (*stiffen*).
    3. Construir matriz de elasticidad.
b) Exageración de los edificios: Según el autor este paso no es propio del desplazamiento de edificios, pero se incluye aquí como ejemplo de que las operaciones a nivel de edificio deben realizarse en este momento.
c) Solución iterativa, que se subdivide en los siguientes pasos:
    1. Calcular las fuerzas de los edificios.
    2. Calcular las fuerzas de las carreteras o vías.
    3. Unir ambas fuerzas anteriores en una única fuerza.
    4. Calcular los desplazamientos empleando los métodos de elasticidad.
    5. Desplazar los edificios.

Los resultados obtenidos pueden verse en la Figura 34, siendo altamente parecidos a los realizados por cualquier cartógrafo.

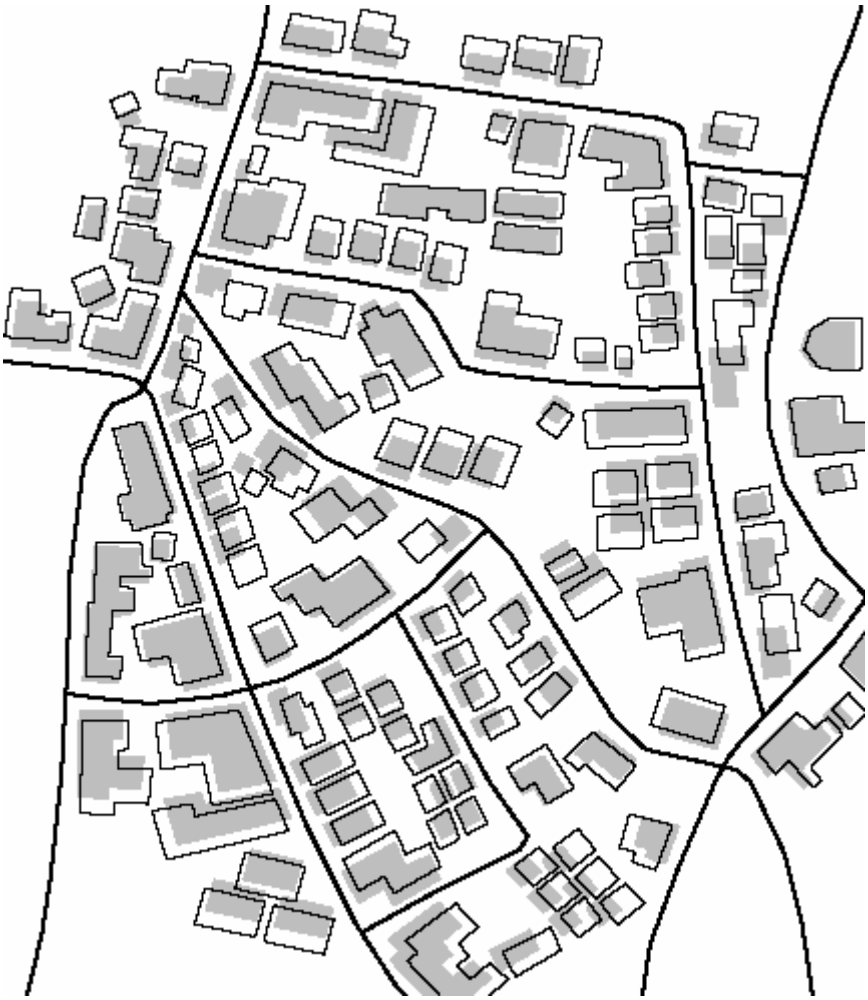


Figura 34. Resultados del algoritmo de desplazamiento propuesto por Bader. Los objetos grises son las posiciones originales, las líneas continuas negras representan los mismos objetos tras el proceso de desplazamiento.

El autor propone además una mejora basada en la posibilidad de aplicación de rotaciones sobre ciertos edificios con el fin de adecuarlos lo más posible a las fuerzas impuestas, por esta razón, propone un método de giro, que añade al general, partiendo del hecho de que los edificios que no se encuentren alineados a su vía más cercana pueden sufrir una rotación en función de las fuerzas que lo afecten. El resultado de la propuesta de mejora aparece en la Figura 35.

Figura 35. Aplicación de los desplazamientos más rotaciones. Los edificios grises son la posición original, los negros la posición desplazada y los rojos la desplazada y con rotación.

Como el propio Bader comenta, el algoritmo implementado tiene algunas deficiencias, ya que las ventajas aparecen claramente en los resultados. Sin embargo, los comentarios en las conclusiones no son excesivamente acertados, siendo más coherentes en las posibles mejoras del algoritmo (Bader, 2001), se expondrán aquí algunas de las indicadas:

- La implementación del algoritmo está limitada por las vías urbanas, los objetos no pueden escapar ni unirse, ni estas vías pueden ser modificadas en forma alguna.
- El algoritmo tiene problemas con los edificios "libres", es decir, los edificios alejados de las vías urbanas se ven libres de fuerzas de atracción o de repulsión, por lo que su desplazamiento es igual a aquel al que está encadenado dentro de su ARM.
- Pese a que el sistema calcula las fuerzas de desplazamiento no compara las fuerzas globales tras el mismo para obtener diferentes soluciones y adoptar la más óptima.

- Por el mecanismo de implementación el sistema no admite constreñimientos en las direcciones de desplazamiento de los edificios.

2.7.1.1.9 Boffet (2001): Método de creación de información multinivel para la generalización de cartografía urbana.

La tesis desarrollada por Boffet (2001), aporta un sistema contextual para la determinación de tres elementos urbanos:

a) Determinación de un perímetro urbano correctamente ajustado a las edificaciones y no el simple cierre convexo.
b) Determinación de las manzanas (islotes urbanos) y sus características básicas.
c) Determinación de las zonas urbanas mediante la unificación de los islotes urbanos.

Evidentemente es un método más natural de definir los elementos urbanos que los usados hasta ahora.

Para la determinación de las entidades urbanas generales Boffet emplea tres criterios básicos:

a) La unificación de edificaciones próximas en unidades.
b) La reagrupación de las unidades obtenidas con el fin de obtener ciertas discontinuidades espaciales.
c) La simplificación de las formas de las unidades reagrupadas con el fin de obtener formas más simples y compactas geométricamente para facilitar las operaciones posteriores.

El primer criterio lo consigue empleando una dilatación en entorno vectorial, es decir, la aplicación de un conjunto de buffers a los edificios a unas distancias determinadas, en concreto utiliza una distancia de 25 m (un ejemplo aparece en la Figura **36**), posteriormente, se aplican nuevos buffers a estos elementos unificados en diferentes distancias (50 m, 100 m, etc) en función de los elementos urbanos que se pretendan observar. Posteriormente la simplificación de las formas se realiza mediante el empleo del algoritmo de Douglas-Peucker sobre ese perímetro.

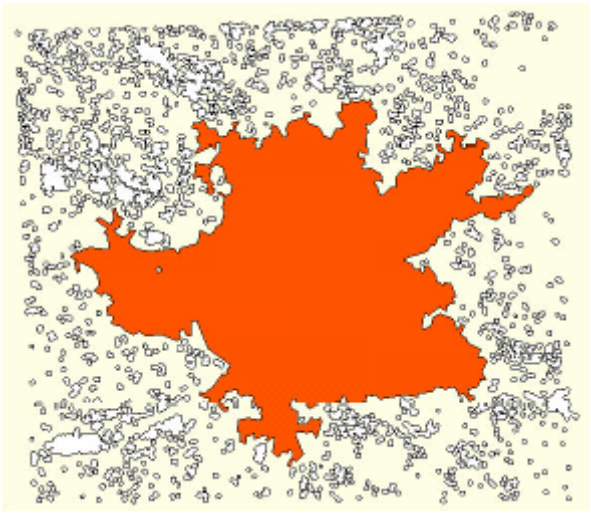


Figura 36. Ejemplo de cerramiento urbano por dilatación y simplificación por Douglas-Peucker.

Con respecto a la determinación de manzanas urbanas el trabajo se basa en los procesos ya indicados por Hangouet (1998) y Ruas (1999), es decir, un simple cierre topológico de datos. Lo importante en este caso es el enriquecimiento posterior de la base de datos creada, es decir, los datos añadidos que se crean dentro del meso-objeto islote, en este caso, Boffet indica los siguientes:

a) Densidad de los edificios dentro del islote urbano.
b) Valores máximo, medio, mínimo, mediana, 1er cuartil, 3er cuartil, desviación estándar y número de edificios dentro del islote.
c) Los mismos atributos estadísticos de b) pero con respecto a la forma de los edificios.

Una vez enriquecida cada manzana debe ser clasificada atendiendo a unos criterios dados, en este caso se utilizan tres criterios:

a) Análisis del tipo funcional: Según este criterio, las manzanas se clasifican de tipo homogéneo X si todos los edificios son del mismo tipo, si hay más de un 70% el islote es casi homogéneo X y si hay menos de un 70% el islote es heterogéneo y no tiene tipo fijo. Siendo X el tipo de edificación buscada.
b) Análisis del tamaño de los edificios: Usando los mismos criterios anteriores (todos, más del 70% y menos del 70%) se realiza la misma clasificación para el tamaño de los edificios. El problema inherente a esta clasificación es la posibilidad de que los datos sean demasiado dispersos o que existan islotes bimodales.

c) Análisis de la densidad de los edificios: En este caso sólo hay dos posibles clasificaciones, si la densidad del islote supera la densidad urbana el islote es concentrado, si no es disperso.

Además, se pretende caracterizar la estructura (forma interna o apariencia) de los edificios dentro de la manzana, para ello, el interés fundamental es la determinación de los espacios vacíos, ya que estos son los únicos sitios donde pueden ocurrir los desplazamientos. Con el fin de obtener dichos espacios se aplica el mismo método de buffer (dilatación), empleando un tamaño inferior de distancia para posteriormente aplicar el filtrado por Douglas-Peucker. Además, se califica dicho espacio usando cuatro variables (iguales a las empleadas por Regnauld, 1998):

a) La importancia relativa del espacio: Representada por su ocupación en porcentaje respecto del global de la manzana.
b) El tipo del espacio: Representada por el coeficiente entre la distancia de dos vecinos y su perímetro.
c) La orientación principal del espacio: Representada por el vector orientación absoluta de Regnauld (1998).
d) La forma del espacio: Representada por la relación entre el objeto y su parecido a un círculo (A: área del islote, L: mayor longitud del islote):

$$Forma = \frac{4A}{\pi L^2}$$

Finalmente, y lo que parece más destacable del trabajo de Boffet, es la creación de las zonas urbanas a partir de los islotes (manzanas) anteriormente desarrollados, para ello propone dos métodos, el primero de ellos sigue los pasos indicados por Ruas (1999), y el segundo es un desarrollo propio. Se comentará este segundo por haber hablado del método de Ruas en apartados anteriores. El mecanismo propio se basa en tres criterios para la obtención del mejor vecino que será el que se irá uniendo a los ya existentes:

a) Criterio de tamaño: Es la distancia entre el islote y un patrón marcado.
b) Criterio de densidad: La misma distancia anterior pero calculada a partir de las densidades.
c) El criterio de funcionalidad: Este es el criterio más complicado, es una combinación lineal de las distancias entre el número de edificios públicos, los industriales y los residenciales, ponderando como 3 veces más

importantes los públicos que los residenciales y 2 veces más importantes los industriales que los residenciales.

Una vez que se dispone de los criterios de evaluación y de distancias, la unificación se realiza de la siguiente forma:

1. Se definen uno o varios puntos de partida que serán patrones de diferentes elementos.
2. Para cada patrón se calculan todos los vecinos y se selecciona el óptimo (el que tiene una menor distancia con respecto a todos los criterios).
3. El que ha pasado el filtrado se unifica al patrón y se convierte en un nuevo patrón de partida para repetir desde el paso 2 hasta que todos los islotes estén clasificados.

El proceso como se puede observar es simple, se realiza de manera similar a una clasificación por semilla. Lo único que hay que tener en cuenta son los islotes que denomina Boffet como vacíos, estos se unificarán a aquellas zonas que los rodeen siempre que sean al menos dos de sus vecinos del mismo tipo, en caso contrario se unificarán al de mayor superficie (porque será el caso que minimice el error).

Es importante destacar que Boffet aborda un hecho hasta ahora olvidado, trata de cuantificar y clasificar las diferentes manzanas, así como las zonas urbanas y también los núcleos urbanos. Se considera que este hecho es de importancia capital en cualquier trabajo de generalización, y, por tanto será uno de los pilares de apoyo en esta tesis doctoral (ver apartado 1.2).

2.7.1.2. Generalización en modelos de representación raster.

La generalización en modelo de representación raster tradicionalmente se ha basado en lo que McMaster y Shea (1992) denominaron generalización categórica, es decir, en la modificación o cambio de las categorías del mapa, o lo que es lo mismo, en la modificación de los valores de los píxeles con el fin de cambiarlos de categoría, y, por tanto asimilarlos a otras clases.

Este proceso puede realizarse de muy diversas formas como son el empleo de filtrados o convoluciones, el empleo de sistemas de reclasificación, el empleo de vecindades, etc. Sin embargo, todos los procesos descritos actúan de un modo que se puede denominar poco conceptual, es decir, existe una gran diferencia entre lo que el ojo humano captaría, por ejemplo la amalgamación de dos edificios, y el operador con el que se realizaría (morfología matemática, distancias discretas, rellenado de huecos, etc.).

Los únicos trabajos que merecen mención son el realizado por Monmonier (1983) y la tesis doctoral desarrollada por Schylberg (1993).

2.7.1.2.1 Monmonier (1983): Generalización de mapas de usos del suelo.

Monmonier (1983) presenta uno de los trabajos pioneros en cartografía raster, de hecho, su uso es justificado por el autor por ser un mecanismo más apropiado para la generalización semiautomática de datos superficiales.

Monmonier propone un mecanismo para el mantenimiento de clases al realizar una reducción en el número de celdas basado en la ponderación de cada una de las celdas componentes originales o miniceldas (Figura 37).

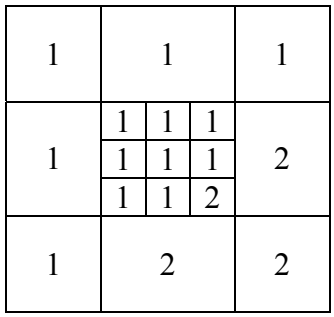


Figura 37. Ejemplo de reducción de la resolución de la imagen empleando el concepto de miniceldas.

Se propone el empleo de dos índices denominados de afinidad primaria y secundaria, el índice primario consiste en el porcentaje de probabilidad de aparición de una categoría propuesta en función de su nivel de significación, y la afinidad secundaria es el índice de probabilidad de aparición de una categoría propuesta ponderado en función de la distancia al centro de la celda.

En función de los dos índices anteriores se determina el valor de la categoría final tras la reducción de escala, aunque posteriormente siempre es necesario el empleo de algún

operador de suavizado, dicho operador es desarrollado por Monmonier como una erosión basada en múltiples núcleos morfológicos binarios diferentes.

Uno de los aspectos más importantes de este trabajo se basa en lo que Monmonier llama preparación de la imagen raster que no son más que un conjunto de las siguientes operaciones:

- Reducción del número inicial de clases a un número adecuado.
- Eliminación de las islas internas de los polígonos en función de algún criterio basado en la propia isla (tamaño, eficiencia del perímetro o compacidad, etc.) o en el polígono circundante.

Ambos aspectos preparatorios son de bastante utilidad para la generalización raster, y el segundo será utilizado, no como un aspecto inicial, sino como un aspecto de mejora de la generalización realizada para la eliminación de patios interiores.

2.7.1.2.2 Schylberg (1993): Generalización de Datos Cartográficos en entorno raster.

La tesis doctoral de Schylberg (1993) representa un paso adelante en el desarrollo de la generalización en este entorno, en primer lugar por el desarrollo conceptual de los objetos, es decir, en lugar de disponer de elementos individuales (píxeles), Schylberg los agrega en función de un filtro 2 x 2 (Figura 38).

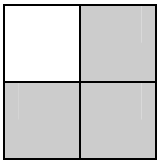


Figura 38. Filtro para la segmentación empleado por Schylberg.

A la operación de obtención de objetos la denomina segmentación, y se basa en el empleo del filtro anterior de forma que los objetos van creciendo a la derecha y abajo. Resulta evidente, que pese a que el desarrollo conceptual sea importante, de píxeles a regiones u objetos, que además etiqueta e identifica en una base de datos, la forma de obtención de los objetos es inapropiada, ya que desestima los elementos lineales (tal y como indica Schylberg en su documento), pero además desestima objetos disjuntos y elementos complejos (por la forma de crecimiento). En apartados posteriores se indicará una forma alternativa del empleo de los objetos y su cálculo.

Además es importante el desarrollo que proporciona la introducción en el entorno raster de tres operadores, hasta entonces exclusivos de la generalización vectorial:

- Amalgamación: Como una reducción del operador de agregación pero únicamente aplicable a elementos superficiales.
- Simplificación: Como un mecanismo de reducción de detalle de los elementos superficiales.
- Eliminación: Como mecanismo de borrado de elementos pequeños o no adecuados al mapa.

Los dos primeros operadores se basan en:

- La aplicación de una expansión de los objetos tratados y una posterior reducción, en el primer caso (amalgamado) y lo contrario en el segundo (simplificación).
- La obtención de los parches, que son los píxeles afectados por el proceso anterior.
- La selección de qué parches van a utilizarse y cuáles no en función de un conjunto de reglas (al estilo de un sistema experto) de selección, generalmente basadas en una catalogación de los elementos y en criterios superficiales.

El operador de eliminación consiste en la supresión del valor de los píxeles del elemento superficial a suprimir seguido de un llenado de los mismos empleando dos artificios:

- Una ventana que denomina focal o de zoom y que consiste en el mínimo rectángulo encuadrante del elemento superficial a eliminar ampliado en 1 píxel en todas las direcciones.
- La aplicación de un filtro de moda ponderado en función de una catalogación de los elementos.

La ventana focal es otro de los aspectos de importancia para Schylberg ya que, en palabras del propio autor, facilita y reduce el tiempo de las operaciones realizadas y lo independiza del tamaño de la imagen tratada. Este aspecto será importante en operadores que se tratarán en esta tesis como en la amalgamación.

En cualquier caso los resultados obtenidos en la tesis de Schylberg son esperanzadores, pese a que la forma de comparación con los resultados del mapa manual sea poco

elaborada, debido fundamentalmente a que los criterios empleados son de sumas globales, sin encontrarse apoyados por análisis visual o análisis de situación de los elementos modificados.

2.7.1.3. Generalización de cascos urbanos en modelos de representación raster.

La bibliografía encontrada acerca de generalización de cascos urbanos en formato raster es relativamente reducida, de entre ella se destacan los trabajos desarrollados por Su, Li y Lodwick (1997, 1998) y los propios del autor de esta tesis doctoral (Ureña, 1998; Ureña y Ariza, 1999; Ureña y Ariza, 2000)

2.7.1.3.1 Su, Li y Lodwick (1997a, 1997b, 1998a y 1998b): Generalización de diferentes mapas basada en morfología matemática.

Tal y como expresa el autor en uno de sus artículos "*la generalización de mapas digitales ha sido estimada por muchos investigadores como la función fundamental en el manejo de datos y por tanto en los SIG. Se han llevado a cabo muchos proyectos de investigación en este sentido, identificando algunas de las operaciones de generalización (por ejemplo Shea y McMaster 1.989). Sin embargo, actualmente la mayor parte de estos operadores de generalización permanecen a nivel conceptual y hay una necesidad urgente de desarrollo de esos algoritmos o modelos matemáticos para los procesos de generalización*". (Su, Li y Lodwick, 1.997b). Este es claramente el caso que ocupa en la actualidad, implementar funciones y obtener modelos matemáticos que permitan la aplicación de los operadores conceptuales de los modelos de generalización. En este punto es donde han llevado a cabo la investigación Su y colaboradores, desarrollando los operadores de eliminación y de agregación (amalgamación) de áreas.

Con respecto a la eliminación de áreas (Su, Li y Lodwick, 1.997b), consideran que la eliminación de objetos areales consiste en dos pasos sucesivos:

- Calcular el tamaño de todos los elementos superficiales tras la reducción de escala.
- Borrar aquellos elementos menores que un criterio predeterminado.

Estos dos pasos no son fácilmente implementables y, además, no tienen en cuenta ciertos criterios como la complejidad de los elementos en juego tras la reducción de escala, por lo que propone el siguiente esquema de generalización empleando operadores morfológicos:

- Reducir el tamaño de los elementos superficiales usando un operador de erosión, lo que conducirá a la desaparición de las pequeñas superficies que deban ser eliminadas.
- Recuperar el tamaño y forma de cada superficie de las anteriormente erosionadas (excepto las que se eliminaron).
- Simplificar los límites de las áreas recuperadas para ajustarse a la representación a menor escala.

Para la realización de cada uno de los pasos será necesario determinar el elemento estructurante o núcleo del operador morfológico y el tamaño del mismo. Para el primer paso, y como el operador de erosión es totalmente dependiente del tamaño del núcleo morfológico será necesario obtener dicho tamaño en función de la relación entre las escalas de partida y final, proponiendo la siguiente fórmula:

$$B_{Tamaño} = Entero\left(\frac{Entero\left(\frac{E_{destino}}{E_{origen}} \cdot D_{origen} + 0.5 \right)}{2} \right) \cdot 2 + 1,$$

donde $B_{Tamaño}$ representa el tamaño del elemento estructurante, $E_{destino}$ y E_{origen} representan las escalas origen y destino y D_{origen} representa el número de píxeles en el origen por debajo del cual no se considera un elemento como representable, este valor es el límite de representación (igual o mayor que el límite de percepción), el resto de operaciones se emplean para conseguir que el valor del tamaño siempre sea impar, y, por tanto, poder usar el núcleo morfológico con origen en su centro. Su, Li y Lodwick proponen núcleos circulares discretizados o cuadrados.

Para el proceso de recuperación de las áreas no eliminadas se proponen 2 posibles soluciones:

- Emplear el método de reconstrucción:

$$R_k = \left(R_{k-1} \oplus B_2\right) \cap A, \text{ hasta que } R_k = R_{k-1},$$

donde R_0 es la imagen final erosionada, A es la imagen original y B_2 es un elemento estructurante cuadrado de tamaño 3x3.

- Aplicar un proceso de dilatación con el mismo elemento empleado para la erosión y en tantas ocasiones como se usase en el paso anterior. Como se puede observar esto equivale a un proceso de apertura.

El último paso propuesto es la simplificación y suavizado de límites, la intención de este paso es eliminar las irregularidades, que, dado su tamaño a escala reducida, provocarían unas superficies que parecerían no haber sido generalizadas. El elemento propuesto es de tamaño 3x3 y cuadrado, pero su aplicación depende del método empleado anteriormente, así en el caso de emplear el proceso de reconstrucción, se usará:

$$A_{Final} = \left(A_{\mathrm{Re}\,construida} \circ B_3\right) \bullet B_3$$

En el caso de emplear el método de dilatación en el paso anterior la fórmula pasa a ser un simple cerramiento: $A_{Final} = A_{Dilatación} \bullet B_3$.

Los resultados presentados por Su, Li y Lodwick parecen ser relativamente buenos para superficies irregulares, aunque para grandes reducciones tienen la tendencia a convertirse en los círculos envolventes de las superficies iniciales, esta solución, por tanto, pese a que podría ser aplicable a los cascos urbanos, daría lugar a generalizaciones con calles curvas, incluso aunque en el mapa original sean rectas, por lo que parece apropiado su empleo para superficies naturales como bosques, lagos, etc. que no poseen límites rectos.

El otro operador tratado es denominado agregación por estos autores y amalgamación en el modelo conceptual comprensivo (Su, Li y Lodwick, 1.997a), en ambos casos se refiere a un operador que permite la unión de distintos elementos superficiales.
En este operador se dan dos pasos claramente diferenciados:

- Combinación natural de los elementos superficiales.
- Suavizado y refinamiento del límite de las nuevas áreas formadas.

La combinación natural de elementos queda definida como la unión de los elementos que no son visualmente separables tras la reducción de escala. En este sentido, y al igual que ocurría para la eliminación de áreas, se debe definir el tamaño y la forma del núcleo

morfológico, con respecto al primero la fórmula sugerida (Su, Li y Lodwick, 1997b) es idéntica a la de eliminación. Con respecto a la forma del elemento, sugieren que esta debe parecerse a las formas que se van a generalizar, así por ejemplo si se van a generalizar elementos rectangulares se usará un núcleo rectangular o cuadrado, para elementos curvos se usarán círculos, etc.

Los elementos seleccionados según su tamaño y forma se aplicarán empleando un esquema simple de operadores morfológicos que se describen como:

$$C = (A \oplus B_1) \Theta B_2 ,$$

donde C representa la imagen resultante de la unión de áreas, A la imagen original y B_1 y B_2 los elementos empleados para la generalización. Como se puede observar el resultado de esta fórmula daría lugar a la unión de polígonos cercanos.

El refinamiento de la forma es también un paso similar al planteado para la eliminación de áreas, ya que el resultado de la amalgamación es muy irregular y, por tanto, de poca claridad estética al ser reducido. Para eliminar estos problemas se consideran dos posibles métodos para obtener el refinamiento de la figura (Su, Li y Lodwick, 1997a):

- Obtención de polígonos convexos: Consiste en aplicar un engrosamiento de la imagen mediante $C_h = C \cdot \{B_i\}$, donde B_i son un conjunto de elementos estructurantes especiales con el propósito de engrosamiento (ver Figura 39). Esta solución es muy apropiada para elementos regulares y, por tanto, superficies como manzanas rectangulares de cascos urbanos.
- Filtrado de irregularidades: Este método es más apropiado en los casos no cubiertos por el método anterior, y consiste en los siguientes pasos:
  - Eliminar las áreas convexas pequeñas usando un operador de apertura: $D = C \circ B$, donde B es un elemento estructurante de la mitad de tamaño que el obtenido por la fórmula de generalización y distinto de los usados para la obtención de polígonos convexos.
  - Formar los polígonos convexos por el método anterior aplicado a la imagen D.
  - Obtener el conjunto complementario de la imagen de apertura respecto a los polígonos convexos: $E = C_h - D$.

- Eliminar las áreas convexas pequeñas como en el paso primero: $F = E \circ B$.
- Obtener el conjunto complementario de F: $G = C_h - F$.

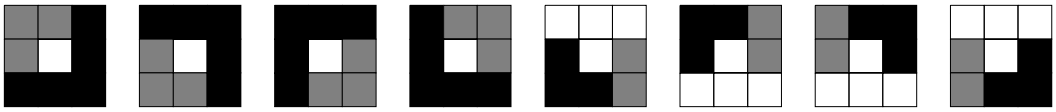


Figura 39. Serie de elementos estructurantes para la obtención de polígonos convexos, las zonas grises indican que no importa el valor que tomen.

Como se puede observar, las dos operaciones descritas por Su, Li y Lodwick, son aplicables a cascos urbanos, aunque en ninguno de los casos se han usado desde una perspectiva cartográfica, siendo simplemente intentos para la obtención de algoritmos y procedimientos que permitan aplicar los modelos conceptuales de generalización que van apareciendo.

2.7.1.3.2 Ureña (1998): Generalización de Cascos Urbanos en Formato Raster y Ureña y Ariza (2000): Mathematical Morphology Applied to Raster Generalization of Urban City Block Maps.

Ureña (1998) y Ureña y Ariza (2000), muestran la primera aplicación de la morfología matemática sobre todos los componentes de un casco urbano. El trabajo se desarrolló sobre tres cascos urbanos (los cuales se continúan empleando en la actual tesis doctoral), y su objetivo fundamental era el de obtener un mecanismo de generalización semiautomática que aportara cierta objetividad en el proceso.

La importancia del trabajo radica en dos aspectos:

- El empleo del modelo de representación raster frente a todos los procesos ya vistos en apartados anteriores relativos a generalización vectorial.
- El empleo de la morfología matemática como operador global que unifica todas las transformaciones a realizar sobre el casco urbano (siguiendo en este caso los pasos iniciados por Su, Li y Lodwick).

Debido a la novedad, los trabajos se diseñaron para obtener todas las posibilidades de generalización del casco urbano de forma global con el fin de que guiase o indicase la posibilidad de generalización mediante esta técnica.

El proceso se llevó a cabo en dos pasos:

1. Obtención de todos los cascos urbanos generalizados empleando operaciones/núcleos morfológicos encadenados de forma combinatoria.
2. Determinación de un conjunto de medidas evaluadoras con el fin de comprobar la bondad de los resultados.

Las conclusiones más importantes obtenidas fueron:

- La generalización de cascos urbanos no puede ser abordada desde un punto de vista global mediante los operadores propuestos. Se impone pues la necesidad de una segmentación del casco urbano.
- Los mecanismos de comprobación de resultados, lo que se denominó medidas evaluadoras, se encuentran altamente influenciadas por el grado de georreferenciación de los objetos. Por esta razón se impone la necesidad de mejorar las medidas evaluadoras en este aspecto y la obtención de un conjunto de cascos urbanos más fiables y mejor georreferenciados.
- El operador de morfología matemática puede producir buenos resultados desde el punto de vista local o cuasi-local.

2.7.1.4. Conclusiones de los mecanismos de segmentación y generalización.

En el apartado 2.7.1. se han mostrado diversos mecanismos de generalización, siendo muy diferentes los desarrollados por los modelos raster y vectoriales. Mientras estos últimos han ido aumentando su complejidad, hasta alcanzar la teoría de agentes y mecanismos de cuantificación, los segundos han permanecido en un nivel intermedio de soluciones, buscando operaciones que solventen problemas particulares.

En cualquier caso, ni unos ni otros han llegado a un grado de solución que se pueda considerar aceptable o adecuada, pero si han obtenido grandes avances en cuanto a operadores de generalización de formas o de desplazamiento de objetos.

A pesar de todo, de los antecedentes en generalización y segmentación expuestos se pueden extraer algunos aspectos muy interesantes:

- Los elementos cartográficos, edificios o manzanas, pueden constituir nodos de un grafo que permite relacionarlos unos con otros (ARM de Regnauld, 1998).
- Las técnicas de desplazamientos basadas en los campos de fuerza son complejas de calcular pero ofrecen algunas soluciones adecuadas (Bader, 2001).
- La tecnología de los agentes, pese a ser un buen mecanismo de generalización, no obtiene mejores resultados que técnicas de generalización fija como las evaluadas por Ruas (1999). Sin embargo, de los agentes se puede aprender el hecho de necesitar tratamientos más locales que darán una mejor aproximación en ciertas zonas.
- La determinación de distancias sobre el grafo de objetos permite, junto con algún criterio de selección, distinguir regiones del casco urbano (Boffet, 2001).
- Los mecanismo de análisis desarrollados por Mackaness (1995) pueden ser de utilidad para la determinación de criterios de selección para el grafo o de partición de zonas.
- La morfología matemática es un sistema adecuado para la realización de operaciones como amalgamación y eliminación de usos del suelo (Su, Li y Lodwidck 1997a, 1997b, …) y de elementos urbanos como edificios, pero siempre bajo la tutela de una segmentación adecuada del casco urbano y un desarrollo de algoritmos locales (Ureña, 1998; Ureña y Ariza, 2000).

2.7.2. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

Los métodos de comprobación de la generalización en cartografía han sido tradicionalmente visuales, aunque en algunos casos, como la generalización de líneas, han existido comprobaciones mediante el empleo de medidas evaluadoras (McMaster, 1986). Sin embargo, no se han desarrollado, ni teórica ni experimentalmente, métodos de comprobación de los resultados de una generalización cartográfica para los cascos urbanos.

Se expondrán, en este apartado, un conjunto de medidas ya utilizadas en otras áreas como la Teledetección, la Geografía, etc. En todos los casos se tratará de obtener un conjunto de índices que permiten cuantificar alguna de las características de la imagen. Se propone la división en los siguientes grupos:

- Índices basados en el histograma de la imagen: Se basan en sumas globales de los píxeles de la imagen. Aunque a primera vista no serían de mucha utilidad en la comparación de dos imágenes, su aportación es muy importante debido a que limitan características como valores medios, umbral de información empleado, etc.

- Índices basados en medidas de autocorrelación: Al contrario que los índices anteriores, estos se desarrollan como valores que tienen en cuenta la vecindad de un píxel, por lo que pese a que se utilicen como valores agregados, son cuasi-locales en su aplicación y globales en su valor.

- Índices basados en la comparación de dos imágenes: Estos índices, comprueban la coincidencia píxel a píxel de dos imágenes, proporcionando un único valor de salida indicativo de la similitud. Para el desarrollo posterior se subdividirán en índices locales e índices basados en la teoría de conjuntos borrosos.

- Otros índices: Se incluirán aquí otro tipo de índices como los basados en la comparación de tres imágenes, los basados en automátas finitos y los índices modificados. En general cualquier índice que no tenga cabida en los tres tipos anteriores.

Para saber si una imagen se parece a otra se compararán todos los índices de ambas observando sus diferencias, estas diferencias permitirán indicar el grado de similaridad entre ambas imágenes.

2.7.2.1. Índices basados en el histograma de la imagen.

Dentro de este tipo de índices se encuentran:

- Tono: Definido como la media de todos los valores de la imagen (Webster, 1.992):

$$Tono = \frac{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} p_{ij}}{I \cdot J},$$

donde p_{ij} es el valor del píxel situación en la posición (i,j), I es el número de filas de la imagen y J es el número de columnas.

- Densidad Urbana (DU): Definido como el ratio entre el número de píxeles urbanos y el número de píxeles totales de la imagen (Webster, 1992):

$$DU = \frac{N_{pixeles\ urbanos}}{N_{pixeles\ totales}} \xrightarrow{\text{Imagen Binaria}} Ratio\ Urb/No-Urb = \frac{N_{píxeles\ de\ manzana}}{N_{píxeles\ de\ fondo}},$$

los valores obtenidos por la densidad urbana se encuentra normalizados entre 0 y 1. El problema de este índice radica en que para los casos en los que se disponga de una imagen binaria clasificada con 0 para el fondo y 1 para las manzanas, los resultados son iguales a los obtenidos con el tono, por esta razón, y para mantener el espíritu del índice se convierte en un ratio que mide la relación entre píxeles urbanos y no urbanos (Ureña, 1998). Sin embargo, en el momento en el que se trate con manzanas, edificicaciones, y se tenga un cierre urbano se podrá emplear sin ninguna dificultad.

- Entropía: Es el número mínimo de bits necesarios para la representación de una imagen sin pérdida de información (Lynch, 1985):

$$Entropia = -\sum_{i=1}^{I} p(g_i)\log_2\left(p(g_i)\right),$$

donde $p(g_i)$ es el número de píxeles en la imagen que tienen un valor g_i. La entropía expresa el grado de desorden del sistema, ya que un mayor valor en la entropía indica una imagen más heterogénea, y a menor valor más homogeneidad de la imagen. Su aplicación sobre imágenes binarias es directa.

2.7.2.2. Índices basados en medidas de autocorrelación.

Dentro de este tipo de índices destacan dos:

- Índice de Moran I: El índice de Moran mide la autocorrelación espacial de la imagen, adoptando valores cero cuando existe sentido positivo de la autocorrelación, uno si valores similares de la variable están próximos y –1 si están lejanos (Bosque, 1.992), su cálculo viene definido por la siguiente fórmula (Kummert, 1.992):

$$I_{Moran} = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}\left(X_i - \overline{X}\right)\left(X_j - \overline{X}\right)}{\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}\right)\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)^2},$$

donde los valores C_{ij} son 0 si los polígonos i y j no son contiguos y 1 si lo son, X_i y X_j representan el atributo del polígono i y j respectivamente, $\overline{X}$ es el valor medio del atributo de todos los polígonos y n es el número de polígonos. Para su aplicación en entorno raster fue adaptado por Ureña (1998) con la siguiente expresión desarrollada para vecindad a 8:

$$I_{Moran\ Raster} = \frac{J\cdot I\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{\mu=-1}^{1}\sum_{\lambda=-1}^{1}\left(P_{ij} - \overline{P}\right)\left(P_{i+\lambda,\,j+\mu} - \overline{P}\right)}{\left(12 + 10\left(J + I - 4\right) + 8\left(J - 1\right)\left(I - 1\right)\right)\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\left(P_{ij} - \overline{P}\right)^2},$$

donde P_{ij} es el valor del píxel (j,i), $\overline{P}$ es el valor medio de todos los píxeles, coincidente con el tono anteriormente calculado, (J,I) representan el tamaño en *x* e *y* de la imagen y el coeficiente que multiplica al sumatorio del denominador equivale al número de vecinos de conectividad a 8 existentes en una imagen del tamaño indicado.

- Índice de Getis y Ord (1.992): Redefinido para el empleo de una vecindad variable por Zhang y Murayama (2000) en la siguiente fórmula, junto a su valor normalizado.

$$G_i(k) = \frac{\sum_j w_{ij}(k)x_j}{\sum_j x_j} \xrightarrow{Normalizando} Z_i(k) = \frac{G_i(k) - E\left(G_i(k)\right)}{\sqrt{Var\left(G_i(k)\right)}},$$

donde, j representa el número de objetos del mapa, $w_{ij}(k)$ una función binaria que toma valores 1 si el objeto es un vecino de orden k y 0 si no lo es, y x_j representa el valor del objeto, los valores de $E(G_i(k))$ representan la esperanza matemática del índice y $Var(G_i(k))$ es la varianza del mismo, pudiendo ser calculados según (Zhang y Murayama, 2000) como:

$$E(G_i(k)) = \frac{1}{(n-1)} \sum_j w_{ij}(k)$$

$$Var(G_i(k)) = \frac{\left(n-1-\sum_j w_{ij}(k)\right)\sum_j w_{ij}(k)}{(n-1)^2(n-2)} \left(\frac{(n-1)\sum_j x_j^2}{\left(\sum_j x_j\right)^2} - 1 \right),$$

donde n representa el número total de objetos de la imagen. Como puede deducirse este índice está basado en objetos vectoriales, y originalmente se diseñó para la obtención del "vecino de orden k" mediante triangulaciones de Delaunay. Su aplicación a espacio raster es inmediata empleando vecindades de orden N crecientes en función del orden asignado a k originalmente por los autores, es decir, de orden 0 para el propio objeto, de orden 1 los objetos más cercanos, etc. el problema que aparece con este índice es que su aplicación de forma global a toda la imagen terminaría por darnos un valor medio muy parecido al Tono.

2.7.2.3. Índices representativos de la comparación de dos imágenes: Índices locales.

Estos índices muestran el grado de parecido entre dos imágenes, no como en el caso de los índices anteriores donde se basaban en la comparación de dos valores, sino como la obtención directa de un único valor para el resultado de la comparación

Dentro del conjunto de medidas evaluadoras que podrían indicar la similitud entre dos imágenes se destacan dos formas de medir la similitud:

- Medidas basadas en la matriz de confusión, es decir, se asimila la imagen generalizada a una imagen clasificada. En este caso se denomina a una de las imágenes verdad terreno y a la otra imagen clasificada. La matriz de confusión se obtiene situando por filas los elementos clasificados y por

columnas las verdades terrenos, siendo cada elemento de la matriz la suma de todos los píxeles que cumplen que pertenecen a la verdad terreno de su columna y a la clasificación de su fila de forma simultánea.

El porcentaje de acuerdo Pa (Giordano y Veregin, 1994), (Kérstez, Csillag y Kummert, 1995) y (Ariza, 2000) indica el número de píxeles perfectamente clasificados, y, por tanto todos aquellos que son iguales en la imagen original obtenida por un método y la obtenida por cualquier otro procedimiento, su valor viene expresado por la siguiente ecuación:

$$Pa = \frac{\sum_{i=0}^{n} x_{ii}}{N},$$

siendo los valores x_{ij} los relativos a la diagonal de la matriz de confusión, N el número total de píxeles de la imagen y n el número de clases que se han diferenciado. Los valores del porcentaje de acuerdo así calculados se encuentran normalizados.

- Medida de la divergencia de las imágenes: El calculo de la denominada divergencia de Kullback (Kérstez, Csillag y Kummert, 1995) tras (Kullback 1959) se realiza mediante:

$$D_{Kullback}(p\,|\,q) = \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{M} p_{ij} \log_2\left(\frac{p_{ij}}{q_{ij}}\right),$$

donde p y q son dos imágenes raster de igual tamaño (N x M) y p_{ij},q_{ij} representan un par de píxeles, uno de cada imagen, situados en la misma posición (fila,columna). Los valores p_{ij} y q_{ij} deben estar normalizados de forma que: $\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{M} p_{ij} = \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{M} q_{ij} = 1$, y además, ha de cumplirse que $p_{ij} \geq 0$ y $q_{ij} \geq 0$.

En estas condiciones la $D_{Kullback}$ da valores que se encuentran entre 0 y 1, siendo más próximos a 0 cuanto más se parezcan ambas imágenes.

Para su utilización en imágenes raster binarias, se realizan dos modificaciones (Ureña, 1998) que dan lugar a la siguiente fórmula:

$$D_{Kullback} = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} \frac{p_{ij}+1}{H_p(0)+2H_p(1)} \log_2\left(\frac{(p_{ij}+1)(H_q(0)+2H_q(1))}{(q_{ij}+1)(H_p(0)+2H_p(1))}\right),$$

donde las imágenes son de tamaño (I,J), p_{ij} y q_{ij} son los píxeles de la imagen p y q en la posición (i,j) y $H_p(x)$ y $H_q(x)$ son los valores del histograma de la imagen p y q respectivamente para el valor de píxel *x*.

2.7.2.4. Índices basados en la comparación de dos imágenes: Índices basados en la teoría de conjuntos borrosos.

La teoría de conjuntos borrosos ha sufrido un gran desarrollo debido a su facilidad para modelizar la concepción de las soluciones obtenidas por humanos, es decir, por indicar "es parecido" frente al hecho de "son un 70% iguales". Bajo este punto de vista Power, Simms y White (2001), han desarrollado un sistema para la comparación de dos imágenes sin necesidad de realizarla píxel a píxel, es decir, evitando los problemas de posibles desplazamientos entre objetos, obteniendo resultados de las imágenes son parecidas o no.

El sistema se basa en la realización de los siguientes seis pasos:

1. *Matching* local: En un primer paso las imágenes a comparar se disgregan en lo que se denominan mapas de polígono único, que no son más que las zonas de píxeles contiguos que poseen un mismo valor. Estos dos conjuntos de polígonos se superponen creando un identificador único para cada par de valores y una tabla con esta relación. El área de intersección es directamente calculable como el valor de la fila que tiene los dos identificadores de tipo de superficies iguales con respecto al total en alguna de las clases.
2. Creación de las funciones de pertenencia a los grupos para la entrada y la salida: Se definen 5 funciones para indicar el ratio de utilización de la zona, los valores varían de muy bajo a muy alto, los valores extremos vienen definidos por una función de pertenencia sigmoidal y los intermedios por una función en campana. Simultáneamente se desarrolla otra función denominada de pertenencia al grupo para discriminar los polígonos que son de pequeñas coincidencias (por lo general los pequeños polígonos astilla formados por 2 ó 3 píxeles), considerando como pequeña pertenencia los valores de menos de 2 píxeles y gran pertenencia a los valores superiores. Finalmente el conjunto de las funciones de pertenencia de salida definido también con 5 valores desde muy pobre a perfecta, siendo los

extremos también dos curvas sigmoidales y los tres valores centrales curvas gaussianas.

3. Obtención de los datos borrosos: En este paso se usaran todos los valores de número de píxeles, área de intersección y su complementaria, para obtener las respectivas descripciones de cada polígono, es decir, la pertenencia entre las intersecciones y si el grupo es o no significativo.
4. Obtención de las soluciones empleando un sistema de reglas para los datos borrosos: Una vez disponibles estas descripciones para cada polígono se aplica el conjunto de reglas indicado en la Tabla 14.

Tabla 14. Reglas de relación entre las funciones de entrada y de salida. Implementada a partir de las reglas descritas por Power, Simms y White.

Regla	Funciones de entrada			Función de salida
	Sup. intersección	Sup. compl.	Grupo de píxeles	Pertenencia Local
1	Muy baja	Muy alta	Pequeño	Pobre
2	Muy baja	Muy alta	Grande	Muy pobre
3	Baja	Alta	Pequeño	Buena
4	Baja	Alta	Grande	Pobre
5	Media	Media	Pequeño	Buena
6	Media	Media	Grande	Buena
7	Alta	Baja	Pequeña	Buena
8	Alta	Baja	Grande	Muy buena
9	Muy alta	Muy baja	Pequeña	Perfecta
10	Muy alta	Muy baja	Grande	Perfecta

La aplicación de la regla vendrá definida por:

$$Lm(X_i) = Max(Min(Area_Inter(X_i), Area_Comp(X_i), Grupo_Pixel(X_i)))$$

Donde las funciones Area_Inter, Area_Comp y Grupo_Píxel representan las funciones lógicas de pertenencia a las clases anteriormente descritas.

5. Obtención de la solución final local: Para terminar, el resultado se calcula deshaciendo la pertenencia a la función de salida y obteniendo un valor numérico entre 0 y 1 indicador de la solución adoptada, el valor final viene indicado por la siguiente ecuación (Power, Simms y White 2001, tras Jager, 1995):

$$Z(B) = \frac{\int y u_b(y) y dy}{\int y u_b(y) dy},$$

donde Z es le centroide del área, u_b es el valor de pertenencia a la salida de la distribución B.

6. Matching global: El valor de similitud global viene reflejado como la suma de todos los valores parciales ponderados por el área total, así:

$$g = \frac{\sum Lm(x_i)Area(x_i)}{\sum Area(x_i)}$$

Los resultados mostrados en el trabajo referido indican una solución similar a la obtenida por el valor Tau de la teoría de matrices de confusión, aunque algo desigual y con una mayor precisión en la estimación de las superficies generales.

2.7.2.5. Otras medidas.

En este apartado se presentarán un conjunto de medidas que han sido ideadas y probadas únicamente para la generalización en entorno raster con el fin de paliar los efectos detectados las que se han descrito anteriormente. Los conceptos en los que se basan son (Ureña, 1998; Ureña y Ariza, 2000):

- Modificaciones a las medidas obtenidas por la matriz de confusión: Tratando de paliar la sobreestimación de los píxeles que no se modifican en el proceso de generalización manual.
- Teoría de autómatas finitos: El estudio de todos los estados posibles de un píxel durante todo el proceso, manual y automático, da un conjunto de posibles situaciones, el estudio de dichas situaciones permite detectar en cuáles elementos se ha mejorado y en cuáles no.
- Extensión de la divergencia de Kullback a un proceso cuasi-local: La medida de divergencia es muy fiable pero dependiente de una perfecta referenciación relativa de las imágenes y los elementos existentes en las mismas. La aplicación de operadores de proximidad permitirá eliminar este déficit y mejorar las indicaciones de esta medida.

2.7.2.5.1 Medidas desarrolladas a partir de la matriz de confusión.

El hecho de disponer de la matriz de confusión de las imágenes origen y destino, y además del resultado de la generalización manual (empleado como mecanismo de contrastación) permite crear un índice como simple diferencia entre el porcentaje de

acuerdo de la generalización automática y el porcentaje de acuerdo entre el original y la generalización manual, denominándolo Diferencia de Acuerdos (DA):

$$DA = PA(Automática, Manual) - PA(Original, Manual)$$

La ecuación de la Diferencia de Acuerdos muestra la forma de calcular este índice, en ella Automática se refiere a la imagen generalizada de forma automática, Manual hace referencia a la imagen generalizada manualmente y Original hace referencia a la imagen de partida de ambas generalizaciones.

2.7.2.5.2 Medidas basadas en la teoría de autómatas finitos

El conjunto de datos de partida que se aplican en este tipo de medidas serán los mismos tres que para la DA (imagen original, imagen generalizada manualmente e imagen generalizada automáticamente). Cada una de ellas no es más que una imagen binaria donde los píxeles blancos (con valor 0) indican fondo y los píxeles negros indican manzana (con valor 1). Si se piensa en las 3 imágenes como tres posibles estados del sistema de generalización, cada estado estaría formado entonces únicamente por 2 posibles situaciones, pero como se dispone de 3 variables de estado entonces se tienen $2^3 = 8$ posibles situaciones entre todos los píxeles, las situaciones aparecen en la Tabla 15.

Tabla 15. Posibles estados de las 3 imágenes de trabajo. El estado 1 representa el valor en la imagen original, el estado 2 representa el valor en la imagen generalizada manualmente (aquella que deseamos aproximarnos), finalmente el estado 3 representa el resultado de la imagen generalizada por cualquier mecanismo.

Número	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Observaciones
0	0	0	0	Píxel de fondo bien clasificado en los tres casos
1	1	0	0	Píxel de figura bien clasificado
2	0	1	0	Píxel de fondo mal clasificado (cambio erróneo)
3	1	1	0	Píxel de figura mal clasificado (cambio erróneo)
4	0	0	1	Píxel de fondo mal clasificado (cambio erróneo)
5	1	0	1	Píxel de figura mal clasificado (cambio erróneo)
6	0	1	1	Píxel de fondo bien clasificado
7	1	1	1	Píxel de figura bien clasificado

Dentro de estas 8 clases se puede indicar que el cada píxel se encuentra dentro de las siguientes 4 clasificaciones:

- Mejora en la generalización (MG): Si el píxel original era diferente al de la imagen destino pero es igual en la imagen generalizada. Esta situación se corresponde con el conjunto de estados número 1 y 6.

- Empeoramiento de la generalización (EG): Esto se corresponde con un píxel que originalmente se encuentra en situación adecuada y al aplicar la generalización se ha provocado un cambio erróneo, corresponde con el conjunto de estados número 3 y 4.

- Igualdad válida (IV): Esta situación corresponde a los casos donde las tres imágenes tienen el mismo valor en sus píxeles, en este caso se corresponde con los estados número 0 y 7.

- Igualdad errónea (IE): Esta es la última situación posible, se corresponde con el hecho de que los resultados de la generalización aplicada no modifican el valor del píxel de la imagen original, pero este valor no coincide con la imagen deseada, en nuestro caso se corresponde con las situaciones de estados 2 y 5.

Tan sólo queda por definir qué es lo que consideramos la mejor imagen generalizada, esto queda claro en función de las 4 situaciones anteriores, por supuesto la imagen generalizada ideal será aquella que simultáneamente tenga la mayor mejora de generalización posible y la mayor igualdad válida y el menor empeoramiento en la generalización y la menor cantidad de igualdades no válidas, por simple suma de los componentes se puede como:

$$Indice\ de\ generalización = MG + IV - (EG + IE)$$

2.7.2.5.3 Extensión de la Divergencia de Kullback a carácter cuasi-local

El índice basado en la Entropía ha sido el que mejor indica las soluciones más adecuadas (Ureña y Ariza, 2000). Sin embargo el comportamiento de los índices de dos imágenes, Porcentaje de Acuerdo y Divergencia de Kullback, no obtienen resultados tan prometedores (Ureña, 1998), aunque éste último se aproxima bastante más.

El problema subyacente a los dos índices (PA y Divergencia de Kullback) es su carácter de comparación local. Lo que provoca un enmascaramiento, ya mencionado anteriormente, por la cantidad de píxeles asignados de forma correcta. Dicho enmascaramiento puede ser reducido si, en lugar de emplear comparación directa de píxeles, se asocia a cada celda un valor de comportamiento en función de su vecindad, de esta forma se puede considerar la siguiente divergencia que se denominará divergencia de autocorrelación:

$$D_{Autocorrelación}(p \mid p') = \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{M} Z_{ij}(k)\log_2\left(\frac{Z_{ij}(k)}{Z'_{ij}(k)}\right),$$

donde p y p' representan las dos imágenes, una generalizada de forma manual y otra de forma automática, $Z_{ij}(k)$ representa el cálculo de la fórmula de autocorrelación de Zhang y Murayama (2000) para un entorno de profundidad k de la imagen p y $Z'_{ij}(k)$ la aplicación de la misma fórmula para la imagen p'. Por supuesto todos los valores se encuentran normalizados debido a que se emplea Z_{ij} y no G_i, por lo que la Divergencia de Autocorrelación queda definida con valores entre 0 y 1.

Las ventajas que posee esta formulación son la posibilidad de "enfocarla" sobre un punto o extender el índice sobre una amplia región que puede ser incluso toda la imagen. Será, por tanto, necesario un estudio de cual es el grado de "visión" o vecindad máximo admisible en el cálculo.

2.7.2.6. Conclusiones a las medidas.

Tras diversas pruebas realizadas sobre todos los índices, el resultado obtenido puede ser resumido en los siguientes puntos:

- Dentro de las medidas estructurales o basadas en el histograma de la imagen la entropía siempre se ha mostrado como la que informa de un mayor parecido.
- Dentro de las medidas basadas en la comparación directa de dos imágenes no existe un candidato claro, por lo que deben descartarse.
- Las medidas de lógica borrosa no son fácilmente adaptables por lo que se descarta su empleo.
- Para otras medidas se propone el empleo de la divergencia de autocorrelación que suplirá además la falta de medidas de comparación

directa. También se aconseja utilizar el empeoramiento de la generalización debido a que ha mostrado buenos resultados en los intentos de generalización iniciales.

2.8. ESTADO DEL SOFTWARE CON SISTEMAS DE GENERALIZACIÓN.

Tras el análisis de las investigaciones realizado en los apartados anteriores, se considera de valor llevar a cabo una revisión similar con respecto a los productos comerciales que existen y solventan de una u otra forma el problema de la generalización cartográfica.

Este análisis servirá para ver el grado de desarrollo introducido en la cartografía como consecuencia de las investigaciones realizadas. Se ha apostado por el estudio de programas comerciales frente a otro tipo de programas puesto que los primeros deben encontrarse en el mayor nivel de desarrollo y adecuación al usuario con el fin de extender su uso.

En este apartado se analizarán fundamentalmente los siguientes productos que se encuentran comercializados:

- MGE/MG (*Modular Gis Environment/Map Generalizer*) de Intergraph Corporation.
- MAGE (*Map Authoring and Generalization Expert*) de la Universidad de Glamorgan.
- CHANGE (*institute of Cartography, HANnover university, GEneralization-software*).
- Lamps2 Generalizer: Módulo de Generalización desarrollado por el proyecto Agente en el S.I.G. Lamps2 de Laser Scan, Ltd.

También ha parecido interesante incluir la comparativa realizada por la OEEPE (Ruas, 2001) como base para el posterior desarrollo del proyecto Agente y el modelo de generalización implementado en Lamps2.

En cualquier caso, debe indicarse que el grado de información sobre las capacidades y algortimos incluidos en el software es escaso actuando en forma de cajas negras. Quizás, el mejor documentado sea el Lamps2 Generalizer debido a dos causas, la primera es que el sistema de generalización fue desarrollado como parte de un proyecto marco de la Unión Europea, por lo que sus informes públicos indican la parte algorítmica del programa. Como segunda causa se debe indicar que las ingenieros de LaserScan publican con bastante asiduidad desarrollos y aplicaciones del software en revistas y congresos especializados.

2.8.1. MGE/MG.

El *Modular GIS Environment* de Intergraph, basado en MicroStation32, es un paquete gráfico 2D/3D independiente compatible con el formato IGDS (*Interchange Graphic Design Format*) para plataformas VAX (Hesse, 1991). Sobre este paquete independiente y basado en el sistema operativo UNIX se integran un conjunto de rutinas que permiten, teóricamente, la obtención de cartografía a pequeña escala partiendo de datos a gran escala sin limitación en cuanto al cambio producido (Meng, 1997). Todo el proceso está regido por un sistema de generalización y visualización interactivo que dispone de las siguientes herramientas (Lee, 1995):

- Selecciones por criterios gráficos o geométricos.
- Colapso (de líneas a puntos o de áreas a líneas).
- Simplificación de elementos lineales empleando hasta ocho algoritmos (simplificación del punto n-ésimo, Douglas-Peucker, Lang, VectGen, Relajación de puntos, Reuman-Witkan, Clarificación de áreas y Preservación de Áreas).
- Suavizado de elementos lineales empleando tres algoritmos (Brophy, Medias simples, Medias ponderadas).
- Amalgamación de puntos y superficies.
- *Squaring* (conversión a formas rectangulares de objetos irregulares).
- Detección de proximidad.
- Tipificación para la reducción de la densidad de elementos puntuales.

El MGE/MG ha sido utilizado por diversos países (Reino Unido, Alemania, España, etc.) para la generalización de diversa cartografía. Por ejemplo, el ICC lo ha utilizado para derivar cartografía 1/100000 a partir de diversos 1/50000.

Sin embargo, no puede considerarse como un sistema de generalización, sino más bien como un conjunto de herramientas disponibles que facilitan la tarea de generalización de datos vectoriales para acercarla al proceso realizado manualmente en mapas analógicos.

Por la razón anteriormente indicada y por un cambio en la política de desarrollo SIG de Intergraph, con el lanzamiento de Geomedia a finales de la década de 1990, se paralizó el desarrollo de MGE/MG. Esta herramienta, sin soporte técnico, sigue utilizándose esporádicamente en diversas agencias, aunque su número y aplicación van descendiendo gradualmente y siendo sustituidos por otros métodos.

2.8.2. MAGE.

El *Map Authoring Generalization Expert* es un sistema de generalización comercial desarrollado por la Universidad de Glamorgan (Gales, Reino Unido), y basado en los desarrollos de *Simplicial Data Structure* de Jones, Bundy y Ware (1995). El software está implementado en *Kappa*, un lenguaje de programación parcialmente C++ parcialmente basado en reglas de ProTalk (Bundy, Jones y Furse, 1995) para estaciones de trabajo Sun.

Existen pocas referencias y especificaciones acerca de MAGE, tan sólo indicar el hecho de que ha sido empleado por el *Ordenance Survey* (Reino Unido) para la generalización de cartografía desde 1/2500 hacia 1/10000.

Los comentarios expuestos por Jones, Bundy y Ware (1995) indican que los parámetros son demasiado estrictos y poco asimilables a los empleados por los cartógrafos. Su desarrollo posterior no ha sido documentado salvo por las referencias en Ruas (2001).

2.8.3. CHANGE.

CHANGE es el acrónimo representativo de Software de Generalización del Instituto de Cartografía de la Universidad de Hannover (Alemania). Su concepción es algo diferente a los dos anteriores, puesto que consiste en un conjunto de procedimientos asociados utilizando un sistema de procesado por lotes.

En concreto, estos procedimientos nacieron como una iniciativa de la generalización de vías de comunicación de escala 1/5000 a 1/25000 utilizando estos pasos (ver ejemplo en Figura 40):

1. Obtención de ejes medios de las vías representadas por doble línea.
2. Simplificación de los ejes medios (método válido también para ríos).
3. Simbolización de los ejes simplificados utilizando dobles líneas.

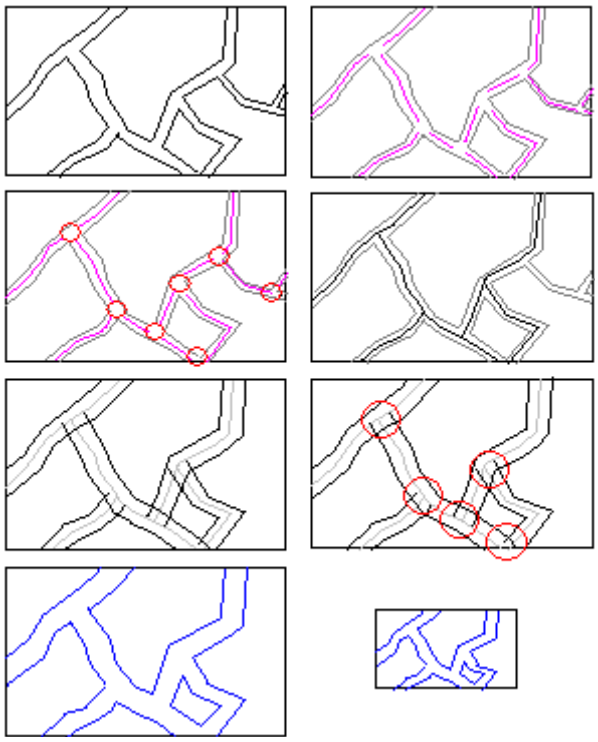


Figura 40. Ejemplo de proceso de generalización empleando CHANGE.

Posteriormente se añadieron dos módulos de generalización al programa para soportar otros cambios de escala y la inclusión de un sistema interactivo de edición:

1. Módulo de tipificación y simplificación de edificios para el paso de escala 1/1000 a 1/5000.
2. Módulo de detección y edición de conflictos de generalización.

Estos módulos completaron el sistema de generalización CHANGE que fue presentado por Powitz en 1993 (Meng, 1997). Este sistema se ejecutaba bajo superordenadores DEC-VMS aunque en 1995 se portó a UNIX.

2.8.4. LAMPS2 GENERALIZER.

Lamps2 es un Sistema de Información Geográfico desarrollado por la empresa británica Laser Scan Ltd. en el año 1994 como resultado de la creación de un conjunto de módulos basados en su mecanismo de programación denominado Gothic ADE. Gothic ADE es un lenguaje de programación orientado a objetos para bases de datos también orientadas a objetos. La aplicación de este lenguaje dio lugar a un conjunto de procedimientos y herramientas que llevaron a la empresa británica al desarrollo de este S.I.G. en competición con otros de la misma época (Smallworld, Geomedia, etc.).

Lamps2 es un S.I.G. alrededor de un Sistema Gestor de Bases de Datos de Objetos, al cuál se le van añadiendo diferentes funcionalidades como la edición cartográfica y las selecciones espaciales. El módulo de generalización, Lamps2 Generalizer, es otra funcionalidad añadida desde el año 1995 se le incorporaron características básicas de generalización como las selecciones, eliminaciones, tipificaciones y mecanismos sencillos de filtrado.

En el año 1996 se publicó la primera versión de Lamps2 Generalizer añadiendo a las funciones anteriores los filtrados espaciales superficiales y la conversión de objetos. El conjunto completo de funciones es (Hardy, 1996):

- Selección.
- Múltiples representaciones cartográficas para un mismo objeto.
- Filtrado espacial.
- Sistema de creación de geometrías alternativas (puntos desde áreas).
- Sistema de creación de procesos para la automatización de la producción.
- Interfaz visual para evaluar y controlar los parámetros de tolerancia.
- Operadores de generalización: Simplificación, tipificación, agregación, clasificación, colapso, exageración, refinamiento y desplazamiento.

La ventaja de disponer de una base de datos orientada a objetos, así como la facilidad de un lenguaje sencillo de programación junto con las negociaciones llevadas a cabo incluyeron a Laser Scan dentro del proyecto Agente de la Unión Europea (ver apartado 2.7.1.1.7). Esto llevo al Lamps2 Generalizer a un nivel superior de generalización, ya que se aumentó el número de algoritmos implementando operadores de generalización.

Pero, sobre todo, se incluyó un sistema de agentes, testado por diversas universidades, que implementaba un modelo de generalización inteligente.

El Lamps2 Generalizer, por tanto, lleva implementado el modelo de generalización de Agentes comentado en el apartado 2.7.1.1.7 y los operadores de generalización como métodos asociados a los objetos y utilizables por dos posibles causas, la primera es que el usuario active los métodos a voluntad modificando sus parámetros (generalización manual) o que el usuario active la generalización automática y sean los propios objetos los que decidan cuáles operadores de generalización son los más adecuados.

Además, el Lamps2 Generalizer tiene tres funcionalidades de gran importancia para una generalización correcta:

- El sistema es capaz de llevar un control topológico de la generalización para la eliminación de conflictos (ver Figura 41).
- Se pueden definir modelos de generalización aplicando los diferentes métodos asociados a los objetos.
- Un único objeto puede mantener en su base de datos diferentes representaciones del mismo, no sólo de color o relleno sino también de elementos superficiales y puntuales, de elementos superficiales a lineales, etc. Todas estas representaciones activables en función de diversos criterios.

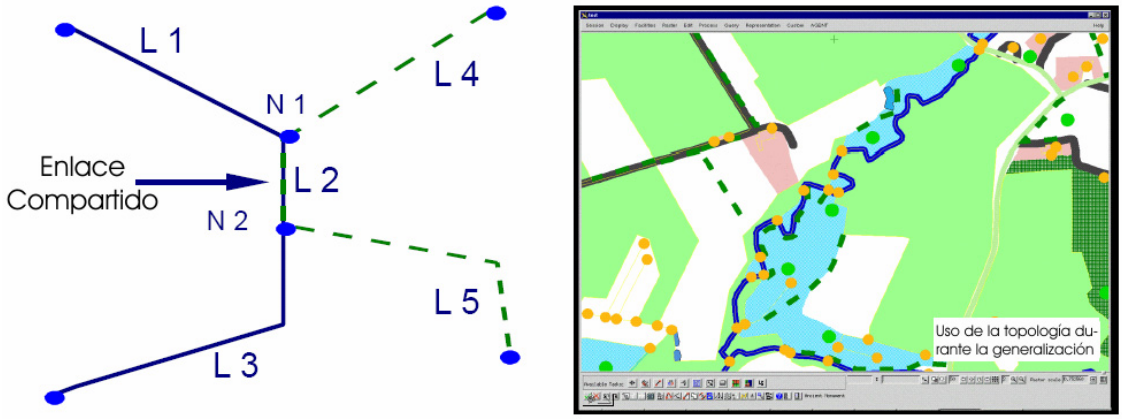


Figura 41. Uso de las relaciones topológicas durante la generalización en Lamps2.

El Lamps2 Generalizer sigue desarrollándose en la actualidad y siendo utilizado por la Agencia Nacional Danesa de Cartografía (KMS) para la obtención de mapas a escala

1/50000 partiendo de mapas a 1/10000 de todo el territorio nacional (ver ejemplo en Figura 42).

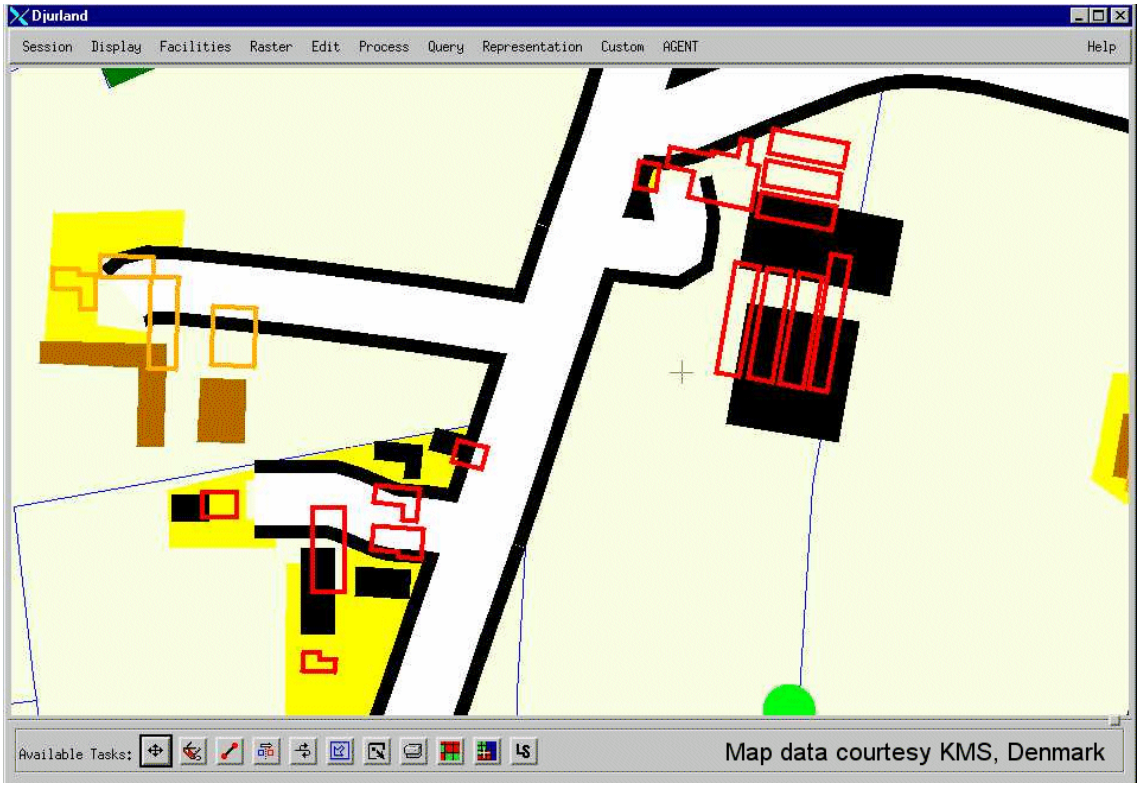


Figura 42. Proceso de generalización de mapas KMS en Lamps2 Generalizer. Las superficies huecas son los edificios originales. Las superficies rellenas son la propuesta de generalización del Lamps2.

2.8.5. RUAS (2001): PROYECTO DE GENERALIZACIÓN AUTOMÁTICA: PROCESO DE APRENDIZAJE A PARTIR DE LA GENERALIZACIÓN INTERACTIVA. INFORME PARA LA OEEPE.

Este informe elaborado por Ruas para la OEEPE (*Organisation Européene d'Etudes Phtogrammetriques Expérimentales*), es un informe relativo a todos los procesos de generalización realizados por diversos organismos, en este caso aplicados a una base única la BDCarto y la BDTopo (Bases Topográficas y Cartográficas del IGN de Francia). Si bien es importante indicar que el documento final fue entregado en el año 2001, los datos y cálculos fueron realizados algunos años antes (1994 y 1995). El interés del estudio era realizar una comparativa de los diferentes pasos aplicados en la generalización automática, asistida y manual con el fin de obtener dos resultados: la mejora y la descripción de la salida y la mejora del propio sistema, tal y como expresa Ruas (2001) la Figura 43:

Figura 43. Relaciones entre sistemas y salidas.

La idea fundamental que radica bajo este estudio es ver los puntos en común de los procesos con el fin de obtener un conocimiento inherente a cada uno de ellos, y, por lo tanto modelizarlos dentro de un sistema de generalización automático. Se hicieron diversos estudios durante los años 1994 y 1995 por parte del ICC (Instituto Cartográfico de Cataluña), el IGN de Francia, el GIUZ de Suiza y la propia OEEPE.

Las pruebas realizadas se subdividieron en:

a) El test de la BDCarto: Para la generalización de una red viaria de 10 metros de precisión para obtener una versión a 1/250000. El estudio fue realizado por la Universidad de Munich (MGE/MG), el ICC (MGE/MG), la Universidad de Lund (Suecia, usando Lamps2) y el laboratorio COGIT del IGN de Francia (*Plateforme de Généralisation*, PlaGe). La gran diferencia de fases hace difícil la comparación de los resultados, pero existen algunos elementos "disparadores" de la generalización como son líneas demasiado detalladas o con demasiados puntos. Lo que se observa es una relación entre los operadores y el conflicto inicial. Sin embargo, los resultados obtenidos no son concluyentes ya que el 39% de los algoritmos empleados no dieron una solución satisfactoria a dicho conflicto, originando, de hecho, nuevos conflictos que necesitaron ser resueltos.

b) El Test de la BDTopo: Fue realizado también por un conjunto heterogéneo de Universidades/Instituciones, incluyendo además de las ya mencionadas a la Universidad de Hanover (CHANGE) y la Universidad de Glamorgan (Gales utilizando MAGE). Los resultados son similares a los anteriores, es decir, un número bastante dispar de operaciones entre los diferentes testers, pero dando lugar a un conjunto de "disparadores" más o menos

heterogéneos en función del conflicto inicial. Si es de destacar el hecho de que gran parte de las soluciones presentadas sean basadas en la eliminación de objetos. También, al igual que en el caso anterior, los conflictos restantes son más dispersos siendo el conflicto de superposición de símbolos el más común.

c) El Test del ICC: Fue exclusivamente desarrollado para la generalización de edificios a partir de los datos del ICC 1/5000 para la obtención de un 1/25000. Se realizaron tests en cinco instituciones (Universidad de Munich, Universidad de Luna, COGIT, Universidad de Hanover, ICC). Este test indica una mala generalización de los edificios independientemente del software usado, por lo general existe un fallo en la generalización de la forma, los espacios y superposiciones de edificios (Ruas, 2001).

Los resultados de todas las pruebas son dispares y poco comparables entre sí, no sólo por las posibles diferencias en secuencias sino también porque los cuestionarios no fueron rellenados en igual medida y con la misma meticulosidad por todos los encuestados. Sin embargo, existe una clara diferencia en cuanto a simbolización (ver Figura 44), a pesar de todo, se observa que la red viaria y, en mayor o menor grado, todas las zonas superficiales han alcanzado un alto nivel de parecido. Sin embargo, las zonas urbanas no han tenido tanta suerte, siendo su generalización bastante deficiente e imperfecta.

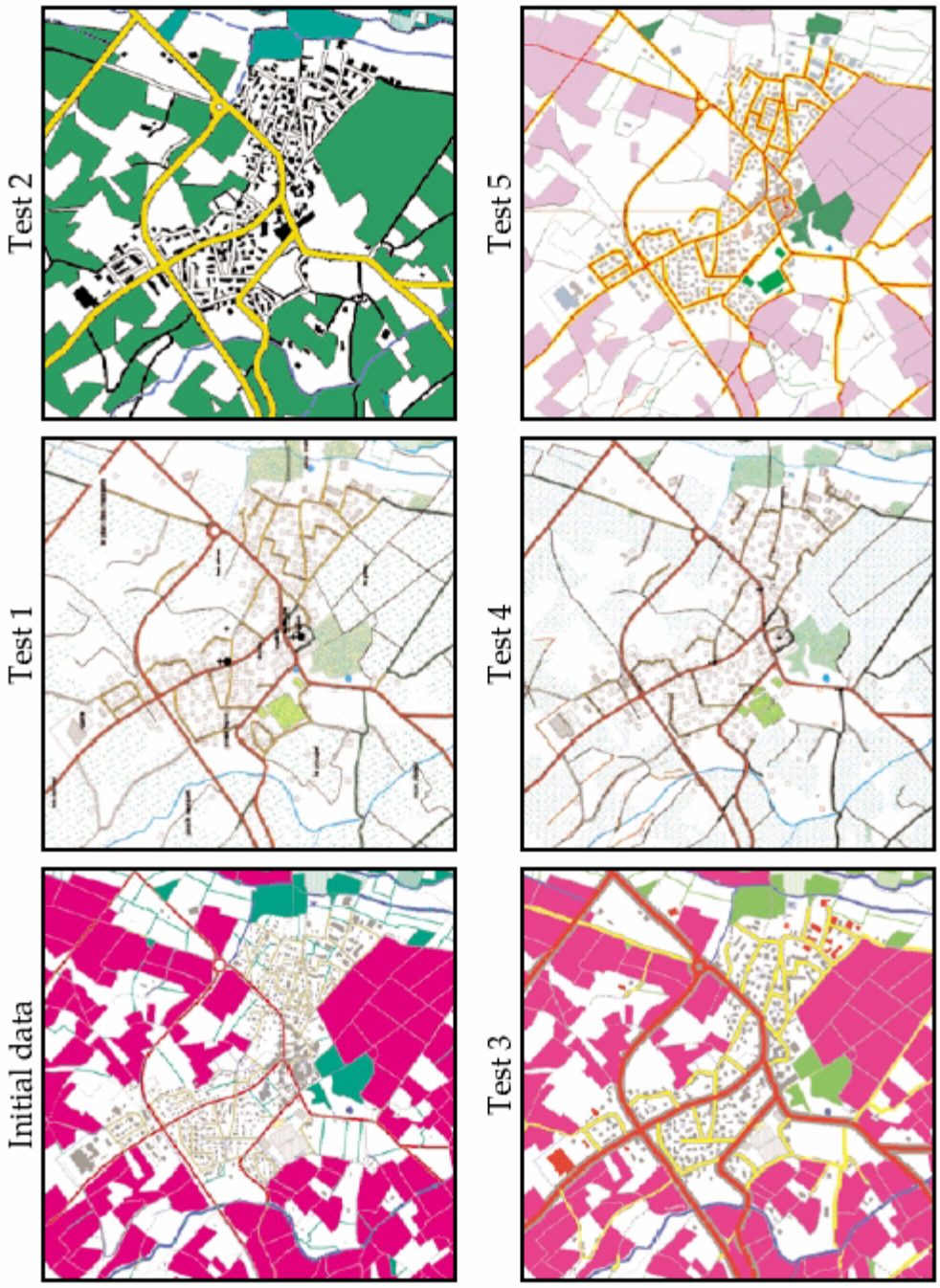


Figura 44. Resultados de las diferentes soluciones para el test de la BDTopo.

Además, se observar la gran diferencia entre algoritmos empleados, la razón es que no todos los SIG usados contienen todas las capacidades algorítmicas, y cada uno trata de resolver los conflictos con las herramientas disponibles. Se echa en falta en todos ellos algoritmos contextuales, lo que reduciría el número global de operaciones (en algunos casos se alcanzan más de 400). Sin embargo lo más importante es el conocimiento general que se ha extraído de todos los test que queda representado en una "lista de tareas", es decir, en un conjunto de pasos comunes a todos los procesos de

generalización analizados y que pueden ser la base de un sistema completamente automático (Ruas, 2001):

- Las primeras operaciones son relativas a eliminaciones "simples" de objetos mediante un filtrado de tamaño o tipo (clasificación). Se realizan algunas fusiones automáticas, que corresponden a una eliminación inicial de objetos poco importantes.
- Generalmente, las operaciones se realizan por áreas de trabajo.
- Las operaciones iniciales se centran en la eliminación de "objetos no necesarios" y reducir la cantidad de edificios mediante el empleo de la tipificación.
- Entonces se resuelven los problemas de geometría local (dilatación y simplificación).
- Finalmente, se realiza otra eliminación de objetos, en su mayor parte para corregir problemas, y en otros casos para equilibrar las cantidades de objetos.
- La vegetación es generalizada al final de todo el proceso (agregación y fusión).

Particularmente, en el caso de la generalización de edificios los puntos más importantes son (Ruas 2001):

- En la mayoría de los casos, los edificios de mayor importancia (los más grandes y por importancia temática) son generalizados antes que las casas.
- La tipificación de los edificios generalmente daña su distribución. Se resuelve de forma parcial empleando algunas orientaciones locales.
- Siempre se realiza una dilatación de edificios, bien por dilatación directa o cambiando los polígonos a símbolos (solución con MGE). Generalmente esta dilatación provoca conflictos de proximidad o superposición que suelen resolverse mediante una eliminación de objetos.
- Si es requerida una simplificación y dilatación de los edificios, esta última suele realizarse en primer lugar.
- Cuando el método de "*squaring*" (Cuadratura, es decir, convertir a ángulos rectos todos los ángulos del edificio asimilando lo mejor su forma inicial, o convertir completamente el edificio a su equivalente rectangular con la orientación adecuada) está disponible, es la última operación de generalización realizada sobre el edificio.

2.8.6. CONCLUSIONES AL SOFTWARE DE GENERALIZACIÓN.

Según lo visto en los apartados anteriores existen diversos programas que incluyen capacidades de generalización (incluso otros como Geomedia o ArcGIS tienen dichas capacidades aunque más simplificadas). Sin embargo no existe un consenso en cuanto a cuál de ellos es el mejor de todos.

Desde el punto de vista de utilidad todo el software mostrado se emplea de alguna forma en diferentes instituciones/organizaciones a lo largo de todo el mundo con diversos resultados. Así, sistemas como CHANGE dan buenos resultados en mecanismos de generalización para zonas urbanas intramanzana, y otros como Lamps2 Generalizer obtienen resultados buenos debido a los Agentes y la gestión interna de la topología.

En cualquiera de los programas descritos, todos los mapas realizados para su posterior producción y edición sufren un proceso de análisis y revisión por parte de cartógrafos especialistas en la materia. Todo ello para, empleando un sistema interactivo, corregir y reparar todos los errores encontrados.

Sin embargo, el software mostrado no ha resuelto aún el problema de la generalización, las propuestas de solución indicadas no son generales y requieren un largo proceso de revisión posterior.

Es por esta razón, que en este documento se desarrolla un sistema de generalización que pretende mejorar los existentes para minimizar el trabajo del cartógrafo.

Material y método

3. MATERIAL Y MÉTODO.

En este capítulo se tratarán dos aspectos claramente diferenciados del proceso de generalización, en concreto:

1. El material empleado: Los datos iniciales sobre los que se basará el trabajo que serán los cascos urbanos. Este apartado se subdividirá en:
    a. Análisis del material utilizado.
    b. Los procesos previos de adecuación de los datos a las necesidades del trabajo.
2. El método utilizado: Se describirán los diferentes procesos llevados a cabo para la generalización de resultados:
    a. El motor de generalización desarrollado.
    b. Procesos de comprobación de la bondad de los resultados.

El conjunto de datos empleado actúa como limitador de resultados en primera instancia, y como prueba semiparcial en segunda, es decir, las soluciones obtenidas por los algoritmos que se describirán en este capítulo se encuentran limitados por las posibles apreciaciones obtenidas, además de ser una prueba de una población limitada. En cualquier caso, a partir de estos algoritmos y con los análisis que se realizarán en el capítulo de resultados (capítulo 4) se inferirán posibles consecuencias que permitirán aplicar el criterio de retroalimentación, tan utilizado en ingeniería, y que ha de mejorar el procedimiento para futuras investigaciones.

3.1. MATERIAL.

La elección del material inicial siempre es un problema bastante común a cualquier trabajo a desarrollar, en ocasiones por la inexistencia o falta de contrastación del mismo, en otras ocasiones por ser necesario algún tipo de elección o filtrado previo. En el caso de esta tesis doctoral, el material empleado proviene de tres fuentes diferentes:

a) Instituto Geográfico Nacional (IGN).
b) Servicio Geográfico del Ejército (SGE).
c) Dirección General del Catastro (DGC).

Debido a que el estudio se centra en el desarrollo de un sistema de generalización de cascos urbanos entre las escalas 1/25000 y 1/50000, interesaba disponer de la cartografía a dichas escalas, y el único productor de mapas del territorio nacional que dispone de la escala 1/25000 es el IGN, las otras dos fuentes se usaron como base para contrastar algunos mecanismo de generalización, de hecho, del SGE se obtuvo el 1/50000 de la ciudad de Jaén y de datos catastrales (fundamentalmente a escalas 1/2000) para disponer de cascos urbanos a unas escalas mayores y ver si el efecto de un aumento en la complejidad de los datos era un factor importante para los algoritmos propuestos. En los siguientes apartados se especificará el material empleado, su fuente y su mecanismo de introducción en el ordenador (o de conversión en su caso). Para finalizar con el tratamiento de datos propuesto y anterior al propio método, aunque algunos autores puedan considerarlo como parte integrante del mismo.

3.1.1. MAPAS EMPLEADOS.

Tal y como se ha expresado en la introducción, se han empleado fuentes de información de origen y propiedades muy heterogéneas (ver Tabla 16).

Tabla 16. Mapas fuente junto a sus escalas y orígenes (Anejo 1). Los elementos con (*) representan generalizaciones manuales realizadas por personal cualificado expresamente para esta investigación.

Ciudad	Escala	Fuente	Formato	Año de publicación
Almería	1/25000 (de 1/2000)	Catastro	Digital (.DXF)	1992
Bilbao	1/25000	IGN	Digital (.DGN)	1999
Bilbao	1/50000	IGN	Digital (.DGN)	1999
Burgos	1/25000	IGN	Digital (.DGN)	1999
Burgos	1/50000	IGN	Digital (.DGN)	1999
Jaén	1/25000	IGN	Digital (.DGN)	1996
Jaén	1/50000	SGE	Analógico	1999 (*)
La Carolina	1/25000 (de 1/2000)	Catastro	Analógico	1996
La Carolina	1/50000	IGN	Analógico	1999 (*)
Logroño	1/25000	IGN	Digital (.DGN)	2000
Logroño	1/50000	IGN	Digital (.DGN)	2000
Majadahonda	1/25000	IGN	Digital (.DGN)	1999
Majadahonda	1/50000	IGN	Digital (.DGN)	1999
Mengibar	1/25000 (de 1/2000)	Catastro	Analógico	1996
Mengibar	1/50000	IGN	Analógico	1999 (*)
Pamplona	1/25000	IGN	Digital (.DGN)	1996
Pamplona	1/50000	IGN	Digital (.DGN)	1996

Como se puede observar existen cascos urbanos de diversas tipologías: ciudades grandes, medianas y pequeñas, tanto con estructura planificada como no planificada, con el fin de disponer de una amplia muestra que permita comprobar en situaciones diferentes el funcionamiento del método y los pros y contras en diferentes situaciones.

Se han seleccionado mapas de cascos urbanos a escala 1/25000, de los cuales, en la mayoría de los casos, se dispone también del 1/50000 con el fin de probar el método, y ver si es posible emularlos de forma semiautomática. También es importante indicar que a diferencia de lo que ocurre con los otros casos, para Almería no se ha podido disponer del casco urbano a escala 1/50000 para corroborar los resultados, y, por tanto, la bondad de la solución queda a juicio de una posterior evaluación visual o mediante medidas propuestas para procesos de generalización sin conocimiento de algún resultado previo.

3.1.2. OBSERVACIONES AL MATERIAL.

Tras los resultados obtenidos por Ureña (Ureña, 1998) y notar los efectos de georreferenciación necesarios en los casos de digitalización debido a grandes diferencias temporales, los mapas de Jaén, Mengíbar y La Carolina a escalas 1/50000 se obtuvieron mediante digitalización de la generalización manual realizada sobre los 1/25000 por personal cualificado (Ureña y Ariza, 2000, 2001). Por lo que se asegura que todos los mapas empleados en el trabajo posterior no poseían diferencias temporales significativas y sólo se veían afectados por los procesos propios de la generalización, evitando así la influencia de otros procesos en el resultado final.

En un segundo lugar es preciso realizar un breve análisis del material, en concreto respecto del conjunto de información, es decir, no todas las generalizaciones son iguales, por ejemplo las series de mapas producidas por el SGE tienen una tendencia a redondear y suavizar las esquinas de las manzanas, además de producir una generalización mucho más intensa que la realizada por el IGN de España. Con respecto a los elementos catastrales, estos no poseen ninguna generalización salvo la propia selección de los elementos a distribuir.

Para finalizar las observaciones es necesario hacer notar la gran diferencia existente entre las representaciones llevadas a cabo por los cartógrafos de instituciones de otros países y las realizadas por los cartógrafos de España. La cartografía realizada en el extranjero tiene una tendencia a la representación de edificaciones aisladas junto con la digitalización del viario exterior a todas ellas, dejando verdaderas islas dentro de la ciudad, con la tendencia natural de provocar una reducción del número de edificaciones dentro de estos islotes como medida principal de generalización y como medida secundaria un desplazamiento y un cambio de tipología. Frente a todo lo anterior las soluciones adoptadas por la cartografía española consisten básicamente en la representación de manzanas compactas, por lo que su generalización tiende a compactar aún más el casco urbano resultando en procesos de amalgamación, eliminación de patios interiores, simplificación de la forma de edificios y exageración del espacio intermanzana. Esta filosofía de generalización diferente, conduce a soluciones opuestas que guiarán un método alternativo a los existentes en el extranjero, es decir, tratando de adaptarlo a las necesidades propias de la cartografía de España.

3.2. MÉTODO.

El desarrollo de esta tesis doctoral constituye, ya de por sí, tres líneas de trabajo diferentes (enriquecimiento de datos, generalización y evaluación de la generalización) aunque con un único objetivo común, la generalización y contrastación de viabilidad técnica de dicha solución semiautomática.

Para el desarrollo del objetivo se ha seguido siempre un proceso descendente, es decir, se subdividirán los problemas hasta encontrar elementos sencillos que puedan ser resueltos, es la conocida técnica de divide y vencerás que tantos éxitos ha alcanzado en el entorno informático.

Por lo tanto, se partirá de esta división del trabajo (enriquecimiento de datos, generalización y evaluación de resultados) ya indicada, a la que se añadirá la necesidad de un pretratamiento de los datos para ajustarse a las necesidades del proceso (ver Figura 45).

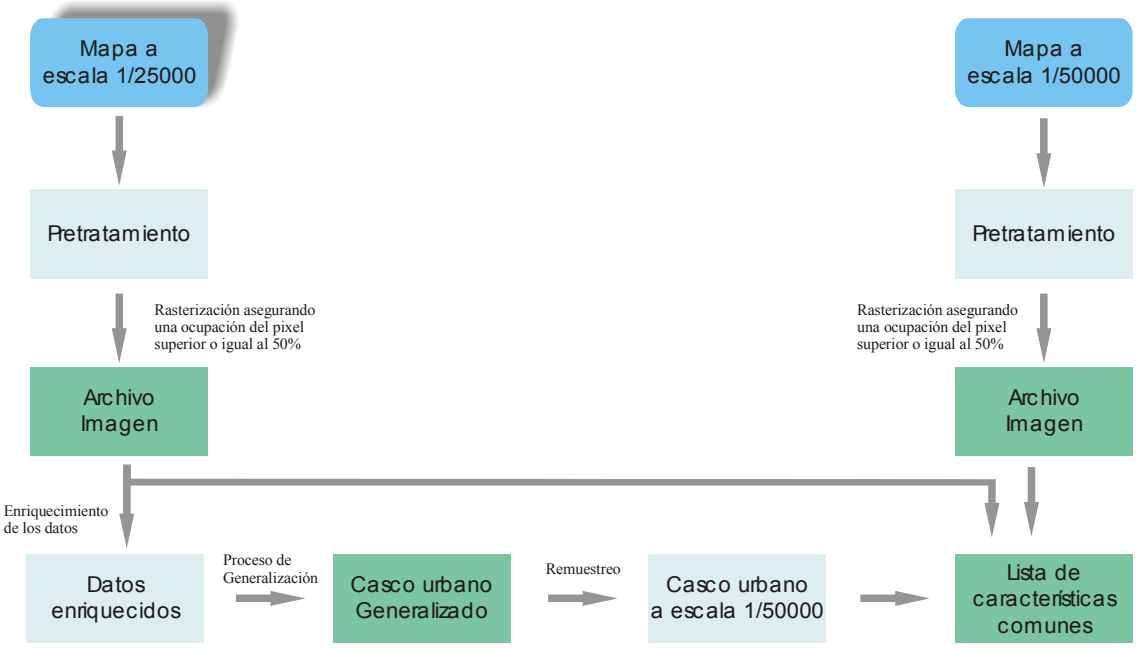


Figura 45. Esquema del método de trabajo (versión resumida).

El orden anteriormente indicado representa el de aplicación de procesos, aunque su desarrollo e investigación no presenta la misma ordenación cronológica, sino que, inicialmente se realizó el proceso de comparación de resultados, pues pareció más importante disponer de un sistema de evaluación de los trabajos antes siquiera de empezarlos.

A pesar de todo, se tratarán siguiendo el orden de aplicación de todos los procesos por considerarse el más lógico, a saber:

1. Pretratamiento del material.
2. Enriquecimiento de datos.
3. Generalización y operadores de generalización.
4. Métodos de comprobación de resultados.

3.2.1. PRETRATAMIENTO.

El conjunto de procesos realizados antes del método de generalización propuesto y que sirven como preparación de los datos se encuentran en la Figura 46.

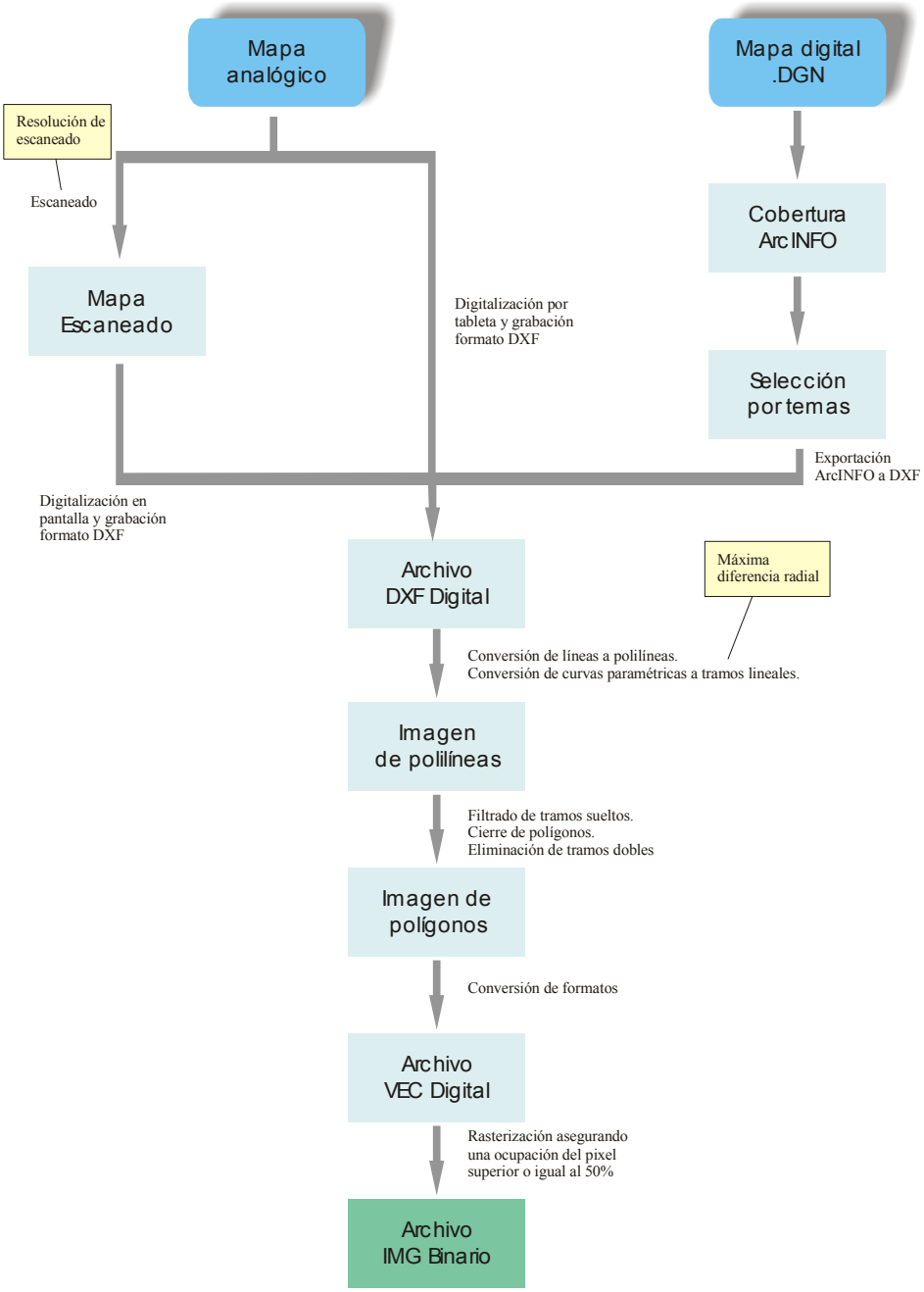


Figura 46. Procesos previos para la adecuación de datos (Pretratamiento).

3.2.1.1. Procesos de los mapas analógicos.

Para el empleo del método de generalización que se va a proponer se necesita inicialmente convertir todos los mapas en formato analógico a digital. Esta conversión se puede realizar fundamentalmente mediante:

- Digitalización con tableta: En este caso se empleó una tableta digitalizadora Calcomp 9500 de tamaño A0.

- Digitalización mediante escaneo: El segundo método empleado fue el escaneado y posterior digitalización sobre la imagen de los polígonos deseados, para asegurar la calidad de la digitalización por este método se escaneó a una resolución de 0.05 mm, es decir, de 508 ppp, que aseguraba una precisión 3 veces superior a la denominada mínima unidad cartografiable, siendo, por tanto, el resultado superior a los 0.15 mm propuestos como mínima unidad cartografiable por Cuenin (Cuenin, 1.972).

Las ventajas de uno y otro método son patentes, mediante el primero se realiza una vectorización más rápida, y, en operadores experimentados, de gran precisión, como inconveniente tiene la dificultad de repetitividad de forma general, aunque sería posible volver a digitalizar todo el elemento y comparar, pero este no es el mayor inconveniente; el peor problema derivado de este tipo de digitalización es la dificultad de comprobación de semejanza entre la imagen obtenida y la real.

El método de escaneo y posterior vectorización tiene como ventajas solventar los dos problemas del método anterior, es decir, se puede repetir la digitalización tantas veces como se desee y, además, en todo momento, se está comparando lo digitalizado frente a lo escaneado. Como inconvenientes aparecen los propios de los escáneres disponibles, donde, debido a la precisión de los mismos, no se puede asegurar una igualdad perfecta entre la imagen real y la obtenida tras su escaneo.

En cualquiera de los casos, los resultados obtenidos en cuanto a precisión y ventajas o inconvenientes no son demasiado importantes por el hecho manifiesto de que lo importante es lograr medidas que sean capaces de obviar estos problemas, es decir, que sean capaces de indicar un parecido aproximado y no necesariamente exacto. Además, este proceso sólo fue aplicado a los cascos urbanos de La Carolina, Mengibar y Jaén, este último sólo a la escala 1/50000.

Una vez alcanzada la conversión a formato digital de los datos el resto de procesos se realizó de igual forma que para los formatos originalmente digitales.

3.2.1.2. Procesado de los mapas digitales.

El procesado de los mapas digitales seguido se puede dividir en dos fases:

a) Conversión de los datos hacia el formato DXF (*Drawing eXchange File format*): En el caso de los formatos DGN (formato nativo de Intergraph cuya denominación es *Interactive Graphic Design Software files*) se realizó una importación del archivo mediante ArcINFO v. 8.0.2 y dentro del mismo se seleccionaron las capas adecuadas y se eliminó la información sobrante para después exportar un archivo DXF. La razón de realizar este paso con ArcINFO fue debido a que pese a que en otros programas como AutoCAD MAP v. 14 o superior se permite realizar la importación y posterior conversión a formato .DXF, no es posible realizar una selección por capa y tema de forma sencilla, tal y como se puede hacer y automatizar en ArcINFO. Los elementos que se dejaron aparecen en la Tabla 17.

Tabla 17. Niveles y colores de los DGN conservados.

Nivel DGN	Color DGN	Tipología urbana
38	3	Edificaciones Singulares
	39	
	69	
39	3	
41	80	
38	99	Ruinas
40	63	
	123	
41	110	
39	3	Cementerio
40	3	Edificaciones Generales
	33	
41	20	
	50	
40	93	Aparcamientos
25	60	Residencial
40	153	
41	170	
40	183	Naves Agroindustriales
42	19	
40	213	Silos industriales
41	230	
53	9	Parques y jardines
	11	
54	30	
29	2	No clasificado (con o

Nivel DGN	Color DGN	Tipología urbana
30	30	sin árboles)
31	930	
32	920	

b) Cierre de polígonos: Una vez obtenido un formato DXF se realizan otras tres operaciones:
    a. Conversión de todos los objetos del archivo DXF a polilíneas, es decir, los objetos obtenidos por curvas paramétricas (círculos, arcos, elipses, etc.) se convierten a polilíneas mediante un programa propio asegurando una precisión de 0.05 unidades de dibujo de error máximo entre el arco y la polilínea correspondiente (como dichas unidades son metros es equivalente a 5 cm de terreno).
    b. Cierre de los polígonos: Una vez convertidos todos los elementos a polilíneas, y sabiendo que sólo interesan las entidades superficiales para el posterior estudio se procede a la eliminación automática de todas las líneas que no conformen un polígono y se asocian todas aquellas que lo conforman, de manera que se asegura que cada polilínea forme un solo polígono y viceversa.
    c. Conversión a formato .VEC (Archivo vectorial de Idrisi, Laboratorio de la Universidad de Clark): Esta conversión se realiza debido a que este formato es el más sencillo ya que sólo posee una información del conjunto de vértices que contiene cada polígono, de esta forma se eliminan los datos no utilizables como por ejemplo el grosor de la línea y otras características. En algunos casos será deseable mantener otra información como el color o la capa de pertenencia para indicar el tema. Para estos casos tan sólo bastará con aplicar una codificación por atributo según convenga (en el caso tratado será por capa).

3.2.1.3. Rasterización.

Esta es la última fase previa a la obtención de los archivos raster que serán la base de trabajo posterior. Existen diferentes métodos de rasterización pero el método empleado fue desarrollado en Ureña (1998), y asegura el mantenimiento de todos los píxeles que se encuentren dentro de un polígono con una superficie dada, evidentemente no es el más rápido pero fija la calidad de la solución a cualquier resolución empleada. La

rasterización realizada fue de 0.1 mm (mayor de los 0.15 mm indicados por Cuenin, 1972). Esto para los mapas a escala 1/25000 supone un píxel cada 2.5 m y para los 1/50000 (5 m/píxel). Se pensó en ampliar dicha resolución a 0.05 mm pero los resultados no variaron significativamente a cambio de multiplicar por cuatro el tamaño de la imagen en memoria y, debido a que la mayor parte de los algoritmos en representación raster son de orden $O(n^2)$ o superior suponía un incremento mucho mayor del tiempo de cálculo empleado.

En cualquier caso, tras esta fase se dispone de todos los cascos urbanos digitalizados en representación raster con una resolución de 2.5 m para los mapas 1/25000 y de 5 m para los mapas 1/50000, indicando en todos los casos coordenadas terreno UTM y, mediante un relleno adecuado de las zonas vacías no comunes, se asegura la superposición entre ambos conjuntos de datos.

3.2.1.4. Conclusiones al pretratamiento.

Con el pretratamiento de los mapas se han tratado de unificar todas las posibles disparidades para conseguir que las imágenes resultantes sean adecuadas para el posterior cálculo de entidades.

Lo importante de este proceso es el mantener unas características comunes para todos los cascos urbanos con el fin de que los parámetros que se han utilizado durante el método sean similares en todos los casos. Las características que se han pretendido mantener, independientemente del proceso utilizado, son:

- Resolución: 0.1 mm a escala del mapa.
- Porcentaje del píxel para estar activado: 50% de la superficie ocupada por la manzana. En competencia de clases se asignará la de mayor importancia.
- Valores digitales: Clases del mapa codificadas en orden de importancia.
- El mínimo rectángulo encuadrante de la imagen final debe contener la superficie geográfica que englobe a ambas soluciones.
- La soluciones deben estar perfectamente referenciadas entre sí.

Esas características son necesarias para que los parámetros posteriormente indicados sean válidos, en cualquier caso, una modificación de las mismas provocaría la

modificación de los parámetros de creación de entidades, del motor de generalización y de los métodos de comprobación de resultados.

3.2.2. CREACIÓN DE ENTIDADES A PARTIR DE IMÁGENES RASTER.

Tras la fase de pretratamiento se dispone de un conjunto de imágenes raster clasificadas cualitativamente en función del uso urbano mayoritario del píxel o celda. Dichos datos son insuficientes para poder realizar una aproximación a la generalización cartográfica que se utiliza en los mapas convencionales. Por esta razón, se deben extraer un conjunto de características que se encuentran implícitas en el modelo de representación raster empleado.

En concreto se pasará de disponer de una única imagen raster a un conjunto de imágenes junto con unos atributos asociados a elementos que existen en las mismas, estos elementos serán:

- Manzanas/Edificios: Como elementos representativos del casco urbano.
- Red de Adyacencia: Elementos de enlace entre manzanas/edificios, representando la topología de los objetos o manzanas.
- Calles: Elementos vertebradores del tejido urbano, son los elementos duales de la red de adyacencia si se utilizan únicamente manzanas como componentes principales del casco urbano.
- Ejes Axiales: Conjunto de calles con una dirección determinada, y, por tanto, susceptibles de ser asimiladas a las llamadas líneas de visión de Mackaness (1995).

Todos estos elementos aparecen en las imágenes, aunque estas sólo sean del tipo binario (0: fondo, 1:manzana). En este apartado se desarrollará un método para extraer toda la información implícita del modelo raster y unificarla bajo una base de datos parcialmente raster, parcialmente con atributos de entidades en lo que se denominará Base Cartográfica Numérica Raster – Vector (BCNRV).

El esquema Entidad – Relación propuesto (ver Figura 47) muestra las relaciones propuestas y algunos de los atributos asociados a las entidades, estas son:

- Manzanas/Edificaciones: Conjuntos conexos de píxeles con igual uso del suelo urbano.

- Elemento de Red de Adyacencia: Indicativo de relación de proximidad entre dos manzanas/edificaciones diferentes.
- Calles: Eje medio entre dos manzanas, como tal, sólo existe vectorialmente.
- Ejes Axiales: Conjunto de calles que une dos origenes cualesquiera del casco urbano. Al ser una asociación de calles posee también representación vectorial.

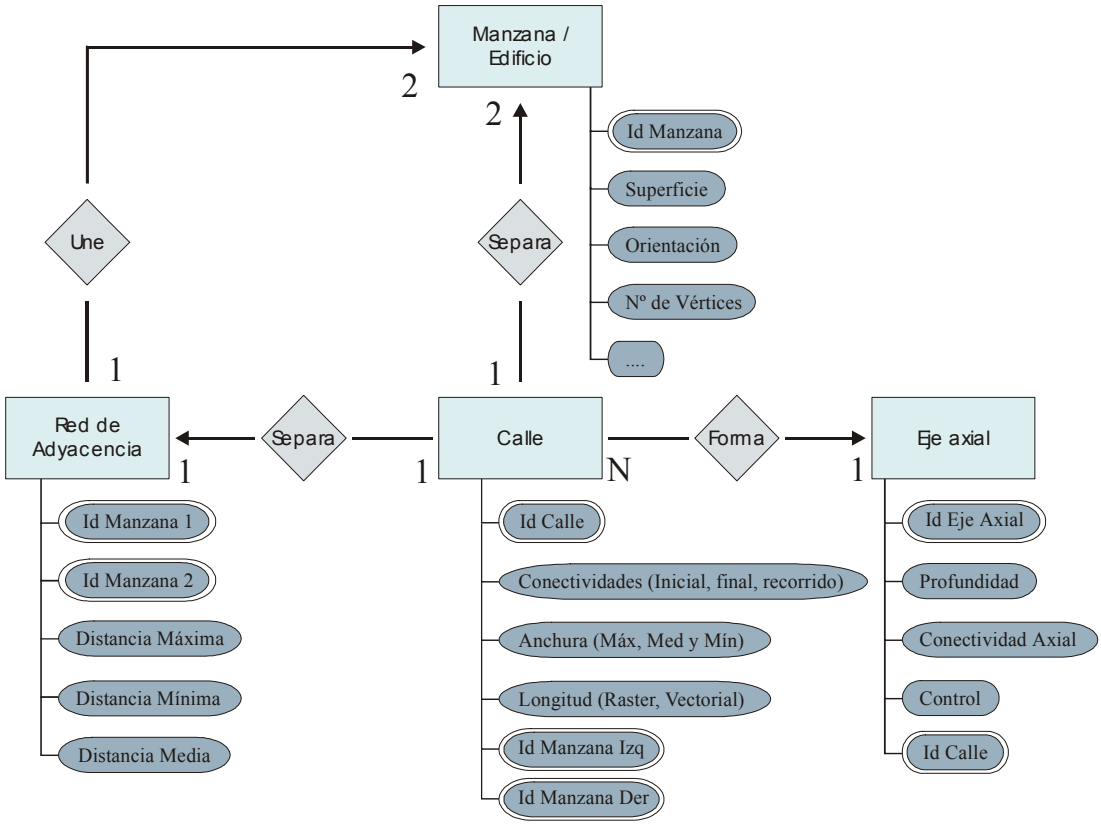


Figura 47. Modelo E-R desarrollado en las imágenes originales.

La obtención de las entidades, junto con sus posteriores atributos han supuesto uno de los procesos más complejos dentro del sistema de generalización propuesto, el esquema de flujo de datos aparece en la Figura 48.

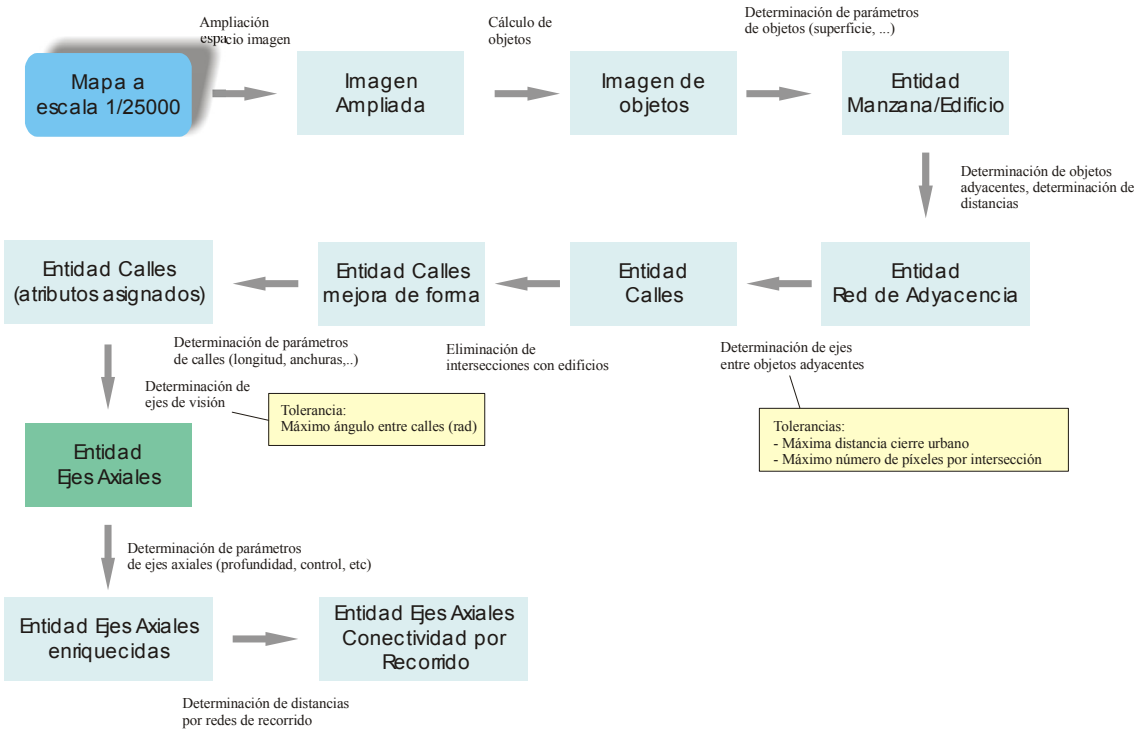


Figura 48. Esquema del proceso de enriquecimiento de la imagen para obtener una BCNRV.

La suposición básica del proceso consiste en que se dispone de una imagen del mapa a escala 1/25000 con la única característica de que está clasificada en los diferentes usos del suelo indicados en el apartado de pretratamiento (ver Tabla 17) y con una resolución de 0.1 mm/píxel.

A la imagen original se le aplica un mecanismo de obtención de objetos (manzanas o edificios de diferentes usos del suelo), este mecanismo se refuerza con el cálculo de parámetros indicadores de características de dichos objetos (superficies, perímetros, etc.).

Posteriormente se refuerza con la obtención de la topología de los objetos, es decir, las relaciones de adyacencia entre ellos. Desde el punto de vista de los flujos de datos empleados a esta fase se la denomina de obtención de Redes de Adyacencia.

Tras la fase anterior, se calculan los ejes de las calles (determinadas como los arcos entre dos puntos de intersección), elementos que sufren un proceso de incremento de información posicional para facilitar el seguimiento de la forma de la vía.

Es importante notar la necesidad de introducir tres parámetros para la obtención de las diversas entidades:

- Máximo ángulo entre calles: Este parámetro permite determinar los ejes axiales desagregando la asociación de calles cuando superan el umbral indicado en este parámetro.
- Máxima distancia de cierre: Determina la máxima distancia admisible entre objetos del casco urbano (manzanas o edificios) para ser considerados como pertenecientes a una única zona urbana.
- Máximo número de píxeles intersección: Máximo número de píxeles pertenecientes a la intersección entre dos vías para ser considerados como una única intersección.

Después, las calles se agrupan siguiendo un criterio de diferencia de orientación para asimilar estas características comunes (que se denominan ejes axiales) con los ejes o líneas de visión indicadas por Mackaness (1995).

La estructura que soporta todo esta BCNRV será la que aparece en la Figura 49.

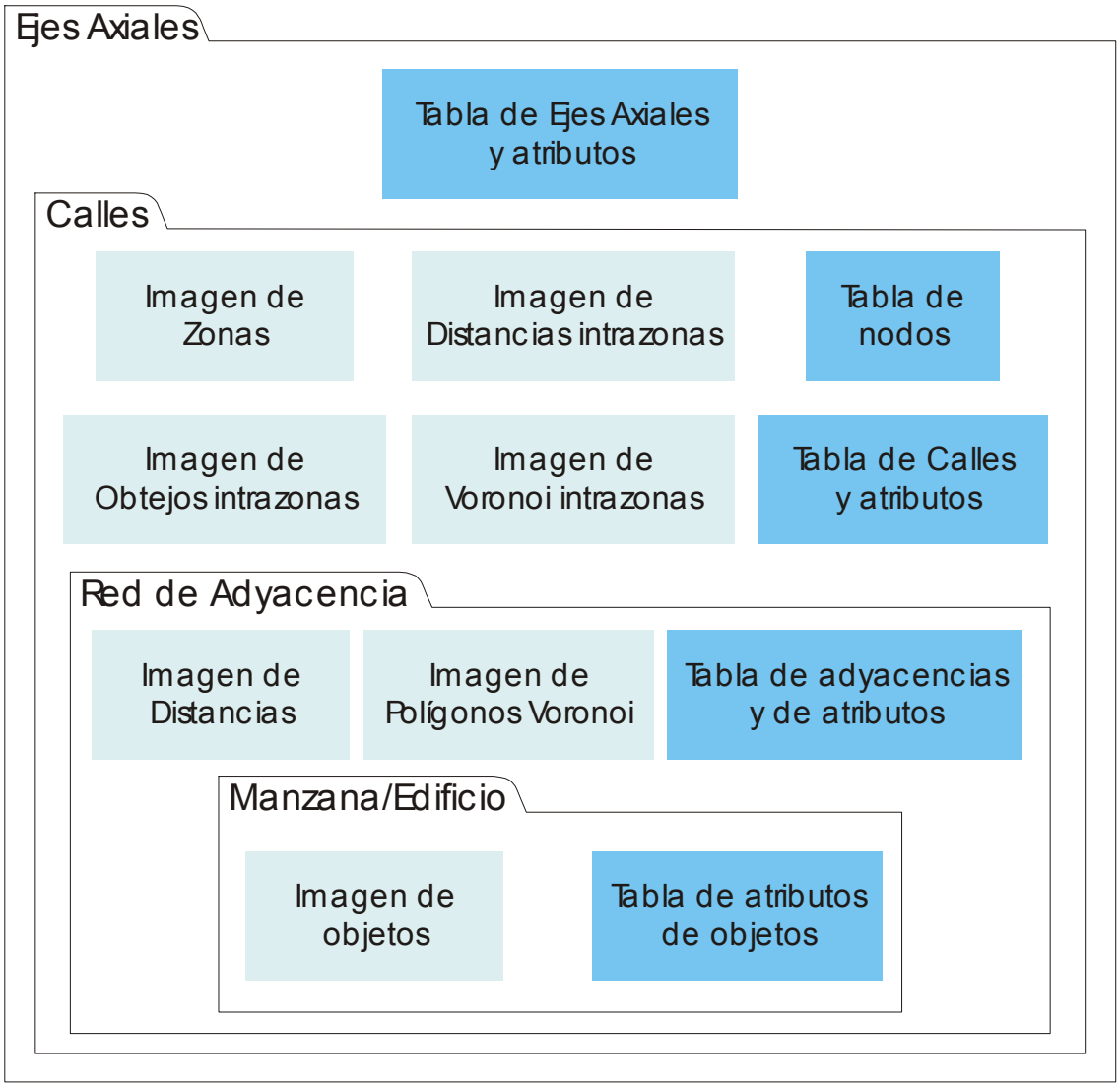


Figura 49. Estructura de almacenamiento de entidades utilizada de la BCNRV.

A continuación, se tratará cada uno de estos procesos de enriquecimiento de la BCNRV de manera individual.

3.2.2.1. Cálculo y obtención de características de objetos.

En primer lugar se va a definir lo que se denomina un objeto para el posterior tratamiento: "Objeto: Superficie conexa en el espacio ocupada por un mismo uso del suelo".

Es conveniente analizar la definición, ya que un objeto puede ser una manzana del casco urbano, o un solo edificio, o un único elemento del mobiliario urbano en función del grado de desagregación que se emplee en cuanto al uso del suelo.

La razón de que la definición abarque tipos de entidades tan variados es alcanzar un compromiso entre los elementos diferenciables empleando algoritmos y los elementos diferenciables empleando criterios de experto, ya que los primeros son obtenibles mediante procesos lógicos y los segundos son abstractos.

En cualquier caso, y una vez planteado el concepto de objeto, surgen las siguientes cuestiones:

a) ¿Cuál es el proceso para la determinación de objetos?.
b) ¿Cuáles serán las características de los objetos y la forma de determinación de las mismas?.

3.2.2.1.1 Proceso para la determinación de objetos.

El proceso para la determinación de la continuidad de los elementos de la imagen no es nuevo, ya en Schylberg (1993) se emplea un mecanismo sencillo para agregar los diferentes parches. La idea básica consiste en localizar un píxel y asignarle una valor identificativo (un valor cualitativo) y luego sustituir todos los píxeles adyacentes que cumplan una condición simultánea de continuidad espacial (vecindad) y de valor cualitativo o cuantitativo.

En este trabajo se han desarrollado dos algoritmos, uno basado en el concepto de ventana ampliable y el segundo basado en la propagación de ondas. Ambos algoritmos alcanzan el mismo resultado, la diferencia estriba en que el primero requiere un tiempo de cálculo mayor con una menor cantidad de memoria y el segundo requiere un menor tiempo de cálculo pero una mayor cantidad de memoria.

Por lo tanto, cualquiera de los algoritmos es válido para la obtención de los objetos de la imagen, sin embargo, debido a que en principio los requerimientos de memoria no son un factor importante en los cálculos que se van a realizar frente a la velocidad de dichos cálculos, se va a emplear el segundo de propagación de ondas (o de obtención recursiva de semillas), que es el que se desarrollará a continuación.

El algoritmo basado de propagación de ondas trata de explotar el concepto de localidad en cuanto a la vecindad requerida, por ello se utiliza un píxel como elemento de origen de la continuidad, dichos píxeles van almacenándose en una lista que cuando se vacia indica crecimiento nulo del objeto, y por tanto, fin de los elementos con continuidad espacial.

El algoritmo inicialmente busca un píxel que debe determinarse a que objeto pertenece, una vez localizado (Figura 50.a), localiza sus vecinos, que se convierten en nuevos propagadores de la búsqueda (Figura 50.b) al estilo de una onda, donde cada nuevo punto se convierte en un nuevo origen de onda. La expansión anterior alcanza el límite del objeto y queda cortada (Figura 50.c), el algoritmo se completa localizando un nuevo elemento a tratar que no haya sido tratado previamente (Figura 50.d) y repitiendo el proceso hasta que se alcanza el fin de la imagen.

Los resultados de detección de objetos pueden verse en la Figura 50.e.

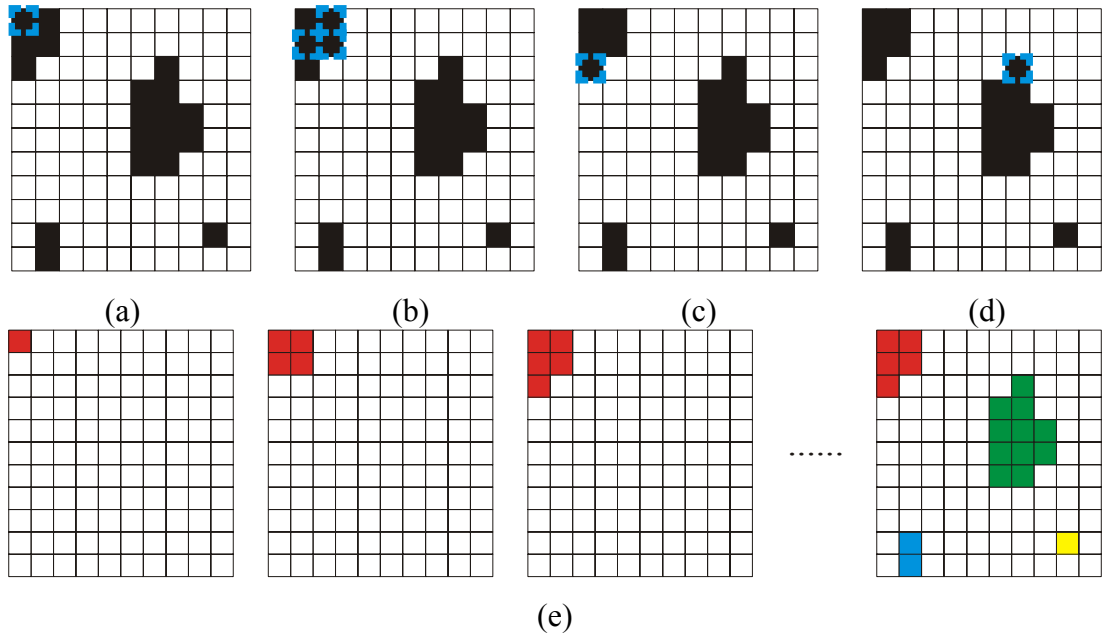


Figura 50. Fases durante el proceso de detección de objetos empleando el algoritmo de semillas. (a) – (d) diferentes fases de evolución del algoritmo, los marcos azules indican píxeles actualmente bajo búsqueda. (e) Evolución del algoritmo en cuanto a los objetos (cada color diferente representa un objeto distinto).

El pseudocódigo del algoritmo aparece en la Tabla 18

Tabla 18. Pseudocódigo del algoritmo de determinación de objetos empleando propagación de ondas.

Algoritmo Calculo_de_Objetos_Por_Propagación_de_Ondas	
Entrada:	Imagen del casco urbano
Salida:	Imagen de objetos

Procedimiento:

```
Imagen_objetos = CrearImagen(Filas(Imagen_original),Columnas(Imagen_Original)
Lista_frente_onda = {}
Objeto_actual = 0
Desde i = 0 hasta Filas(Imagen_Original)
  Desde j = 0 hasta Columnas(Imagen_Original)
    Si Imagen_Original.Píxel(i,j) > -1 y Imagen_Salida.Píxel(i,j) = -1 entonces
      Lista_frente_onda = Lista_frente_onda + Punto(j,i)
      Mientras Lista_frente_onda <> {}
        punto_actual = Cabeza_de_Lista(Lista_frente_onda)
        Lista_frente_onda = Cola_de_Lista(Lista_frente_onda)
        Si Imagen_Salida.Píxel(punto_actual) <> Objeto_actual entonces
          Imagen_Salida.Píxel(punto_actual) = Objeto_actual
          Vecinos_imagen = Imagen_original.Vecinos(punto_actual)
          Vecinos_salida = Imagen_objetos.Vecinos(punto_actual)
          Para todos los Vecinos_imagen repetir contador k
            Si Vecinos_imagen[k] <> -1 y Vecinos_salida[k] = -1 entonces
              Lista_frente_onda = Lista_frente_onda + Píxel(Vecinos_imagen)
            Fin de Si
          Fin de Para
        Fin de Si
      Fin de Mientras
      Objeto_actual = Objeto_actual + 1
    Fin de Si
  Fin de Desde
Fin de Desde
Devolver Imagen_objetos
```

A la vista del pseudocódigo anterior se realizará un análisis de complejidad algorítmica. Desde este punto de vista, el peor de los casos planteable consistirá en una imagen compacta de un único valor, en ese caso todos los píxeles pasarán a constituir el objeto 1 y, sólo se alcanzará el bucle interno **mientras** en una ocasión (el resto quedan excluidas por el condicional), por lo que se obtendría $O(n) * O(n) * O(1) = O(n^2)$, para todos los casos excepto para el que alcanza el **mientras**, en este caso se debe obtener una aproximación del número de elementos máximos que pueden existir en la lista de frente de onda, en el primer caso existe 1 píxel, para el segundo caso 3, para el tercer caso 5, para el cuarto 6, etc., es decir, en el peor de los casos (una imagen cuadrada) contiene $2 * n - 1$ elementos, (siendo n el número de filas o columnas), pero con la necesidad de haber insertado $O(n^2)$ y dentro de cada uno de ellos deberán recorrerse un máximo de 8 veces el bucle **para**. Por esta razón, en este caso el orden del **mientras** será $O(1)*O(n^2)*O(8) = O(n^2)$, por lo que tenemos que el $O(n^2) + O(n^2) = O(n^2)$.

Cualquier otro caso supondrá una mejora sobre el anterior debido a que el número de inserciones en la lista de frentes de onda será menor, por el contrario el orden del bucle externo aumentará porque tendrá que acceder más veces al bucle **mientras**, en cualquier

caso la diferencia será una simple constante multiplicativa que no afectará al orden global de ejecución del algoritmo.

Como curiosidad se muestra la versión recursiva del algoritmo que justifica su nombre original, pero difícilmente implementable empleando lenguajes imperativos por el drástico aumento de ocupación de pila en llamadas recursivas (alcanzaría n^2 llamadas en el caso anteriormente indicado).

Tabla 19. Algoritmo de propagación de ondas o de semillas recursivo.

Algoritmo Calculo_de_Objetos_Por_Propagación_de_Ondas_Recursivo	
Entrada:	Imagen del casco urbano (Imagen_Original)
	Número objeto actual
	Coordenadas del píxel actual
Entrada/Salida:	Imagen de objetos (Imagen_Salida)

Procedimiento recursivo (Calculo_de_objetos):

```
Si (Imagen_Salida.Píxel(punto_actual) <> Objeto_actual) y
   (Imagen_Original.Píxel(i,j) > -1) entonces
  Imagen_Salida.Píxel(punto_actual) = Objeto_actual
  Vecinos_imagen = Imagen_original.Vecinos(punto_actual)
  Vecinos_salida = Imagen_objetos.Vecinos(punto_actual)
  Para todos los Vecinos_imagen repetir contador k
    Si Vecinos_imagen[k] <> -1 y Vecinos_salida[k] = -1 entonces
      Calculo_de_Objetos(Imagen_original,Objeto_actual,Obtener_Punto(Por_Vecindad(k)),
                         Imagen_Salida)
    Fin de Si
  Fin de Para
  Devolver Verdadero
Sino
  Devolver Falso
Fin de Si
```

Parte Iterativa del proceso:

```
Imagen_objetos = CrearImagen(Filas(Imagen_original),Columnas(Imagen_Original),-1)
Objeto_actual = 1
Para i = 0 hasta Fila(Imagen_Original) repetir
  Para j = 0 hasta Columnas(Imagen_Original) repetir
    Si Calculo_de_Objetos(Imagen_original,Objeto_actual,Obtener_Punto(j,i),
                          Imagen_Salida) entonces
      Objeto_actual = Objeto_actual
    Fin de Si
  Fin de Para
Fin de Para
```

El orden de complejidad es el mismo que el descrito para su algoritmo iterativo.

3.2.2.1.2 Proceso para la determinación de características de objetos (o enriquecimiento de objetos).

El proceso para el enriquecimiento de objetos es relativamente más complejo que el de la propia determinación de los mismos. En primer lugar se mostrarán las propiedades a asignar a cada objeto (Tabla 20).

Tabla 20. Definiciones de los elementos a obtener de cada objeto.

Propiedad	Definición	Método de cálculo
Superficie	Extensión espacial del objeto	Suma total de píxeles que ocupa el objeto
Perímetro	Suma de las distancias límite del objeto	Suma del número de píxeles con vecinos no pertenecientes al objeto actual
Centro de masas	Centro inercial del objeto	Momento de orden 0
Orientación	Eje de mínima inercia	Momento de orden 2
Redondez	Grado de parecido de un objeto con un círculo	Relación entre el eje de mínima inercia y el de máxima
MRE	Mínimo Rectángulo Encuadrante	Localización de los píxeles más exteriores del objeto
Número de Serra	Relación entre las diferentes direcciones del perímetro del objeto	Sumatorio de las frecuencias de aparición de las direcciones dividido por el número de vértices
Número de vértices	Elementos donde existe un cambio de dirección en el perímetro del objeto	Elementos donde existe un cambio de valor en la codificación Freeman del perímetro del objeto
Número de ángulos cóncavos	Vértice cuyo arco anterior y posterior forman un ángulo externo al objeto inferior a 180º	Elementos donde el cambio de código Freeman que creó el vértice es negativo
Número de ángulos convexos	Vértice cuyo arco anterior y posterior forman un ángulo externo al objeto superior a 180º	Elementos donde le cambio de código Freeman asociado al vértice es positivo.
Máxima diagonal	Distancia máxima entre dos vértices del objeto	Idem.
Mínima diagonal	Distancia mínima entre dos vértices del objeto	Idem.
Orientación de la máxima diagonal	Ángulo formado con el Norte de la máxima diagonal	Idem.
Orientación de la mínima diagonal	Ángulo formado con el Norte de la mínima diagonal	Idem.

Como se desprende de la Tabla 20, el conjunto de atributos calculables para los objetos trata de ser lo más exhaustivo posible porque, a priori, no es viable determinar cuales de estos atributos serán más o menos significativos en cuanto al posterior proceso de generalización. De hecho, los parámetros de orientación, centro de masas y superficies han sido utilizados en el proyecto agente (Documento DC4, 1999).

Como expectativas para los resultados cabe esperar que elementos tradicionales como la orientación o la superficie tengan ciertos comportamientos de asociación espacial, tal y como se ha descrito en el apartado de "*gestalt*" (apartado 2.6), el resto de elementos se utilizarán como prueba para posibles selecciones.

El esquema de trabajo seguido para la obtención de los elementos anteriores aparece en la Figura 51.

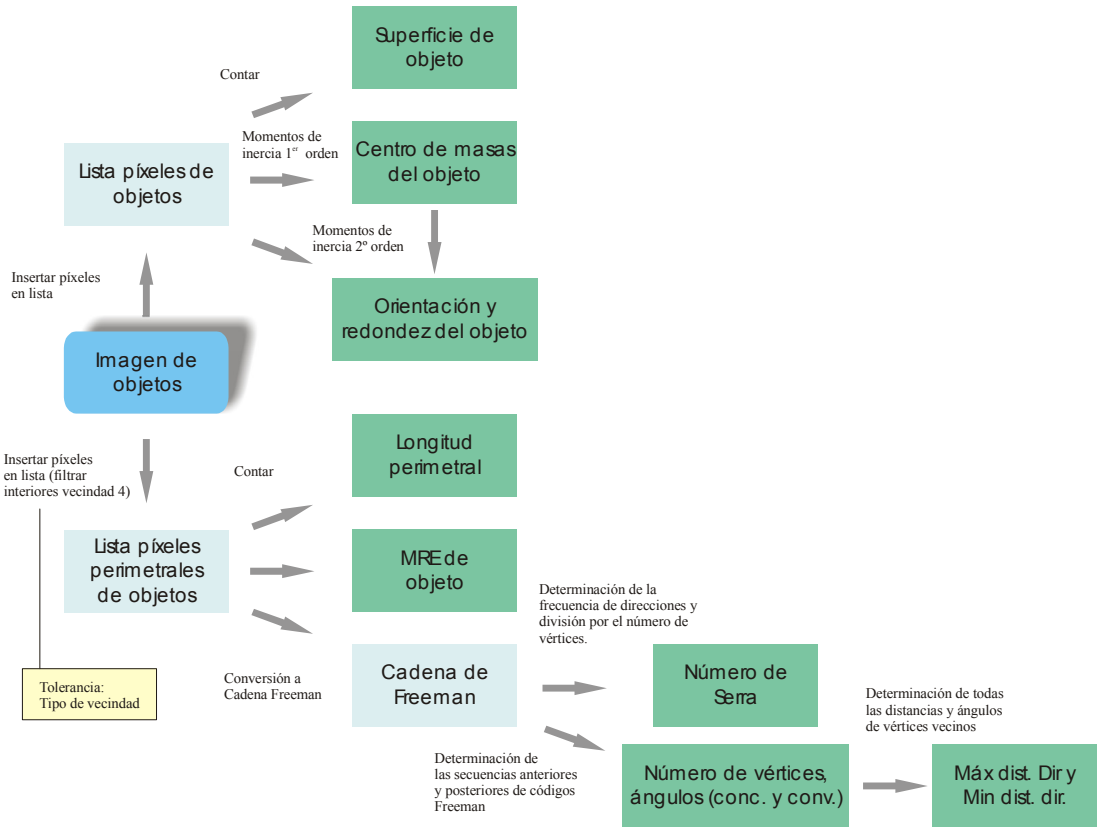


Figura 51. Enriquecimiento producido para los objetos.

El cálculo de todas las variables se realiza en un solo pase del algoritmo sobre la imagen, por lo que se determina que su orden es $O(n^2)$, teniendo en cuenta que la codificación de la cadena de Freeman puede resultar un poco más compleja en cuanto a

constante multiplicativa porque dependerá del número de píxeles perimetrales constituyentes de cada elemento.

3.2.2.2. Determinación de la red de adyacencia.

El proceso para la determinación de la red de adyacencia o continuidad topológica de objetos aparece descrito en la Figura 52.

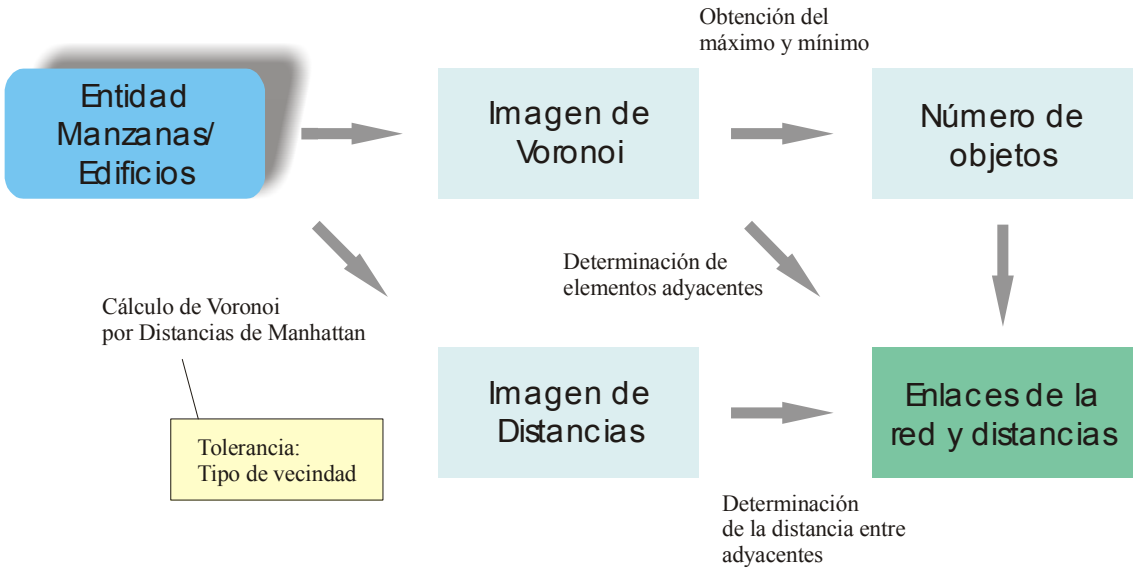


Figura 52. Proceso para la determinación de la Red de Adyacencia.

El proceso basa su desarrollo en la obtención de una imagen de Voronoi en función de los objetos entregados, una vez obtenida (junto con sus distancias), es posible calcular los enlaces por simple inspección de dicha imagen.

3.2.2.2.1 Obtención de la división del espacio mediante polígonos de Voronoi.

Una de las formas de obtener qué edificio u objeto se encuentra próximo a otro es mediante una división del espacio por polígonos de Voronoi (Anders, 2003). Regnauld (1998) lo hizo con ARM que es una versión simplificada de una adyacencia por Voronoi. Sin embargo la solución ARM provoca una falta de contigüidad espacial entre unos objetos y otros, lo que repercute en las posteriores operaciones por disponer de una adyacencia parcial (un máximo de 2 edificios adyacentes a otro).

Por las razones anteriores, se debe usar un algoritmo de división del espacio en regiones de influencia (Apartado 2.4). Este algoritmo existe tanto en modelo raster como en

modelo vectorial, pero, en modelo raster permite el cálculo empleando elementos puntuales, lineales y superficiales de manera sencilla, y en el segundo sólo de elementos puntuales (al empleo de elementos de dimensión mayor se le denomina Voronoi multidimensional).

Sin embargo, en modelo de representación raster aparece el problema de la determinación de qué distancia emplear, ya que se puede utilizar la distancia de Manhattan o la distancia Euclídea. En el caso tratado se han diseñado sendos algoritmos para comprobar la influencia de esta distancia en los resultados globales.

Otro de los problemas consiste en la velocidad de cálculo de esta división, ya que la indicación teórica de qué es un polígono de Voronoi se basa tan sólo en la definición: "*Zona del espacio que se encuentra más cerca de un punto llamado generador, que de cualquier otro punto generador que exista*". Esta definición es fácilmente extensible para líneas y polígonos, pero con un coste computacional muy elevado cuando se dispone de un gran número de puntos generadores. Los algoritmos desarrollados en el apartado 2.4 son altamente ineficaces en estos casos (los sistemas de almacenamiento se vuelven ineficaces porque sus constantes multiplicativas son altas por las búsquedas en las estructuras de almacenamiento de datos). Por esta razón, se han desarrollado dos algoritmos específicos para el modelo raster, uno para distancias de Manhattan y otro para distancias euclídeas independientes de los explicados.

El algoritmo de distancias de Manhattan puede considerarse un algoritmo de detección en varias fases, así, como se observa en la Figura 53, el desarrollo de distancias consiste en la aplicación sucesiva de una dilatación morfológica, donde cada paso marca una nueva distancia, esto es lo que representa la fila de Siguiente distancia de la Figura 53. La división del espacio en Voronoi supone la detección en cada fase de los elementos nuevos que se han creado, en el caso de conflictos (dos objetos pugnan por alcanzar el mismo píxel) se asigna el valor del objeto adyacente con identificador más bajo. Un desarrollo completo de un ejemplo para una pequeña imagen es el que aparece en la Figura 53.

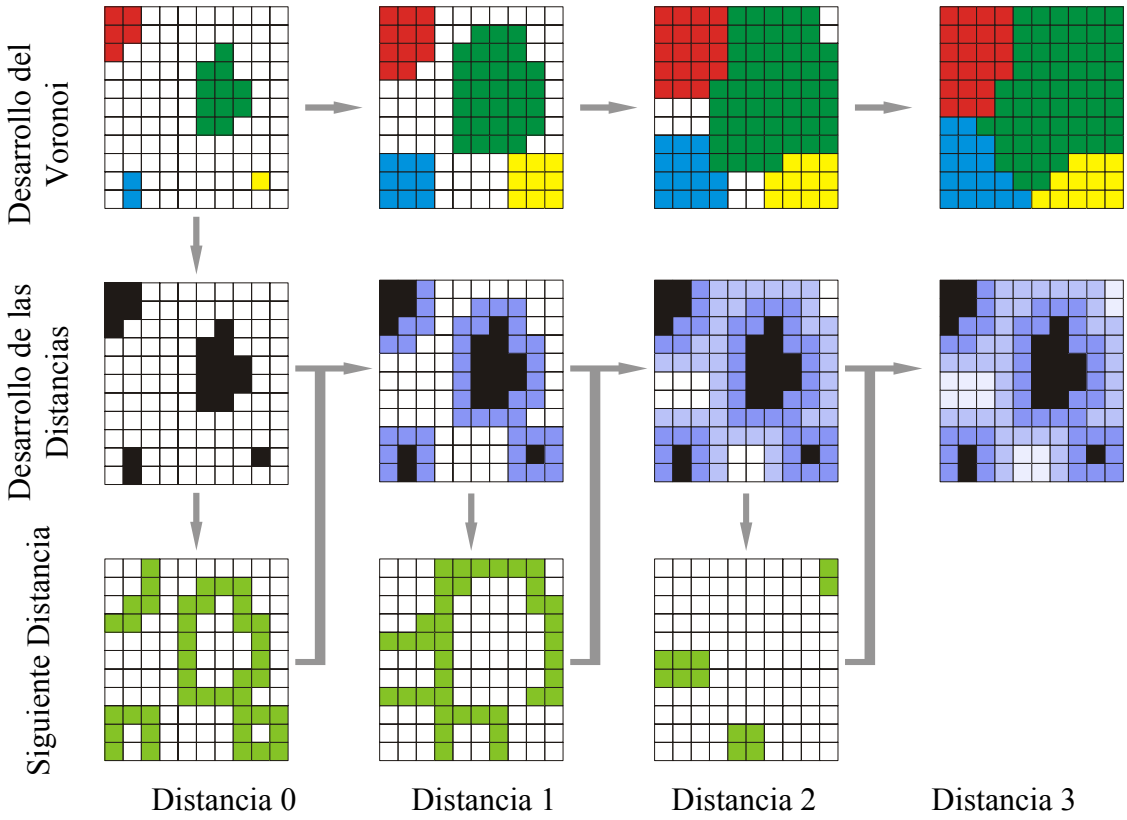


Figura 53. Desarrollo del algoritmo de Voronoi para distancias de Manhattan. Para el Desarrollo de Voronoi cada color representa una zona de influencia de cada objeto. Para el Desarrollo de las distancias cuanto más claro sea el color mayor distancia.

El pseudocódigo correspondiente al algoritmo representado en la Figura 53 puede analizarse en la Tabla 21.

Tabla 21. Pseudocódigo del algoritmo de Voronoi empleando distancias de Manhattan.

Algoritmo Calculo_de_Voronoi_Distancias_Manhattan	
Entrada:	Imagen de objetos
Salida:	Imagen de voronoi Imagen de distancias

Procedimiento:

```
Distancias = Crear_Imagen(Filas(Imagen_de_objetos),Columnas(Imagen_de_objetos))
Usados = Array [0..Filas(Imagen_de_objetos] = 0
Cuantos_quedan = 0
Para i = 0 hasta Filas(Imagen_de_objetos)
  Para j = 0 hasta Columnas(Imagen_de_objetos)
    Si Imagen_de_objetos.Píxel(i,j) <> 0 entonces
      Distancias.Píxel(i,j) = 0
    Sino
      Distancias.Píxel(i,j) = -1
      Usados[i] = Usados[i] + 1
      Cuantos_quedan = Cuantos_queda + 1
    Fin de Si
  Fin de Para
Fin de Para
Distancia_actual = 0
Expansion = Crear_Imagen(Filas(Imagen_de_objetos),Columnas(Imagen_de_objetos))
Copia = Crear_Copia_Imagen(Imagen_de_objetos)
Mientras Cuantos_quedan > 0 repetir
  Distancia_actual = Distancia_actual + 1
  Desde i = 0 hasta Filas(Copia)
```

```
    Si Usados[i] <> 0 entonces
      Desde j = 0 hasta Columnas(Copia)
        Vecinos = Copia.Vecinos(i,j)
        Lista_objetos = {}
        ndif = 0
        Para todos los Vecinos Repetir
          Si Vecinos[k] <> 0 entonces
            Si No_Esta_En_Lista(Lista_objetos,Vecinos[k]) entonces
              Lista_objetos = Lista_objetos + Vecinos[k]
              ndif = ndif + 1
            Fin de Si
          Fin de Si
        Fin de Para
        Si ndif >= 1 entonces
          Expansion.Píxel(i,j) = Cabeza_de_Lista(lista_objetos)
          Distancia.Píxel(i,j) = Distancia_actual
          Usados[i] = Usados[i] - 1
          Cuantos_quedan = Cuantos_quedan - 1
        Fin de Si
      Fin de Desde
    Sino
      Expansion.Fila(i)=Copia.Fila(i)
    Fin de Si
  Fin de Desde
  Copia = Expansion
  Expansion = Crear_Imagen(Filas(Imagen_de_objetos),Columnas(Imagen_de_objetos))
Fin de Mientras
Devolver Copia,Distancia
```

En lo que respecta al análisis de complejidad, el peor caso aparece cuando se dispone de un único píxel cubierto y situado en una de las esquinas de la imagen, en este caso el recorrido del bucle externo será de un mínimo de n veces (siendo n el máximo de entre filas y columnas) y los bucles internos se recorrerán n veces cada uno, salvo el de vecinos que siempre se recorre 8 veces para vecindad a 8, esto da un orden de complejidad de $O(n)*O(n)*O(n)*O(8) = O(n^3)$, mientras que en imágenes altamente ocupadas se puede lograr un $O(n^2)$, que es el tiempo mínimo posible de ejecución de un algoritmo raster sin conocimiento previo sobre la imagen.

El algoritmo de determinación de distancias euclídeas no puede seguir la misma filosofía que el anterior, porque las distancias mínimas o de valor 1, si cumplirían un proceso de dilatación empleando un núcleo morfológico en forma de circular, sin embargo, a medida que aumentase la distancia a los objetos, se perdería precisión por las distancias no enteras.

En su lugar el algoritmo más sencillo consistiría en mantener una lista con todos los puntos generadores, y cada punto que no exista en esta lista tendrá una distancia mínima con respecto a todos los anteriores que se obtendría sencillamente por inspección, el problema de este mecanismo es que requiere un tiempo aproximado de ejecución $O(n^4)$.

La primera mejora es no emplear todos los píxeles de los objetos sino aquellos que son perimetrales, es decir, que tienen algún vecino que no pertenece al objeto. Esto reducirá el número de elementos, pero la complejidad algorítmica seguirá siendo igual debido a que se necesita $O(n^2)$ para recorrer la imagen y para cada uno de ellos un tiempo aproximadamente igual a $O(n^2)$ por equiparar el tiempo de búsqueda debido a que ese es parecido al número de píxeles empleados.

El algoritmo que se propone basa su fuerza en un empleo de una retícula (o técnica de *bucketing*, apartado 2.4.1) que clasifica los píxeles, el tamaño de esta retícula (ver Figura 14) es el factor que hay que calibrar para que el algoritmo sea eficiente, en cualquier caso, esta retícula acelerará las búsquedas ya que permitirá descartar grupos de elementos antes incluso de calcular su distancia empleando la técnica de recorrido de grafos basada en los elementos más prometedores.

El proceso es relativamente sencillo, en primer lugar se insertan todos los píxeles en la retícula y se crean listas para realizar esta búsqueda, luego se localiza un píxel que no tenga distancias y no pertenezca a un objeto. Con el píxel se calculan las distancias a los elementos de la retícula que contengan píxeles objeto y se ordenan por esta distancia, es altamente probable que esta ordenación sirva para los siguientes elementos, por ello el algoritmo de ordenación debe tener esta propiedad. En cualquier caso, se calcula la distancia, ya no con respecto a la retícula, sino con respecto a cada elemento de la retícula que se encuentra como primer elemento de la lista ordenada. Cuando se han calculado se posee algún elemento de distancia mínima, si la distancia a ese elemento es inferior a la distancia del siguiente elemento de la lista de retículas entonces ya se ha determinado el elemento y su distancia, por lo que se ha calculado ese píxel y pasamos al siguiente. Si no ocurre eso, es decir, si la distancia es superior a la de otra retícula entonces se calculan también las distancias de todos los elementos de esa retícula y se realizará la misma comprobación hasta cumplir la condición (Ver Figura 54).

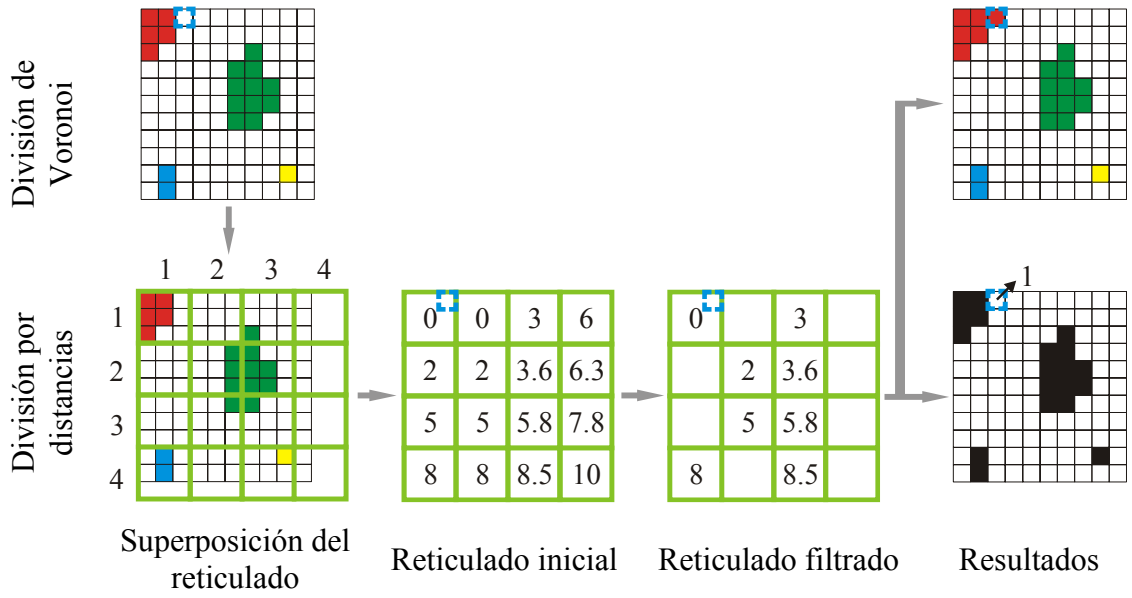


Figura 54. Desarrollo del algoritmo de Voronoi para distancias euclídeas. Cada color representa un objeto diferente. Los recuadros azules representan el píxel que se está tratando en la actualidad. Los números dentro del reticulado verde representan las distancias del píxel actualmente tratado hasta cada retícula.

El pseudocódigo del algoritmo propuesto puede observarse en la Tabla 22.

Tabla 22. Pseudocódigo del algoritmo de Voronoi empleando distancias euclídeas y técnicas de bucketing.

Algoritmo Calculo_de_Voronoi_Distancias_Euclideas	
Entrada:	Imagen de objetos Paso de reticulado
Salida:	Imagen de voronoi Imagen de distancias

Procedimiento:

```
Reticulado = Crear_Reticulado(Filas(Imagen de objetos),Columnas(Imagen de objetos),
                              Paso de reticulado)
Voronoi=Crear_Imagen(Filas(Imagen de objetos),Columnas(Imagen de objetos))
Distancia=Crear_Imagen(Filas(Imagen de objetos),Columnas(Imagen de objetos))
Desde i = 0 hasta Filas(Imagen de objetos)
  Desde j = 0 hasta Columnas(Imagen de objetos)
    Si Imagen de objetos.Píxel(i,j) <> 0 entonces
      Zona = Obtener_Zona(i,j,Paso_de_reticulado)
      Reticulado.Añadir(Zona,Punto(j,i))
      Distancia.Píxel(i,j) = 0
      Voronoi.Píxel(i,j) = Imagen de objetos.Píxel(i,j)
    Sino
      Distancia.Píxel(i,j) = -1
      Voronoi.Píxel(i,j) = -1
    Fin de Si
  Fin de Desde
Fin de Desde
Lista_zonas_existentes = {}
Desde i = 0 hasta Reticulado.Número_de_Zonas
  Si Reticulado.Número_de_Puntos(i) > 0 entonces
    Lista_zonas_existentes = Lista_zonas_existentes + i
  Fin de Si
Fin de Desde
Desde i = 0 hasta Filas(Imagen de objetos)
  Desde j = 0 hasta Columnas(Imagen de objetos)
    Si Imagen de objetos.Píxel(i,j) = 0 entonces
      Lista_dist = {}
      Para cada elem de Lista_zonas_existentes repetir
```

```
        Dist_act = Reticulado.Distancia_a_Zona(elem,Punto(j,i))
        Lista_dist = Lista_dist + Dist_act
      Fin de para
      Ordenar_Lista(Lista_dist,Lista_zonas_existentes)
      Dist_min = Infinito
      Numero_de_objeto = -1
      Desde k = 0 hasta Lista_dist.Numero_Elementos
        Si Dist_min >= Lista_dist.Elemento(k) entonces
          Para cada elem de Reticulado.Puntos(Lista_zonas_existentes.Elemento(k))
                                                                        repetir
            Dist_act = Distancia(Punto(j,i),elem)
            Si Dist_act < Dist_min entonces
              Dist_min = Dist_act
              Numero_de_objeto = Imagen de objetos.Píxel(elem)
            Fin de Si
          Fin de Para
        Fin de Si
      Fin de Desde
      Distancias.Píxel(i,j) = Dist_min
      Voronoi.Píxel(i,j) = Numero_de_objeto
    Fin de Si
  Fin de Desde
Fin de Desde
Devolver Voronoi,Distancia
```

La complejidad algorítmica del pseudocódigo mostrado en la Tabla 22 es excesivamente laboriosa de calcular (requiere de suposiciones probabilísticas de ocupación de cada una de las retículas), por lo que se optó por realizar pruebas sobre diferentes conjuntos de datos.

Después de realizar diferentes estas pruebas sobre ambos algoritmos los resultados han mostrado que ambos son similares en cuanto a sus resultados. Por ello, se estima que la complejidad algorítmica del mecanismo de bucketing es $O(n^3)$, similar a la del algoritmo de Manhattan, sin embargo este último es más eficiente de forma general porque posee un número inferior de operaciones simples, un menor acceso a estructuras de datos, así como una ocupación menor de memoria. A pesar de todo ello, se mantendrán los dos algoritmos por si en desarrollos futuros se observasen discrepancias no encontradas hasta la actualidad.

3.2.2.2.2 Obtención de la red de adyacencia de objetos.

Como ya indicó Regnauld (1998) para edificaciones y para manzanas, los objetos se encuentran dispersos, es decir, se encuentran separados unos de otros por vías (que no aparecen rasterizadas). Para paliar este problema la solución más sencilla consiste en asimilar el hecho de que cada objeto es adyacente a todos los que se encuentran más cerca pero sin llegar a tocarlo. Por ello se definirá la red de adyacencia como una tabla indicando qué objeto se encuentra próximo a cuál.

Para su determinación, siguiendo los procesos indicados en el apartado 3.2.2.2.1, se empleará una división del espacio en polígonos de Voronoi y una posterior inspección de la imagen. De forma general se creará una entrada por cada par Objeto 1 – Objeto 2 cuyos píxeles se encuentren dentro de una vecindad determinada en la imagen de Voronoi, y almacenando para cada par la distancia mínima, máxima y promedio.

El algoritmo propuesto es el que se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Pseudocódigo del cálculo de la red de adyacencia de objetos y de sus líneas de vision.

Algoritmo Calculo_Red_Adyacencia	
Entrada:	Imagen de objetos
Salida:	Imagen de objetos con lista de adyacencias.
	Imagen con Lines of Sight (Líneas de visión) o calles propuestas

Procedimiento:

```
Voronoi, Distancia = Calcular_Voronoi(Imagen de objetos)
Calles = Crear_Imagen(Filas(Voronoi),Columna(Voronoi))
Desde i = 0 hasta Número_Objetos(Voronoi)
  Lista_Adyacencia[i] = {}
Fin de desde
Desde i = 0 hasta Filas(Voronoi)
  Desde j = 0 hasta Columnas(Voronoi)
    Vecinos = Voronoi.Vecinos(i,j)
    Desde k = 0 hasta Numero(Vecinos)
      Si Vecinos[k] <> Voronoi.Píxel(i,j) entonces
        Si Distancia.Píxel(Vecinos[k]) > Distancia[Voronoi.Píxel(Vecinos[k]),
                                          Voronoi.Píxel(i,j)].maximo entonces
          Distancia[Voronoi.Píxel(Vecinos[k]),Voronoi.Píxel(i,j)].maximo =
                                          Distancia.Píxel(Vecinos[k])
        Fin de Si
        Si Distancia.Píxel(Vecinos[k]) < Distancia[Voronoi.Píxel(Vecinos[k]),
                                          Voronoi.Píxel(i,j)].maximo entonces
          Distancia[Voronoi.Píxel(Vecinos[k]),Voronoi.Píxel(i,j)].minimo =
                                          Distancia.Píxel(Vecinos[k])
        Fin de Si
        Distancia[Voronoi.Píxel(Vecinos[k]),Voronoi.Píxel(i,j)].numero =
                    Distancia[Voronoi.Píxel(Vecinos[k]),Voronoi.Píxel(i,j)].numero + 1
        Distancia[Voronoi.Píxel(Vecinos[k]),Voronoi.Píxel(i,j)].media =
                  Distancia[Voronoi.Píxel(Vecinos[k]),Voronoi.Píxel(i,j)].media +
                  Distancia.Píxel(Vecinos[k])
        Calles.Píxel(i,j) = 1
        Si No_Existe(Lista_Adyacencia(Voronoi.Píxel(i,j)),Voronoi[k]) entonces
          Lista_Adyacencia = Lista_Adyacencia + Voronoi[k]
        Fin de Si
      Sino
        Calles.Píxel(i,j) = 0
      Fin de Si
    Fin de desde
  Fin de Desde
Fin de Desde
Devolver Lista_Adyacencia,Calles
```

La complejidad del algoritmo anterior viene determinada por los tres bucles, pudiendo considerarse $O(n) * O(n) * O(8) = O(n^2)$.

3.2.2.3. Determinación de las calles del mapa y enriquecimiento de las mismas

La determinación de las calles del mapa es un proceso complejo, en primer lugar, se definirá su concepto en el modelo de representación propuesto: Elemento de dimensión 1 terminado por elementos de dimensión 0. Desde este punto de vista su definición es equivalente a la de arco en modelo de representación vectorial, y muy diferente, del concepto de calle como vía urbana.

Según la definición anterior, una calle es un tramo de la vía urbana original que se encuentra delimitado por dos elementos de dimensión inmediatamente inferior, en este caso, esos elementos de dimensión 0 serán las intersecciones de vías urbanas, por lo que su determinación será una condición muy importante para el resto del trabajo.

El proceso de trabajo es el que aparece en la Figura 55.

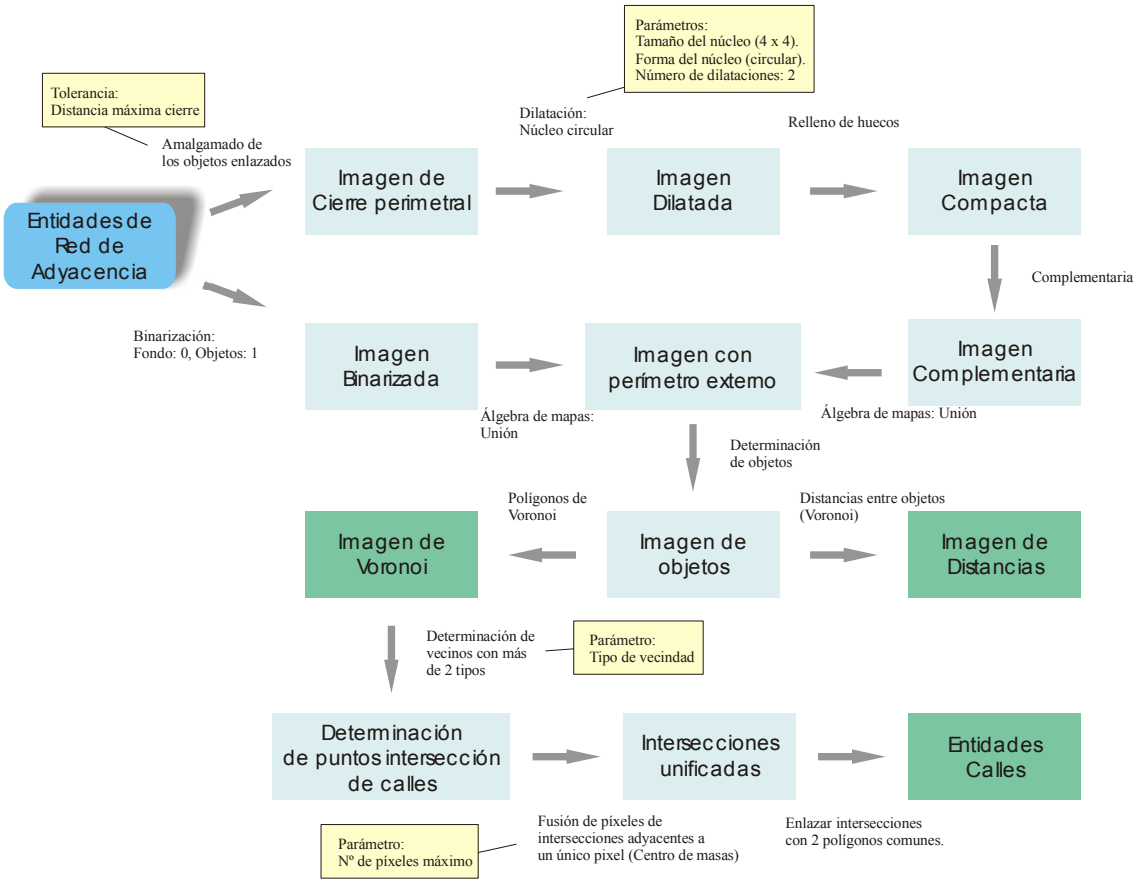


Figura 55. Fases del proceso de obtención de las calles.

Es importante reseñar que para la determinación de algunos parámetros sobre las calles, así como para evitar una desviación exagerada de los perímetros urbanos, será necesario aplicar ciertos pasos intermedios. Estos pasos se basarán en la obtención de lo que

algunos programas de Sistemas de Información Geográfica denominan polígono externo o exterior, que por continuidad se llamará igual en este trabajo. La definición que se aplicará será la de un objeto que, sin tocar ningún otro objeto del casco urbano se encuentra a una distancia mayor o igual a una tolerancia indicada de todos ellos.

La obtención de este polígono exterior permitirá dos cosas:

1. La posterior determinación de los ejes axiales con profundidad 1 y, por tanto, pertenecientes al perímetro urbano.
2. La agrupación de los elementos urbanos en zonas compactas que pueden o deben tratarse de forma independiente (ver Figura 56).

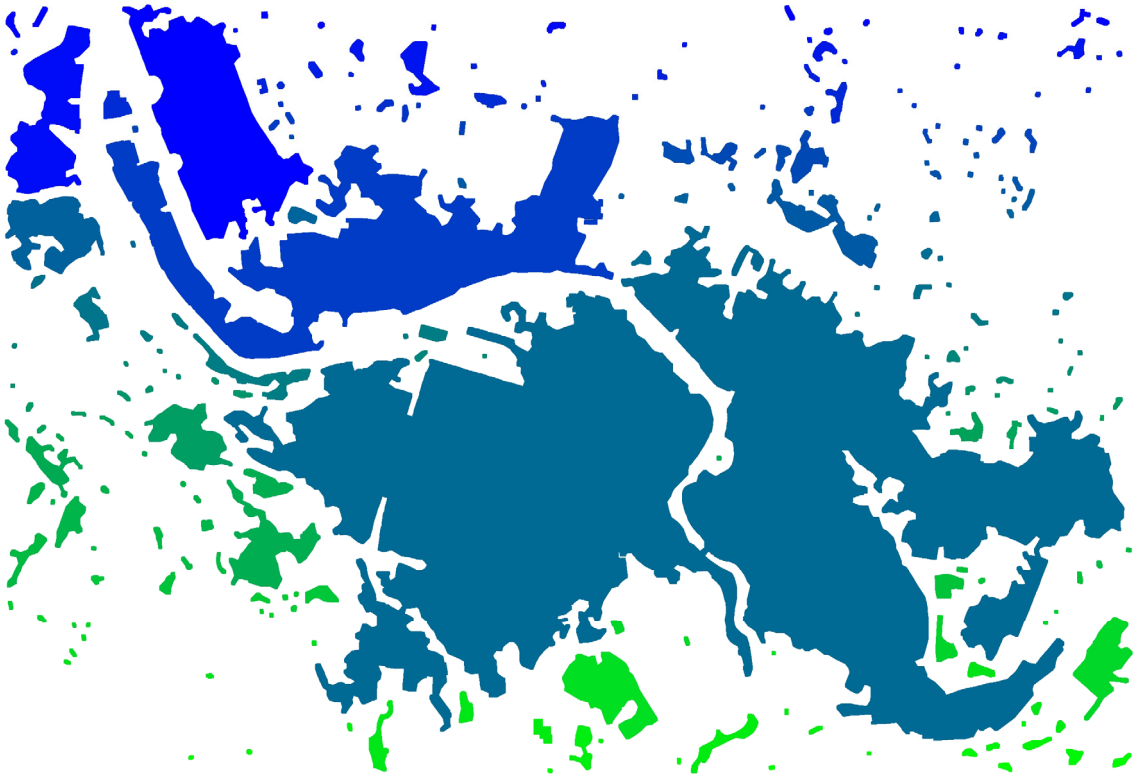


Figura 56. Imagen de objetos agrupados por el polígono externo. La zona blanca representa el polígono externo. Las zonas de color son los diferentes objetos (una variación en tono/valor representa un objeto diferente).

Una vez determinado ese objeto externo, ya es posible calcular todas las intersecciones urbanas. Todas estas intersecciones se unifican empleando un algortimo especial basado en un sistema de “hormigas” o sistema evolutivo y biológico, una vez determinado este proceso se comienza la mejora de la propia imagen.

A continuación se desarrollarán algunos de los algoritmos necesarios para realizar dicha determinación.

3.2.2.3.1 Algoritmo de cierre urbano.

El objetivo de este algoritmo consiste en un mecanismo de amalgamación total de todos los objetos pertenecientes al casco urbano, y un posterior algoritmo de eliminación de huecos, el propósito es conseguir un cierre, no necesariamente convexo, del casco urbano, con lo que se mantiene el perímetro y su forma.

El algoritmo de cierre urbano está basado en distancias y enlaces de Voronoi. El proceso consiste en cuatro pasos bien:

1. Se inicia con la determinación de la red de adyacencia de objetos (Figura 57.a).
2. Se determinan los píxeles perimetrales de cada objeto (Figura 57.b).
3. Se calculan las distancias de los píxeles perimetrales entre las manzanas/edificios que tengan un elemento de red de adyacencia entre ellos (Figura 57.c).
4. Se rasterizan todas las líneas del apartado 3 si cumple con el criterio de tolerancia de distancia máxima admisible entre objetos.

Se muestra un ejemplo partiendo de los objetos de la Figura 57.a apareciendo la solución en la Figura 57.e.

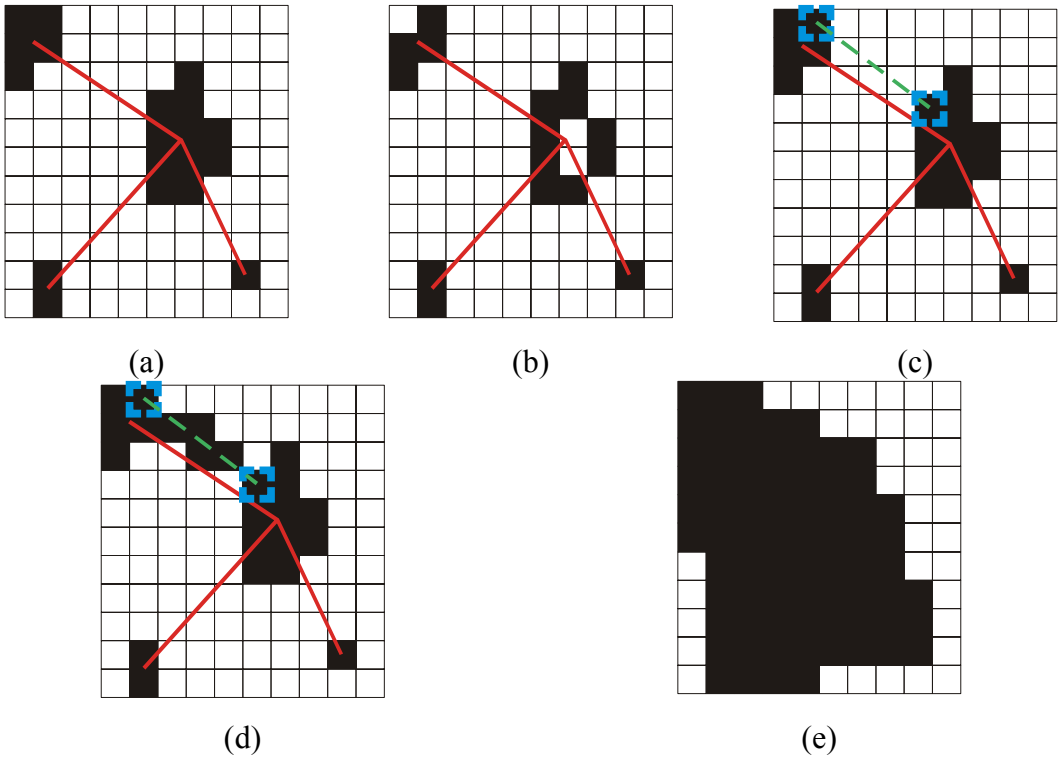


Figura 57.Ejemplo del desarrollo del algoritmo de cierre urbano. Las recta rojas representan el enlace de adyacencia, los recuadros azules los píxeles tratados. La línea verde la distancia calculada.

Tabla 24. Pseudocódigo del algoritmo de obtención del cierre urbano.

Algoritmo Unificación__Total_Empleando_Distancias	
Entrada:	Imagen Raster de objetos
	Lista de Todas las Adyacencias
	Tolerancia de distancia
Salida:	Imagen Raster unificada

Procedimiento:

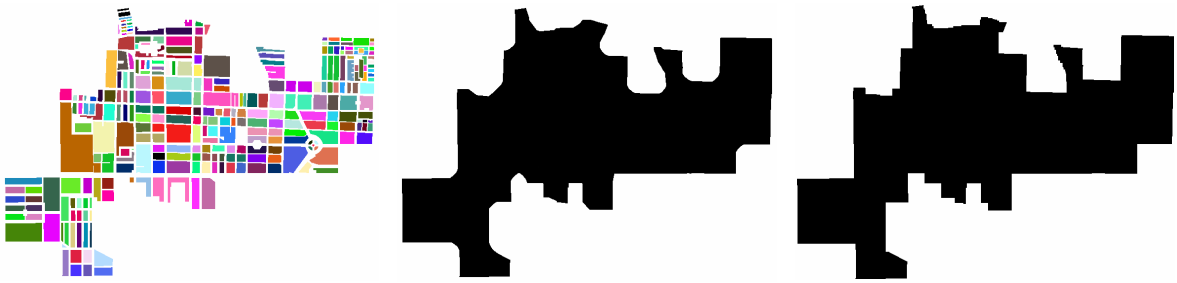
```
Imagen_Unificada = Binarizar(Imagen de objetos)
Lista_Píxeles_Perimetrales = Calcular_Píxeles_Perimetrales(Imagen de objetos)
Desde i = 0 hasta Numero_Objetos(Imagen de objetos)
  Lista_Píxeles_Objeto_1 = Lista_Píxeles_Perimetrales(i)
  Desde j = i + 1 hasta Numero_Objetos(Imagen de objetos)
    Lista_Píxeles_Objeto_2 = Lista_Píxeles_Perimetrales(j)
    Desde il1 = 0 hasta Numero(Lista_Píxeles_Objeto_1)
      Desde il2 = 0 hasta Numero(Lista_Píxeles_Objeto_2)
        Si Existe_Elemento_En_Lista(il1,il2,Lista de Todas las Adyacencias) o
           Existe_Elemento_En_Lista(il2,il1,Lista de Todas las Adyacneicas) entonces
          Si Distancia(Lista_Píxeles_Objeto_1(il1),Lista_Píxeles_Objeto_2(il2)) <=
             Tolerancia de Distancia entonces
            Imagen_Unificada.Rasterizar_Linea(Lista_Píxeles_Objeto_1(il1),
                                              Lista_Píxeles_Objeto_2(il2))
          Fin de Si
        Fin de Si
      Fin de Desde
    Fin de Desde
  Fin de Desde
Fin de Desde
Imagen_Complementaria = Imagen_Unificada.Complementaria()
Imagen_Objetos = Imagen_Complementaria.Objetos()
Imagen_Huecos = Binarizar(Imagen_Objetos) excepto Objeto = 0
Devolver Imagen_Huecos + Imagen_Unificada
```

El orden de complejidad del algoritmo anterior se encontraría, en el peor de los casos, cuando existiesen tantos objetos como píxeles en la imagen; en este caso, el bucle externo se recorrería n veces, el interior n-1 veces en cada pasada externa y los bucles interiores se recorrerían 1 vez cada uno, por lo que el orden sería $O(n) * O(n) = O(n^2)$. Cualquier otro caso dispondría de un recorrido de los bucles externos muy inferior, y, por tanto, de una complejidad inferior. Las pruebas realizadas indican que el algoritmo se degrada, no debido a los recorridos de los bucles sino a los cálculos de distancias y a la posterior rasterización de la línea.

No obstante, se ha optado por emplear el algoritmo anterior en lugar de un algoritmo de cierre y posterior apertura morfológica porque las pruebas realizadas han demostrado que se comporta mejor, pues, aun perdiendo algunos detalles, mantiene mejor el aspecto general (ver Figura 58 de cierre morfológico). La razón de esta circunstancia es que el cierre y posterior apertura morfológica provoca que el perímetro urbano se simplifique menos, dejando demasiados detalles independientemente de la forma del núcleo.

Además, la complejidad algorítmica del proceso de dilatación y erosión aumenta en un factor mayor que el algoritmo basado en distancia, por la necesidad de comprobar un gran número de elementos vecinos (tantos como la distancia de Tolerancia al cuadrado); sin embargo, este parámetro no influye en el tiempo de ejecución del otro algoritmo ya que sólo depende del número de elementos perimetrales.

A pesar de todo, el algoritmo de cierre morfológico tiene la ventaja añadida de que provoca un cierre de los patios interiores de los objetos, por lo que se discutirá su empleo y se pondrán ejemplos de la amalgamación empleando ese algoritmo y el algoritmo de tolerancia de distancias en el apartado 4.1.2 de operadores de generalización.



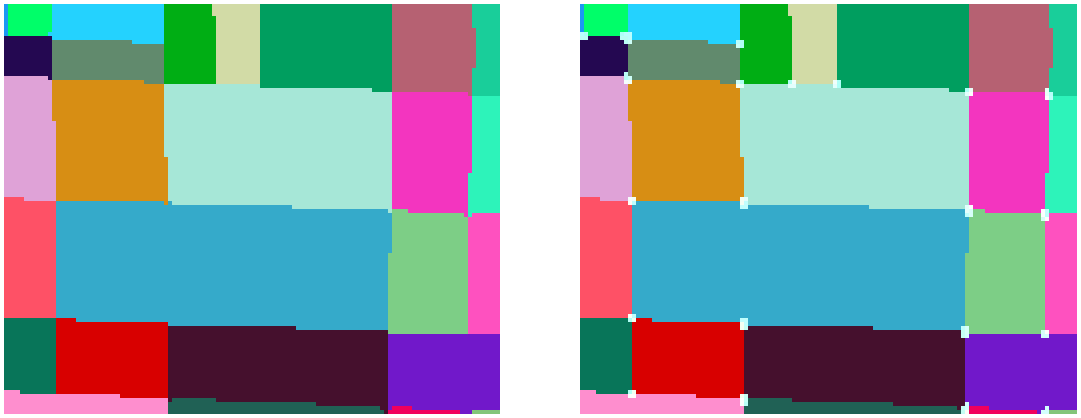
(a) (b) (c)

Figura 58. Ejemplo de cierre del casco urbano, la imagen (a) es la original, la (b) es el cierre con el algoritmo de distancias y la (c) el cierre empleando criterios de morfología matemática (Cierre con núcleo de 20 píxeles = 50 metros).

3.2.2.3.2 Determinación de intersecciones de calles

Las intersecciones entre calles son los nodos de la red viaria, éstas serían fáciles de determinar si se dispusiera de la red, sin embargo, en el caso tratado dichos elementos no han sido digitalizados, por lo que su obtención es algo más compleja.

La solución viene dada por la propiedad básica de una intersección: es topológicamente de dimensión 0 y, a su vez, consiste en el elemento extremo de 3 o más arcos. Basándose en esta propiedad, se obtendrán como aquellos píxeles a los que accedan tres arcos, pero como tres arcos delimitan un mínimo de 3 regiones del espacio se localizará un nodo como aquel que se encuentre en contacto con un mínimo de 3 regiones diferentes del espacio (ver Figura 59).



(a) (b)

Figura 59. Obtención de intersecciones de calles (elementos claros de la imagen b) a partir de la división del espacio en polígonos de Voronoi (a).

De esta forma, rastreando una imagen de polígonos de Voronoi derivada de los objetos, se determina, de forma inequívoca, que todos los píxeles que cumplen la condición

anterior de vecindad, se convierten automáticamente en píxeles intersección. Este proceso requerirá de una única inspección de la imagen con teselación del espacio, por lo que su complejidad algorítmica será de $O(n^2)$.

Generalmente, y debido a que se está trabajando en entorno raster, la solución adoptada no suele coincidir con un único píxel, sino más bien con un conjunto de ellos, por lo que será necesario un posterior filtrado de los elementos y unificación de los mismos.

3.2.2.3.3 Enlace de elementos de intersección

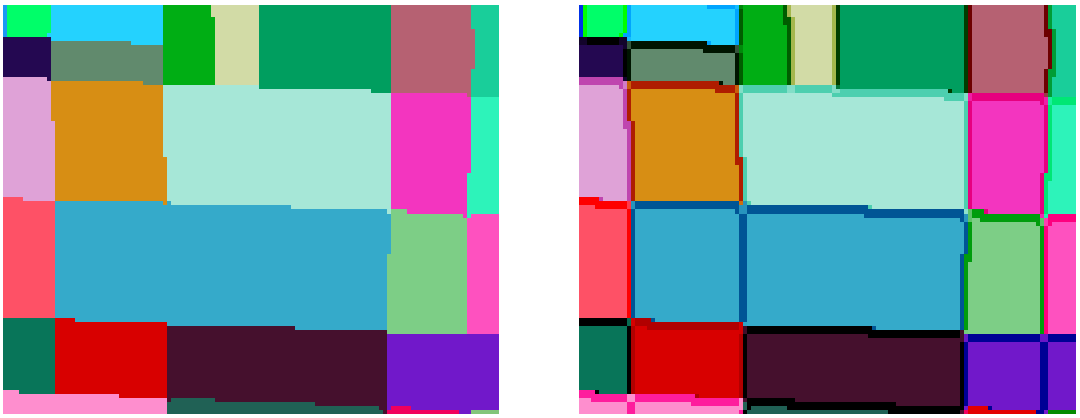
El problema que se plantea según el diseño anterior es que se dispone de un conjunto de elementos puntuales de los cuales sólo se conoce qué regiones (objetos) del espacio se encuentran unidos a ellos.

La propiedad que cumplirá una calle será doble:

1. Una calle debe unir dos intersecciones que tengan en común 2 regiones.
2. La unión de las intersecciones debe ser coherente con la red, de forma que si existen múltiples elecciones según el criterio 1 se elijan de forma que su enlace no produzca posteriores autointersecciones.

La solución desarrollada pasa por el empleo de lo que se ha denominado algoritmo de hormigas, la analogía es simple, pero requiere de ciertas datos iniciales:

a. Intersecciones de calles: Como se han definido anteriormente.
b. Píxeles unión: Píxeles adyacentes solamente a dos regiones del espacio (ver Figura 60).



(a) (b)

Figura 60. Relación entre la imagen original de Voronoi (a) con los píxeles intersección (más claros) y unión (más oscuros) de la imagen (b).

El criterio de enlace según el algoritmo de hormigas consiste en emplear los píxeles intersección como hormigueros de los que salen y llegan hormigas y los píxeles unión los caminos que pueden recorrer las hormigas.

El algoritmo consistirá en seleccionar al azar un hormiguero que no se haya empleado antes, determinar el número de caminos posibles y activar una hormiga por cada camino. El proceso evolutivo consistirá en que cada hormiga recorra ese camino borrando su rastro, hasta que ocurra alguna de las siguientes situaciones:

1. La hormiga alcanza el hormiguero, en ese caso se ha establecido el enlace y disponemos de una nueva calle y la hormiga muere dentro del hormiguero.
2. La hormiga no alcanza ningún hormiguero, esto es debido a que se encuentra en un callejón sin salida, en ese caso, y ya que la hormiga ha borrado su rastro muere en un camino sin salida.
3. La hormiga alcanza un punto en el camino se bifurca en dos o más caminos, entonces la hormiga se subdivide en tantas como sea necesario para cubrir todos los caminos que se encuentran a su alcance.

Esta solución, que parece relativamente sencilla consigue cumplir las dos propiedades indicadas para las calles, programable sin grandes esfuerzos, y reducción en cuanto a complejidad algorítmica para dicho problema. De hecho, el orden de complejidad algorítmica alcanzado es O(n) siendo n el número de píxeles unión + píxeles intersección.

Por otro lado, según el criterio seguido, y debido a que las hormigas recorren el camino indicado a través de los píxeles unión, el resultado es que se además de conocer qué nodo enlaza a cuál otro, también se conoce su orientación y qué objeto (región) se encuentra a derecha e izquierda según el sentido de recorrido.

3.2.2.3.4 Mejora de las calles

El proceso de mejora de las calles consiste en asimilar los tramos rectos obtenidos en las fases anteriores en la mayor medida posible a la forma verdadera de cada uno de esos tramos.

Se desarrollaron dos algoritmos para solucionar este problema, el primero de ellos basado en la simplificación de líneas mediante Douglas-Peucker (1973) y el segundo en una modificación al sistema de hormigas anteriormente explicado. Se expondrá cada uno por separado en los siguientes apartados.

3.2.2.3.4.1 Mejora de las calles empleando Douglas-Peucker inverso.

En este caso se puede considerar el algoritmo desarrollado una inversión del algoritmo de generalización de elementos lineales creado por Douglas-Peucker (1973).

La idea que guía este algoritmo parte de un concepto sencillo, y en todo similar al aplicado por Douglas-Peucker (1973), cuanto más alejado se encuentre un punto del eje compuesto por otros dos puntos que conforman la línea mayor significación tendrá. En el caso concreto de la mejora de calles, el punto de mayor prioridad en su inserción será aquel que cumpla dos condiciones:

1. Que pertenezca a los píxeles unión entre los objetos de los cuales es el eje medio la calle (por tanto no pertenece a ningún objeto ese píxel).
2. Que se encuentre a la mayor distancia posible del eje conformado por todos los puntos que componen en ese paso la calle (ver Figura 61).

Desde este punto de vista el algoritmo es inverso en su aplicación, se insertan puntos frente a Douglas-Peucker que elimina, aunque los resultados obtenidos son similares.

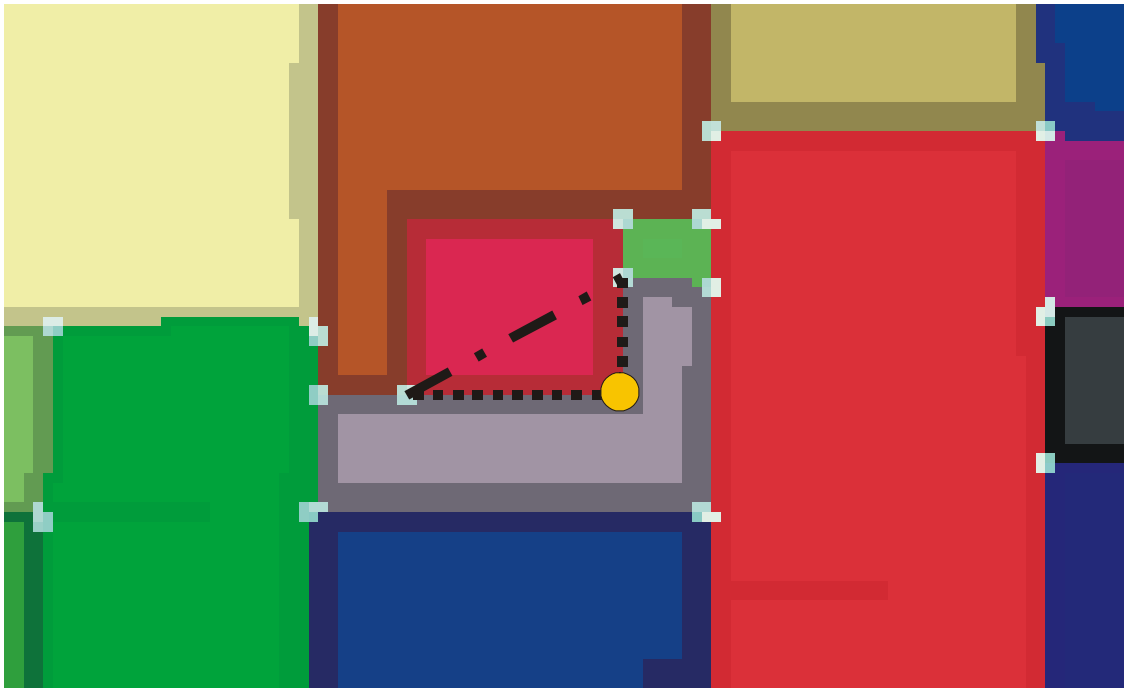


Figura 61. Ejemplo de Douglas-Peucker inverso (el círculo claro representa el único punto insertado).

El esquema de trabajo aparece en la Figura 62.

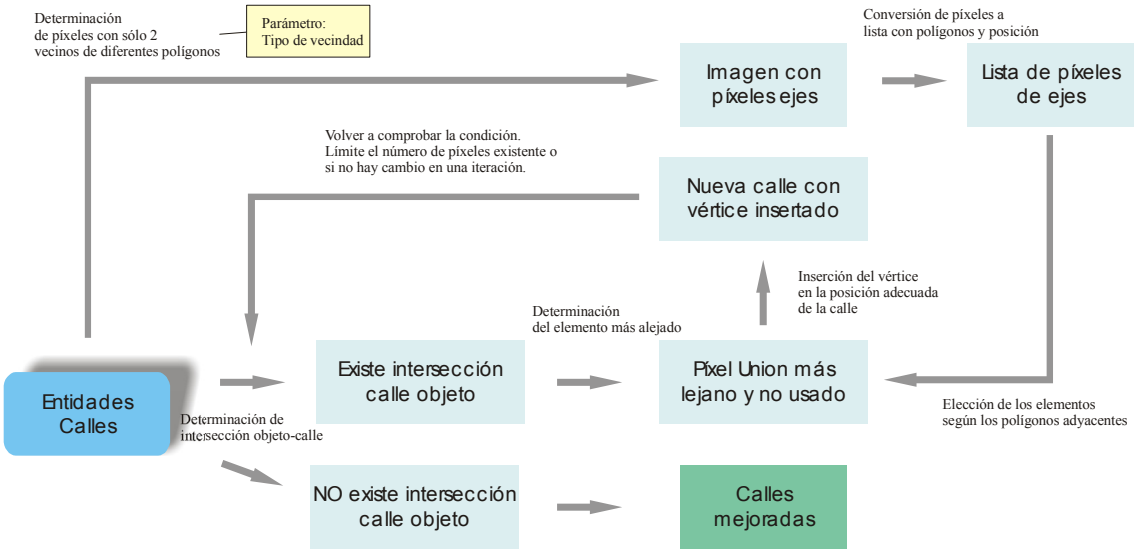


Figura 62. Proceso de mejora de las calles.

El proceso anterior, escrito más formalmente, se puede observar en el siguiente pseudocódigo de la Tabla 25.

Tabla 25. Pseudocódigo del algoritmo de mejora de calles empleando Douglas-Peucker inverso.

Algoritmo Mejora_Forma_Calles	
Entrada:	Lista de calles
	Imagen de objetos
Salida:	Lista de calles mejorada

Procedimiento:

```
Lista_Perimetros_Voronoi = Determinar_Limites_Voronoi(Voronoi)
Desde i = 0 hasta Numero(Lista de calles)
  Si Existe_Intersección(Lista de calles[i],Imagen de objetos) entonces
    Lista_Perimetros_Usables = Lista_Perimetros_Voronoi(Lista de calles[i].poligonos)
    Lista_Camino = Lista de calles[i].nodo_origen
    Ultimo_Punto = Lista de calles[i].nodo_origen
    Mientras Número(Lista_Perimetros_Usables) > 0 Repetir
      Min_dist = Infinito
      Pos_min_dist = -1
      Desde j = 0 hasta Número(Lista_Perimetros_Usables)
        Dist_act = Distancia(Ultimo_Punto,Lista_Perimetros_Usables[j])
        Si Dist_act < Dist_min entonces
          Dist_min = Dist_act
          Pos_min_dist = j
        Fin de Si
      Fin de desde
      Lista_Camino = Lista_Camino + Lista_Perimetros_Usables(Pos_min_dist)
      Ultimo_Punto = Lista_Perimetros_Usables(Pos_min_dist)
      Lista_Perimetros_Usables.Borrar(Pos_min_dist)
    Fin de Mientras
    Mientras Existe_Interseccion(Lista de calles[i],Imagen de objetos)
      Punto = Determinar_Punto_Mas_Lejano(Lista_Camino,Lista de calles[i])
      Lista de calles[i].Insertar_en_Orden(Punto)
      Lista_Camino.Anular_Elemento(Punto)
    Fin de Mientras
  Fin de Si
Fin de Desde
```

La complejidad algorítmica para cada cálculo del algoritmo de mejora es similar a la del algoritmo de Douglas-Peucker (1973), en cada pase del bucle se inserta un punto, y cada inserción provoca un aumento en el cálculo de distancias de 2, esto provoca que el número de iteraciones del bucle externo sea de n (número de píxeles unión), y que el bucle interno itere tantas veces como segmentos dispongamos, en total, se puede cifrar su complejidad en $O(n^2)$.

3.2.2.3.4.2 Mejora de las calles empleando hormigas.

El proceso consiste en explotar una fase que en el desarrollo anteriormente explicado (Apartado 3.2.2.3.3) no se tenía en cuenta, es decir, originalmente la idea del empleo de hormigas se utiliza únicamente para enlazar las intersecciones de calles y definirlas, esta solución requiere de un cálculo muy sencillo que no necesita que las hormigas dispongan de memoria temporal, tan sólo que sepan en qué situación se encuentran actualmente y cual es su posible camino.

Sin embargo, se puede aprovechar el proceso anterior haciendo que almacenen su camino (es decir, que pasen de disponer de un único estado a almacenar todos los

estados anteriores), y, como resultado devuelvan todos los píxeles que lo conforman, dando lugar a los vértices de la calle. Para aplicar esta solución a los posibles destinos de cada hormiga se debe tener en cuenta estas leyes:

1. Si la hormiga alcanza el hormiguero: Como en el caso anterior hemos determinado una calle y además todo su camino.
2. Si la hormiga no alcanza el hormiguero: Se desestima la hormiga y todo su camino recorrido.
3. Si la hormiga alcanza un camino múltiple: Se subdivide la hormiga en todos los caminos posibles, copiando la memoria del camino recorrido a cada una de las hormigas nacientes.

El proceso, por tanto, no es necesario describirlo, ya que el propio algoritmo de creación de calles se integra como algoritmo de obtención de la forma de la calle.

3.2.2.3.4.3 Comentarios a la mejora de las calles.

Ambos algoritmos desarrollados son eficientes en cuanto a su cálculo, sin embargo, el algoritmo basado en Douglas-Peucker alcanza la solución deseada únicamente en un 99% de los casos (resultado contrastado en los 9 cascos urbanos). Esto es totalmente inaceptable debido a que en el casco urbano un fallo del 1% de determinación de la forma de calles podría conducir a no poder reconstruir dicha calle, a dividir una manzana o a crear caminos ficticios.

Por esta razón, el algoritmo a utilizar será el de las hormigas, sabiendo que, aunque llega a la solución correcta posee el problema de la inclusión de un número excesivo de vértices en la calle, por lo que requerirá un posterior filtrado.

3.2.2.3.5 Enriquecimiento de las calles

El proceso de enriquecimiento de las calles consiste en la obtención de ciertos parámetros de importancia, su esquema aparece en la Figura 63.

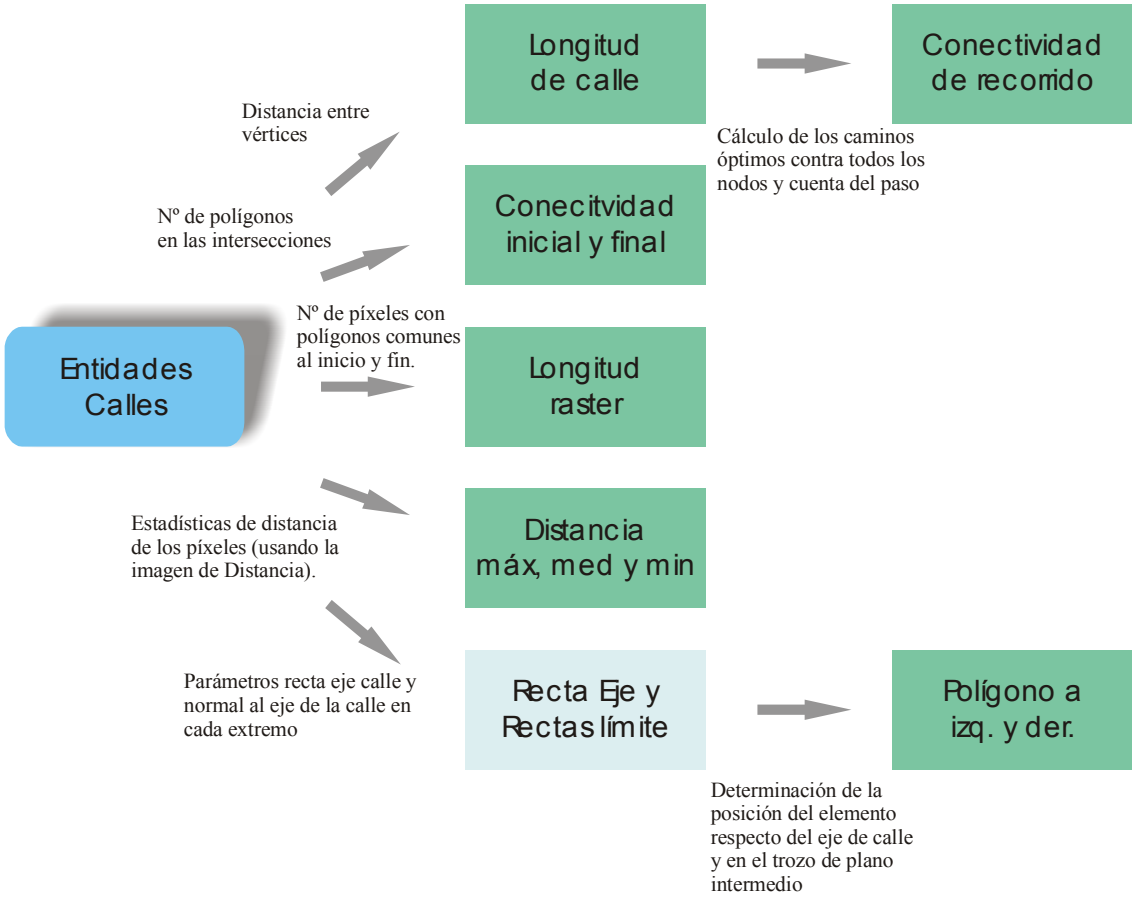


Figura 63. Proceso de enriquecimiento de datos de las calles.

Se definirán cada uno de los conceptos que se han obtenido en el proceso de enriquecimiento (ver Tabla 26).

Tabla 26. Propiedades obtenidas para las calles.

PROPIEDAD	DEFINICIÓN	MÉTODO DE CÁLCULO
Longitud	Distancia vectorial de la calle (calculada a partir de los vértices)	Idem.
Longitud raster	Distancia raster de la calle	Cuenta de todos los píxeles que conforman el eje de la calle
Conectividad de recorrido	Probabilidad de recorrido de una calle en elección aleatoria de origen y destino	Cálculo de todos los caminos óptimos y cuenta del número de pasos por la calle
Conectividad inicial	Número de regiones en el nodo origen	Idem.
Conectividad final	Número de regiones en el nodo final	Idem.
Distancia mínima	Anchura mínima de la calle	Obtenida a partir de los elementos de redes de

PROPIEDAD	DEFINICIÓN	MÉTODO DE CÁLCULO
		adyacencia
Distancia máxima	Anchura máxima de la calle	Obtenida a partir de los elementos de redes de adyacencia
Distancia media	Promedio de todas las anchuras de la calle	Obtenida a partir de los elementos de redes de adyacencia
Polígono izquierdo	Objeto que se encuentra a la izquierda de la calle	Comprobación del algoritmo anterior
Polígono derecho	Objeto que se encuentra a la derecha de la calle	Comprobación del algoritmo anterior

De entre todas las propiedades o atributos que se han asignado a las calles existen algunos de topología (Polígono a Izquierda y Derecha), otros elementos de comprobación (Distancia máxima, media y mínima comprobables con la red de adyacencia) y otros que podrán ser utilizados en posteriores selecciones (Conectividades y longitudes).

La determinación de la conectividad de recorrido es necesaria, según lo indicado en la Tabla 26, se calcula contando el número de veces que se utiliza una calle para alcanzar todos los nodos en los caminos de recorrido óptimo. Esto permite describir calles que serían muy transitadas y otras menos transitadas, lo que da lugar a una clasificación de las calles en función del grado de conexión que generan en el casco urbano.

El problema que surge es que, de forma general, el algoritmo de búsqueda de caminos óptimos no tiene una solución sencilla, de hecho, la solución es del tipo exponencial, lo que reduce su utilidad cuando el número de caminos es elevado (cosa que es esperada para grandes ciudades), por lo que su empleo es impracticable.

En su lugar existen diversos algoritmos para realizar este trabajo (ver apartado 2.5), sin embargo, todo dependerá de la definición de pesos y enlaces del grafo que se va a recorrer.

En el caso que se está tratando, los vértices del grafo son las intersecciones de las diferentes calles, y las aristas del grafo están constituidas por las calles en sí. El peso asignado nunca es 0 ni negativo, de forma que se pueden recorrer todas las calles en

diferentes direcciones, y, a falta de un indicativo mejor, el más adecuado será la propia longitud de la calle (longitud vectorial de la calle mejorada). Con estas características se ha definido una superficie de coste isotrópico. En este sentido es evidente que el mejor camino es el que une el nodo origen y final mediante una recta (el camino óptimo sobre un espacio bidimensional), a este método también se lo conoce en Inteligencia Artificial (IA) como método de recorrido de grafos por distancia aérea. Cuanto más se ajuste el camino seleccionado al camino óptimo real más probable es que este sea camino óptimo.

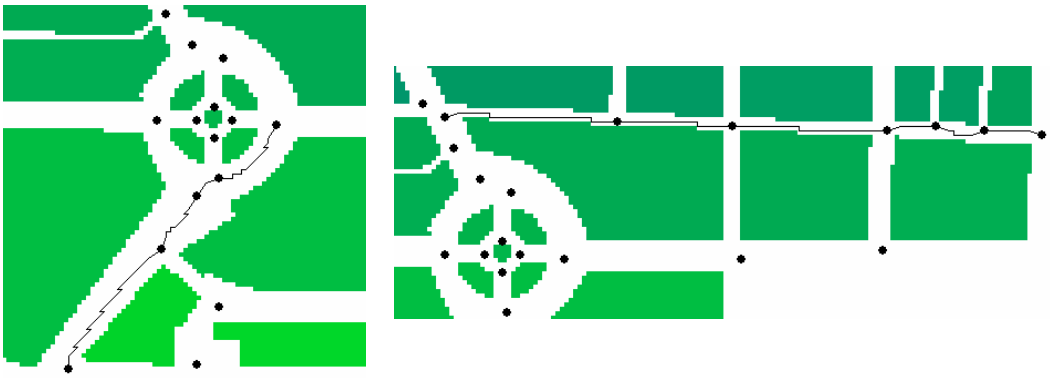
Sin embargo, el algoritmo de Dijkstra (ver apartado 2.5.1) cumple las condiciones anteriores, con la ventaja de estar ampliamente probado y ser sencillo de programar, por lo que se utilizará para el cálculo de la conectividad por recorrido, iterado para todos los vértices del grafo de calles. Esto dará lugar a una complejidad de $O(n^3)$, quizás demasiado elevada, pero la única, mientras no se encuentre alguna solución más eficiente.

3.2.2.4. Determinación de los ejes axiales.

Se denomina eje axial[7] al conjunto de elementos calles que poseen continuidad espacial y un criterio de angularidad máximo entre ellas.

La determinación de ejes axiales consiste en aislar una calle y comprobar su continuidad con las calles que contienen un nodo común, para después chequear una tolerancia angular de máxima discrepancia. La discrepancia no será constante respecto de un origen sino que irá calculándose para cada uno de los nodos, de forma que la orientación entre un elemento conformador cualquiera y los restantes no tiene porqué mantenerse dentro del límite indicado. De esta manera se puede emular el desarrollo de ejes axiales que contengan calles que no sean rectas entre elementos individuales (ver Figura 64).

[7] Elemento líneal que enlaza dos puntos, los más alejados posibles, dentro del casco urbano, sin que en ningún momento dicha línea intersecte ni la línea de manzanas ni ningún otro elemento urbano, es decir, que discurra por las vías de comunicación.



(a) (b)

Figura 64. Diferentes ejes axiales incluyendo elementos curvos (a) y elementos no alineados (b), la variación de valor indica. Ejemplos extraídos de La Carolina (imagen ampliada unas 10 veces).

Además, en este proceso se enriquecerán los ejes axiales incluyendo nuevos atributos de interés para la posterior toma de decisiones que puedan ser necesarias. El esquema de trabajo aparece en la Figura 65.

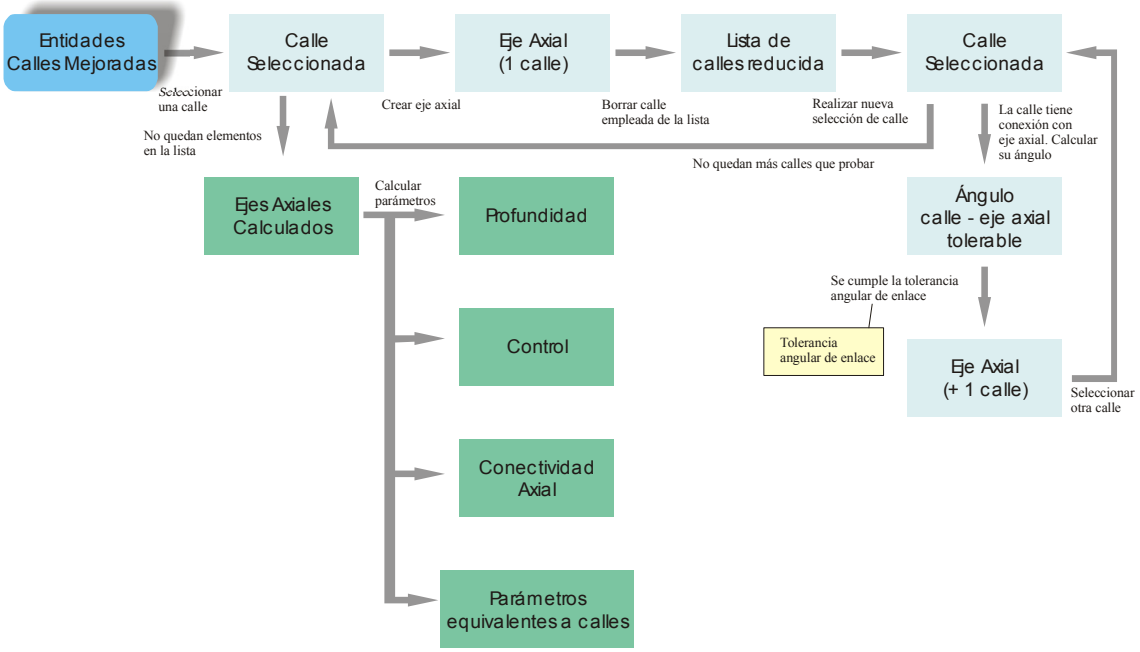


Figura 65. Desarrollo del cálculo de los ejes axiales.

Las propiedades o atributos desarrolladas para los ejes axiales son una extensión de las que se comentaron para las calles (longitud, longitud raster, etc.) exceptuando la conectividad de recorrido. Sin embargo se pueden añadir tres atributos, únicos para ejes axiales, que han sido extraídos de las indicados por Mackaness para lo que denominó el *Alpha Analysis* (ver Apartado 2.7.1.1.1).

Tabla 27. Propiedades únicas de ejes axiales. El resto de propiedades son una extensión al concepto de eje axial como conjunto de calles.

Propiedad	Definición	Método de cálculo
Profundidad	Número de ejes que hay que recorrer desde el actual hasta el perímetro	Numerar los ejes no numerados desde el perímetro e incrementar la profundidad en cada pasada
Control	Acceso relativo a la línea axial respecto a otras	Suma de las ponderaciones 1/n de cada eje axial que toca al actual, donde n es la conectividad axial de ese eje.
Conectividad axial	Número de líneas que cruza al eje	Número de calles que conforman el eje (cada calle tiene 2 intersecciones pero las comparte)

Es de esperar, que la conectividad axial indique elementos con alto grado de enlace, y por tanto, elementos vertebradores del casco urbano (vías de comunicación importantes). Se considera que la profundidad será de poca utilidad salvo como determinación de ejes axiales perimetrales. Por su parte, la propiedad denominada control, es una medida que tiene tendencia a fluctuar, por lo que su utilidad deberá ser corroborada.

3.2.2.5. Resultados previos a la creación de entidades en imágenes raster.

Durante todo el apartado 3.2.2 se han desarrollado diversos algoritmos para la creación de entidades a partir de un conjunto mínimo de datos, como es una imagen clasificada en función de los distintos usos del suelo urbano. Este proceso es relativamente complejo pero da lugar a un conjunto de entidades (manzanas, redes de adyacencia, calles y ejes axiales) que se encuentran más cerca de las concepciones del cartógrafo.

Los resultados obtenidos muestran que los dos parámetros básicos necesarios para todo el proceso, tolerancia máxima de cierre urbano y ángulo máximo del eje axial, son de gran importancia para los posteriores operadores, ya que el primero determina una zonificación inicial del casco urbano y el segundo los viales urbanos.

Las experiencias desarrolladas demuestran que tanto uno como otro son parámetros poco sensibles a variación, es decir, proveen soluciones adecuadas para grandes rangos de valores. Sin embargo, y después de múltiples pruebas, se fijó el parámetro de cierre

urbano en 50 m y el de ángulos en 20º, estas soluciones muestran una asociación correcta de viales y una distribución de zonas coherentes con la realidad.

Con respecto al parámetro de filtrado de intersecciones, tras diversas pruebas, se fijo a un valor de 1000 para evitar que con este filtrado se eliminasen intersecciones necesarias para la posterior determinación de calles.

En cualquier caso, el proceso de enriquecimiento debe observarse como un todo, que partiendo de la imagen, y una vez introducidos los tres parámetros indicados, obtiene el conjunto de datos deseados sin intervención humana.

3.2.3. MOTOR DE GENERALIZACIÓN.

El proceso de generalización es el núcleo de este trabajo, sin embargo, se han desarrollado de manera experimental diferentes operadores y se han integrado bajo una única herramienta. Esta herramienta persigue integrar y flexibilizar todo el proceso de forma que se pueden modificar tanto los parámetros como las operaciones u otros tratamientos posteriores en función de las necesidades o gustos del usuario. Todo ello desarrollado mediante dos conjuntos de técnicas:

1. Empleando un sistema interactivo: El usuario puede ir realizando las distintas operaciones una a una
2. Empleando un intérprete: El usuario programa en un sencillo lenguaje propio todos los parámetros y ejecuta el programa (pudiendo usar un modo de depuración o un modo de ejecución completa).

El conjunto de procesos de generalización que se pueden realizar empleando la herramienta diseñada, y basados en los datos disponibles, es muy elevado. Por ello, se ha optado por aplicar diferentes combinaciones de selecciones, amalgamaciones, simplificación de formas y eliminaciones consideradas como las operaciones esenciales dentro del proceso de generalización en cascos urbanos dando lugar al esquema de generalización que aparece en la Figura 66.

La selección de ese conjunto de operadores no limita el trabajo realizado, de hecho, el sistema desarrollado permite otros muchos operadores y otros encadenamientos diferentes que darán lugar a conflictos y soluciones alternativas.

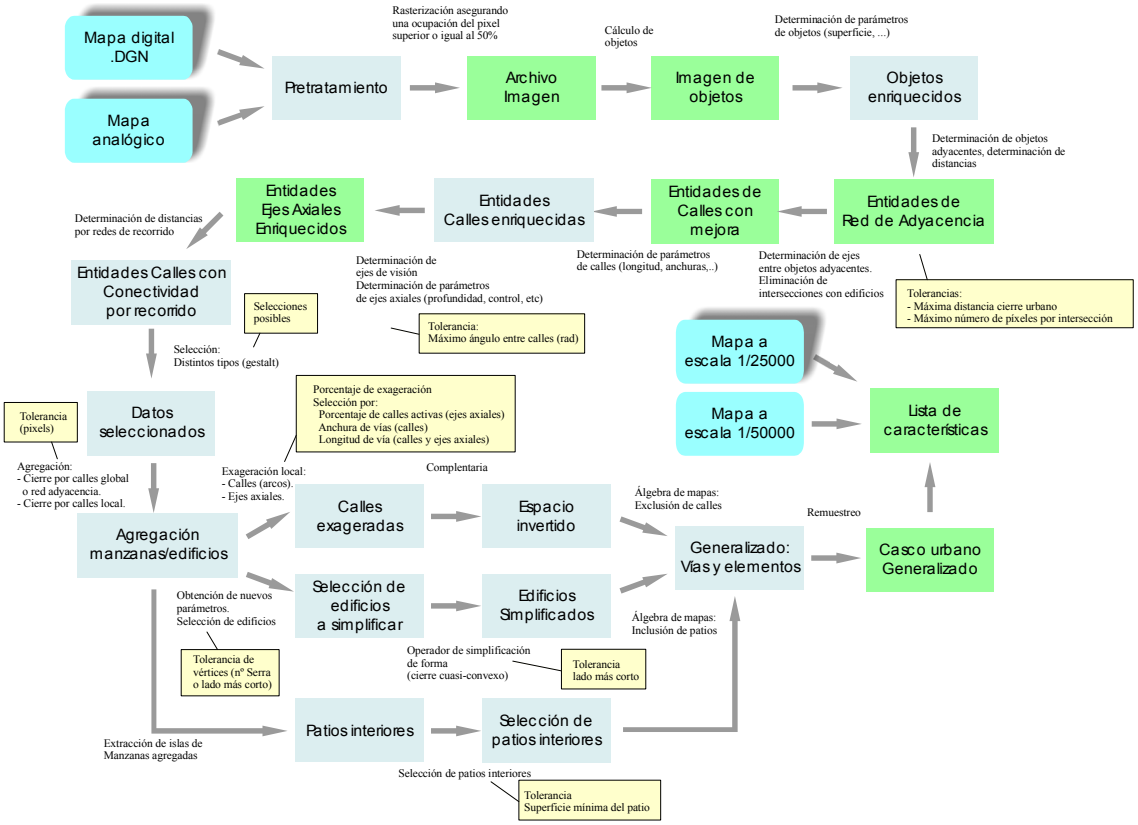


Figura 66. Proceso de generalización desarrollado.

Se desarrollarán los siguientes procesos en posteriores apartados:

1. Procesos de selección.
2. Operadores de generalización.
3. Operadores de álgebra de mapas.
4. Operadores de morfología matemática.
5. Otros operadores necesarios.

3.2.3.1.1 Procesos de selección.

Las selecciones son procesos básicos que permiten elegir unos elementos frente a un total de los mismos, por facilidad se han desarrollado diversos mecanismos de selección, cada uno para simular los sistemas de operadores lógicos, así, se tiene una selección de:

a. Añadir a: Igual al O lógico.
b. Reseleccionar: Igual al Y lógico.
c. Eliminar: Operación no necesaria, pero es como un Y NO (NAND).
d. Invertir selección: Igual al NO lógico de todas las selecciones anteriores.

En cualquier caso las selecciones realizables son meras consultas a las propiedades disponibles para cada una de las entidades relacionadas, es decir, manzanas, redes de adyacencia, calles y ejes axiales.

Las consultas son extensibles a otras entidades, de forma que la existencia de una calle debe provocar que la red de adyacencia desaparezca o viceversa, al igual que la desaparición de un objeto provoca la eliminación de un nodo de la red de adyacencia, por lo que todos estos elementos desaparecerán.

Los procesos de selección que se han utilizado en esta tesis doctoral afectan a todas las propiedades indicadas, el mecanismo se basa en la selección de los elementos que se encuentran entre un valor máximo y mínimo o, en un segundo mecanismo de selección, en utilizar sistemas que permiten elegir un número de elementos determinados cumpliendo que queden seleccionados un porcentaje fijo e indicado por el usuario. El hecho de que existan dos sistemas diferentes es debido a que el primero permitirá seleccionar los elementos mediante un conocimiento exacto de los parámetros, como por ejemplo límites de visión, separabilidad de elementos, longitud mínima de elementos. El segundo mecanismo puede servir como prueba, debido a que nos permite elegir elementos por un porcentaje de mantenimiento, que, junto con un parámetro de selección, como por ejemplo la ley radical de Töpfer y Pillweizer (1966), permitirán determinar un valor aproximado de porcentaje que ayude durante el proceso de generalización.

3.2.3.1.2 Operadores de generalización

Se han desarrollado diversos operadores de generalización empleando mecanismos raster, para emular gran parte de los indicados por McMaster (1992) y empleados como simulación de los mismos en este sistema de representación.

Entre los operadores que se han desarrollado se van a explicitar los siguientes:

- Operador de amalgamación.

- Operador de cierre semiconvexo.
- Operador de eliminación.
- Operador de desplazamiento.
- Operador de reconstrucción de caminos.

3.2.3.1.2.1 Operador de amalgamación

El operador de amalgamación que se ha desarrollado es una extensión del algoritmo de amalgamación del casco urbano para que se pueda aplicar a conjuntos de elementos conectados por redes de adyacencia que se mantengan bajo un estado de selección activo. El funcionamiento, por tanto, aparece en el apartado 3.2.2.3.1, con la única particularidad de que se realiza un rastreo de elementos activos, y sólo los que se encuentran en ese estado son amalgamados. El algoritmo aparece en la Tabla 28.

Tabla 28. Pseudocódigo del operador de amalgamación.

Algoritmo Operador_de_Amalgamación	
Entrada:	Imagen Raster de objetos
	Lista de objetos a unificar
	Lista de red de adyacencia
	Tolerancia de distancia
Salida:	Imagen Raster unificada

Procedimiento:

```
numero_min_obj = Imagen de objetos.Mínimo
salida = Crear_Imagen(Filas(Imagen de objetos),Columnas(Imagen de objetos))
Lista_Píxeles_Perimetrales = Imagen de objetos.PíxelesPerimetrales()
Desde i = 0 hasta Filas(Imagen de objetos)
  Desde j = 0 hasta Columnas(Imagen de objetos)
    Si Existe_en_Lista(Lista de objetos a unificar,Imagen de objetos.Píxel(i,j))
        entonces salida.Píxel(i,j) = Valor_Salida
    Fin de Si
  Fin de Desde
Fin de Desde
Desde j = 0 hasta Numero(Lista de objetos a unificar)
  Padre = Lista de objetos a unificar(j)
  Ppadre = Lista_Píxeles_Perimetrales.Elemento(Padre)
  Desde i = j+1 hasta Numero(Lista de objetos a unificar)
    Hijo = Lista de objetos a unificar(i)
    Phijos = Lista_Píxeles_Perimetrales.Elemento(Hijo)
    Desde ipadre = 0 hasta Numero(Ppadre)
      Desde ihijo = 0 hasta Numeo(Phijo)
        Dist_act = Distancia(Ppadre.Elemento(ipadre),Phijo.Elemento(ihijo))
        Si Dist_act <= Tolerancia entonces
          Salida.Rasteriza_Linea(Ppadre.Elemento(ipadre),Phijo.Elemento(ihijo))
        Fin de Si
      Fin de Desde
    Fin de Desde
  Fin de Desde
Fin de Desde
Cierre_Huecos= salida.Binarizar(0)
Objetos_Cierre = Cierre_Huecos.Objetos()
Lista_Elementos_Externos = {}
Desde i = 0 hasta Filas(Objetos_Cierre)
  Si NO Elemento_Existe_En_Lista(Objetos_Cierre.Píxel(i,0),Lista_Elementos_Externos)
```

```
    entonces
    Lista_Elementos_Externos = Lista_Elementos_Externos + Objetos_Cierre.Píxel(i,0)
  Fin de Si
  Si NO Elemento_Existe_En_Lista(Objetos_Cierre.Píxel(i,Columnas(Objetos_Cierre)-
        1),Lista_Elementos_Externos) entonces
    Lista_Elementos_Externos = Lista_Elementos_Externos +
                               Objetos_Cierre.Píxel(i,Columnas(Objetos_Cierre)-1)
  Fin de Si
Fin de Desde
Desde j = 0 hasta Columnas(Objetos_Cierre)
  Si NO Elemento_Existe_En_Lista(Objetos_Cierre.Píxel(0,j),Lista_Elementos_Externos)
    entonces
    Lista_Elementos_Externos = Lista_Elementos_Externos + Objetos_Cierre.Píxel(0,j)
  Fin de Si
  Si NO Elemento_Existe_En_Lista(Objetos_Cierre.Píxel(Filas(Objetos_Cierre)-
        1,j),Lista_Elementos_Externos) entonces
    Lista_Elementos_Externos = Lista_Elementos_Externos +
                               Objetos_Cierre.Píxel(Filas(Objetos_Cierre)-1,j)
  Fin de Si
Fin de Desde
Objetos_Cierre = Reclasificar(Lista_Elementos_Externos,0,Objetos_Cierre)
Lista_Píxeles_Perimetrales = Objetos_Cierre.Píxeles_Perimetrales()
Desde i = Objetos_Cierre.Minimo+1 hasta Objetos_Cierre.Maximo
  Pobjeto = Lista_Píxeles_Perimetrales(i)
  Lista_Vecinos = {}
  Desde j = 0 hasta Numero(Pobjeto)
    Vecinos = Objetos_Cierre.Píxel(Pobjeto(j))
    Desde k = 0 hasta Numero(Vecinos)
      Si NO Elemento_Existe_En_Lista(Vecinos(k),Lista_Vecinos) entonces
        Lista_Vecinos = Lista_Vecinos + Vecinos(k)
      Fin de Si
    Fin de Desde
  Fin de Desde
  Si Numero(Lista_Vecinos) > 1 entonces
    Objetos_Cierre = Reclasificar(i,0,Objetos_Cierre)
  Sino
    Objetos_Cierre = Reclasificar(i,Lista_Vecinos(0),Objetos_Cierre)
  Fin de Desde
Fin de Desde
Devolver salida
```

3.2.3.1.2.2 Operador de cierre semiconvexo.

El operador de cierre semiconvexo es una aplicación extrema del algoritmo de amalgamación, ya que el cierre semiconvexo conseguido en el casco urbano es el empleo generalizado del algoritmo de amalgamación.

La aplicación de este cierre puede realizarse tanto a conjuntos de objetos como a objetos individuales, en este último caso se obtiene como un operador de simplificación de forma (ver ejemplos de aplicación en 3.2.2.3.1).

3.2.3.1.2.3 Operador de eliminación.

El operador de eliminación consiste en un proceso de borrado del objeto deseado del mapa, la eliminación puede ser considerada de una forma diferente en función de la entidad a usar, así, en el caso de una calle, la eliminación consiste en una amalgamación de los objetos vecinos a ambos lados. Por el contrario la eliminación de la red de

adyacencia es una eliminación virtual que consiste en el mantenimiento de la calle asociada a esa separación. Finalmente, el concepto de eliminación que es el que se va a tratar en el apartado actual consiste en el borrado del objeto dentro de la imagen.

En una imagen de objetos, como la que se ha desarrollado, consiste sencillamente en un cambio en el valor del píxel, es decir, de poseer un identificador que representa a un objeto, se cambia su valor para asociarse al objeto deseado. En el caso particular de desear borrarlos, que es el que aplica este operador, asigna un valor determinado denominado Valor Nulo, que indica carencia de objeto. Este valor por convención es el nivel digital más bajo que exista en la imagen.

La solución entonces consiste en convertir todos los píxeles del nivel digital equivalente al valor del objeto que se desea borrar en píxeles del nivel digital de fondo o valor mínimo.

Tabla 29. Pseudocódigo del operador de eliminación.

Algoritmo Operador_de_Eliminación	
Entrada:	Imagen Raster de objetos
	Objeto a eliminar
Salida:	Imagen Raster con Objeto Eliminado

Procedimiento:

```
salida = Crear_Imagen(Filas(Imagen de objetos),Columnas(Imagen de objetos))
Desde i = 0 hasta Filas(Imagen de objetos)
  Desde j = 0 hasta Columnas(Imagen de objetos)
    Si Imagen de objetos.Píxel(i,j)<> Objeto a eliminar entonces
      Salida.Píxel(i,j) = Imagen de objetos.Píxel(i,j)
    Sino
      Salida.Píxel(i,j) = Imagen de objetos.Minimo
    Fin de Si
  Fin de Desde
Fin de Desde
Devolver salida
```

Desde este punto de vista, la eliminación de objetos en este caso consiste únicamente en borrar el conjunto de píxeles que lo conforman junto con un marcado en la base de datos de objetos de elemento borrado.

3.2.3.1.2.4 Operador de desplazamiento.

El operador de desplazamiento consiste en situar el mismo objeto en otra posición, este mecanismo es fácilmente emulable en objetos como las manzanas, sin embargo, para simular el desplazamiento de las calles debe aplicarse el operador sobre los elementos limítrofes.

Este algoritmo puede ser implementado siguiendo dos aproximaciones diferentes:

- Utilización de un mecanismo morfológico: Empleando un núcleo morfológico adecuado se puede realizar este proceso de una forma sencilla.
- Utilización de un mecanismo convencional: Este mecanismo consistirá en la eliminación de un objeto y después restitución de todos sus píxeles desplazados a la posición adecuada.

El mecanismo morfológico consiste en una dilatación empleando un núcleo morfológico formado por un único píxel figura y el resto de fondo, el tamaño de dicho núcleo se determina por el tamaño del desplazamiento horizontal (en x) para calcular el número de columnas y el desplazamiento vertical (en y) para determinar el número de filas. La situación del píxel de figura estará en la esquina superior izquierda si el desplazamiento en x e y es negativo y el origen del núcleo en el punto diametralmente opuesto (ver Figura 67). Los otros casos de desplazamiento son imágenes rotadas 90º, 180º o 270º respecto de la mostrada en la Figura 67.

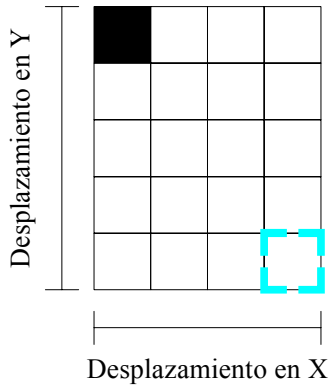


Figura 67. Ejemplo de núcleo morfológico para aplicar el desplazamiento. El recuadro azul representa el origen del núcleo, el píxel negro representa píxel de fondo y el resto representan píxeles sin condición.

Sin embargo, se ha optado por emplear el segundo algoritmo, por ser muy sencillo de programar, el pseudocódigo puede observarse en la Tabla 30.

Tabla 30. Pseudocódigo del algoritmo de desplazamiento de objetos.

Algoritmo Operador_de_Desplazamiento	
Entrada:	Imagen Raster de objetos
	Objeto a desplazar
	Desplazamiento en X e Y
Salida:	Imagen Raster con Objeto Desplazado

Procedimiento:

```
Lista_Píxeles = Imagen de objetos.PíxelesDeObjetos()
salida = Operador_de_Eliminación(Imagen Raster de Objetos,Objeto a desplazar)
Píxeles_del_Objeto = Lista_Píxeles(Objeto a desplazar)
Desde i = 0 hasta Numero(Píxeles_del_Objeto)
  Punto_act = Píxeles_del_Objeto(i)
  Salida.Píxel(Punto_act.y + Desplazamiento Y, Punto_act.x + Desplazamiento X) =
                                                                    Objeto a desplazar
Fin de Desde
Devolver salida
```

La complejidad del algoritmo anterior es igual a O(n), donde n representa el número de píxeles contenidos en el objeto.

3.2.3.1.2.5 Operador de reconstrucción de caminos.

Este operador surge como necesidad de implementar una operación básica muy realizada en la generalización urbana y que consiste en la exageración de las calles. Además, el algoritmo empleado permite lo que se ha denominado reconstrucción de caminos, ya que en el caso de que algún operador, como el de amalgamación o de desplazamiento oculte parte del camino, este sistema permite mantener su estructura original.

El algoritmo, en el modelo de representación raster, consiste sencillamente en ir recorriendo los píxeles conformadores de la calle y usar un pincel que vaya dibujando círculos del radio deseado.

Este sistema tiene la ventaja de que es posible modificar el radio durante el proceso de reconstrucción, seleccionarlo para cada calle, etc. El algoritmo indicado permite, por ejemplo, utilizar la anchura media de la calle y fijarla en todos los objetos, suavizando las grandes diferencias, además, es posible emplear un factor de escala sobre alguno de los campos, con lo que permitiría, por ejemplo, exagerar las calles, reducirlas, etc.

3.2.3.1.3 Operadores de álgebra de mapas.

En modelo de representación raster, los operadores de álgebra de mapas, de superposición, etc. es posible simularlos con sumas, diferencias, multiplicaciones, etc. muy empleadas en otros ámbitos como Teledetección. Estas operaciones son calculables de forma muy simple, por lo que no se considera necesario una mayor explicación.

3.2.3.1.4 Operadores de morfología matemática.

Los operadores de morfología matemática implementados coinciden con los desarrollados en el apartado 2.3, es decir, Dilatación, Erosión e Imagen Complementaria. También se han implementado la apertura y el cerramiento, debido a su utilidad como operadores de amalgamación y para poder realizar las pruebas pertinentes.

El resto de operadores morfológicos es factible obtenerlos combinando las tres operaciones anteriores.

3.2.3.2. Unificación de los objetos segmentados para la obtención de zonas.

Una vez seleccionados los objetos que deben conformar las zonas donde se realizará la generalización, es necesario un algoritmo que extraiga todos los elementos de esos grupos (o mesobloques) para operar sobre ellos, por esta razón se ha diseñado un algoritmo, basado en unión mediante distancias, similar a los utilizados en tecnología vectorial para la amalgamación, la ventaja del sistema raster es además, su inconveniente, es decir, la discretización de los elementos vectoriales mejora notablemente el comportamiento del algoritmo frente al que se usa en modelo vectorial, pero esto provoca una necesaria complicación del mismo para optimizar su funcionamiento.

La tecnología del algoritmo, por tanto, es sencilla, simplemente se trata de calcular las distancias de todos los píxeles de un objeto frente a otro objeto que pertenezca al mismo mesobloque, si esa distancia es inferior a una tolerancia dada, que se discutirá posteriormente, ambos píxeles deben estar unidos y en caso contrario no, dando lugar a una solución que podemos denominar de extensión de objetos.

El parámetro de tolerancia, como indicador de la distancia máxima admisible, es un parámetro bastante importante dado que indica que elementos se van a unir. En primera aproximación este parámetro vendrá definido por los umbrales de 0.2 mm ó 0.15 mm a escala del mapa, es decir, por 2.5 m o aproximadamente 2 m a 1/25000. El desarrollo completo del algoritmo se muestra en Tabla 31.

Tabla 31. Pseudocódigo de la unificación de zonas empleando distancias.

Algoritmo Unificación_Empleando_Distancias

Entrada:	Imagen Raster conteniendo objetos de edificios y datos de adyacencia filtrados.
	Tolerancia de distancia.
Salida:	Imagen Raster Zonificada en función de los datos de adyacencia.

Procedimiento:

```
Imagen_Objetos_Asignados = Crear_Imagen(filas(Imagen_Objetos),columnas(Imagen_Objetos))
Para i = 0 hasta Numero(Lista_Grupos)
  Lista_Elementos = Obtener(i,Lista_Grupos)
  Para j = 0 hasta Numero(Lista_Elementos)
    Lista_Píxeles_j = Obtener_Píxeles_Perimetrales(j,Manzanas)
    Para k = 0 hasta Numero(Lista_Píxeles_j)
       píxel_j = Obtener(k,Lista_Píxeles_j)
       Imagen_Objetos_Asignados.Píxel(píxel_j,1)
    Fin de Para
  Fin de Para
Fin de Para

Para i = 0 hasta Numero(Lista_Grupos)
  Lista_Elementos = Obtener(i,Lista_Grupos)
  Para j = 0 hasta Numero(Lista_Elementos)
    Lista_Píxeles_j = Obtener_Píxeles_Perimetrales(j,Manzanas)
    Lista_Adyacentes_j = Obtener_Adyacentes(j,Red_de_Adyacencia)
    Para k = 0 hasta Numero(Lista_Adyacentes_j)
      Lista_Píxeles_k = Obtener_Píxeles_Perimetrales(k,Manzanas)
      Para c1 = 0 hasta Numero(Lista_Píxeles_j)
        píxel_j = Obtener(c1,Lista_Píxeles_j)
        Para c2 = 0 hasta Numero(Lista_Píxeles_k)
          píxel_k = Obtener(c2,Lista_Píxeles_k)
          Si Distancia(píxel_j,píxel_k) < Tolerancia entonces
            Imagen_Objetos_Asignados.Rasteriza_Linea(píxel_j,píxel_k,1)
          Fin de Si
        Fin de Para
      Fin de Para
    Fin de Para
  Fin de Para
Fin de Para

Imagen_Objetos = Obtener_Objetos(Imagen_Objetos_Asignados)

Lista_Elementos = {}
Para i = 0 hasta Filas(Imagen_Objetos)
  Si NO Esta_en_Lista(Imagen_Objetos.Píxel(i,0),Lista_Elementos) entonces
    Lista_Elementos = Lista_Elementos + Imagen_Objetos.Píxel(i,0)
  Fin de Si
  Si NO Esta_en_Lista(Imagen_Objetos.Píxel(i,
                      Columnas(Imagen_Objetos)-1),Lista_Elementos) entonces
    Lista_Elementos = Lista_Elementos +
                      Imagen_Objetos.Píxel(i,Columnas(Imagen_Objetos) -1)
  Fin de Si
Fin de Para
Para j = 0 hasta Columnas(Imagen_Objetos)
  Si NO Esta_en_Lista(Imagen_Objetos.Píxel(0,j),Lista_Elementos) entonces
    Lista_Elementos = Lista_Elementos + Imagen_Objetos.Píxel(0,j)
  Fin de Si
```

```
  Si NO Esta_en_Lista(Imagen_Objetos.Píxel(Filas(Imagen_Objetos)-1,j) entonces
    Lista_Elementos = Lista_Elementos + Imagen_Objetos.Píxel(Filas(Imagen_Objetos)-1,j)
  Fin de Si
Fin de Para

Para i = 0 hasta Numero(Lista_Elementos)
  Imagen_Objetos.Eliminar(i)
Fin de Para
Devolver Imagen_Objetos
```

Se advierte que dicho algoritmo es una generalización del algoritmo de cierre semiconvexo, actúa como un cierre convexo si utilizamos una tolerancia infinita (que en el caso raster supone una distancia superior a la diagonal de la imagen tratada). Por lo que se puede aplicar como un cierre convexo en sustitución de un algoritmo tradicional de rastreo de puntos externos.

3.2.3.3. Conclusiones al motor de generalización.

El motor de generalización desarrollado, tal y como se ha expresado, no es el único posible. Los procesos y operadores indicados han sido implementados tanto en bloque como de forma independiente, de manera que se han realizado diversas pruebas de parámetros de selección de datos (en función de calles, ejes axiales, redes de adyacencia y manzanas) para determinar cuales serán los más útiles para la obtención de resultados coherentes.

Con respecto a los operadores de generalización se han desarrollado igualmente diversas pruebas para la amalgamación y simplificación de formas de manzanas, operadores más complejos, dando lugar a soluciones bastante dispares en el primer caso y más coherentes en el segundo. Por esta razón, el operador de amalgamación es uno de los probados en los resultados posteriores en cuanto al criterio de tolerancia empleado.

3.2.4. METODOLOGÍA DE COMPROBACIÓN DE RESULTADOS.

Todo el trabajo de generalización explicado en los anteriores apartados quedaría sin valor si no pudiera ser comprobada su bondad por algún tipo de mecanismo. Desde este punto de vista, se ha optado por el empleo de los siguientes tres tipos:

a) Análisis visual inicial: El análisis visual inicial permitirá fijar los parámetros y las mejores combinaciones de operaciones a aplicar siguiendo el mismo criterio visual que el usuario del mapa.

b) Análisis visual realizado por un grupo de expertos independiente del proceso: Para comprobar el resto de análisis realizados y para aportar las diferentes experiencias de cada uno de los expertos con el fin de incorporarlas en las soluciones y líneas futuras de trabajo.
c) Análisis empleando medidas evaluadoras: Se utilizará para tratar comprobar si es posible eliminar el proceso subjetivo en la determinación de la bondad de la generalización. Como razón complementaria a la anterior también se usará para dar continuidad a los análisis iniciados en anteriores trabajos.

3.2.4.1. Análisis visual.

Pese a que el análisis visual es subjetivo, representa una gran ayuda en cuanto al hecho de si los resultados obtenidos son o no adecuados, o si simplemente se alejan de la realidad, por tanto, se empleará el análisis visual como sistema previo de selección de un conjunto de cascos urbanos y para descartar aquellas soluciones que otro tipo de sistemas no pueda.

Para la realización de este análisis se emplearán alternativas diferentes:

- Análisis visual en pantalla: Mediante sistemas de representación de imágenes se superpondrá el casco urbano generalizado con el original a escala 1/25000 o el de destino 1/50000.
- Análisis visual del documento impreso: Se realizará una impresión de las soluciones no descartadas por observación en pantalla para un análisis más minucioso de las mismas.

Dentro del análisis del documento impreso, a su vez, se tendrán en cuenta diferentes aspectos. El primero y más importante consistirá en una observación global externa del conjunto del casco urbano generalizado a escala 1/25000, notando posibles defectos globales como pérdidas de estructuras generales o desaparación de viales. En general se atenderá a comprobar que el grado de evocación del casco urbano generalizado sea lo más parecido posible al original.

En una segunda fase de revisión se tendrá en cuenta si el proceso de generalización ha cumplido sus cometidos de mantenimiento de claridad y legibilidad del mapa.

Posteriormente se observará de manera mas local cada una de las partes del casco urbano, comprobando las situaciones donde el motor de generalización se comporta mejor y peor.

Para terminar se comprobará si aquellas zonas con peor comportamiento del proceso de generalización se encuentran en un número reducido y son fácilmente solucionables por el cartógrafo para facilitar su trabajo.

3.2.4.2. Análisis visual por un grupo independiente de expertos.

Los resultados que hayan superado la fase de análisis visual pasarán al siguiente método de comprobación de bondad de los mismos. Para ello serán revisados por un grupo de expertos en la materia completamente independiente del proceso llevado a cabo.

La calidad de este análisis dependerá de dos factores, en primer lugar del número de expertos consultados, y en segundo, de la diversidad, tanto en formación como en contexto cartográfico de cada experto. Esto mejorará la riqueza de la información recibida y permitirá una mejor comprobación de los resultados.

El mecanismo elegido para la consulta a los expertos fue el de una encuesta, su diseño fue una tarea laboriosa, aunque en parte simplificada por la experiencia de Ruas (2000). La idea básica de la encuesta es la obtención de una calificación global de las soluciones entregadas con el fin de distinguir dos factores:

1. Qué grado de similitud existe entre las soluciones aportadas por los diferentes expertos.
2. Qué grado de bondad, de forma global, se ha obtenido con la aplicación del proceso propuesto.

En segundo lugar, la encuesta trata de buscar los defectos más ampliamente encontrados por los expertos, para ello se solicita a los mismos que determinen las zonas con las que están en mayor desacuerdo, esto se utilizará con el fin de corroborar otros dos aspectos:

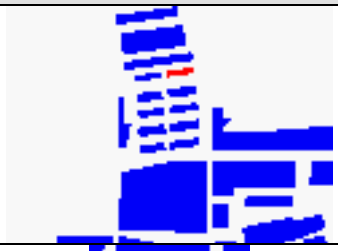
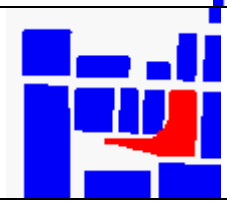
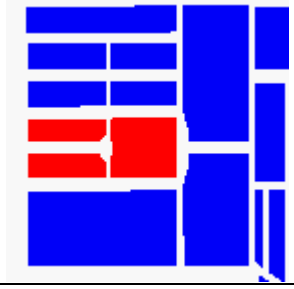
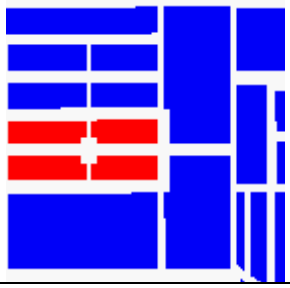
1. Cuáles son los mayores conflictos y errores que deben ser corregidos en el proceso planteado.

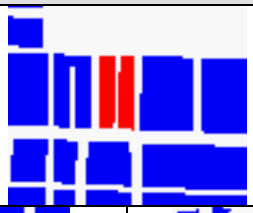
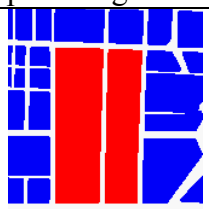
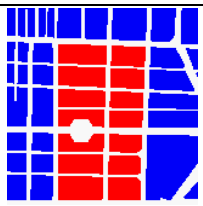
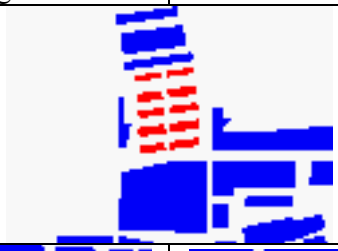
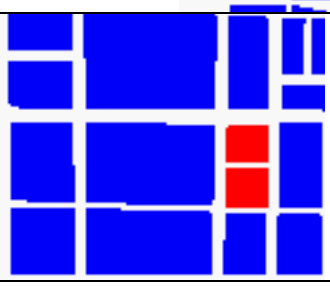
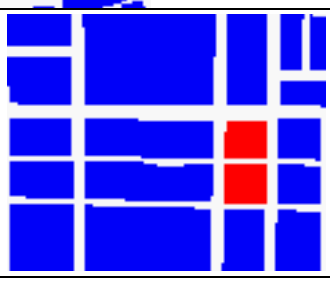
2. Son todos los conflictos coherentes entre todos los comentarios de los expertos o existe una diversidad de conflictos.

Siguiendo estas ideas básicas se diseñó una encuesta (ver Anejo 7) para su envío a los expertos solicitando su opinión en dos aspectos:

a) Opinión global de satisfacción con la solución entregada para ese casco urbano numerada de 1 (mal) a 10 (muy bien).
b) Indicación de qué partes en la imagen 1/25000 con las que esté en desacuerdo. Dichas zonas se marcaron en el mapa 1/25000 generalizado y se codificaron siguiendo la Tabla 32.

Tabla 32. Códigos de conflictos (códigos originales de la encuesta de la OEEPE). Los elementos en rojo representan los que poseen el código de error indicado.

Tipo de elemento	Código	Descripción	Ejemplo
Polígonos individuales	120	Muy fino	
	121	Muy pequeño	
	131	Pérdida de características de forma	 Después de generalizar Antes de Generalizar
Conjuntos de polígonos	421	Pérdidas del tamaño relativo	 Después de generalizar  Antes de Generalizar

Tipo de elemento	Código	Descripción	Ejemplo
	440	Polígonos muy cercanos	
	462	Polígono y hueco erróneos	Después de generalizar Antes de Generalizar
	464	Pérdida de la estructura espacial general	 Después de generalizar  Antes de Generalizar
	480	Sobredensidad de polígonos	
	481	Densidad homogénea errónea	 Después de generalizar  Antes de Generalizar

La elección de los códigos de conflictos fue extraída de Ruas (2000) seleccionando sólo aquellos relativos a elementos y estructuras superficiales. Sin embargo, y debido a que puedan aparecer otro tipo de conflictos distintos de los mostrados en la Tabla 32, se indica a los expertos la posibilidad de crear sus códigos propios para indicar otro tipo de conflictos.

Para no sobrecargar de trabajo al grupo de expertos se establecieron los siguientes criterios:

a) El número de cascos urbanos que se envíen a cada experto será de 2.
b) Para cada casco urbano se propondrán 4 soluciones diferentes.
c) No se enviará el casco urbano generalizado a escala 1/50000 de forma manual para evitar sesgar las contestaciones.
d) No se proporcionará información sobre el proceso llevado a cabo para evitar el sesgo en el resultado de la encuesta. La única información que se dará será que el proceso ha sido llevado a cabo en raster y que trata de ser un sistema semiautomático de generalización con posterior revisión por parte de un cartógrafo.
e) Los cascos urbanos no se enviarán duplicados a los expertos pertenecientes a la misma institución.
f) Los cascos urbanos se entregarán en formato monocolor para evitar posibles influencias de la aplicación de leyendas de comparación con otros datos. El decantarse por una solución monocolor impondrá a priori un problema y una ventaja, el problema será que se complicará la comparación del proceso llevado a cabo en generalización ya que será necesario observar dos mapas (mapa 1/25000 y mapa generalizado 1/25000) frente a uno (superponiendo el 1/25000 y generalizado). La ventaja será que el usuario no necesitará una adaptación a la leyenda o compilación de mapas multicolor.

La elección del conjunto de expertos fue una tarea difícil debido fundamentalmente a la falta de investigadores en este aspecto específico, por lo que se optó por enviar las soluciones a profesionales de diferentes instituciones relacionados, en la mayor medida posible, con la materia tratada y de manera general con la cartografía. Además, se consideró oportuno enviar soluciones a organismos productores de cartografía con el fin de conseguir una valoración de aquellos que se dedican a la aplicación tradicional de la generalización. Según los criterios anteriores se envió la encuesta a los expertos que aparecen en la Tabla 33

Tabla 33. Listado de expertos junto a su institución y los cascos urbanos enviados. El listado se encuentra en estricto órden alfabético.

Institución	Experto	Ciudad 1	Ciudad 2
Instituto Cartográfico de Andalucía	García Hernando, J. A.	Pamplona	La Carolina
	Sánchez Díaz, F. J.	Almería	Mengíbar
Instituto de Cartografía de Cataluña	Baella Borderas, B.	Bilbao	La Carolina
	Pla Toldrà, M.	Logroño	Mengíbar

Institución	Experto	Ciudad 1	Ciudad 2
Instituto Geográfico Nacional	Iribas Cardona, F.J.	Logroño	Jaén
	Ruiz Capiscol, S	Jaén	La Carolina y Burgos
Univ. de Extremadura	Ardila Pérez, F. J.	Majadahonda	Pamplona
	Gutiérrez Gallego, J. A.	Burgos	Jaén
Univ. de Jaén	Ariza López, F. J.	Todos	
	Cruz Rodriguez, M.	Jaén	Bilbao
	Fernández del Castillo, T.	Todos	
	García Balboa, J. L.	Todos	
	Garrido Almonacid, A.	La Carolina	Burgos
	Mesa Mingorance, J. L.	Mengibar	Almería
Univ. de Las Palmas de Gran Canaria	Martín Betancor, M.	Mengíbar	Pamplona
	Morant de Diego, M. T.	Majadahonda	Almería
Univ. del País Vasco	Calvo Melero, M. A.	Bilbao	Majadahonda
Univ. Politécnica de Madrid	Bernabé Poveda, M. A.	Pamplona	Jaén
	Iturroz Aguirre, T.	Logroño	Almería
Univ. Politécnica de Valencia	Coll Aliaga, P. E.	Pamplona	La Carolina
	Irigoyen Gaztelumendi, J.	Bilbao	Mengíbar
	Martínez Llario, J. C.	Bilbao	Jaén
	Palomar Vázquez, J. M.	Almería	Majadahonda
	Terol Esparza, E.	Burgos	Logroño
Univ. de Salamanca	Herrero Matías, M.	Burgos	La Carolina
	Zancajo Jimeno, J. J.	Logroño	Majadahonda

El número total de expertos consultados es de 26, siendo una muestra relativamente pequeña si se tiene en cuenta que cada experto revisará un número limitado de cascos urbanos. Esto lleva a que cada casco urbano sea revisado por un máximo de 9 expertos y un mínimo de 8 (Tabla 34). En comparación con el trabajo realizado por Ruas para la OEEPE se ha aumentado el número de revisores (de los 5 de Ruas) hasta 8 ó 9. En cualquier caso, y esperando un número de respuestas próximo al 50% se espera alcanzar la cifra de Ruas (2000).

Tabla 34. Número de revisores para cada casco urbano según el diseño de envio de la encuesta.

Casco Urbano	Nº de Revisores
Almería	8
Bilbao	8
Burgos	8

Jaén	9
La Carolina	9
Logroño	8
Majadahonda	8
Mengíbar	8
Pamplona	8

Con respecto a la dinámica de seguimiento de la encuesta se realizaron las siguientes propuestas:

1. Todas las encuestas se enviarán simultáneamente.
2. Todas las encuestas llevarán dentro un sobre para el reenvio de las aportaciones realizadas.
3. Se contactará con cada uno de los expertos de manera telefónica, por ser más personalizada, para dar una explicación y presentación del trabajo realizado e informarles del envío realizado. El plazo de inicio de las llamadas será de 2 días tras el envío y se alargará hasta la conseguir el contacto con todos los expertos.
4. Se contactará una segunda vez con cada uno de los expertos con el fin de ver los progresos y volver a ofrecer la colaboración requerida. Este segundo contacto se realizará 3 semanas después del primero. No se contactará en más ocasiones para la solicitud de comentarios/observaciones.
5. Una vez recibida la contestación se volverá a contactar inmediatamente con los expertos para agradecer las aportaciones dadas y consultar cualquier duda que pueda existir sobre dichas soluciones.
6. El tiempo de espera de soluciones inicialmente planteado será de 1 mes, aunque se extenderá a 2 o más meses hasta completar un número mínimo de encuestados.

3.2.4.3. Análisis empleando medidas evaluadoras.

Dado que gran parte de los métodos de comprobación basados en el empleo de medidas se han desarrollado para esta investigación, y que ya han sido publicados, en una u otra forma, en este apartado sólo cabe, inicialmente, indicar que se emplearán todas las medidas explicadas en el apartado 2.7.2 de antecedentes, sin embargo, se pondrá un especial interés en la divergencia de autocorrelación y en la entropía, ya que los resultados previos obtenidos las señalan como las mejores.

Sin embargo, no se tiene una gran esperanza en cuanto a que sean indicadores fidedignos de la mejor solución, no por el hecho de que no realicen su función de forma correcta sino porque las generalizaciones que se propongan no tienen, aunque pueden, seguir los mismos pasos o caminos del cartógrafo, más aún si se piensa que el trabajo a desarrollar es un mecanismo semiautomático.

En cualquier caso, los cascos urbanos que se utilizarán en esta fase serán los mismos que se han enviado al grupo de expertos con el fin de corroborar las medidas aplicadas.

3.2.4.4. Retroalimentación del sistema.

Todos los análisis indicados durante el apartado 3.2.4 deben mostrar, aparte de la bondad de los resultados, los fallos que hay que solucionar o las alternativas que se han de llevar a cabo sobre el proceso. En este aspecto, todos ellos propondrán mejoras sobre el motor de generalización descrito en el apartado 3.2.3, bien sea únicamente en los parámetros empleados en el mismo, en los algoritmos o en otros procesos aplicados.

En concreto, se realizarán ajustes en las siguientes fases:

- Ajuste 1: Tras la fase inicial de selección de resultados para la determinación de los parámetros a tener en cuenta en el proceso de amalgamación.
- Ajuste 2: Tras el análisis visual para concretar los parámetros empleados y la inclusión de nuevas operaciones necesarias en el motor de generalización.
- Ajuste 3: Tras el análisis del grupo de expertos para imbuir el conocimiento de los mismo en criterios del propio motor de generalización.

Con respecto al análisis empleando medidas evaluadoras no se estima que las indicaciones obtenidas provoquen modificaciones en el motor o los parámetros, sino una selección de cuáles son los parámetros más apropiados para la generalización de cada casco urbano, por lo que quedarán fuera del proceso de retroalimentación.

Resultados y discusión

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentarán y analizarán los resultados obtenidos mediante el método propuesto empleando el motor de generalización descrito en el capítulo anterior (apartado 3.2.3) y aplicándolo a todos los cascos urbanos que sirven de muestra para esta tesis doctoral. Para el tratamiento de los resultados se dispone de distintos mecanismos de verificación, por lo que el apartado se dividirá en:

1. Resultados que se han obtenido para cada casco urbano.
2. Análisis de los resultados a partir de la evaluación visual.
3. Análisis de los resultados a partir de las indicaciones del grupo de expertos.
4. Análisis de los resultados indicados por las medidas evaluadoras.
5. Determinación cruzada entre los diferentes mecanismos de verificación para comprobar cuáles de los parámetros y posibles modificaciones al método funcionan mejor.

El análisis realizado en los mecanismos 2 y 3 incluirá además un apartado específico indicando las modificaciones que se han propuesto al motor de generalización y a los paramétros utilizados en el mismo.

4.1. RESULTADOS PARA CADA CASCO URBANO.

Debido a que el conjunto de operadores/parámetros que se ha indicado en el apartado 3.2.3 es elevado, se optó por obtener resultados de una pequeña porción que se considera el núcleo del mecanismo de generalización, el sistema de selección y posterior amalgamación. Por ello se desarrollaron los siguientes pasos con el fin de garantizar un conjunto adecuado de propuestas de generalización con el menor esfuerzo de cálculo posible:

1. Determinación de un conjunto de clases de selección y posterior amalgamación. Análisis visual de los resultados y extracción de conclusiones para un único casco urbano.
2. Extrapolación de la mejor clase anterior, y siguiendo las conclusiones obtenidas, ampliación de la muestra para el casco urbano seleccionado.
3. Análisis visual de los resultados y extracción de conclusiones.

4. Aplicación de las conclusiones obtenidas al resto de cascos urbanos.

4.1.1. DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA INICIAL DE CASCOS URBANOS.

El primer paso del proceso realizado consistió en la elección de un casco urbano y un conjunto de clases de selección para una posterior amalgamación.

Para la prueba de los parámetros se optó por el casco urbano de menor tamaño con el fin de reducir el tiempo de cálculo y desestimar para el resto de cascos urbanos, los valores y/o procesos que no condujesen a soluciones prometedoras. Así, las pruebas realizadas fueron empleando el criterio de amalgación sobre un conjunto de objetos seleccionados en función de las siguientes cuatro clases:

- Clase A: Seleccionar un porcentaje de calles/ejes axiales determinado por la Ley Radical, siendo posible amalgamar los objetos de aquellas calles que no estuviesen seleccionadas.
- Clase B: El mismo criterio que la Clase A pero aplicado a la red de adyacencia utilizando los atributos específicos de este elemento. (ver Tabla 35).
- Clase C: Selección de todas las calles cuya longitud supere un valor fijo determinado por la distancia mínima de los objetos lineales (0.6 mm a la escala del mapa). El resto de calles permiten la amalgamación de sus elementos adyacentes.
- Clase D: Seleccionar todas las manzanas/edificios adyacentes a uno dado siempre que cumplan un límite máximo de diferencia de orientación y de otro de sus atributos (perímetro, superficie o número de vértices).

En la Tabla 35 se muestra todo el conjunto concreto de parámetros empleados (los mapas resultantes aparecen en el Anejo 2).

Tabla 35. Elección inicial de parámetros de generalización.

Grupo de selección	Elemento de selección	Tipo de selección	Propiedad de la selección	Valores de selección	Descriptor
A	Calles	Porcentaje	Conec. Rec.	70,71%	100% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Conec. Media	70,71%	100% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Longitud	70,71%	100% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Conec. Rec.	70,00%	99% Ley Radical

Grupo de selección	Elemento de selección	Tipo de selección	Propiedad de la selección	Valores de selección	Descriptor
A	Calles	Porcentaje	Conec. Media	70,00%	99% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Longitud	70,00%	99% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Conec. Rec.	71,42%	101% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Conec. Media	71,42%	101% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Longitud	71,42%	101% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Conec. Rec.	67,18%	95% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Conec. Media	67,18%	95% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Longitud	67,18%	95% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Conec. Rec.	74,25%	105% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Conec. Media	74,25%	105% Ley Radical
A	Calles	Porcentaje	Longitud	74,25%	105% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Conec. Rec.	70,71%	100% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Conec. Media	70,71%	100% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Longitud	70,71%	100% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Conec. Rec.	70,00%	99% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Conec. Media	70,00%	99% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Longitud	70,00%	99% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Conec. Rec.	71,42%	101% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Conec. Media	71,42%	101% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Longitud	71,42%	101% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Conec. Rec.	67,18%	95% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Conec. Media	67,18%	95% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Longitud	67,18%	95% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Conec. Rec.	74,25%	105% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Conec. Media	74,25%	105% Ley Radical
A	Ejes Axiales	Porcentaje	Longitud	74,25%	105% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Máxima	70,71%	100% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Mínima	70,71%	100% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Media	70,71%	100% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Máxima	70,00%	99% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Mínima	70,00%	99% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Media	70,00%	99% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Máxima	71,42%	101% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Mínima	71,42%	101% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Media	71,42%	101% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Máxima	67,18%	95% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Mínima	67,18%	95% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Media	67,18%	95% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Máxima	74,25%	105% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Mínima	74,25%	105% Ley Radical
B	Red Adyacencia	Porcentaje	D. Media	74,25%	105% Ley Radical
C	Calles	Directa	Longitud (mm)	0,60	100% Dist Cuenin
C	Calles	Directa	Longitud (mm)	0,59	99% Dist Cuenin
C	Calles	Directa	Longitud (mm)	0,61	101% Dist Cuenin
C	Calles	Directa	Longitud (mm)	0,57	95% Dist Cuenin
C	Calles	Directa	Longitud (mm)	0,63	105% Dist Cuenin
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	Sup. + Orient.	9,00 + 10º	0% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	Sup. + Orient.	8,91 + 9,9º	1% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	Sup. + Orient.	9,09 + 10,1º	1% Variabilidad

Grupo de selección	Elemento de selección	Tipo de selección	Propiedad de la selección	Valores de selección	Descriptor
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	Sup. + Orient.	8,55 + 9,5º	5% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	Sup. + Orient.	9,45 + 10,5º	5% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	Per. + Orient.	6,00 + 10º	0% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	Per. + Orient.	5,94 + 9,9º	1% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	Per. + Orient.	6,04 + 10,1º	1% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	Per. + Orient.	5,70 + 9,5º	5% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	Per. + Orient.	6,30 + 10,5º	5% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	N. Ver. + Orient.	1 + 10º	0% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	N. Ver. + Orient.	2 + 9,9º	1% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	N. Ver. + Orient.	3 + 10,1º	1% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	N. Ver. + Orient.	4 + 9,5º	5% Variabilidad
D	Manzanas (enlaces)	Directa (múltiple)	N. Ver. + Orient.	5 + 10,5º	5% Variabilidad

Tras el análisis inicial, realizado de forma visual, se obtuvieron dos conclusiones preliminares que guiaron el proceso:

1. El operador de amalgamación propuesto funciona bien en unas ocasiones y mal en otras, el problema de dicho operador es debido a su tolerancia de distancia que es el parámetro fundamental y a que se basa en los perímetros de los objetos, esto limita el campo de acción. La solución propuesta es la creación de un sistema de relleno de calles, es decir, rellenar la superficie de calle fijada en distancia máxima de la anchura de la calle para poder suplir a este operador, resulta evidente que se necesitan restaurar las calles adyacentes para evitar la pérdida de información. Todo ello es observable en los mapas del grupo A y C. Sin embargo, en los mapas del grupo D este problema no existe.
2. Los operadores del grupo B son los que, con los parámetros empleados obtienen mejores soluciones, aunque éstas no sean parecidas a la deseada.
3. Los operadores del grupo D tienen soluciones prometedoras, pese a que el ángulo de orientación utilizado tenga un rango de variación pequeño. Además, adolecen del problema de que el segundo parámetro de selección tiene una variación insignificante, por lo que debe ser reforzado.

De entre los cuatro grupos de sistemas de selección probados en esta fase se optó por emplear aquellas producidas por las selecciones tipo D. El resultado de esta elección fue debido a que el análisis de las diferentes soluciones, pese a existir un grado medio de generalización (para posteriores fases se reforzaron los parámetros), a distancia eran

prácticamente indistinguibles frente al casco urbano original, hecho que se considera fundamental para cualquier proceso de generalización.

4.1.2. AMPLIACIÓN DE LA MUESTRA. EXTRAPOLACIÓN DE RESULTADOS.

Por las razones indicadas en el análisis del paso anterior se desarrollan en mayor medida los operadores de amalgamación para observar cuál resolverá mejor el problema dado, por ello se utiliza el cierre morfológico (los resultados se muestran en los anejos 3 y 4 para la superposición del cierre morfológico con el cierre de distancias).

El análisis de los resultados de cierre morfológico (para elementos circulares) es bastante esperanzador, pero las soluciones no son más deseables que las obtenidas por distancias, de hecho, el comportamiento en los elementos del grupo D recomienda el empleo de las distancias frente a los cierres morfológicos. Aún así, y puesto que se emplean distancias de Manhattan, se probó empleando elementos cuadrados. Sin embargo, estos resultados muestran cierta inestabilidad debido a que aparecen problemas de desplazamiento cuando se emplean distancias divisibles por dos.

Debido a que el comportamiento de las soluciones tipo D era el más lógico, perceptualmente hablando, se optó por ampliar la muestra de cascos urbanos generalizados hasta 45, modificando los parámetros tal y como aparecen en la Tabla 36.

Se incluyó en este paso un posterior proceso de reconstrucción de calles empleando el parámetro de límite de percepción visual de Cuenin, con el fin de mantener aquellos elementos que destaquen de forma general en el casco urbano.

Tabla 36. Elección de parámetros reforzados para el grupo D.

Propiedad de la selección	Parámetro 1 (píxeles/número)	Parámetro 2 (º)	Descriptor	Sufijo descriptivo
Sup. + Orient.	2.25	2.50	25% Variabilidad	_D_SMSR_1
Per. + Orient.	3.00	2.50	25% Variabilidad	_D_SMPR_1
N. Ver. + Orient.	0	2.50	25% Variabilidad	_D_SMPV_1
Sup. + Orient.	4.50	5.00	50% Variabilidad	_D_SMSR_2
Per. + Orient.	6.00	5.00	50% Variabilidad	_D_SMPR_2
N. Ver. + Orient.	1	5.00	50% Variabilidad	_D_SMPV_2
Sup. + Orient.	6.30	7.00	70% Variabilidad	_D_SMSR_3
Per. + Orient.	8.40	7.00	70% Variabilidad	_D_SMPR_3
N. Ver. + Orient.	2	7.00	70% Variabilidad	_D_SMPV_3

Propiedad de la selección	Parámetro 1 (píxeles/número)	Parámetro 2 (º)	Descriptor	Sufijo descriptivo
Sup. + Orient.	7.20	8.00	80% Variabilidad	_D_SMSR_4
Per. + Orient.	9.60	8.00	80% Variabilidad	_D_SMPR_4
N. Ver. + Orient.	3	8.00	80% Variabilidad	_D_SMPV_4
Sup. + Orient.	8.10	9.00	90% Variabilidad	_D_SMSR_5
Per. + Orient.	10.80	9.00	90% Variabilidad	_D_SMPR_5
N. Ver. + Orient.	4	9.00	90% Variabilidad	_D_SMPV_5
Sup. + Orient.	8.55	9.50	95% Variabilidad	_D_SMSR_6
Per. + Orient.	11.40	9.50	95% Variabilidad	_D_SMPR_6
N. Ver. + Orient.	5	9.50	95% Variabilidad	_D_SMPV_6
Sup. + Orient.	8.91	9.90	99% Variabilidad	_D_SMSR_7
Per. + Orient.	11.88	9.90	99% Variabilidad	_D_SMPR_7
N. Ver. + Orient.	6	9.90	99% Variabilidad	_D_SMPV_7
Sup. + Orient.	9.00	10.00	100% Variabilidad	_D_SMSR_8
Per. + Orient.	12.00	10.00	100% Variabilidad	_D_SMPR_8
N. Ver. + Orient.	7	10.00	100% Variabilidad	_D_SMPV_8
Sup. + Orient.	9.09	10.10	101% Variabilidad	_D_SMSR_9
Per. + Orient.	12.12	10.10	101% Variabilidad	_D_SMPR_9
N. Ver. + Orient.	8	10.10	101% Variabilidad	_D_SMPV_9
Sup. + Orient.	9.45	10.50	105% Variabilidad	_D_SMSR_10
Per. + Orient.	12.60	10.50	105% Variabilidad	_D_SMPR_10
N. Ver. + Orient.	9	10.50	105% Variabilidad	_D_SMPV_10
Sup. + Orient.	9.90	11.00	110% Variabilidad	_D_SMSR_11
Per. + Orient.	13.20	11.00	110% Variabilidad	_D_SMPR_11
N. Ver. + Orient.	10	11.00	110% Variabilidad	_D_SMPV_11
Sup. + Orient.	10.80	12.00	120% Variabilidad	_D_SMSR_12
Per. + Orient.	14.40	12.00	120% Variabilidad	_D_SMPR_12
N. Ver. + Orient.	11	12.00	120% Variabilidad	_D_SMPV_12
Sup. + Orient.	11.70	13.00	130% Variabilidad	_D_SMSR_13
Per. + Orient.	15.60	13.00	130% Variabilidad	_D_SMPR_13
N. Ver. + Orient.	12	13.00	130% Variabilidad	_D_SMPV_13
Sup. + Orient.	13.50	15.00	150% Variabilidad	_D_SMSR_14
Per. + Orient.	18.00	15.00	150% Variabilidad	_D_SMPR_14
N. Ver. + Orient.	13	15.00	150% Variabilidad	_D_SMPV_14
Sup. + Orient.	15.75	17.50	175% Variabilidad	_D_SMSR_15
Per. + Orient.	21.00	17.50	175% Variabilidad	_D_SMPR_15
N. Ver. + Orient.	14	17.50	175% Variabilidad	_D_SMPV_15

4.1.3. PRIMER AJUSTE DEL MOTOR DE GENERALIZACIÓN.

Todos los procesos de ingeniería sufren unas fases determinadas en su desarrollo, dentro del mismo deben incluir necesariamente mecanismos de comprobación y, también sistemas de corrección para mejorar la eficiencia del proceso. A estas dos últimas fases se las denomina en el ámbito de las ingenierías como procesos de retroalimentación. Desde este punto de vista, son una parte extremadamente importante en el desarrollo de cualquier sistema de ingeniería, y, en ese aspecto son tratadas en este apartado y

sucesivos apartados de la tesis doctoral, si bien, suavizando el término retroalimentación con el de ajuste.

En cualquier caso, el primer proceso de ajuste del motor de generalización que se estaba desarrollando se llevó a cabo en tras realizar el análisis visual de los elementos del grupo D que se ha mostrado en la Tabla 36 resultó en el hecho de una pérdida perceptiva visual de la estructura general de la ciudad (ver Anejo 5), ya no por el propio hecho de la amalgamación, sino por la posterior falta de reconstrucción adecuada de los ejes axiales (líneas de visión de la ciudad). Por ello, en lugar de utilizar una reconstrucción de las calles se asignó un criterio de reconstrucción de ejes axiales activos, se denomina eje activo al que tiene más de un 70% de sus componentes activas, y, simultáneamente, su anchura mínima fuese superior al límite de percepción visual indicado por Cuenin (ver esquema del motor de generalización en Figura 68).

Además de la reconstrucción de calles, también se hizo patente la necesidad de eliminación de patios interiores a las manzanas/edificios que no superasen una superficie mínima, proceso muy utilizado en la generalización cartográfica para pasar de escalas 1/25000 a 1/50000. Dicho proceso también fue incluido en el motor de generalización (ver Figura 68). Los cascos urbanos resultantes aparecen en el Anejo 6.

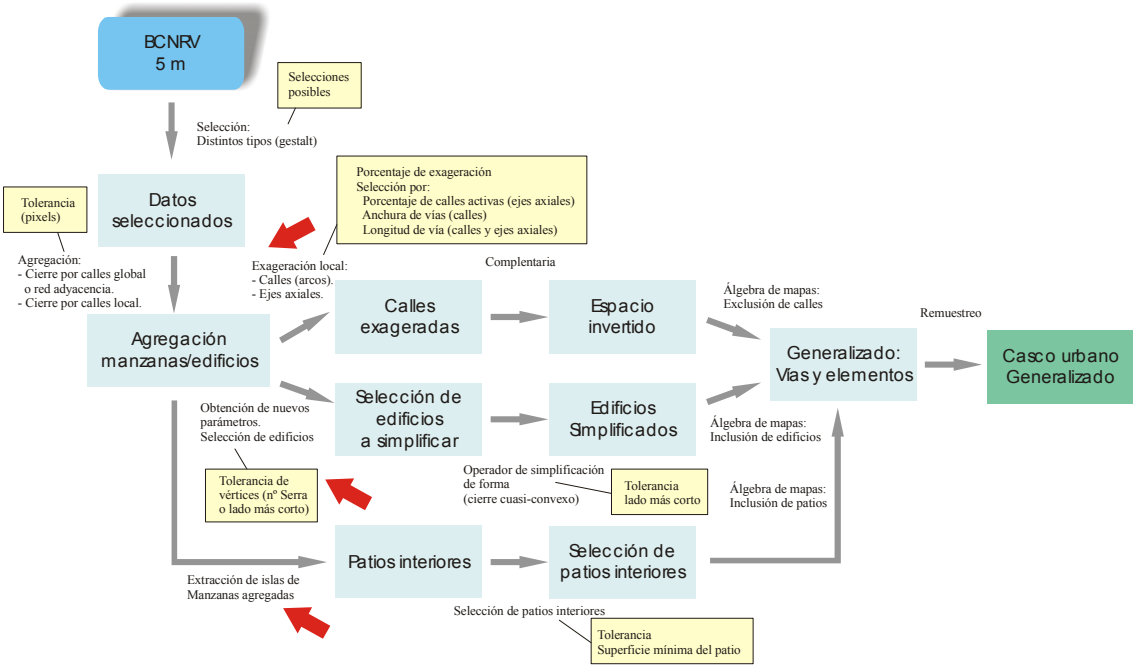


Figura 68. Modelo del motor de generalización tras las modificaciones propuestas en el proceso de extrapolación de resultados (Las flechas rojas indican modificaciones sobre el modelo de amalgamación base).

4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS VISUAL.

Con las conclusiones obtenidas del proceso del apartado anterior, se crearon otros 45 cascos urbanos de la clase D, pero en este caso para cada una de las ciudades en cuestión (ver Documentos en CD). Se procedió a la impresión de los mismos y a su análisis visual por parte de 3 personas independientes del proceso[8], los resultados que se obtuvieron aparecen en la siguiente tabla.

Tabla 37. Resultados del análisis visual por parte de 3 investigadores independientes.

Ciudad	Revisor	1º	2º	3º	4º	Observaciones
Almería	A	25	19			
	F	27	39	21	6	El casco antiguo es una zona problemática, se rompe la estructura. Aunque la generalización no es muy alta, en otros grados se rompe en exceso la estructura.
	G	43	40	37		Fuerte generalización con SMP.
Bilbao	A	5	40			El mapa 5 poco generalizado, el 40 demasiado. El centro poco generalizado, buenas soluciones pero en el disperso los resultados de alta generalización rompen estructuras. No hay una solución común a casos tan complejos.
	F	41	29	25	35	Buena generalización aunque se pierden algunos ejes que deben ser restaurados
	G	40	41			Los peores son SMS.
Burgos	A	44	38	28		
	F	10	43	19	31	La generalización 43 es demasiado intensa, sin embargo todo funciona bastante bien porque no rompe las estructuras.
	G	40	37	41		Se busca gran generalización, usar SMP.
Jaén	A	40	42			
	F	43	44	28	7/19	La generalización 43 ó 44 es demasiado intensa pero bastante adecuada (especialmente en la parte norte).
	G	39	22	3		
La Carolina	A	17	25	31		
	F	16	32	35		
	G	23	4	31		
Logroño	A	28	44			
	F	19	28	37	43	La generalización no es muy grande, aunque en algunos casos se nota mayor. Son necesarios algunos algoritmos posteriores.
	G	44	41	43		Mejor fuerte generalización. El operador de amalgamación parece poco adecuado, rompe algunas estructuras o no las unifica por completo.

[8] El personal elegido fue perteneciente a la Universidad de Jaén, Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, familiarizado con la docencia y trabajo en Cartografía.

Ciudad	Revisor	1º	2º	3º	4º	Observaciones
Majadahonda	A	15	24			La generalización excesiva rompe la estructura de los dispersos.
	F	19	31	44	16	Mejores opciones las más generalizadas, pero no siempre. Algunos cambios de forma poco útil.
	G	11	8	3		Mejor con poca generalización.
Mengíbar	A	43	44	41		
	F	32	19	25	40	En el 40 hay mucha generalización aunque existe algún eje roto es el mejor si se suple. Se observan mejores soluciones intermedias como la 32 que tienen una alta generalización y no pierde demasiado la estructura. Hay que restaurar ejes perdidos en algunos casos.
	G	40	38			Funciona mejor SMP.
Pamplona	A	1	37			
	F	17	26	9	29	Las soluciones más generalizadas rompen la estructura cuadriculada de una parte de la ciudad, aunque puede recomponerse. El 9 está poco generalizado, aunque el 17 esta muy bien.
	G	43	40	41		Mejor con fuerte generalización.

Como se puede observar en la Tabla 37, los revisores F y G realizaron bastantes comentarios específicos frente al revisor A que prefirió realizarlos de manera general, mostrándose a continuación:

1. Parece que gustan más los mayores grados de generalización, salvo en Pamplona, donde la estructura abierta de la ciudad pudiera justificar una reducción directa con poca generalización y algo de eliminación.
2. Los algoritmos que resultan mejores son, casi siempre, los SMP.
3. Para la presentación a los expertos sería de interés eliminar la presencia de elementos espúreos, dispersos, de pequeño tamaño.
4. Existe una tendencia a la adopción de formas redondeadas y cerramientos ovalados. Supone una pérdida de rectitud de perímetros y difumino de formas. Esto se produce, en algunos casos, por salto a objetos que se encuentran bastante distantes.
5. Es imprescindible un algoritmo de eliminación y comportamiento más local que tenga en cuenta lo que se haga en la vecindad (ver Figura 69).
6. En la mayoría de los casos, los valores bajos son demasiado bajos, interesando, tal vez ver opciones más generalizadas.

4.2.1. SEGUNDO AJUSTE DEL MOTOR DE GENERALIZACIÓN.

La recopilación de los comentarios generales y particulares da lugar a las siguientes conclusiones que volvieron a modificar el proceso de generalización empleado:

1. Las soluciones con amalgamaciones debidas al perímetro son las más aceptadas por todos los revisores (tipo SMP).
2. Las mejores soluciones adoptadas por todos los revisores no son completamente coherentes, de hecho salvo en excepciones como en el casco urbano de La Carolina, el rango de soluciones aportado es escasamente coincidente, y además, carece de un criterio homogéneo, es decir, un revisor prefiere un conjunto más generalizado y otro menos, en otras ocasiones se selecciona un SMP y otras veces un SMV.
3. Las peores soluciones son las aportadas por las amalgamaciones debidas a una selección por superficies (tipo SMS).
4. Todos los revisores coinciden en una falta de uniformidad de las soluciones propuestas, es decir, las soluciones poseen zonas generalizadas con criterios muy coherentes, generalmente en las zonas compactas del casco urbano, el resto de las zonas, las dispersas, poseen una generalización con pérdida de las estructuras generales. Esta situación también se da a la inversa, es decir, si la generalización es relativamente correcta en las zonas dispersas, las zonas compactas se encuentran con una baja generalización.
5. Muchas de las soluciones son buenas tras una mínima corrección por parte de un cartógrafo, siendo dicha corrección la reconstrucción de 2 ó 3 ejes axiales.

Los efectos que provocan en el motor de generalización las indicaciones del análisis visual aparece en la Figura 69.

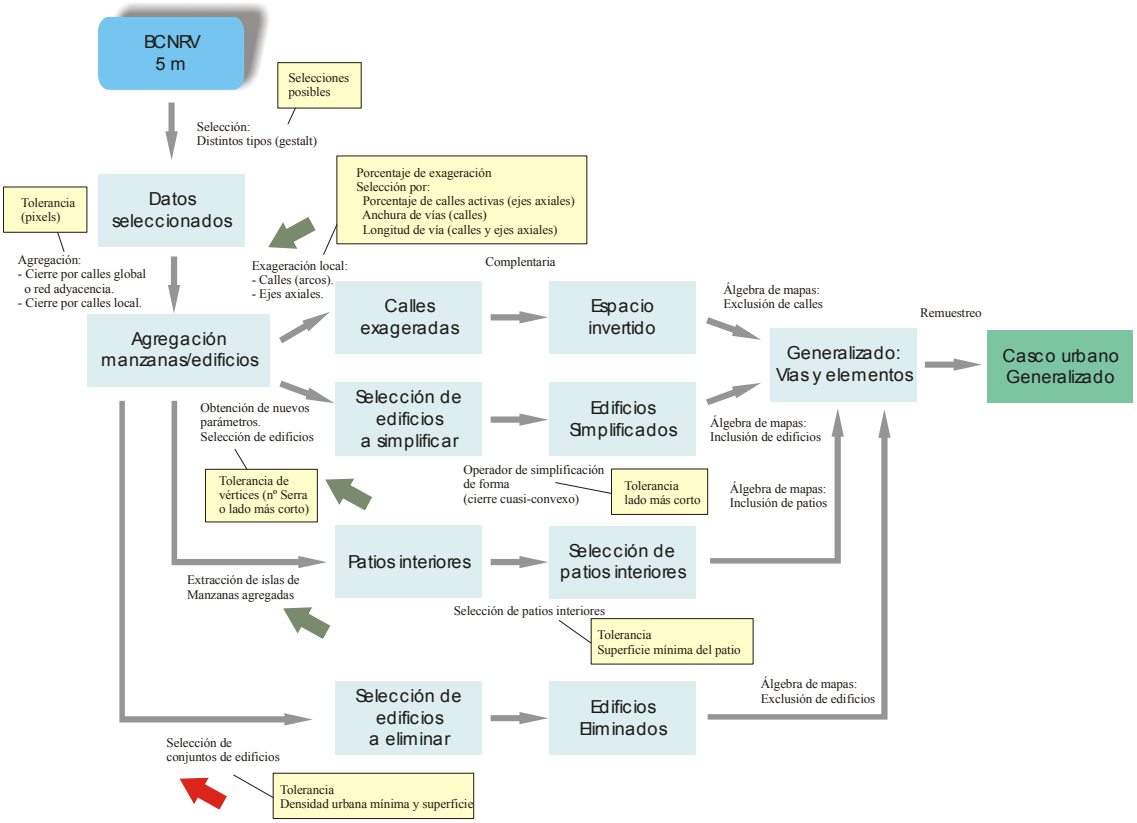


Figura 69. Motor de generalización con la nueva propuesta tras el análisis visual. Las flechas rojas representan los nuevos elementos añadidos. Las flechas verdes representan elementos modificados en pasos anteriores.

4.2.2. ELECCIÓN DEL CONJUNTO DE SOLUCIONES A ENVIAR AL GRUPO DE EXPERTOS.

Para su envío al grupo de expertos fue necesario realizar una selección de las indicaciones aportadas, ya que según los criterios dados en el apartado 3.2.4.2 no es aconsejable enviar más de 4 soluciones para cada casco urbano. El criterio elegido fue el siguiente:

a. Si alguna de las soluciones para un casco urbano aparece seleccionada por dos encuestados directamente es seleccionada para su envío a los expertos.
b. Si alguno de los encuestados indica claramente su predilección por una de las soluciones ésta también es seleccionada.
c. Si todavía no existen soluciones suficientes se acude a comprobar las seleccionadas para otros cascos urbanos, y si alguna de ellas aparece en la solución actual también es seleccionada.

El conjunto de cascos urbanos elegidos para su envío a la comprobación por el grupo de expertos y empleando medidas evaluadoras aparece en la Tabla 38. Las generalizaciones enviadas aparecen en el Anejo 8.

Tabla 38. Selección de generalización para su posterior comprobación por parte de un grupo de expertos y en medidas evaluadoras.

Ciudad	1º		2º		3º		4º	
	Descriptor	Nº	Descriptor	Nº	Descriptor	Nº	Descriptor	Nº
Almería	D_SMPR_7	19	D_SMPR_9	25	D_SMSR_14	39	D_SMPR_14	40
Bilbao	D_SMPR_9	25	D_SMVR_10	29	D_SMPR_14	40	D_SMVR_14	41
Burgos	D_SMPR_14	40	D_SMVR_14	41	D_SMPR_15	43	D_SMVR_15	44
Jaén	D_SMPR_7	19	D_SMPR_14	40	D_SMPR_15	43	D_SMVR_15	44
La Carolina	D_SMVR_6	17	D_SMPR_9	25	D_SMPR_11	31	D_SMVR_12	35
Logroño	D_SMPR_7	19	D_SMPR_10	28	D_SMPR_15	43	D_SMVR_15	44
Majadahonda	D_SMVR_4	11	D_SMSR_6	15	D_SMPR_7	19	D_SMVR_15	44
Mengíbar	D_SMVR_11	32	D_SMPR_14	40	D_SMPR_15	43	D_SMVR_15	44
Pamplona	D_SMPR_1	1	D_SMSR_4	9	D_SMVR_6	17	D_SMPR_14	40

Por simplicidad, para el resto de apartados se denominarán eliminando la letra D_ y la letra R (D_SMPR_1 = SMP1), esto facilitará la labor de reconocimiento del tipo de selección y del valor absoluto de los parámetros empleados.

4.3. VALORACIÓN DEL GRUPO DE EXPERTOS.

Tal y como se indicó en el apartado 3.2.4.2 se envió la encuesta por correo a los diferentes expertos seleccionados durante los días 15 y 16 de diciembre de 2003. Las indicaciones y conclusiones aportadas comenzaron a recibirse 1 mes después de la fecha de envío y fueron llegando desigualmente hasta fechas próximas a la entrega de esta tesis doctoral (mediados de abril de 2004).

Se debe reconocer, de partida, que las esperanzas puestas en la recepción de las soluciones eran del orden del 30%, expectativas totalmente superadas pues se alcanzó un 65% de las respuestas.

En cualquier caso, y pese a que la idea de una consulta externa de los resultados obtenidos es muy interesante, las expectativas de que dicho trabajo fuese útiles se veían empañadas por tres causas fundamentalmente:

- La encuesta realizada por Ruas (2000) había sido respondida tanto de forma inadecuada como poco concluyente. Además del hecho

manifiesto de requerir un tiempo largo de preparación, espera y recepción y un posterior período aún más largo de análisis de los resultados indicados, siendo poco concluyentes en su caso (ver apartado 2.8.5).

- La diversidad de expertos puede ser tanto un beneficio como un perjuicio, un beneficio desde el punto de vista de que la diversidad sacará a la luz tanto las mejoras del método como los inconvenientes. El perjuicio radica en el hecho de que expertos tan diversos y con tan diferentes experiencias darán indicaciones muy distintas.
- Las soluciones adoptadas por los humanos, incluso por los expertos en el tema pueden ser contradictorias o incluso estar influenciadas por otros aspectos no deseados, y, en cualquier caso pueden ser poco precisas.

A pesar de lo expresado en los párrafos anteriores, y conociendo las limitaciones de las encuestas, las esperanzas de un número importante de comentarios, y que fuesen lo más precisos y críticos posibles, alimentó la necesidad de este proceso de retroalimentación.

Las indicaciones realizadas por los expertos varían en muy alto grado, apareciendo expertos que están bastante de acuerdo con las soluciones indicadas y otros que están totalmente en desacuerdo.

En los siguientes apartados se pretende mostrar las diversas indicaciones y los puntos coincidentes y no coincidentes entre los expertos consultados.

Sobre los datos recibidos se ha realizado una modificación con el fin de paliar algunas deficiencias en las respuestas, tal y como se ha indicado en párrafos anteriores. Las modificaciones han sido:

- La calificación global se ha reducido a una clasificación ordinal para paliar dos posibles problemas: el primero es la disparidad de calificaciones, existiendo expertos que calificaban mapas con notas altas (7 y 8) y los mismos mapas calificados por otros expertos alcanzaban notas bajas (3 y 4). En segundo lugar, por las indicaciones de ciertos expertos que muestran su dificultad de calificar los mapas

por ser un criterio muy subjetivo, y por tanto, se han limitado a ordenarlos o sólo a comentarlos. Como resultado, se han clasificado los mapas de forma cualitativa, de manera que un valor 1 representa poca aceptación y 4 la máxima aceptación por parte del experto, sin llegar a indicar el grado de contento, sino sólo cuál es la mejor solución aportada. Posteriormente se analizarán uno a uno.

- Debido a la ingente cantidad de información recibida sobre los conflictos existentes en los mapas se va a tratar mediante una clasificación de los mismos. De esta forma, de cada casco urbano se mostrará una tabla indicando, la suma de todos los conflictos mostrados por los expertos. Después se mostrarán imágenes y ejemplos de los más representativos. En cualquier caso, debe indicarse que la posibilidad ofrecida de uso de nuevos códigos de conflictos no ha sido utilizada por ninguno de los expertos consultados.

Para mantener el anonimato de la encuesta no se indicarán nombres de cada experto pero si se numerarán para distinguir unos de otros.

Aparte de todo, debe indicarse que ciertos expertos han ofrecido conclusiones generales y particulares, así como observaciones y comentarios que han sido de gran ayuda en dos aspectos:

- Para mostrar exactamente que conflictos y el por qué se han marcado en los mapas.
- Para obtener criterios generales que permiten un análisis más globalizado de las soluciones.

El análisis de los cascos urbanos se realizará por estricto orden alfabético con el fin de seguir el orden de otros apartados.

4.3.1. ALMERÍA.

Tal y como se ha indicado en el apartado anterior, el primer resultado que se va a mostrar va a ser una clasificación global del casco urbano de forma ordinal, indicando un 1 para el casco menos adecuado y un 4 para el más adecuado. Esta clasificación se ha

obtenido a partir de las calificaciones originales entregadas por los expertos ordenadas según su nota. La forma de asignar el valor (entre 1 y 4) ha sido la pesimista, es decir, se asigna siempre el menor valor posible y sólo el valor máximo para la mejor solución.

Los resultados mostrados para Almería aparecen en la Tabla 39, el ejemplo de asignación pesimista se muestra en el resultado del experto 1, donde todos los mapas mostrados excepto el 39 (SMS14) no son los más adecuados según el experto siendo puntuados con la misma nota, un 1.

Tabla 39. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Almería.

Experto	Almería			
	SMP7	SMP9	SMP14	SMS14
	19	25	40	39
1	1	1	1	4
5	1	1	4	1
6	4	2	1	1
13	2	4	2	1
14	3	2	1	4
15	2	3	4	1

El análisis de cuál representa la mejor solución según la Tabla 39 no es sencillo, ya que los elementos modales son dos: mapas 39 y 40. Pero por el contrario, si se observa con mayor detenimiento también se puede ver como las soluciones 19 y 25 son clasificadas como las segundas mejores por los expertos 14 y 15 respectivamente. Esto, añadido al hecho de que esos mismos expertos descartan la solución alternativa a la mostrada (si muestran la 39 descartan la 40 y viceversa), hace que no se pueda dar una conclusión clara. En principio se mantendrán como soluciones más aceptadas aquellas que tengan un mayor número de adeptos (sean la moda), para posteriores distinciones se analizará en mayor profundidad los errores mostrados para cada solución por cada experto.

Frente al análisis realizado en el apartado anterior se podría sugerir el empleo de valores medios como mecanismo de decisión entre la bondad de la solución en el casco urbano. Desde este punto de vista este criterio no parece acertado puesto que las puntuaciones otorgadas a cada una de las soluciones han sido modificadas a una escala ordinal, ya que lo único que indica es el orden de preferencia para el experto y no una valoración global. De hecho, esta modificación no solo cambia el valor medio sino también la relación entre los diversos valores medios, pero en todos los casos sin afectar a la

situación relativa de los cascos urbanos y sus valores modales. Lo cual indica su escasa adecuación para servir como criterio de decisión entre soluciones.

En la Tabla 40 se muestran los resultados de todos los conflictos encontrados en cada mapa por código y por el número de mapa. Se ha incluido además una columna total y una fila total que permiten obtener el sumatorio de todos los errores por código o por mapa. Esto facilitará el análisis posterior.

Tabla 40. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Almería.

Tipo de elemento	Código	Almería				Total
		SMP7	SMP9	SMP14	SMS14	
		19	25	40	39	
Polígonos individuales	120	9	8	8	7	32
	121	14	9	11	11	45
	131	12	10	17	11	50
Conjuntos de polígonos	421	6	2	11	3	22
	440	21	15	19	18	73
	462	12	8	11	7	38
	464	18	20	19	18	75
	480	9	8	8	9	34
	481	11	10	15	12	48
Total		112	90	119	96	

A la vista de la Tabla 40 se pueden destacar ciertas características, en primer lugar los errores que aparecen en mayor número son el 464 y el 440, pérdida de la estructura espacial general y polígonos muy cercanos, respectivamente. Estos, eran los conflictos más esperados, la razón fundamental es que el proceso está diseñado en torno a un amalgamado tras una selección perceptual, por lo que lo esperado son errores en la amalgamación, y por tanto, una pérdida en la estructura espacial general. Por otro lado, el error 440 viene a indicar que el grado de exageración aplicado a las calles, un 20% sobre su anchura máxima, es insuficiente en algunos casos. Esto puede dar lugar a dos alternativas en cuanto al método:

- Utilizar una ampliación empleando un mecanismo lineal, es decir, que se amplíen en un porcentaje mayor aquellas calles pequeñas (superando el 20% propuesto hasta el valor que permita su distinción con claridad) y después reduciendo este porcentaje linealmente (o quizás por un método de raíz cuadrada que suele ser más adecuado a la sensación del ojo humano).

- Aplicar un mecanismo de reconstrucción de calles no basado en una escala lineal que parta de cero, sino fijando un valor mínimo de anchura. A partir de ese valor, la anchura de la nueva calle se irá ampliando linealmente y por igual a todas las calles. Esto también dará un concepto de ampliación progresiva.

En cualquier caso es necesario realizar más procesos y trabajo en este nivel según los datos mostrados por Almería.

Con respecto a cuál de las soluciones es mejor, los valores extraídos de los conflictos no parecen corroborar el hecho de que, según los datos globales, las soluciones 39 y 40 eran mejores, teniendo en cuenta que observando el número de conflictos mostrados la solución 25 es la mejor. Desde este punto de vista, se opta por conjugar ambas indicaciones de los expertos y se mantendrá como solución la 39 debido a que era una de las dos elegidas según el criterio global, y, además, es la segunda con un número menor de conflictos.

Si se observa el rango de dispersión de los conflictos de los mapas (Tabla 40), el valor mínimo es de 90 y el máximo de 119, lo cual es una variación de 29 conflictos, lo que representa un 24.4% de incremento. Desde el punto de vista de las indicaciones de los expertos, este porcentaje puede ser explicado por diversas causas:

- Continuidad lógica: Es decir, el experto analiza uno de los 4 mapas entregados y extrae del mismo el mayor número de conflictos, los siguientes son analizados más someramente por observar similitudes entre los conflictos, que además no son indicados.
- Existencia real de diferencias: Pese a que pueda darse el efecto de continuidad lógica, su influencia es muy reducida, siendo entonces las diferencias causa de que el número de conflictos en el mapa hayan disminuido o aumentado, quizás no en la totalidad de ellos pero si en algunos.

El razonamiento realizado durante todo el análisis considerará que hay una existencia real de diferencias, por lo que la variación en los conflictos es debido a una mejora en el mapa de forma global, pero esto no significa que el aspecto general del mapa sea la suma de sus conflictos individuales, por lo que la calificación, o mejor, clasificación

ordenada realizada por cada experto de la bondad del mapa tenga que coincidir con la suma de los conflictos.

Con respecto al rango de variabilidad de conflictos para todos los mapas, se puede observar que es relativamente mayor (valor mínimo de 22 conflictos y máximo de 75, mostrado en la Tabla 40). Esto viene a mostrar la tendencia de un predominio de ciertos conflictos frente a otros. En el caso de la ciudad de Almería, una ciudad de extensión mediana respecto del resto de cascos urbanos utilizados, los conflictos tipo 421 (pérdida de tamaño relativo), que es el que menor número posee, tienen un interés menor que las pérdidas de estructuras espaciales o de formas relativas que además ocultan al conflicto anterior. El comportamiento, por tanto, de estas grandes diferencias en rangos, será una tarea que se comprobará para el resto de cascos urbanos.

Dentro de la solución elegida (mapa nº 39) los conflictos que aparecen en mayor grado son el 440 y el 464, de ambos se muestra un ejemplo en la Tabla 41.

Tabla 41. Ejemplos de conflictos 440 y 464 en el casco urbano de Almería para el mapa 39. Todas las imágenes se encuentran a escala 1/25000.

Conflicto	Imagen Generalizada	Imagen Original
440		
464		

4.3.2. BILBAO.

El casco urbano de Bilbao posee grandes diferencias respecto de Almería, de hecho en Bilbao se pueden encontrar dos elementos no existentes en el anterior:

- Un río que divide la ciudad en dos partes y que debe mantenerse en todas las generalizaciones.
- La existencia de zonas muy concentradas y zonas muy dispersas, incluso de elementos aislados, que darán una mayor visión del funcionamiento del algoritmo ante elementos diversos.

El análisis global realizado por los expertos, clasificado según los criterios anteriormente indicados, aparece en la Tabla 42. En este caso, al igual que en el anterior, se observa una distribución bimodal, es decir, los expertos se inclinan por el mapa 29 y 40, descartando casi totalmente los otros dos. Al igual que lo analizado con Almería, se deja la elección de cuál será la mejor solución a las indicaciones de los conflictos entregados.

Tabla 42. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Bilbao.

Experto	Bilbao			
	SMP9	SMP14	SMV10	SMV14
	25	40	29	41
5	4	2	1	3
6	1	1	4	1
8	1	1	4	4
10	1	4	2	2
15	1	4	2	3

Los conflictos indicados por los expertos aparecen en la Tabla 43. Según lo mostrado en esta tabla se puede indicar que la solución 40 posee un menor número de conflictos, frente a la solución 29.

Tabla 43. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Bilbao.

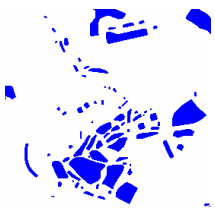
Tipo de elemento	Código	Bilbao				Total
		SMP9	SMP14	SMV10	SMV14	
		25	40	29	41	
Polígonos individuales	120	15	6	15	16	52
	121	40	56	40	40	176
	131	27	12	16	16	71
Conjuntos de polígonos	421	3	5	3	0	11
	440	20	19	20	20	79
	462	10	13	8	8	39
	464	29	28	32	31	120
	480	36	14	20	11	81
	481	18	12	18	18	66
Total		198	165	172	160	

Sin embargo, es necesario hacer notar algunas conclusiones de gran importancia respecto de lo mostrado en la Tabla 43:

- El número de conflictos ha aumentado significativamente respecto de lo ocurrido en Almería.

- El mayor tamaño del casco urbano conlleva una distribución más compleja debido a que el crecimiento de la ciudad no es un proceso homogéneo, teniendo, entonces, una alta probabilidad de partes muy diferentes y con tratamientos diversos en el casco urbano. Esta gran diferenciación incrementa la dificultad en el proceso de generalización.
- Los elementos dispersos provocan muchos conflictos del tipo 464, especialmente, y según lo indicado por lo expertos en los comentarios enviados, para los elementos pequeños, donde la amalgamación provoca enlaces incoherentes, es decir, une bloques de igual tamaño dejando otros sin unir (ver Tabla 44, conflicto 464).
- La necesidad de un posterior algoritmo de eliminación de superficies mínimas aisladas (el sistema ya elimina superficies mínimas no aisladas), ejemplo que se muestra en la Tabla 44, conflicto 121.

Tabla 44. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 40 de Bilbao.

Conflicto	Imagen Generalizada	Imagen Original
121		
464		

En cualquier caso, y debido al menor número de conflictos respecto del resto de mapas, se propone la solución 40 como la mejor para el casco urbano de Bilbao.

El análisis del rango de conflictos muestra un valor mínimo de 160 conflictos, frente a un valor máximo de 198 (representando un 19.2% de variabilidad) esto indica una reducción en el número relativo de conflictos, reducción que debe ser corroborada para ver si el motor muestra una mejora o no con un incremento de la superficie del casco urbano tratado.

En lo relativo a los conflictos acumulados para todos los mapas, se observa en la Tabla 43 que posee un mínimo de 11 y un máximo de 176, lo que representa una variación de un 93.8%, siendo un incremento en la variabilidad de los conflictos con respecto al caso de Almería, esta variación puede venir explicada por que los expertos, en ciudades de mayor calibre se centran en ciertos aspectos, estructuras generales de calles, y desestiman otros aspectos como la forma de manzanas individuales, ampliando entonces la diferencia numérica.

4.3.3. BURGOS.

La ciudad de Burgos es otro ejemplo de casco urbano atravesado también por un río. El estudio del proceso de generalización en esta ciudad servirá para corroborar los efectos sobre grandes bloques urbanos (las zonas de expansión o polígonos externos), así como de elementos muy pequeños acumulados en zonas urbanizadas y no aisladas como en el caso anterior.

Los resultados aportados por los expertos aparecen en la Tabla 45, y salvo el caso del experto 16 que considera todas las soluciones por igual, la moda se encuentra en la solución 41, a pesar de todo, se analizarán posteriormente los conflictos indicados.

Tabla 45. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Burgos.

Experto	Burgos			
	SMP14	SMP15	SMV14	SMV15
	40	43	41	44
4	1	1	4	1
5	4	1	1	1
6	2	1	4	3
12	2	4	1	2
15	2	3	1	4
16	4	4	4	4

El resumen de conflictos obtenidos de los análisis de los expertos aparecen en la Tabla 46, siendo en este caso mayores a los mostrados por Bilbao, la razón fundamental es que este casco es algo más compacto pero a su vez posee un gran número de elementos pequeños internos cuya asociación siempre da lugar a errores en cuanto a que el sistema parece que realice esta operación de forma arbitraria. Sin embargo, la dispersión de los

conflictos es inferior al caso anterior, lo que puede indicar que el conjunto de soluciones es considerado como similar por todos los expertos.

Tabla 46. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Burgos.

Tipo de elemento	Código	Burgos				Total
		SMP14	SMP15	SMV14	SMV15	
		40	43	41	44	
Polígonos individuales	120	19	20	19	19	77
	121	44	40	44	30	158
	131	26	23	27	21	97
Conjuntos de polígonos	421	4	0	5	4	13
	440	32	34	32	22	120
	462	24	28	21	21	94
	464	54	53	52	60	219
	480	8	8	8	7	31
	481	13	15	12	15	55
Total		224	221	220	199	

En cualquier caso, el número de conflictos mostrados por la solución 41 no es el menor de todos, aunque si es el segundo menor. Existiendo, al igual que el caso de Bilbao, el mayor número de conflictos en asociaciones erróneas del tipo 464 (para los elementos pequeños) y la falta de eliminación o exageración de manzanas demasiado pequeñas (ver ejemplos en Tabla 47). Con respecto al rango de variabilidad se muestra incrementada la tendencia de Bilbao, con conflictos de baja aparición (421) y otros de muy alta aparición (464), representando una separación de un 94.1%. El análisis de esta tendencia queda relegado a las conclusiones que se desarrollarán para todos los cascos urbanos realizado por los expertos (Apartado 4.3.10).

Tabla 47. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 41 de Burgos.

Conflicto	Imagen Generalizada	Imagen Original
121		
464		

4.3.4. JAÉN.

Las soluciones indicadas por los expertos para el casco urbano de Jaén son, siguiendo la tónica de Almería, una distribución bimodal entre el mapa 19 y el 43 (ver Tabla **48**).

Como en el resto de los casos se utilizarán los conflictos indicados para eliminar esta discrepancia.

Tabla 48. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Jaén.

Experto	Jaén			
	SMP7	SMP14	SMP15	SMV15
	19	40	43	44
4	4	1	1	1
5	2	4	4	1
6	2	1	1	4
11	4	1	1	1
15	1	2	4	3
16	4	4	4	4

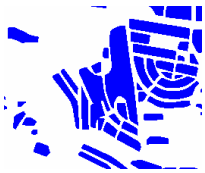
El resumen de los conflictos mostrados aparece en la Tabla 49. En ella la solución 19 tiene el menor número, por esta razón, será la elegida. También es necesario hacer notar que el rango de conflictos entre los mapas ha aumentado, existiendo una discrepancia de un 27.3% entre el mapa con menor y mayor número de conflictos. La tendencia mostrada es que cuanto menor extensión del casco urbano mayor variabilidad del rango de conflictos en un mismo mapa.

Tabla 49. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Jaén.

Tipo de elemento	Código	Jaén				Total
		SMP7	SMP14	SMP15	SMV15	
		19	40	43	44	
Polígonos individuales	120	20	22	22	22	86
	121	36	26	27	31	120
	131	10	10	14	23	57
Conjuntos de polígonos	421	2	2	0	1	5
	440	10	25	26	23	84
	462	7	11	11	13	42
	464	34	43	56	34	167
	480	7	10	9	20	46
	481	7	12	18	6	43
Total		133	161	183	173	

Con respecto a la distribución de los conflictos, la mayoría son del tipo 464 seguido del 121 (ver ejemplos en Tabla 50). El valor mínimo se encuentra en el conflicto 421, que es menos empleado por los expertos de forma general y, en muchas ocasiones es sustituido por el conflicto 464.

Tabla 50. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 19 de Jaén.

Conflicto	Imagen Generalizada	Imagen Original
121		
464		

4.3.5. LA CAROLINA.

El casco urbano de La Carolina fue elegido como exponente de una ciudad diseñada bajo un sistema de cuadrícula y cuya generalización es compleja por la elección correcta de las vías que deben mantenerse con el fin de que el resultado muestre la distribución en la nueva escala.

La puntuación otorgada por los expertos y categorizada según lo indicado en apartados anteriores aparece en la Tabla 51. Según las categorías indicadas, la moda se encuentra en la solución 17. En cualquier caso, es necesario realizar un análisis de los conflictos.

Tabla 51. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de La Carolina.

Experto	La Carolina			
	SMP9	SMP11	SMV6	SMV12
	25	31	17	35
5	1	1	2	4
6	2	2	4	1
7	4	2	2	1
8	4	4	1	4
12	1	1	4	1
15	3	1	4	2
16	4	4	4	4

El resumen de conflictos encontrados aparece en la Tabla 52, donde se muestra que, al igual que ocurría para el caso de Burgos, la solución 17 no es la de menor número de conflictos pero si la segunda menor. En el caso de La Carolina, además la variabilidad del número de conflictos por mapa es similar (sólo un 10.1%), lo que indica soluciones similares desde el punto de vista de los expertos.

Tabla 52. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para La Carolina.

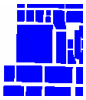
Tipo de elemento	Código	La Carolina				Total
		SMP9	SMP11	SMV6	SMV12	
		25	31	17	35	
Polígonos individuales	120	2	4	5	2	13
	121	3	4	4	3	14
	131	5	5	4	7	21
Conjuntos de polígonos	421	1	1	15	1	18
	440	11	9	11	10	41
	462	2	0	2	0	4
	464	30	30	12	37	109
	480	3	4	4	2	13
	481	5	7	7	7	26
Total		62	64	64	69	

Con respecto a la distribución de conflictos se observa que el 464 sigue siendo el más indicado por los expertos, aunque en este tipo de ciudad de pequeño tamaño y distribución homogénea el segundo mayor conflicto es el 440 (Polígono muy cercanos), probablemente debido a que la distancia entre calles originales es pequeña, y el mecanismo de exageración empleado tiene un parámetro bajo (20%).

Con respecto a la variación entre el rango de conflictos encontrados por los expertos es elevado (97.0%), existiendo, al igual que en el caso de Jaén, un conflicto 421 con un valor bajo en parte porque es asimilado por el conflicto 464.

En cualquier caso, ejemplos de ambos problemas aparecen para la solución 17 en la Tabla 53.

Tabla 53. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 17 de La Carolina.

Conflicto	Imagen Generalizada	Imagen Original
440		
464		

4.3.6. LOGROÑO.

El casco urbano de Logroño es otro de los ejemplos de núcleo disperso, de hecho existen diversos núcleos de población distribuidos a lo largo de toda la hoja del mapa disponible. Dichos núcleos poseen diferentes densidades y tipologías de elementos. Por ello, es una muestra similar a Bilbao pero sin la existencia de un río divisorio.

Los resultados enviados por los expertos aparecen en la Tabla 54, existiendo en este caso particular un elemento modal claro como es la solución 19.

Tabla 54. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Logroño.

Experto	Logroño			
	SMP7	SMP10	SMP15	SMV15
	19	28	43	44
2	4	2	1	1
5	4	4		
6	4	2	1	1
9	4	4	4	4
14	4	4	1	4
15	2	3	1	4

Con respecto a la lista de conflictos, es del mismo orden que la obtenida para Bilbao, los resultados muestran que la solución 19 es, también en este caso aquella que posee el menor número de conflictos.

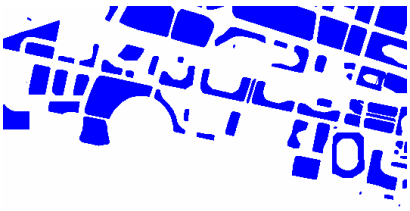
Tabla 55. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Logroño.

Tipo de elemento	Código	Logroño				Total
		SMP7	SMP10	SMP15	SMV15	
		19	28	43	44	
Polígonos individuales	120	9	9	8	9	35
	121	19	17	17	17	70
	131	20	23	25	17	85
Conjuntos de polígonos	421	3	1	1	1	6
	440	10	13	11	14	48
	462	15	12	17	12	56
	464	14	15	14	19	62
	480	0	10	10	0	20
	481	3	3	3	6	15
Total		93	103	106	95	

Con respecto a los conflictos más indicados, los resultados indican que son el 121 y 131 (pérdida de características de forma), probablemente debido a que el casco urbano generalizado se ha realizado empleando la técnica del cierre de amalgamación indicada

en el apartado 3.2.3.1.2.1. Algunos ejemplos de zonas extraídas de la mejor solución aparecen en la Tabla 56. Del tipo de conflicto determinado como más importante (131) y el menos importante (421), con una variabilidad del 92.9% se puede extraer una conclusión bastante interesante, y es la dificultad de los expertos de entender con claridad la definición del conflicto en sí. Esto viene expresado porque un conflicto 131 (pérdida característica de forma) lleva implicada una variación en su tamaño, y, por tanto, en un alto porcentaje de casos un conflicto 421 (cambio tamaño relativo). Esto indica que los expertos han empleado siempre un conflicto base sin tener en cuenta las relaciones con el resto de conflictos, y, por tanto, aplicando uno u otro sin discriminación.

Tabla 56. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 19 de Logroño.

Conflicto	Imagen Generalizada	Imagen Original
121		
131		

4.3.7. MAJADAHONDA.

Los resultados indicados por los expertos para las soluciones entregadas para el casco urbano de Majadahonda aparecen en la Tabla 57.

En este casco urbano se vuelve a observar una distribución claramente bimodal. Un análisis mas detallado muestra que la solución 15 posee en dos entradas una valoración 4 y, en las otras dos, una valoración 3, lo que la daría como solución más adecuada que la 11 que sólo posee una valoración 2 en el resto. Sin embargo, el número de conflictos de la solución 11 es menor, 68 conflictos frente a los 73 del caso 15 (ver Tabla 58).

La distribución de conflictos del casco urbano de Majadahonda que se muestra en la Tabla 58 indica un incremento de los conflictos individuales (121) y disminución de los de grupo (464, 421 y 481) en el caso 11 frente al 15.

Tabla 57. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Majadahonda.

Experto	Majadahonda			
	SMP7	SMS6	SMV4	SMV15
	19	15	11	44
2	2	3	4	1
5	2	4	2	1
10	2	3	4	1
15	3	4	2	1

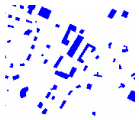
Por las razones aducidas anteriormente y a la vista de la Tabla 58 se elige como mejor solución la aportada por el mapa 11. Con respecto a los conflictos de mayor importancia según los expertos aparecen de nuevo el 464 y el 121, por este orden. En este caso la variabilidad de los conflictos se ha reducido a un 84.7%, siendo la variación más significativa el hecho de que el conflicto que aparece en menor medida sea el 120 (elementos muy finos) frente al máximo (121), esto demuestra que los expertos, a la vista de un casco urbano con elementos más dispersos han preferido codificar estos conflictos en función de estas manzanas individuales frente a las codificaciones anteriores del tipo 464 (pérdida de la estructura espacial general).

Tabla 58. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Majadahonda.

Tipo de elemento	Código	Majadahonda				Total
		SMP7	SMS6	SMV4	SMV15	
		19	15	11	44	
Polígonos individuales	120	3	2	2	2	9
	121	21	10	19	9	59
	131	8	10	10	9	37
Conjuntos de polígonos	421	4	4	2	3	13
	440	9	13	13	10	45
	462	4	6	6	8	24
	464	11	13	6	24	54
	480	7	9	9	6	31
	481	6	6	1	9	22
Total		73	73	68	80	

Ejemplos de los conflictos indicados aparecen en la Tabla 59.

Tabla 59. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 11 de Majadahonda.

Conflicto	Imagen Generalizada	Imagen Original
121		
464		

4.3.8. MENGÍBAR.

El resumen de resultados de la Tabla 60 muestra claramente un elemento modal, en este caso particular la solución número 43, que, por el contrario aparece como aquella que posee un mayor número de conflictos en la Tabla 61. La explicación de esta contracción proviene de que el análisis realizado por los expertos indica que es de mejor calidad aunque sea necesaria una mayor corrección, muy probablemente debido a que es una de las que tiene un nivel de generalización más alto de todas las que aparecen en esta tesis doctoral.

Tabla 60. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Mengíbar.

Experto	Mengíbar			
	SMP14	SMP15	SMV11	SMV15
	40	43	32	44
1	2	1	4	1
5	2	4	1	1
6	4	4	1	1
9	4	4	4	4
13	2	4	1	2
15	2	4	3	1

El análisis de los conflictos que se muestran en mayor grado en la columna de Total de la Tabla 61 indica que los conflictos 464 y 440 son los de mas importancia por parte de los expertos. Quedando en este casco urbano relegado el conflicto 421 (pérdida de tamaño relativo) debido a la compacidad del núcleo de la ciudad y por la alta aparición del conflicto 464 (73).

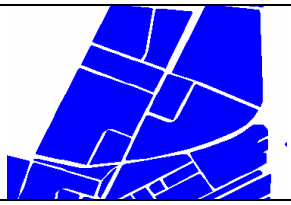
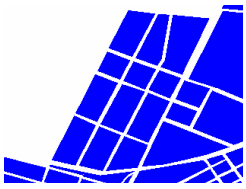
Tabla 61. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Mengíbar.

Tipo de elemento	Código	Mengíbar				Total
		SMP14	SMP15	SMV11	SMV15	
		40	43	32	44	
Polígonos individuales	120	3	3	3	3	12
	121	3	3	3	3	12
	131	3	3	5	6	17
Conjuntos de polígonos	421	1	4	2	3	10
	440	6	7	7	7	27
	462	1	2	2	6	11
	464	19	23	15	16	73
	480	0	0	0	0	0
	481	6	6	5	5	22
Total		42	51	42	49	

El análisis de rangos por mapa queda fuera de lugar, toda vez que los expertos han mostrado una clara disposición a emplear aquella solución con mayor número de conflictos. Sin embargo, el análisis de variación entre una tipología y otra de conflictos presentados es más importante, ya que en este casco urbano el tipo 480 (Sobredensidad de polígonos) no aparece. Frente a este caso el conflicto 464 aparece 73 veces. Hay que notar que la desaparición del conflicto 480 no indica una mejora del motor de generalización, sino que los bloques urbanos de esta ciudad son de mayor tamaño.

El ejemplo de los conflictos que se muestran en mayor medida aparece en la Tabla 62 con imágenes extraídas de la solución 43.

Tabla 62. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 43 de Mengíbar.

Conflicto	Imagen Generalizada	Imagen Original
440		
464		

4.3.9. PAMPLONA.

El casco urbano de Pamplona es otro de los representantes de ciudades muy dispersas entorno a núcleos más o menos compactos. En el caso particular de esta ciudad, su

crecimiento se ha realizado entorno a la zona central (actualmente zona verde) y antigua fortificación. Posteriormente se ha desarrollado un proceso urbanizador disperso alejado del elemento central.

En cualquier caso, el criterio de los expertos respecto a las soluciones planteadas para este casco urbano parece bastante equivalente (ver Tabla 63), seleccionando casi todos ellos la solución 1 (menos generalizada como la mejor). En comentarios de algunos expertos, el casco urbano se muestra con gran amplitud en sus vías y el sencillo proceso de reducción y eliminación de elementos pequeños sería suficiente para esta generalización.

Tabla 63. Cascos urbanos ordenados según la preferencia de los expertos para la ciudad de Pamplona.

Experto	Pamplona			
	SMP1	SMP14	SMS4	SMV6
	1	40	9	17
5	4	2	1	1
6	1	4	2	3
7	4	1	2	2
15	4	1	3	2

En cualquier caso, pese a que el mapa 1 sea la mejor solución indicada no se encuentra libre de conflictos, aunque si con el menor número de ellos (ver Tabla 64), lo cual, indica que la apreciación del párrafo anterior cobre más fuerza. También se puede observar en la Tabla 64 como a mayor número de solución aparecen un mayor grado de conflictos debido al incremento de los parámetros de selección de objetos que aumenta el número de elementos selccionados.

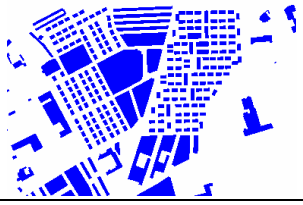
Tabla 64. Lista de conflictos encontrados en los mapas enviados a los expertos para Pamplona.

Tipo de elemento	Código	Pamplona				Total
		SMP1	SMP14	SMS4	SMV6	
		1	40	9	17	
Polígonos individuales	120	4	20	4	0	28
	121	21	70	18	18	127
	131	0	22	0	0	22
Conjuntos de polígonos	421	6	5	6	5	22
	440	5	49	5	3	62
	462	8	7	8	11	34
	464	12	14	19	30	75
	480	9	43	11	9	72
	481	6	11	13	22	52
Total		71	241	84	98	

Con respecto a los conflictos que más se presentan son el 121 seguido del 464 (ver ejemplos en Tabla 65), el primero por el hecho de que la ciudad tiene un gran número de edificaciones/manzanas de pequeño tamaño y dispersas, lo que lleva a que muchas de ellas deban ser posteriormente eliminadas. Además, estos objetos tan pequeños tienen un comportamiento esquivo en cuanto a su asociación y amalgamación, lo que da problemas del tipo 464.

Con respecto al rango en el número de conflictos, por primera vez se puede ver el incremento de los mismos a medida que aumentan los parámetros empleados en generalización, debido a que poseemos soluciones 1 (parámetros mínimos) y 40 (parámetros casi al máximo). Esto no indica que el motor de generalización empeore la situación, tan sólo la falta de adecuación de un parámetro global sobre elementos locales. Además, es de notar que el número de conflictos para las distintas soluciones permanece estable (entre 71 y 98), siendo elevado únicamente en la solución 40.

Tabla 65. Ejemplo de diferentes conflictos existentes en la solución 1 de Pamplona.

Conflicto	Imagen Generalizada	Imagen Original
121		
464		

4.3.10. RESUMEN DE LAS VALORACIONES DEL GRUPO DE EXPERTOS.

El resumen de resultados se va a tratar en tres partes, la primera de ellas consistirá en la agrupación de todos los mejores resultados junto con sus conflictos más evidentes para comprobar la existencia o no de un criterio que permita ver si alguno de los mecanismos propuestos es mejor que otro. En segundo lugar se realizará un análisis de la variabilidad y distribución de conflictos con el fin de examinar más claramente el comportamiento de los expertos ante ciertos cascos urbanos y determinar alguna de las características de las soluciones entregadas. Para terminar, se analizarán los comentarios

globales de los expertos, que se consideran de gran interés para el futuro desarrollo de este proceso.

El resumen de todos los análisis realizados por los expertos se muestran en la Tabla 66. Los mapas resultantes aparecen en el Anejo 9.

Tabla 66. Resumen de las mejores soluciones indicadas por los expertos para cada conjunto de cascos urbanos. El campo Número de los conflictos representa el número de zonas con los conflictos indicados en la mejor solución y tras la barra el número total de zonas con los conflictos indicados en todas las soluciones.

Ciudad	Mejor Solución		Conflicto de más entradas		2º Conflicto con más entradas	
	Descriptor	Número	Tipo	Número	Tipo	Número
Almería	SMS14	39	464	19/75	440	19/73
Bilbao	SMP14	40	121	56/176	464	28/120
Burgos	SMV14	41	464	52/219	121	44/158
Jaén	SMP7	19	464	34/167	121	36/120
La Carolina	SMV6	17	464	30/109	440	9/41
Logroño	SMP7	19	131	20/85	121	19/70
Majadahonda	SMV4	11	121	19/59	464	6/45
Mengíbar	SMP15	43	464	23/73	440	7/27
Pamplona	SMP1	1	121	21/127	464	12/75

La Tabla 66 muestra una distribución poco coherente, tal y como se esperaba, sin embargo, se puede realizar un análisis más profundo y extraer ciertas conclusiones de interés.

En primer lugar, el número de conflictos mostrado indica que las soluciones aportadas todavía necesitan de ciertas mejoras para disponer de una cantidad baja de ellos que permita que el sistema de generalización sea semiautomático. Aunque, en cualquier caso, siempre se necesita un trabajo mucho menor que de forma manual, sobre todo utilizando una herramienta que permita deshacer ciertos procesos de la generalización.

En segundo lugar, se pueden extraer unas conclusiones generales de las soluciones que ayudarán al refinamiento del método:

- Ciudades como Almería, Burgos o Bilbao, todas ellas con una extensión superficial similar en las imágenes tratadas emplean algoritmos con el mismo grado de generalización (14).

- Ciudades intermedias o, de menor tamaño, como Jaén, La Carolina, Logroño y Majadahonda, utilizan un grado de generalización menor (6 o 7). Aunque el caso de Logroño puede ser considerado una excepción a esta regla.
- Ciudades bien planificadas y con amplias avenidas no necesitan casi procesos de generalización, como por ejemplo en Pamplona.
- Los cascos urbanos con formas regulares (La Carolina y Majadahonda) se comportan mejor ante algoritmos SMV, es decir, selección utilizando vértices. El resto de cascos urbanos funcionan mejor empleando algoritmos SMP (empleando perímetros). Esto podría indicar que las zonas mas regulares de la ciudad funcionan mejor empleando amalgamaciones de objetos similares en vértices (y por tanto en forma) y que el resto de zonas se comporta mejor empleando objetos similares en redondez (por el perímetro). El caso de Burgos es una excepción a esta regla, ya que posee zonas de todo tipo.
- La aparición de conflictos 121 indica la necesidad de un algoritmo de eliminación de objetos superficiales sin tener en cuenta la compacidad urbana.
- La aparición de conflictos del tipo 131 indica la necesidad de una mejora en el algoritmo de simplificación perimetral.
- La aparición de conflictos 440 indica una ampliación del porcentaje de exageración de calles (del 20% a un valor mayor) o una modificación de la asignación de exageración empleando algoritmos cuya ampliación de la calle no este determinada por una constante o un simple producto por uno de los atributos de la calle (empleando algún otro criterio como funciones logarítmicas o similares que atenúen la exageración).
- La aparición de conflictos 464 es la más difícil de eliminar, la solución pasaría por utilizar los criterios SMV y SMP, la exageración correcta (por tanto dos soluciones sencillas anteriormente indicadas) y finalmente por un cambio en el algoritmo de amalgamación al de cierre morfológico.

En la Tabla 67 se han sintetizado todos los rangos de conflictos por solución y de conflictos de forma independiente.

Tabla 67. Relación de rangos existentes para los conflictos de los diferentes mapas utilizados. El porcentaje está calculado suponiendo el valor máximo como el 100%.

Casco Urbano	Suma de conflictos por mapa			Suma de conflictos para todos los mapas		
	Mínimo/ Mapa	Máximo/ Mapa	Porcentaje	Mínimo/ Conflicto	Máximo/ Conflicto	Porcentaje
Almería	90/25	119/40	24.4%	22/421	75/464	70.7%
Bilbao	160/41	198/25	19.2%	11/421	176/121	93.8%
Burgos	199/44	224/40	11.2%	13/421	219/464	94.1%
Jaén	133/19	183/43	27.3%	5/421	167/464	97.0%
La Carolina	62/25	69/35	10.1%	4/462	109/464	96.3%
Logroño	93/19	106/43	12.3%	6/421	85/131	92.9%
Majadahonda	68/11	80/44	15.0%	9/120	59/121	84.7%
Mengíbar	42/40 ó 32	51/43	17.6%	0/480	73/464	100%
Pamplona	71/1	241/40	70.5%	22/131	127/121	82.7%

Las indicaciones de la Tabla 67 son muy interesantes, extrayéndose las siguientes conclusiones:

- Un menor porcentaje de variación entre los conflictos por mapa indica un grupo de soluciones similares desde el punto de vista de los expertos, lo cual no se corresponde con un casco urbano más sencillo (Por ejemplo Jaén y La Carolina).
- La variabilidad respecto del mayor o menor número de conflictos en todas las soluciones aportadas no muestra una tendencia clara. Sin embargo, si se observa el tipo de conflicto que suele aparecer en menor medida en la mayoria de los mapas coincide con el 421 (pérdida de tamaño relativo), y el que aparece en mayor medida el 464 (pérdida de la estructura espacial general). Esto, junto con lo indicado en el apartado 4.3.2 (y otros apartados de valoración de cascos urbanos por el grupo de expertos) muestra que algunos conflictos quedan camuflados por otros considerados de mayor importancia (por ejemplo el 464 oculta al 421). Esta aseveración viene corroborada por lo indicado como comentarios generales por un gran número de expertos.

Las conclusiones más importantes aportadas por el grupo de expertos coinciden total o parcialmente con las anteriores:

- En general los mapas presentan una buena solución visual desde lejos, los problemas aparecen al acercarse a ellos. Esto podría indicar que la solución es adecuada para visualización pero no para producción, por lo que, tal y como está podría ser utilizada en servidores de mapas.

- Existe una excesiva abundancia de elementos pequeños que motean la imagen.
- Los algoritmos presentan un comportamiento poco predecible desde el punto de vista externo.
- Es necesario un tratamiento más local.
- La pérdida de la estructura espacial y la presencia de elementos pequeños son los errores más importantes.
- El redondeo de las formas de las manzanas/edificios aparece en todos los ejemplos.
- Se da una prioridad visual a la zona edificada frente a la no edificada. Esto aumenta la densidad visual del conjunto del casco urbano.
- El efecto indicado en el párrafo anterior también aparece en diferentes zonas del casco urbano, por lo que, pese a que el aspecto entre la imagen original y la generalizada sea de similitud global, la densidad o nivel de ocupación del suelo se observa diferente en zonas distintas de la ciudad.

4.3.11. TERCER AJUSTE AL MOTOR DE GENERALIZACIÓN.

Los comentarios realizados por los expertos proponen las siguientes modificaciones (ver Figura 70. Los números de la figura se refieren a las modificaciones indicadas a continuación en el mismo orden):

1. Aumento en la distancia de reconstrucción de ejes axiales, por lo que aumenta la separación entre los objetos.
2. Sustitución del algoritmo de amalgamación de cierre por distancias por el cierre morfológico que mantiene formas más rectas.
3. Inclusión de un mecanismo de eliminación de elementos sin significación visual (inferiores al umbral perceptivo superficial que, según Cuenin (1972), puede cifrarse en 0.3 x 0.3 mm^2 = 9 píxeles a la resolución de la imagen).
4. Modificación del mecanismo de selección zonal ajustando el umbral superficial al mismo que en el caso anterior.

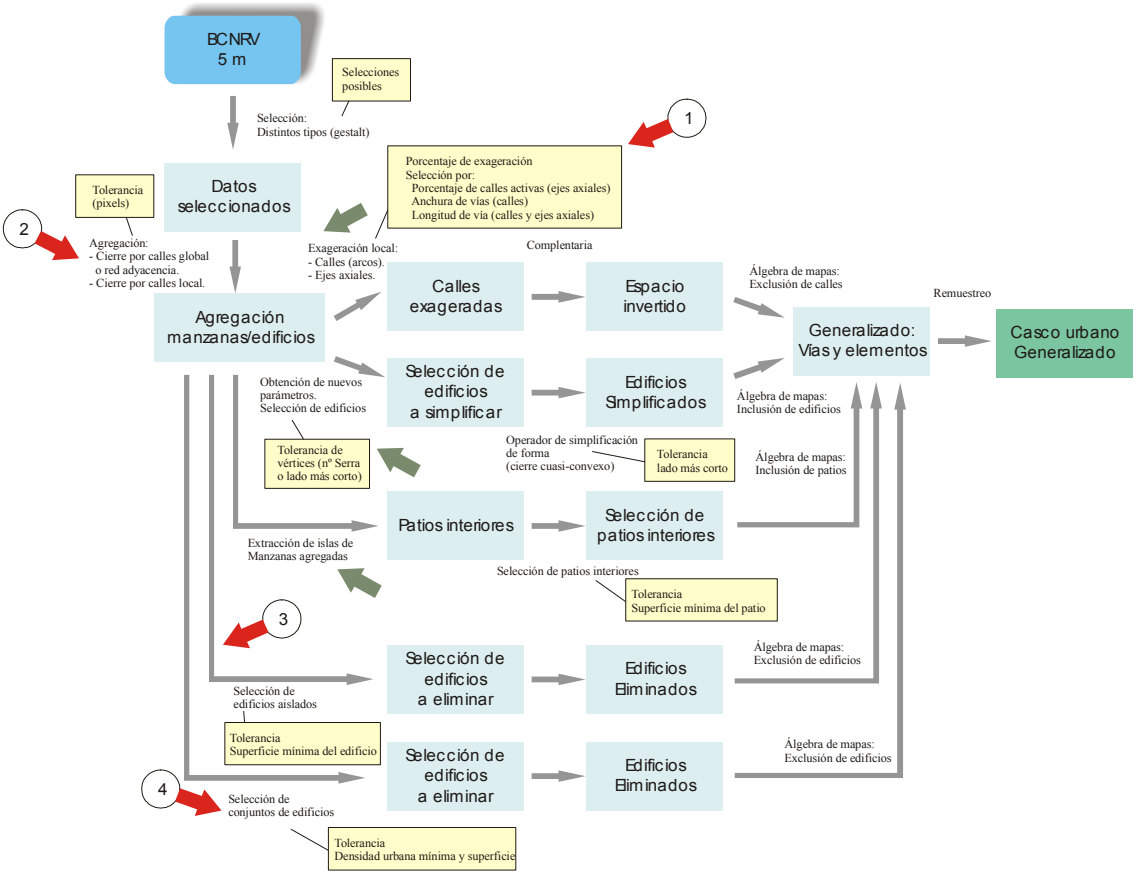


Figura 70. Motor de generalización con las modificaciones propuestas por el grupo de expertos (flechas rojas) junto con las modificaciones propuestas en fases anteriores (flechas verdes).

4.4. VALORACIONES DE LAS MEDIDAS EVALUADORAS.

Se aplicaron todas las medidas de calidad sobre las mismas soluciones enviadas a los expertos para comprobar el grado de similitud entre la solución indicada por los mapas a escala 1/50000 y la concepción modal de los expertos.

Los análisis de cada casco urbano se desarrollarán mostrando todas sus características. En la Tabla 68 aparecen todos los índices que se obtendrán para cada solución de cada casco urbano y los rangos numéricos entre los que se encuentran determinados, así como los valores óptimos. Hay que notar que en las tablas mostradas para cada casco urbano se incluirán hasta 8 decimales, no con el fin de la significación de los mismos, sino para poder distinguir unas soluciones de otras, puesto que una mínima variación puede representar un conjunto significativo de píxeles.

Tabla 68. Rangos de los índices y valores óptimos buscados.

Índice		Rango	Valor óptimo
Δ(1 Imagen)	Índice de Moran	[-2,2]	0
	Entropía (Binaria)	[-1,1]	0
	Tono de la Imagen	[-1,1]	0
	Urbano/No Urbano	[-∞,+∞]	0
2 imágenes	Porcentaje de acuerdo	[0,1]	1
	Divergencia de Kullback	[0,1]	0
	D.Autocorrelación	[0,1]	0
3 imágenes	Mejora	[0,1]	1
	Empeoramiento	[0,1]	0
	Igualdad Valida	[0,1]	1
	Igualdad Errónea	[0,1]	0

Se comenzará el análisis por estricto orden alfabético al igual que en el apartado anterior, utilizando los valores calculados para el conjunto de todos los píxeles de la imagen.

4.4.1. ALMERÍA.

El casco urbano de Almería posee una particularidad que lo diferencia del resto de los empleados en esta tesis doctoral, es el hecho de no disponer del resultado a escala 1/50000, esto limita las medidas evaluadoras a aquellas dependientes de 1 imagen.

Los resultados de la aplicación de las medidas evaluadoras aparecen en la Tabla 69, calculados como incrementos respectos del 1/25000 original.

Tabla 69. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Almería. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores.

Ciudad		Almería			
Casco Urbano		SMP7	SMP9	SMP14	SMS14
		19	25	40	39
Δ(1 Imagen)	Índice de Moran	-0.0399554	-0.03887229	-0.03155447	-0.04823783
	Entropía	0.0400939	0.04110355	0.04836182	0.03283354
	Tono de la Imagen	0.01667451	0.01711093	0.02027365	0.01356106
	Urbano/No Urbano	0.02357375	0.02420343	0.02878648	0.01910066

Según lo mostrado en la Tabla 69, y suponiendo que la variación entre la imagen 1/25000 y 1/50000 deseada siempre será la menor posible, se obtiene como solución más favorable la número 39 en 3 de los 4 índices.

4.4.2. BILBAO.

Para el casco urbano de Bilbao se realizará un análisis más exhaustivo ya que se disponen de todos los índices propuestos (ver Tabla 70). Será el mismo proceso empleado en el resto de los análisis.

Tabla 70. Tabla resumen de las medidas evaluadoras para Bilbao. Las celdas marcadas en verde indican los índices más prometedores.

Ciudad		Bilbao			
Casco Urbano		SMP9	SMP14	SMV10	SMV14
		25	40	29	41
Δ(1 Imagen)	Índice de Moran	0.04465722	0.05165866	0.04165897	0.04829100
	Entropía	0.12324537	0.13342508	0.12273585	0.13188864
	Tono de la Imagen	0.08016280	0.08854610	0.07975338	0.08725500
	Urbano/No Urbano	0.14559960	0.16276718	0.14477168	0.16009627
2 imágenes	Porcentaje de acuerdo	0.64744197	0.64326886	0.64716473	0.64383140
	Divergencia de Kullback	0.13658052	0.13704884	0.13674145	0.13701173
	D.Autocorrelación	-0.00060740	-0.00069845	-0.00061430	-0.00062262
3 imágenes	Mejora	0.01114442	0.01324952	0.01080110	0.01288524
	Empeoramiento	0.02936654	0.03564475	0.02930045	0.03471792
	Igualdad Valida	0.63629755	0.63001934	0.63636364	0.63094616
	Igualdad Errónea	0.32319149	0.32108640	0.32353482	0.32145068

En este caso se pueden observar distintas tendencias, la primera de ellas la mostrada por las medidas extraídas de 1 y de 3 imágenes, en este caso la solución con un mayor parecido al 1/50000 sería la 29, por el contrario, las medidas basadas en 2 imágenes muestran una predilección por la solución 25.

Desde este punto de vista la elección por una u otra solución no resulta sencilla, ya que las medidas de 3 imágenes están parcialmente influenciadas por los resultados de las medidas de 1 imagen. Por el contrario, todas las medidas de 2 imágenes tienen una única solución como válida, por lo que podría indicar que posee una buena aproximación.

En este caso particular, se optará por proponer ambas soluciones como válidas, puesto que las diferencias entre unos y otros índices para las dos imágenes (29 y 25) son mínimas.

4.4.3. BURGOS.

Los resultados obtenidos por las medidas evaluadoras para el casco urbano de Burgos aparecen en la Tabla 71.

Tabla 71. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Burgos. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores.

Ciudad		Burgos			
Casco Urbano		SMP14	SMP15	SMV14	SMV15
		40	43	41	44
Δ(1 Imagen)	Índice de Moran	0.05560352	0.05791247	0.05336294	0.05478266
	Entropía	0.06184058	0.06560520	0.05812374	0.06054343
	Tono de la Imagen	0.02334391	0.02484867	0.02186823	0.02282779
	Urbano/No Urbano	0.03139593	0.03347895	0.02936031	0.03068316
2 imágenes	Porcentaje de acuerdo	0.77204600	0.77098269	0.77321372	0.77240219
	Divergencia de Kullback	0.10003224	0.10039841	0.09961538	0.09990956
	D.Autocorrelación	0.00000085	0.00000084	0.00000086	0.00000085
3 imágenes	Mejora	0.00312384	0.00334457	0.00296987	0.00304388
	Empeoramiento	0.01970526	0.02098929	0.01838356	0.01926910
	Igualdad Valida	0.76892215	0.76763812	0.77024385	0.76935831
	Igualdad Errónea	0.20824874	0.20802802	0.20840272	0.20832871

Del análisis de la Tabla 71 se puede ver que existe un candidato bastante claro como solución, ya que cumple con la Divergencia de Kullback, el Empeoramiento y la Entropía. En este caso, los índices proponen que la solución 41 sea la que mejor se aproxima al 1/50000.

4.4.4. JAÉN.

Los resultados para la ciudad de Jaén aparecen en la Tabla 72.

Tabla 72. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Jaén En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores.

Ciudad		Jaén			
Casco Urbano		SMP7	SMP14	SMP15	SMV15
		19	40	43	44
Δ(1 Imagen)	Índice de Moran	-0.05405100	-0.04106995	-0.03415621	-0.04437388
	Entropía	-0.03323420	-0.02000138	-0.01286812	-0.02151113
	Tono de la Imagen	-0.01867679	-0.01143290	-0.00742505	-0.01227169
	Urbano/No Urbano	-0.03115076	-0.01924667	-0.01256453	-0.02063644
2 imágenes	Porcentaje de acuerdo	0.93611277	0.93609043	0.93545761	0.93495384
	Divergencia de Kullback	0.02521480	0.02551869	0.02591634	0.02595213
	D.Autocorrelación	0.00000777	0.00000949	0.00001011	0.00000866
3 imágenes	Mejora	0.02231735	0.02592813	0.02761564	0.02494044
	Empeoramiento	0.01070081	0.01433393	0.01665426	0.01448283
	Igualdad Valida	0.91379541	0.91016230	0.90784197	0.91001340
	Igualdad Errónea	0.05318642	0.04957564	0.04788813	0.05056333

En este caso, los resultados no se decantan por una u otra solución, las mejores propuestas se alinean del lado de la 19 y 43. La solución que se propone como la mejor, en este caso particular, pasa por un análisis más minucioso, mostrándose que tanto el Porcentaje de Acuerdo como la Divergencia de Kullback poseen una variación mínima

asumible, entre el casco urbano de la solución 19 y la 43, por lo que se puede decantar hacia la 43, siendo ésta última la solución que se propone como mejor.

4.4.5. LA CAROLINA.

Con respecto a La Carolina los resultados aparecen en la Tabla 73.

Tabla 73. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para La Carolina. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores.

Ciudad		La Carolina			
Casco Urbano		SMP9	SMP11	SMV6	SMV12
		25	31	17	35
Δ(1 Imagen)	Índice de Moran	-0.00593234	-0.00559770	-0.01873781	-0.00301341
	Entropía	0.00182596	0.00196268	-0.00471194	0.00305810
	Tono de la Imagen	0.00221178	0.00237889	-0.00554420	0.00372562
	Urbano/No Urbano	0.00541207	0.00582250	-0.01340336	0.00913801
2 imágenes	Porcentaje de acuerdo	0.95380819	0.95395565	0.95210758	0.95194047
	Divergencia de Kullback	0.01705066	0.01700117	0.01743790	0.01777684
	D.Autocorrelación	-0.00009165	-0.00009832	-0.00010993	-0.00009282
3 imágenes	Mejora	0.02116428	0.02132156	0.01643599	0.02098734
	Empeoramiento	0.01464690	0.01465673	0.01161922	0.01633768
	Igualdad Valida	0.93264391	0.93263408	0.93567159	0.93095313
	Igualdad Errónea	0.03154490	0.03138762	0.03627320	0.03172185

Las indicaciones de las medidas evaluadoras en este caso particular son poco aclarativas, mostrando grandes variaciones y no existiendo ningún valor por el que se decanten. En cualquier caso, se van a desestimar como las mejores soluciones las 17 y 35 porque son los que menos soluciones más prometedoras poseen.

Con respecto a las mostradas por los cascos urbanos 25 y 31 son iguales en cuanto a número, pero en este caso, el Porcentaje de Acuerdo y la Divergencia de Kullback de 31 son muy similares al 25, lo que hace que esta última solución sea la que se acepte como mejor.

4.4.6. LOGROÑO.

Las soluciones mostradas para el casco urbano de Logroño aparecen en la Tabla 74.

Tabla 74. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Logroño. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores.

Ciudad		Logroño			
Casco Urbano		SMP7	SMP10	SMP15	SMV15
		19	28	43	44
Δ(1 Imagen)	Índice de Moran	0.04259552	0.04345522	0.04892630	0.04589712
	Entropía	0.11256377	0.11361900	0.12136095	0.11759260
	Tono de la Imagen	0.03492984	0.03528806	0.03793523	0.03664254
	Urbano/No Urbano	0.04287544	0.04333268	0.04672309	0.04506491
2 imágenes	Porcentaje de acuerdo	0.87469448	0.87464775	0.87413119	0.87411250
	Divergencia de Kullback	0.05727824	0.05728437	0.05740156	0.05746676
	D.Autocorrelación	-0.00002716	-0.00002710	-0.00002665	-0.00002687
3 imágenes	Mejora	0.00400113	0.00415688	0.00522219	0.00456649
	Empeoramiento	0.00910963	0.00931210	0.01089397	0.01025696
	Igualdad Valida	0.87069334	0.87049087	0.86890900	0.86954601
	Igualdad Errónea	0.11619590	0.11604015	0.11497484	0.11563054

Pese a que la estructura de Logroño es compleja, incluyendo zonas dispersas y compactas junto con zonas de expansión de la ciudad, las medidas se decantan con toda claridad hacía el casco urbano 19 como el mejor de todos (8 de 11).

4.4.7. MAJADAHONDA.

Las soluciones para Majadahonda aparecen en la Tabla 75.

Tabla 75. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Majadahonda. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores.

Ciudad		Majadahonda			
Casco Urbano		SMP7	SMS6	SMV4	SMV15
		19	15	11	44
Δ(1 Imagen)	Índice de Moran	0.02479787	0.00774777	0.00045327	0.04382039
	Entropía	0.16160720	0.13116315	0.11810450	0.20177454
	Tono de la Imagen	0.06552948	0.05161481	0.04590156	0.08532569
	Urbano/No Urbano	0.09173858	0.07104276	0.06274554	0.12243354
2 imágenes	Porcentaje de acuerdo	0.76505640	0.77505004	0.78030841	0.75199236
	Divergencia de Kullback	0.09984902	0.09696515	0.09520746	0.10302367
	D.Autocorrelación	-0.00045344	-0.00034784	-0.00037623	-0.00055992
3 imágenes	Mejora	0.00877911	0.00681860	0.00659116	0.01214520
	Empeoramiento	0.04422307	0.03226892	0.02678311	0.06065320
	Igualdad Valida	0.75627729	0.76823144	0.77371725	0.73984716
	Igualdad Errónea	0.19072052	0.19268104	0.19290848	0.18735444

El casco urbano de Majadahonda es de una mayor compacidad que otros anteriores (como Logroño), en cuyo caso, el tratamiento aplicado por la metodología indicada debería ser mejor, en este caso, las medidas se decantan por la solución 11 (8 de las 11 medidas la destacan del resto).

4.4.8. MENGÍBAR.

Las soluciones indicadas para el caso de Mengíbar aparecen en la Tabla 76.

Tabla 76. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Mengíbar. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores.

Ciudad		Mengíbar			
Casco Urbano		SMP14	SMP15	SMV11	SMV15
		40	43	32	44
Δ (1 Imagen)	Índice de Moran	-0.02444404	-0.01780449	-0.03627382	-0.02950905
	Entropía	-0.00142582	0.00235100	-0.00833791	-0.00402360
	Tono de la Imagen	-0.00131334	0.00218890	-0.00753646	-0.00367957
	Urbano/No Urbano	-0.00284257	0.00476212	-0.01616393	-0.00793638
2 imágenes	Porcentaje de acuerdo	0.95324622	0.95517467	0.95104624	0.95233187
	Divergencia de Kullback	0.01765714	0.01703208	0.01828386	0.01792809
	D.Autocorrelación	-0.00002677	-0.00002636	-0.00002751	-0.00002705
3 imágenes	Mejora	0.02082502	0.02354036	0.01661347	0.01918473
	Empeoramiento	0.00833444	0.00912134	0.00632287	0.00760850
	Igualdad Valida	0.93242120	0.93163430	0.93443277	0.93314714
	Igualdad Errónea	0.03841934	0.03570399	0.04263089	0.04005963

El casco urbano de Mengíbar, posee unas soluciones con una mayor variabilidad, lo que muestra una distribución similar a la de otros cascos urbanos de menor tamaño. En este caso, sin embargo, las cosas están algo más claras. La solución 43 posee tanto un mayor número de indicadores más adecuados, y en aquellos peores, como el parámetro de Igualdad válida, tiene valores similares con la 40.

4.4.9. PAMPLONA.

Las indicaciones de las medidas evaluadoras aparecen en la Tabla 77.

Tabla 77. Resultados de las medidas evaluadoras mostrados para Pamplona. En verde aparecen las soluciones consideradas como mejores.

Ciudad		Pamplona			
Casco Urbano		SMP1	SMP14	SMS4	SMV6
		1	40	9	17
Δ(1 Imagen)	Índice de Moran	-0.58478023	0.03808316	0.02320482	0.02527257
	Entropía	0.10384587	0.12646684	0.10652771	0.10814798
	Tono de la Imagen	0.03024065	0.03751566	0.03108944	0.03160401
	Urbano/No Urbano	0.03613787	0.04519701	0.03718726	0.03782441
2 imágenes	Porcentaje de acuerdo	0.87562940	0.87198778	0.87500548	0.87487704
	Divergencia de Kullback	0.19698875	0.05888783	0.05779241	0.05783103
	D.Autocorrelación	0.00139829	-0.00049757	-0.00053018	-0.00052569
3 imágenes	Mejora	0.00286830	0.00468398	0.00297971	0.00301927
	Empeoramiento	0.00854734	0.01401277	0.00929081	0.00961231
	Igualdad Valida	0.87276110	0.86730381	0.87202577	0.87185777
	Igualdad Errónea	0.11582326	0.11399945	0.11570371	0.11551065

El casco urbano de Pamplona es otra de las urbes con distribución compleja respecto de la actual metodología empleada, sin embargo, las medidas evaluadoras proponen la

utilización de la imagen con una menor generalización, casi como una simple reducción del 1/25000 a escala 1/50000 sin ninguna modificación pertinente. Por esta razón se elegirá la solución 1 como la más adecuada.

4.4.10. RESUMEN DEL ANÁLISIS DE LA MEDIDAS EVALUADORAS.

El procedimiento dado por las medidas evaluadoras es un mecanismo más objetivo que el aportado por los expertos, aunque, en algunos casos sea difícil la decisión entre dos soluciones.

El resumen de las mejores soluciones indicadas aparecen en la Tabla 78, donde se ha seleccionado una única solución para cada casco urbano excepto para Bilbao, donde la distinción entre ambos resultados no era clara.

Tabla 78. Resumen de las mejores soluciones indicadas por las medidas evaluadoras. La aparición de dos soluciones indica la imposibilidad de distinción entre ambas.

Ciudad	Mejor Solución	
	Descriptor	Número
Almería	SMS14	39
Bilbao	SMP9	25
	SMV10	29
Burgos	SMV14	41
Jaén	SMP15	43
La Carolina	SMP9	25
Logroño	SMP7	19
Majadahonda	SMV4	11
Mengíbar	SMP15	43
Pamplona	SMP1	1

A la vista de la Tabla 78, se observa que los resultados son dispares, apareciendo soluciones con todos los grados de generalización (1 a 15) y con todos los algoritmos (SMP, SMS y SMV).

En cualquier caso, y, tal y como se apuntó en el apartado 4.3.10 de resumen de los resultados de los expertos, el algoritmo SMP es el más indicado, pues su comportamiento se adapta en mejor medida a cualquier tipología urbana.

4.5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS EXPERTOS FRENTE AL RESULTADO DE LAS MEDIDAS EVALUADORAS.

Se realizará ahora un análisis de las mejores soluciones que han indicado los expertos y las medidas evaluadoras, ya que la coincidencia entre ellas mostraría que las medidas propuestas son coherentes con, un experto modal, y, por tanto, pueden permitir un análisis más objetivo y eficiente que la encuesta propuesta. En cualquier caso, y aunque permita decidir cuál es la mejor solución no aportarán información adicional como los comentarios o zonas de conflictos de las soluciones utilizadas.

El resumen de resultados aparece en la Tabla 79, donde se ha incluido para Jaén la primera y segunda mejor solución indicadas por las medidas evaluadoras.

Tabla 79. Comparativa de las mejores soluciones indicadas por los expertos y las indicadas por las medidas evaluadoras.

Ciudad	Solución Expertos		Solución Medidas	
	Descriptor	Número	Descriptor	Número
Almería	SMS14	39	SMS14	39
Bilbao	SMP14	40	SMP9	25
			SMV10	29
Burgos	SMV14	41	SMV14	41
Jaén	SMP7	19	SMP15	43
			SMP7	19
La Carolina	SMV6	17	SMP9	25
Logroño	SMP7	19	SMP7	19
Majadahonda	SMV4	11	SMV4	11
Mengíbar	SMP15	43	SMP15	43
Pamplona	SMP1	1	SMP1	1

Si se observa la Tabla 79 se puede ver como 6 de 9 soluciones coinciden plenamente con los expertos, y, el caso de Jaén coincide con la segunda mejor solución aportada. Frente a este comportamiento esperanzador tenemos el ejemplo de Bilbao, donde ninguna de las indicaciones de las medidas obtiene un buen representante y La Carolina, donde no coinciden en absoluto.

En cualquier caso la obtención de 6 de 9 soluciones (7 de 9 si se considera la segunda solución para Jaén discutida en el apartado 4.4.4) es un buen porcentaje que indica que el conjunto de todas las medidas propuestas se comporta como un experto modal con la ventaja de que su obtención a partir de los cascos urbanos es de apenas unos segundos.

Debido a que las medidas evaluadoras no indican el número de conflictos, pero, sin embargo, los conflictos están guiados por errores en la generalización, y, por tanto, una distinción respecto del casco urbano generalizado, se debería reflejar en una relación proporcional entre las medidas evaluadoras y los conflictos mostrados. Esta relación aparece en la Tabla 80.

Tabla 80. Comparativa de las mejores soluciones extraídas a partir del número de conflictos y las indicadas por las medidas evaluadoras.

Ciudad	Solución de menor conflictos por los expertos		Solución Medidas	
	Descriptor	Número	Descriptor	Número
Almería	SMP9	25	SMS14	39
Bilbao	SMV14	41	SMP9	25
			SMV10	29
Burgos	SMV15	44	SMV14	41
Jaén	SMP7	19	SMP15	43
			SMP7	19
La Carolina	SMP9	25	SMP9	25
Logroño	SMP7	19	SMP7	19
Majadahonda	SMV4	11	SMV4	11
Mengíbar	SMP14	40	SMP15	43
	SMV11	32		
Pamplona	SMP1	1	SMP1	1

El análisis de la Tabla 80 muestra que 5 de 9 elementos coinciden, siendo de especial interés la coincidencia existente entre la solución con menor número de conflictos para La Carolina y la indicada por las medidas evaluadoras, ya que era uno de los casos que anteriormente estaban completamente en desacuerdo. El valor de coincidencia puede aumentar a 7 si se tiene en cuenta las mínimas diferencias existentes entre la solución de Mengíbar SMP14 y SMP15 y entre la de Burgos SMV15 y SMV14.

Las indicaciones del párrafo anterior junto con lo mostrado en la relación entre la solución modal de los expertos y la solución aportada por las medidas evaluadoras indican que el conjunto de medidas evaluadoras no emula completamente al experto modal sino a un experto medio entre conflictos y modal. Por tanto, las medidas evaluadoras son consideradas de gran importancia para la determinación de la mejor solución.

4.6. ANÁLISIS DEL RESULTADO DE LAS SOLUCIONES TRAS LOS AJUSTES REALIZADOS.

Desde el punto de vista llevado a cabo en esta tesis doctoral, el motor de generalización que aparece en la Figura 70, que incluye los tres procesos de ajuste, supone una definición adecuada para los propósitos marcados en los objetivos de esta tesis. Como ejemplo de ello se ha aplicado al caso de la ciudad de Jaén (Anejo 10). El proceso anterior, tal y como se ha indicado en diversos apartados anteriores, nunca puede ser definitivo, por lo que se hace indispensable la revisión manual del resultado (mostrado en el Anejo 11). La evaluación de esta solución debe realizarse utilizando los siguientes criterios:

- Las mejoras del resultado obtenido de forma automática tras el último proceso de ajuste frente a los resultados obtenidos anteriormente.
- La economía del proceso de revisión manual.

Con respecto al primer aspecto, se ha realizado un análisis visual pormenorizado de los conflictos existentes en esta solución y se ha comparado con la considerada como válida antes del último ajuste. El análisis realizado muestra una disminución de conflictos debido a dos causas fundamentales, la primera la exageración correcta y eliminación de objetos de superficie mínima provoca una mejora en el mapa generalizado automáticamente. En segundo lugar, la posterior revisión manual elimina todos los conflictos detectados por el operador, por lo que la valoración que realizaría el grupo de expertos mejoraría enormemente. Si bien este último proceso de revisión manual aumente también en gran medida el tiempo de trabajo, debido a que el tiempo de cálculo necesario fue de unos 30 minutos desde el inicio del proceso al final del mismo, sin embargo, el tiempo de revisión se extendió a algunas horas para asegurar la eliminación del mayor número de conflictos.

En relación a la economía del proceso de revisión manual, este ha supuesto la reconstrucción de cierto número de calles, la simplificación de los edificios manteniendo la estructura urbana y el peso visual. Ambos aspectos pueden ser realizados de manera automática por el motor de generalización en el momento en que se disponga de suficiente información experta para incluir todos los procesos realizados por el cartógrafo. Toda la fase de revisión manual se realiza dentro de un entorno

interactivo que permite observar todas las modificaciones que se va generando en la solución a partir de las decisiones tomadas por el cartógrafo.

Desde el punto de vista de la implementación de esta propuesta en un proceso cartográfico productivo, se debería atender al esfuerzo global (tiempo y recursos) en su conjunto. Considerando que los recursos necesarios son los mismos disponibles por la organización donde va a ser empleado, la valoración puede realizarse únicamente desde el punto de vista temporal. La Tabla 81 presenta esta valoración para el caso de Jaén. Los datos de coste temporal de los procesos de revisión manual para la generalización son una estimación de los comentarios realizados por dos organismos productores de España (Instituto Geográfico Nacional e Instituto Cartográfico de Cataluña).

Tabla 81. Comparativa temporal entre los procesos de generalización de dos organismos productores de cartografía y el proceso propuesto en esta tesis doctoral.

Fuente	Tiempo	Tipología urbana
Instituto Geográfico Nacional	2 a 3 días	Casco de ciudad media (100 a 200 mil habitantes) generalización del 1/25000 al 1/50000
Instituto Cartográfico de Cataluña	1 a 2 días	Casco de ciudad media (100 a 250 mil habitantes) generalización del 1/5000 a 1/25000
Tesis doctoral	0.5 días	Casco de ciudad media (100 a 200 mil habitantes) generalización del 1/25000 al 1/50000

4.7. CONCLUSIONES.

En este capítulo, dedicado a los Resultados y Discusión de los mismos, se han presentado cuatro conjuntos de soluciones cartográficas generalizadas (inicial, tras el primer ajuste, tras el segundo ajuste y, finalmente, tras el tercer ajuste). Todas las soluciones se han sometido al análisis crítico y valoración por parte de distintos expertos. Este proceso básico de generación de resultados, análisis y ajuste del sistema se ha iterado tres veces, lo que ha permitido la mejora de aspectos como la simplificación y restauración de elementos.

Finalmente, se ha realizado un proceso completo de generalización sobre el casco urbano de la ciudad de Jaén, el cual ha permitido demostrar la calidad final del producto

obtenido semiautomáticamente, y la competitividad en los costes y tiempos de producción.

Conclusiones

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones de cualquier investigación deben contener los aspectos más importantes de la misma, haciendo especial hincapié en aquellos elementos relevantes o de innovación obtenidos durante el trabajo realizado. Por esta razón, el desarrollo lógico de las conclusiones debe seguir el mismo empleado durante todo el documento. A pesar de todo, es necesario que el capítulo dedicado a las mismas pueda actuar como un texto independiente que permita su lectura aislada.

Sin embargo, y antes de entrar en detalle, se hace necesario indicar el grado de cumplimiento que se ha obtenido en los objetivos de esta tesis doctoral ha sido elevado, aunque evidentemente, como en cualquier trabajo, es necesario realizar posteriores investigaciones en las líneas indicadas en capítulos anteriores y el apartado 5.4 de este capítulo:

- Con respecto al sistema de segmentación del casco urbano se ha conseguido un mecanismo adecuado basado en distancias que separa los distintos objetos de las zonas urbanas, aunque será necesario realizar estudios para poder clasificar las zonas obtenidas.
- Por su parte, el motor de generalización presentado es aplicado con parámetros globales (dependientes del caso de generalización empleado) y locales (obtenidos a partir de los atributos calculados para cada objeto), sobre un conjunto de objetos locales que en la actualidad está formado por las manzanas del casco urbano obteniendo los resultados que serán comentados en los siguientes apartados de este capítulo.
- Finalmente, las medidas evaluadoras han dado unos resultados buenos comportándose de forma similar a los indicados por los expertos. Sin embargo, cuando sólo se dispone de la solución original, pese a indicar de forma correcta las más adecuadas, es necesario un refuerzo con alguna otra medida de evaluación.

Todo el proceso se ha llevado a cabo con un conjunto elevado de cascos urbanos, en total 9, distribuidos por diferentes zonas de España y con diferentes tipologías y

tamaños, en concreto se han utilizado las ciudades de Almería, Bilbao, Burgos, Jaén, La Carolina, Logroño, Majadahonda, Mengíbar y Pamplona.

5.1. REQUERIMIENTOS SOBRE LOS DATOS DE PARTIDA.

Para asegurar repetibilidad y posibilidad de obtener resultados similares a los de este trabajo, se considera de importancia incluir este apartado indicando los requerimientos mínimos que se deben imponer a cualquier conjunto de datos originales sobre los que se desee trabajar empleando los procesos desarrollados y los parámetros e indicaciones realizadas en los capítulos 3 y 4. Así, los requerimientos son:

- Asegurar una resolución de 0.1 mm a escala del mapa.
- Clasificación de los elementos en valores ordinales según la importancia del edificio/manzana.
- Referenciación perfecta de las soluciones obtenidas.

5.2. INNOVACIONES.

En este apartado se desglosan, agrupadas por temática, las innovaciones desarrolladas en esta tesis doctoral.

5.2.1. MODELO CARTOGRÁFICO NUMÉRICO RASTER – VECTOR.

Existen diversos modelos de generalización que realizan su tratamiento desde el punto de vista de un cartógrafo experimentado. Sin embargo, en algunos se incluyen conceptos e ideas aplicables al entorno de generalización automática, semiautomática o asistida. En cualquier caso, el modelo de representación raster aparece como un añadido a los modelos convencionales vectoriales en la generalización, tratándolos sólo como modificaciones de los atributos (valores o niveles digitales de las imágenes raster), y sin concederles otras características esenciales como mecanismos de selección, etc.

En la tesis doctoral se han desarrollado numerosos algoritmos para la creación de entidades a partir de los requerimientos indicados y tratando de suplir los defectos en los modelos conceptuales de generalización, dando lugar a un conjunto de elementos (manzanas, redes de adyacencia, calles y ejes axiales) que se encuentran más cerca de las concepciones del cartógrafo, extrayendo así la información implícita en la imagen. A

este nuevo conjunto de imágenes, datos vectoriales y topologías de objetos se la ha denominado Base Cartográfica Numérica Raster – Vector (BCNRV), pudiendo verse su diagrama Entidad – Relación en la Figura 47.

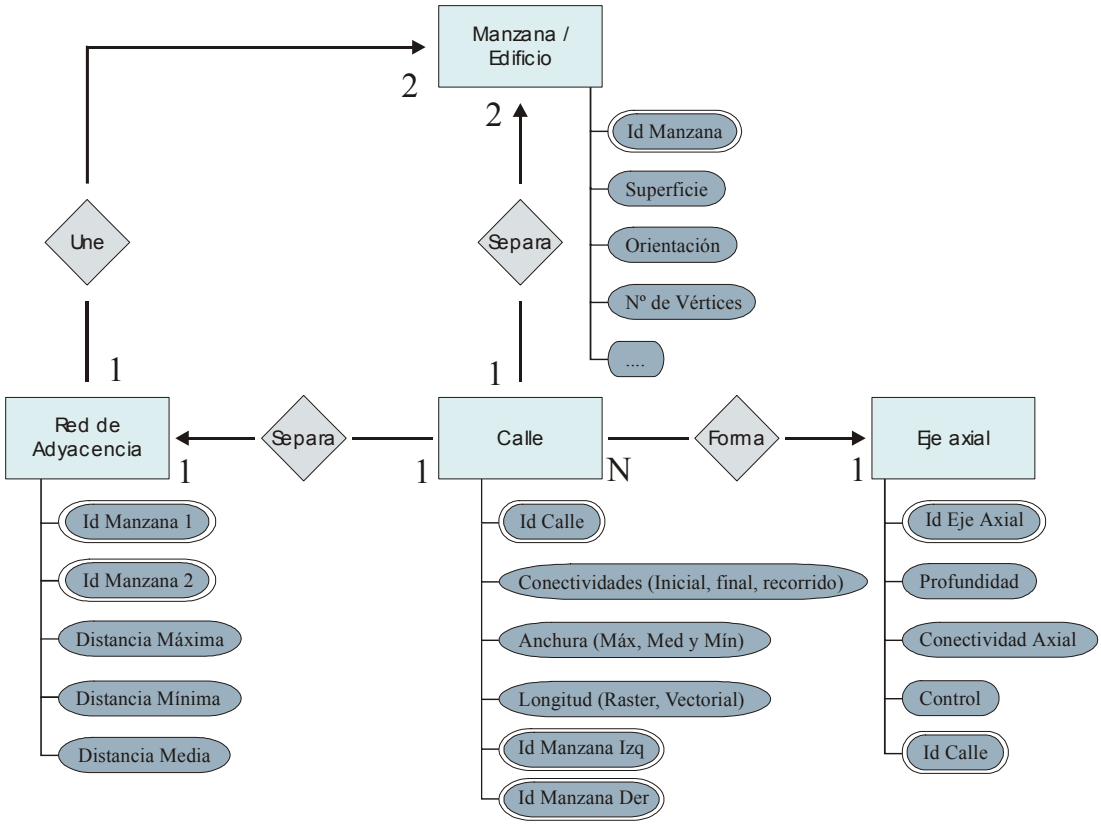


Figura 71. Modelo E-R desarrollado en las imágenes originales para la obtención de la BDNRV.

Los resultados obtenidos muestran que los dos parámetros básicos en el proceso de determinación de la BCNRV son la tolerancia máxima de cierre urbano y el ángulo máximo del eje axial, determinando el primero una zonificación inicial del casco urbano y el segundo los viales.

Las experiencias desarrolladas demuestran que tanto uno como otro son parámetros poco sensibles a variación, es decir, proveen soluciones adecuadas para grandes rangos de valores. Sin embargo, y después de múltiples pruebas, se fijó el parámetro de cierre urbano en 50 m y el de ángulos en 20º, estas soluciones muestran una asociación correcta de viales y una distribución de zonas coherentes con la realidad.

La obtención de las entidades, junto con sus posteriores atributos han supuesto uno de los procesos más complejos dentro del sistema de generalización propuesto, el esquema

de flujo de datos empleado en el proceso de determinación de la BCNRV aparece en la Figura 48.

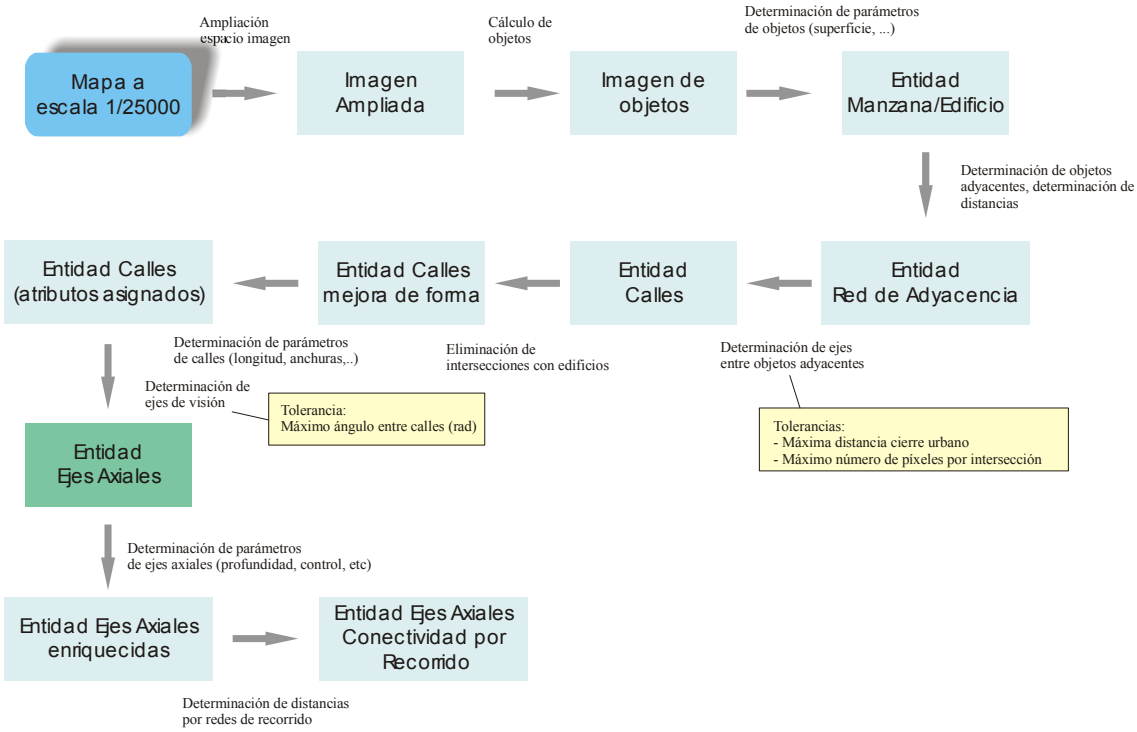


Figura 72. Esquema del proceso de enriquecimiento de la imagen para obtener una BCNRV.

5.2.2. MOTOR DE GENERALIZACIÓN.

Se ha desarrollado un conjunto de algoritmos que pueden trabajar sobre diversos elementos del casco urbano aplicando los operadores indicados en los diferentes modelos conceptuales de generalización pero aplicados a la BCNRV. Lo que se ha denominado motor de generalización consiste en la interpretación realizada según lo indicado por los autores de los modelos conceptuales y la propia retroalimentación del análisis visual, de expertos y de medidas, plasmado en un conjunto de operadores aplicables sobre la BCNRV. Los procesos y operadores han sido implementados tanto en bloque como de forma independiente, de manera que se han realizado diversas pruebas de parámetros de selección de datos (en función de calles, ejes axiales, redes de adyacencia y manzanas) para determinar cuales eran los más útiles para la obtención de resultados coherentes.

El estudio de los modelos de generalización ha llevado al conocimiento de los parámetros esenciales empleados en el motor de generalización, dentro de ellos se

pueden citar: las mínimas distancias interobjetos, las superficies mínimas cartografiables, etc. Así como la necesidad, muy importante, del concepto de Armonización (Cuenin, 1972). Todo ello aplicado al entorno de representación raster como una alternativa a los procesos llevados a cabo en entorno vectorial.

Los resultados, tras las modificaciones propuestas por los expertos en la fase de resultados pueden verse en la Figura 73.

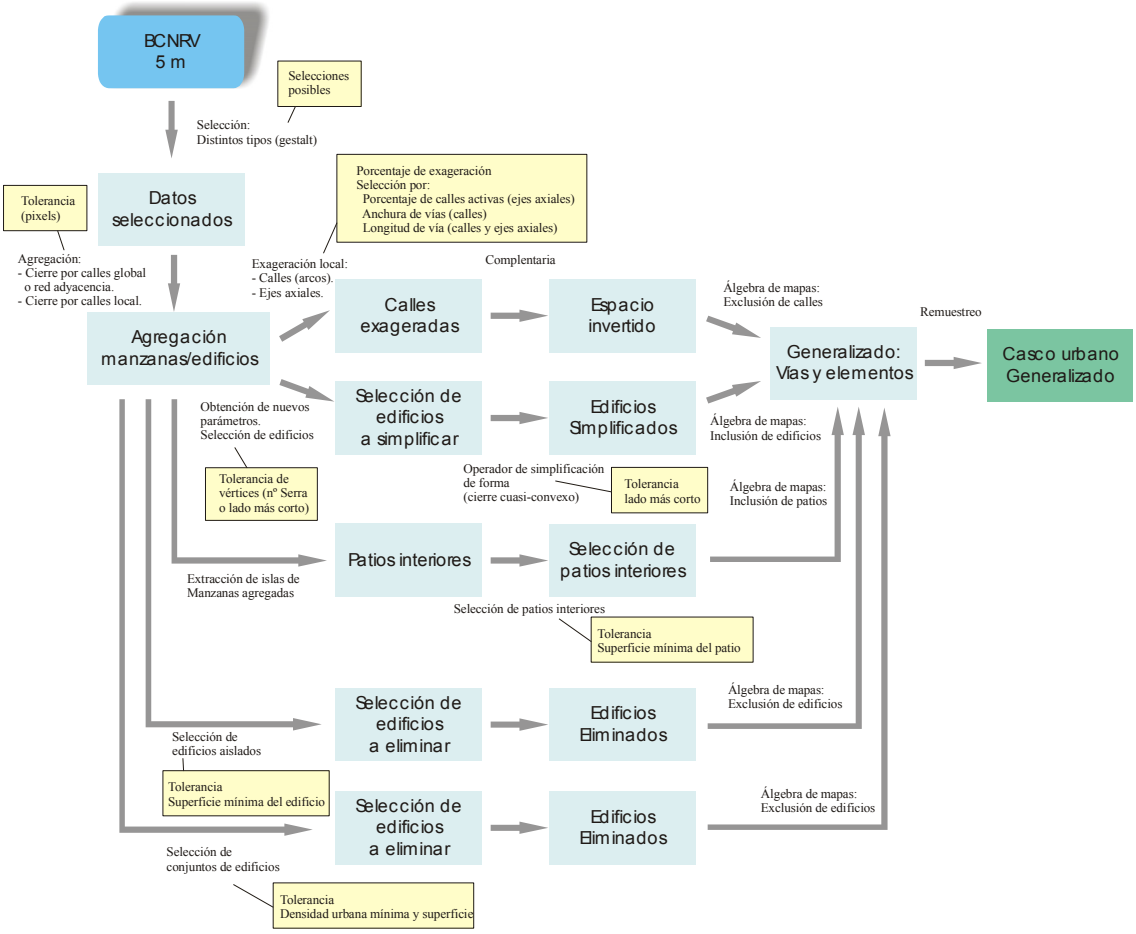


Figura 73. Motor de generalización con las modificaciones propuestas por el grupo de expertos.

Las leyes de asociaciones perceptivas han sido empleadas como un elemento muy importante para la determinación de las similitudes entre objetos, y, por tanto, de la forma de unificación cuasi-local y de determinación del contexto empleado para la generalización por parte del cartógrafo. Por esta razón, se han utilizado para la selección de los diferentes objetos. El empleo de grafos para el enlace de elementos es una de las prioridades tenidas en cuenta en la BCNRV, realizando las posibles selecciones utilizando los arcos de esos grafos (Primer proceso tras la BCNRV de la Figura 73).

Sin embargo, la necesidad de experiencias previas del sistema para dotarlo del conocimiento aplicado por el cartógrafo es una tarea que todavía está lejos de conseguirse con este motor desarrollado, y por lo tanto, será incompleto, por lo que se ha optado por desarrollar un sistema semiautomático.

5.3. RESULTADOS OBTENIDOS.

Los resultados comentandos han sufrido un mínimo de tres revisiones por parte de un conjunto de investigadores independientes, en primer lugar por personal de la propia Universidad de Jaén y posteriormente por personal de otras universidades y de instituciones de cartografía españolas. Este proceso ha supuesto una larga tarea y ha superado los resultados y consultas realizadas por otros procesos similares de organismos internacionales como los de Ruas (2001) para la OEEPE.

Los análisis de las indicaciones realizadas por el grupo de expertos permitieron extraer las siguientes conclusiones:

- Ciudades como Almería, Burgos o Bilbao, todas ellas con una extensión superficial similar en las imágenes tratadas emplean algoritmos con el mismo grado de generalización.
- Ciudades intermedias o, de menor tamaño, como Jaén, La Carolina, Logroño y Majadahonda, utilizan un grado de generalización menor que el anterior (se estima en un valor medio). Aunque el caso de Logroño puede ser considerado una excepción a esta regla.
- Ciudades bien planificadas y con amplias avenidas no necesitan casi procesos de generalización, como por ejemplo en Pamplona.
- Los cascos urbanos con formas regulares (La Carolina y Majadahonda) se comportan mejor ante algoritmos de selección por vértices. El resto de cascos urbanos funcionan mejor empleando algoritmos con selección por perímetros. Esto podría indicar que las zonas mas regulares de la ciudad funcionan mejor empleando amalgamaciones de objetos similares en vértices (y por tanto en forma) y que el resto de zonas se comporta mejor empleando objetos similares en redondez (por

el perímetro). El caso de Burgos es una excepción a esta regla, ya que posee zonas de todo tipo.

- Se da una prioridad visual a la zona edificada frente a la no edificada. Esto aumenta la densidad visual del conjunto del casco urbano.
- El efecto indicado en el párrafo anterior también aparece en diferentes zonas del casco urbano, por lo que, pese a que el aspecto entre la imagen original y la generalizada sea de similitud global, la densidad o nivel de ocupación del suelo se observa diferente en zonas distintas de la ciudad.
- Los algoritmos de amalgamación no deben nunca olvidar dos conflictos, el primero es el estrechamiento de calles (mejorable empleando un porcentaje mayor de exageración) y el segundo la continuidad de las calles de importancia (sólo solventable empleando indicaciones y revisión manual).

Según se ha demostrado en el capítulo 4, las indicaciones dadas por las medidas evaluadoras son un mecanismo más objetivo que el aportado por los expertos, aunque, en algunos casos sea difícil la decisión entre dos soluciones. Los resultados indicados muestran que 6 de 9 soluciones coinciden plenamente con los expertos, y, el caso de Jaén coincide con la segunda mejor solución aportada. Frente a este comportamiento esperanzador tenemos el ejemplo de Bilbao, donde ninguna de las indicaciones de las medidas obtiene un buen representante y La Carolina, donde no coinciden en absoluto. En cualquier caso este grado de acierto indica que el conjunto de todas las medidas propuestas se comporta como un experto modal con la ventaja de que su obtención a partir de los cascos urbanos es de apenas unos segundos.

Debido a que las medidas evaluadoras no indican el número de conflictos pero, sin embargo, los conflictos están guiados por errores en la generalización, y, por tanto, una distinción respecto del casco urbano generalizado, se debería reflejar en una relación proporcional entre las medidas evaluadoras y los conflictos mostrados. El análisis realizado en el capítulo 4 muestra que 5 de 9 elementos coinciden, siendo de especial interés la coincidencia existente entre la solución con menor número de conflictos para La Carolina y la indicada por las medidas evaluadoras, ya que era uno de los casos que anteriormente estaban completamente en desacuerdo. El valor de coincidencia puede

aumentar a 7 si se tiene en cuenta las mínimas diferencias existentes entre las dos soluciones propuestas para Mengíbar y Burgos.

Las indicaciones del párrafo anterior junto con lo mostrado en la relación entre la solución modal de los expertos y la solución aportada por las medidas evaluadoras indican que el conjunto de medidas evaluadoras no emula completamente al experto modal sino a un experto medio entre conflictos y modal. Por tanto, las medidas evaluadoras son consideradas de gran importancia para la determinación de la mejor solución, si bien, sus valores cuantitativos no tienen una significación descriptiva y adolecen de no poder detectar los conflictos.

Durante todo el proceso de resultados se han ido analizando los diferentes parámetros empleados en las distintas partes del motor de generalización, así como al propio motor utilizado, mejorándolo en aspectos como las simplificaciones, la restauración de elementos, etc. Las primeras soluciones entregadas han sido consideradas como aptas para su empleo en sistemas automáticos de generalización para servidores de mapas, sin embargo, se ha continuado el proceso de retroalimentación y mejora con los resultados indicados por los expertos. Estas modificaciones han sido aplicadas para obtener la generalización que se propone como definitiva para casco urbano de Jaén. Posteriormente, y como el proceso se prevé como semiautomático se ha procedido a la aplicación de la revisión manual del mismo para la reconstrucción de calles y simplificación de edificios manteniendo la estructura urbana y el peso visual de las diferentes zonas de la ciudad (siguiendo la recomendación de los expertos). Esta solución aparece en el Anejo 11 y sirve de ejemplo del potencial del motor de generalización propuesto en esta tesis doctoral, que obtiene resultados de calidad cartográfica con una mínima intervención por parte del cartógrafo.

5.4. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Si bien el trabajo que se ha realizado supone un avance sobre lo existente (Revisiones de Ruas, 2000; Determinaciones de zonificaciones de Boffet, 2001, Regnauld, 1998, etc), todavía existen numerosas lagunas a desarrollar en el ámbito de la generalización semiautomática, fundamentalmente se proponen las siguientes líneas de continuación de las investigaciones realizadas en esta tesis doctoral:

1. Estudio de la utilización en el cálculo de las medidas de todas las zonas urbanas dentro del cierre semiconvexo desarrollado en la sección 3.2.3.1.2.2, frente al empleo de toda la imagen.
2. Mejora del almacenamiento y simplificación de los ejes de las calles, sugiriéndose el empleo de una transformada lineal de Hough y extracción de máximos de la misma.
3. Mejora del algoritmo de amalgamación para satisfacer toda la casuística existente.
4. Inclusión de otros parámetros sobre los datos iniciales. Se propone la inclusión del tipo de elemento y una importancia relativa.
5. Aplicación de parámetros zonales y no globales en la selección y generalización de los elementos del casco urbano.
6. Introducción de un conjunto de reglas más elaboradas que incluyan criterios estéticos (p.e. indicar que las formas rectangulares son visualmente más apetecibles que otras formas más complejas).
7. Posible inclusión de un sistema de Inteligencia Artificial que resulte en una mejora significativa de los resultados obtenidos. El mecanismo de aprendizaje de dicho sistema debe ser un sistema sin reglas basado en redes neuronales, puesto que los cartógrafos no poseen un conjunto de normas de generalización estándar. Desde este punto de vista, las redes neuronales deberían disponerse en diferentes conjuntos de neuronas en función de las entradas, salidas, diferentes tipologías urbanas, etc.
8. Investigación en las medidas evaluadoras para la obtención de los conflictos existentes en las imágenes y criterios para obtener una solución adecuada en el caso de no disponer del mapa a las diferentes escalas.

Bibliografía

6. BIBLIOGRAFÍA

Anders, K. H. (2003). "*A Hierarchical Graph-Clustering Approach to find Groups of Objects*". Publication of WG on Map Generalization from International Cartographic Association. Paris.

Anders, K. H.; Sester, M. (2000). "*Parameter-Free Cluster Detection in Spatial Databases and its Application to Typification*". ISPRS. Vol. XXXIII. Amsterdam, 2000.

Ariza F. (1.997-1.998). *Apuntes de Producción Cartográfica*. 2º de Ingeniería en Geodesia y Cartografía. Inéditos.

Ariza, F. (1997). "Uso de la simulación en el control de errores en la rasterización". *Mapping* 39: 24-35.

Ariza, F. (2000). *Calidad en Producción Cartográfica*. Ed. RA-MA. Madrid.

Bader, M. (2001). *Energy Minimization Methods for Feature Displacement in Map Generalization*. Tesis Doctoral de la Universidad de Zurich.

Bergamasco A. (1.991). "Morphological Comparison Applied To Environmental Dynamics". *European Conference on Geographical Information Systems*. pp 756-765.

Bjørke, J. (1997). "Map Generalisation: an information theoretic approach to feature elimination". *Report of the ICA Workshop on Map Generalization. Gälvle (Sweden). ICA. Stockholm*. pp 480-486.

Bosque J. (1.992). *Sistemas de Información Geográfica*. Ed. Rialp. Madrid.

Brassard, G.; Bratley, P. (1997). *Fundamentos de Algoritmia.* Ed. Prentice Hall. Madrid.

Brassel, K.; Weibel, R. (1988). "A review and conceptual framework of automated map generalization". *International Journal of GIS.* Vol. 2(3): 229-244.

Boffet, A. (2001). *Methode De Creation D'informations Multi-Niveaux Pour La Generalisation Cartographique De L'urbain*. Tesis doctoral de la Universidad de Marne La Valle (Francia).

Bujalance, E; Bujalance, J.A.; Costa, A.F.; Martínez, E. (1999). *Elementos de matemática discreta.* Ed. Sanz y Torres. Madrid.

Bundy, G.L.; Jones, C.B.; Furse, E. (1995). "Holistic Generalization of Large Scale Cartographic Data". *GIS and generalization - Methodology and Practice*. GISDATA 1, Jean-Claude Müller, Jean-Philippe Lagrange y Robert Weibel (Editores). pp.107 – 119.

Carver, S.; Brunsdon, C. (1994). "Vector to raster conversion error and feature complexity: an empirical study using simulated data". *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 8 (3): 261-270.

Chrisnan (1989). *The Raster Model*. In Core curriculum in GIS. NCGIA. University of Santa Barbara, CA, USA.

Congalton, R.; Green, K. (1998). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and Practices*. Ed. Lewis Publishers. New York.

Crapper P. (1980). "Errors Incurred in Estimating an Area of Uniform Land Cover Using Landsat". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* 46 (10): 1295-1301.

Crapper P. (1981). "Geometric Properties of Regions with Homogeneous Biophysical Characterictics". *Australian Geographical Studies*, 19 (1): 117-124.

Cuenin, R. (1972). *Cartographie Generale*. *Tome 1. Notions Générales et principes d'élaborations*. Ed. Eyrolles. Paris.

Curran, P. (1995). *Principles of remote sensing*. Ed. Longman. London.

Davis, E.; Foote, F.; Anderson, J.; Mikhail, E. (1981). *Surveying. Theory and Practice*. 6th Edition. Ed. McGraw-Hill. New York.

Dirichlet, G.L. (1850). "Uber die Reduction der positiven quadratischen Formen mit drei unbestimmten ganzen Zahlen". *J. Rein Angew Math.*,142: 209-227

Ehlers, M. (1991). "Integration of remote sensing and GIS: data and data access". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55(11):1619-1627.

Ellis, W. D. (1938). *Source Book of Gestalt Psychology*. Ed. Harcourt, Brace and Co. New York.

Foley, H. J. (2004). "Perception (Psychology)". *Article from Encarta*. Microsoft Corporation, 1997 – 2004. http://encarta.msn.com

García, J. (1998). *Generalización de elementos lineales mediante algoritmos en el dominio de espacial y de la frecuencia*. Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería en Geodesía y Cartografía. Universidad de Jaén.

Giordano, A.; Veregin, H. (1994). *Il controllo di qualitá nei sistemi informativi territoriali*. Il Cardo editore, Venecia.

Goodman, J.; O'Rourke, J. (1997). *The handbook of Discrete and Computational Geometry*. Ed. CRC Press.

Henning, S. (1991). "Spatial Autocorrelation in Vector-topological Geographical Information System". *European Conference on Geographical Information Systems*. pp 1252-1261.

Hesse, W. (1991). *Object-oriented Concepts for Land and Geographic Information Systems.* Tesis doctoral de la Universidad de Melbourne (Australia).

Iribas, F. (1997). "Obtención del MTN50 por generalización cartográfica del MTN25 Digital". Mapping 38: 22-29.

Iribas, F. (2000). *Diseño y elaboración de un procedimiento interactivo de obtención del mapa topográfico nacional a escala 1:50000 por generalización cartográfica del MTN 1:25000*. Tesis doctoral de la Universidad de Cantabria (España).

Jaakkola, O. (1998). "Multi-Scale categorical data bases with automatic generalization transformations based on map algebra". *Cartography and Geographic Information systems*. Vol. 25 (4): 195-207.

Joäo, E.M. (1998). *Causes and consequences of map generalization*. Ed. Taylor and Francis. London.

Jones, Ch.; Bunday, G.; Ware, J. (1995). "Map generalization with a Triangulated Data Structure". *Cartography and Geographic Information Systems*. Vol. 22 (4): 317-331.

Kertész M.; Csillag F.; Kummert A. (1995). "Optimal tiling of heterogeneous images". *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 16 (8): 1397-1415.

Knaap, W. (1992). "The vector to raster conversion: (mis)use in GIS". *Int. Journal of Geographycal Information Systems*, Vol. 6 (2): 159-170.

Kullback S. (1959). *Information theory and statistics*. Ed. Wiley. New York.

Kummert A.; Csillag F. and Kertész M. (1992). "Dirty Quadtrees. Descomposition of variability as a Quality Descriptor in a Soil Database". *EGIS '92. Third European Conference and Exhibition on Geographical Information System*. Munich, Germany, March 23-26, 1.992. Vol. 1: 722-731. EGIS Foundation. Utrecht (The Netherlands).

Lamy S.; Ruas, A.; Demazeau, Y.; Jackson, M.; Mackaness, W.; Weibel, R. (1999). "The Application of Agents in Automated Map Generalisation". *Proceedings of the 19th International Cartographic Conference.* Vol. 2: 1225-1234.

Lee, D. (1995). *Experiment on formalizing the generalization process. Gis and Generalization. Methodology and Practice.* Ed. Taylor and Francis. New York.

Li, Z. (1994). "Mathematical morphology in digital generalization of raster map data". *Cartography*, 23(1): 1-10.

Li, Z.; Su, B. (1995). "Algebraic models for feature displacement in the generalization of digital map data using morphological techniques". *Cartographica,* 32(3): 39-59.

Li, Z.; Su, B. (1997). "Some basic mathematical models for feature displacement in digital map generalization". *Report of the ICA Workshop on Map Generalization. Gälvle (Sweden). ICA. Stockholm.* pp: 452-459.

López-Cuervo, S. (1996). *Topografía (2ª Edición)*. Ed. Mundi Prensa, Madrid.

Luck, M. (1997). "Foundations of Multi Agent Systems: issues and directions". *Knowledge engineering Review.* Vol. 12(3): 307-318.

Lynch T. (1985). *Data Compression Techniques and Applications*. Ed. Lifetime Learning Publications.

Mackaness W. (1995). "Analysis of Urban Road Networks to Support Cartographic Generalization". *Cartography and Geographic Information Systems*. Vol. 22 (4): 306-316.

Maling, D. (1989). *Measurements from Maps.* Ed. Pergamon Press. Oxford.

Matheron, G. (1975). *Random sets and Integral Geometry*. Ed. Wiley. New York.

McMaster, R. (1986). "A Statistical Analysis of Mathematical Measures for Linear Simplification". *The American Cartographer*. Vol. 13 (2): 103-116.

McMaster, R. (1987). "Automated Line Generalization". *Cartographica*, Vol. 24 (2): 74-111.

McMaster, R. (1989). "The integration of simplification and smoothing algorithms in line generalization". *Cartographica,* Vol. 26 (1): 101-121.

McMaster, R.; Monmonier M. (1989). "A conceptual framework for quantitative and qualitative Raster-mode Generalization". *Proceedings GIS/LIS'89. Orlando, Florida*: 390-403.

McMaster, R.; Shea, K. (1.992). *Generalization in Digital Cartography*. Ed. Association of American Geographers. Washington D.C.

Meng, L. (1997). *Automatic Generalization of Geographic Data*. Informe Técnico de VBB Viak para el Ejército de Suecia. 76 pp. (Disponible desde 2002).

Monmonier M. (1983). "Raster-mode area generalization for land use and land cover maps". *Cartographica.* Vol. 20 (4): 65-91.

Morrison, J. (1974). "A theoretical framework for cartographic generalization with emphasis on the process symbolization". *International Year Book of Cartography*. 14: 115-127.

Mulders, M. (1987). *Remote sensing in soil science*. Ed. Elsevier Science publishing company Inc. Amsterdan.

Müller, J. (1991). "Generalization of Spatial data bases". *Geographical Information Systems: Principles and Applications* 1: 457-475.

Müller, J.; Lagrange, J.; Weibel, R. (1995). *GIS and Generalization. Methodology and Practice*. Ed. Taylor and Francis.

Nickerson, B.; Freeman, H. (1986). "Development of a rule-based system for automatic map generalization". *Proceedings Second International Symposium. on Spatial Data Handling*, International Geographic Union, Commission on Geographical Data Sensing and Processing, Williamsville, NY, 1986, 537-556.

OEEPE (1994). Working Group on Generalization. Interim Report May 1994.

Okabe, A.; Boots, B.; Sugihara, K. (1992). *Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams.* Ed. John Wiley, Chichester. England.

O'Rourke, J. (1999). *Comp.graphics.algorithms Frequently Asked Questions.* ftp://cs.smith.edu/pub/orourke.papers/FAQ.gz

Parker J. (1997). *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Pei, S. ; Chang; L. ; Chin, L. (1997). "An efficient class of alternating sequential filters in morphology". *Graphical models and image processing*. Vol. 59 (2): 109-116.

Peña, R. (1998). *Diseño de programas. Formalismo y abstracción*. Ed. Prentice Hall. Madrid.

Peter, B; Weibel, R. (1999). "Using Vector and Raster-Based Techniques in Categorical Map Generalization". *Third ICA Workshop on Progress in Automated Map Generalization. Ottawa.*

Pinilla, C. (1995). *Elementos de Teledetección*. Ed. RA-MA. Madrid.

Pinilla C.; Ariza F.; Borque M. (1.997). "Generalización en sistemas de información teselares". *IV Congreso Internacional de Expresión Gráfica en la Ingeniería.* pp 699-711.

Plazanet, C. (1996). *Enrichissement des bases de dones geographicques: analyse de la géométrie des objets lineaires pour la généralisation cartographique (application aux routes)*. Tesis doctoral de la Universidad de Marne la Vallée (Francia).

Power, C. ; Simms, A. ; White, R. (2001). "Hierarchical fuzzy pattern matching for the regional comparison of land use maps ". *International Journal of Geographical Information Science*, 15 (1) : 77-100.

Powitz, B. (1993). *Zur Automatisierung der kartographishen generalisierung topographischen daten in geo-informations systemen*. Tesis doctoral de la Universidad de Hannover (Alemania). Nr. 185.

Ratajski, L. (1967). "Phénomènes des points de généralisation". *International Year Book of Cartography*, 7: 143-151.

Regnauld, N. (1998). *Généralisation du bâti: Structure spatiale de type graphe et représentation cartographique*. Tesis doctoral de la Universiada de Marne La Vallée (Francia).

Robinson, A.; Sale, R.; Morrison, J; Muehrcke, P. (1987). *Elementos de Cartografía*. Ed. Omega. Barcelona.

Rome, E. (2001). "Simultating Perceptual Clustering by Gestalt Principles". *25th Workshop of the Austrian Association for Pattern Recognition*, ÖAGM/AAPR 2001. Berchtesgade, Germany, Junio 7-8, 2001.

Ruas, A.; Mackaness, W. (1997). "Strategies for urban map generalization". *ICA-Stockholm*: 1387-1394.

Ruas, A. (1999). *Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie*. Tesis doctoral de la Universidad de Marne La Vallée (Francia).

Ruas, A. (2001). *Automatic Generalisation Project : Learning Process from Interactive Generalisation*. Official Publication nº 39. OEEPE (European Organization for Experimental Photogrammetric Research).

Schylberg, L. (1993). *Computational Methods for Generalization of Cargoraphic Data in a Raster Environment*. Tesis doctoral del Instituto Real de Tecnología de Estocolmo (Suecia).

Serra, J. (1982). *Image Processing and Mathematical Morphology Volume 1*. Ed. Academic Press. London.

Sester, M. (2000). "Generalization Based on Least Squares Adjustment". *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. XXXIII. Part B4. pp 931- 938.

Star, J.; Estes, J. (1990). *Geographic Information Systems: an introduction*. Ed Prentice-Hall. Englewooe Cliffs, N.J.

Stentiford, F.; Mortimer, R. (1983). "Some New Heuristics for Thinning Binary Hand printed Characters for OCR". *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics.* Vol. 13, No 1: 81-84.

Su, B.; Li, Z.; Lodwick, G. (1996a). "Algebraic models for the elimination of area features in digital map generalization". *Proceedings of mapping sciences'94*: 297-307.

Su, B.; Li, Z.; Lodwick, G. (1996b). "Building mathematical models for the generalization of spatial data". *Proceedings of Geoinformatics'96* Wuhan Technical University of Technology. 1: 417-424.

Su Bo; Li Z.; Lodwick G.; Müller J. (1997a). "Algebraic models for the aggregation of area features based upon morphological operators". *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 11 (3): 233-246.

Su, B.; Li, Z.; Lodwick, G. (1997b). "Morphological Transformation for the Elimination of Area Features in Digital Map Generalization". *Cartography,* Vol. 26 (2): 23-30.

Su, B.; Li, Z.; Lodwick, G. (1998a). "A morphological model for partial collapse of area features in generalization of spatial data". *Poiker, T. K. and Chrisman, N., 8th International Symposium on Spatial Data Handling '98. Vancouver, BC, Canada*. IGU Geographic Information Science Group: 690-700.

Su, B.; Li, Z.; Lodwick, G. (1998b). "Algebraic models for collapse operation in digital map generalization using morphological operators". *Geoinformatica (An International Journal on Advances of Computer Science for Geographic Information Systems).* 2(4): 359-382.

Thórisson, K. (1994). "Simulated Perceptual Grouping: An Application to Human-Computer Interaction". *Proceedings of the Sixteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. pp: 876 - 881.

Töpfer, F.; Pillewizer, W. (1966). "The principles of selection". *The cartographic Journal*. 3(1), pp: 10-16.

Ureña, M. A. (1998). Generalización de Cascos Urbanos en formato Raster. *Proyecto Fin de Carrera de Ing. en Geodesia y Cartografía.* Universidad de Jaén.

Ureña, M. A.; Ariza, F. J. (1999). "Generalización del Casco Urbano de la Ciudad de Jáen mediante Morfología Matemática". *Mapping 38:* 20 – 24.

Ureña, M. A.; Ariza, F. J. (2000). "Mathematical Morphology Applied to Raster Generalization of Urban City Block Maps". *Cartographica,* Vol. 37 (1): 33 – 48.

Voronoi, M.G. (1908). "Nouvelles applications des parametres continus a la theorie des formes quadratiques". *J. reine Angew Math.*,142: 198-287.

Webster C. J.; Oltof W.; Berger M. (1992). "Pattern Recognition Techniques for Smart Urban Gis". *EGIS '92. Third European Conference and Exhibition on*

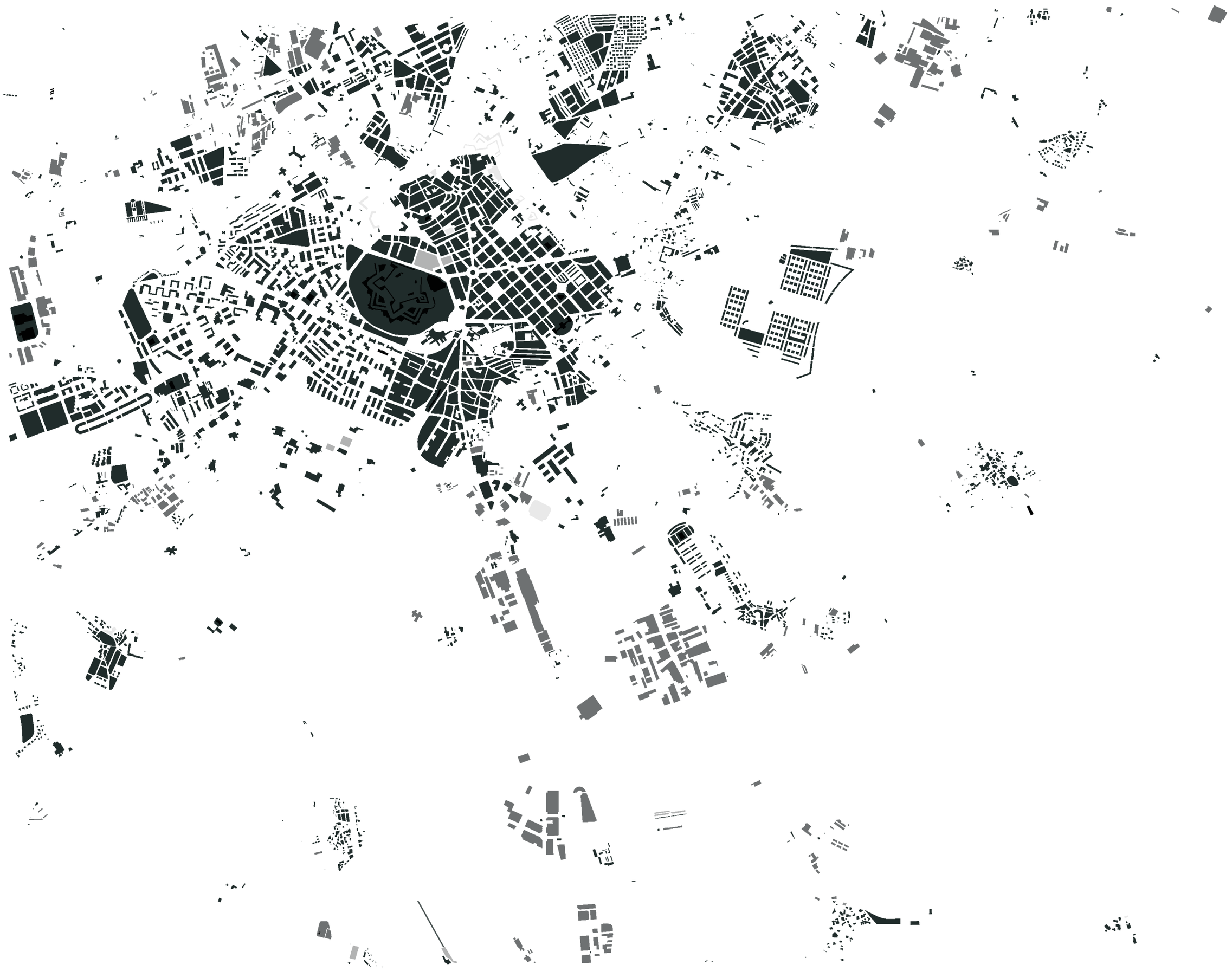
Geographical Information System. Munich, Germany, March 23-26, 1.992. Vol. 2: 930-939. EGIS Foundation. Utrecht (The Netherlands).

Wertheimer, M. (1959). *Productive Thinking (Enlarged Ed.)*. Ed. Harper & Row. New York. (Obra póstuma publicada originalmente en 1945).

Zhang C.; Murayama, Y. (2000). "Testing local spatial autocorrelation using k-order neighbours". *Int. J. Geographical Information Science.* Vol. 14 (7): 681-692.

Anejo 1:
Mapas de los cascos urbanos originales

Pamplona



GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-16
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Almería

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica	
Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría	
Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-1
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Bilbao

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-2
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

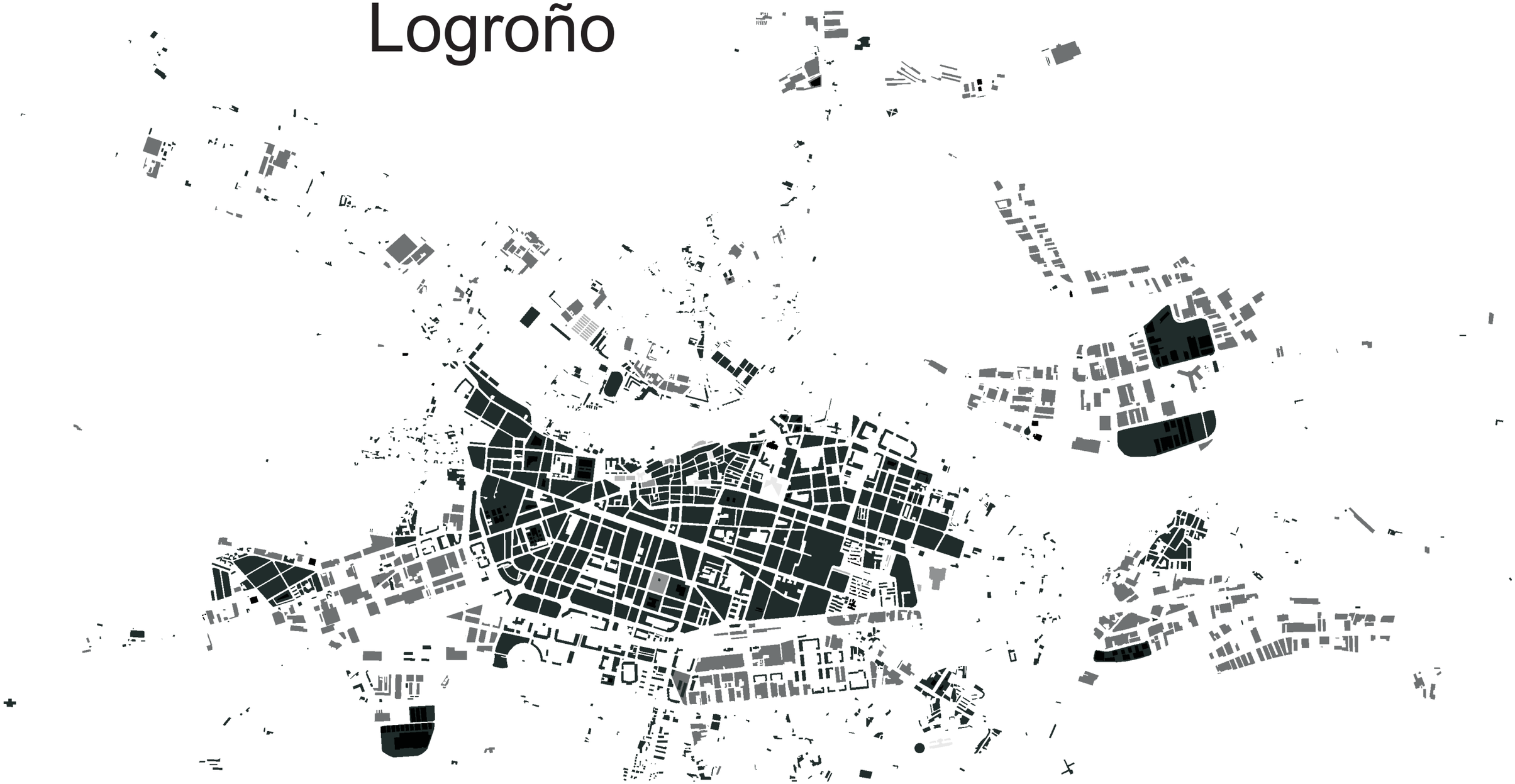
Burgos

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica	
Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría	
Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-4
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Logroño



Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-10
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Bilbao

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación
en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica,
Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-3
Escala:	1 / 50.000	No. Hoja:	1 / 1

Burgos

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-5
Escala:	1 / 50.000	No. Hoja:	1 / 1

Jaén

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-6
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Jaén

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-7
Escala:	1 / 50.000	No. Hoja:	1 / 1

La Carolina

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

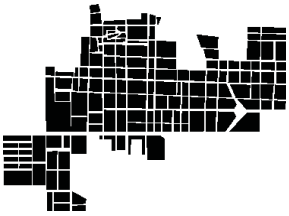
Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-8
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

La Carolina



GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-9
Escala:	1 / 50.000	No. Hoja:	1 / 1

Logroño

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-11
Escala:	1 / 50.000	No. Hoja:	1 / 1

Majadahonda

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-12
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Majadahonda

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-13
Escala:	1 / 50.000	No. Hoja:	1 / 1

Mengíbar

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-14
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Mengíbar

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

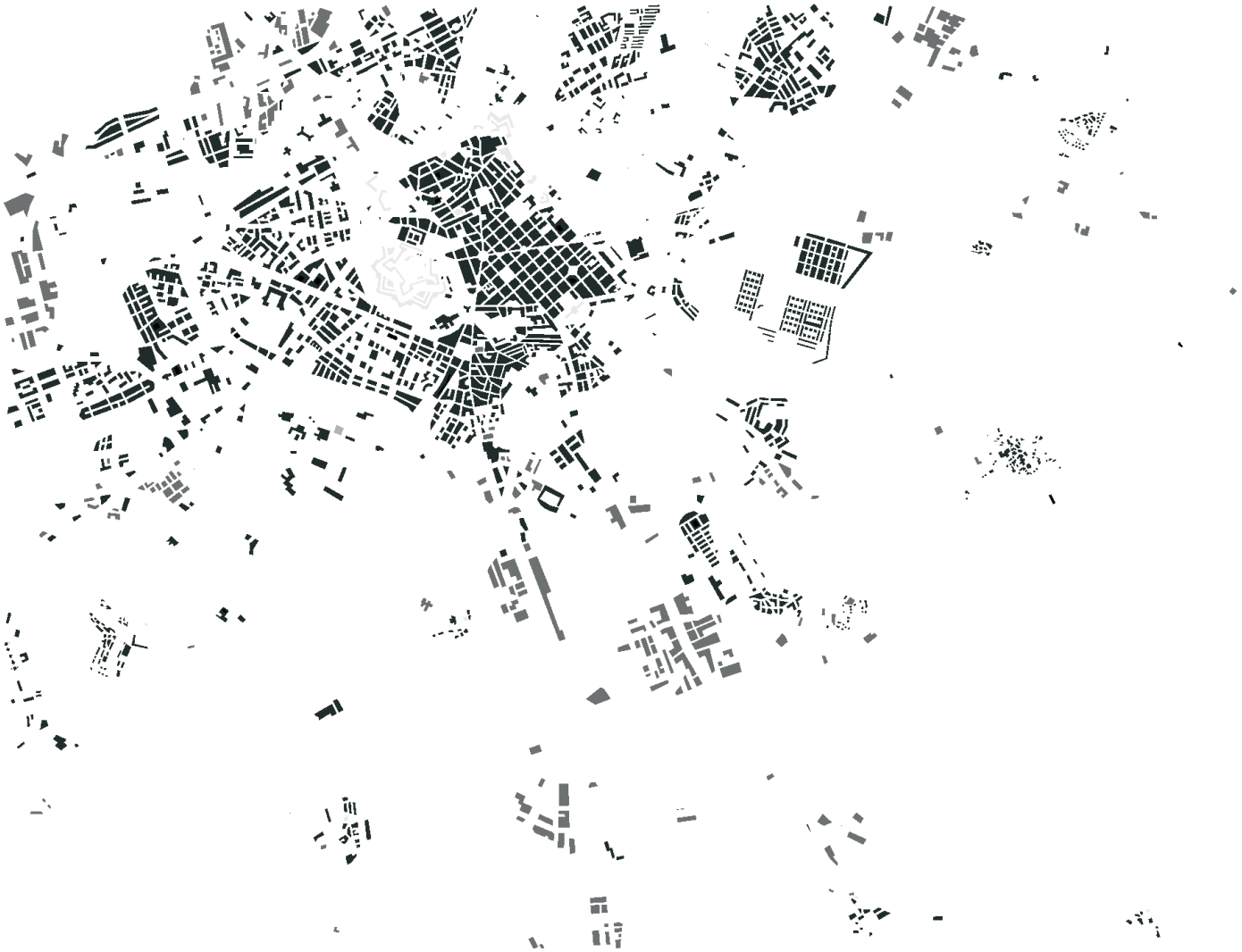
Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-15
Escala:	1 / 50.000	No. Hoja:	1 / 1

Pamplona



GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

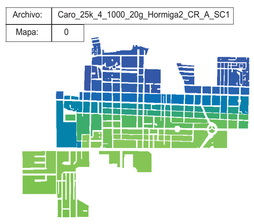
Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A1-17
Escala:	1 / 50.000	No. Hoja:	1 / 1

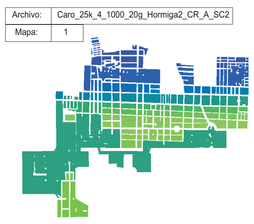
Anejo 2:
Resultados iniciales de La Carolina.

La Carolina

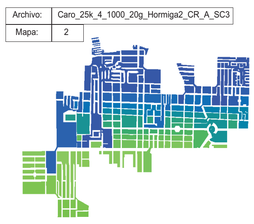
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC1
Mapa:	0



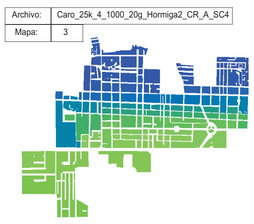
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC2
Mapa:	1



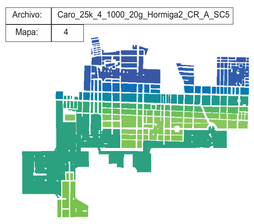
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC3
Mapa:	2



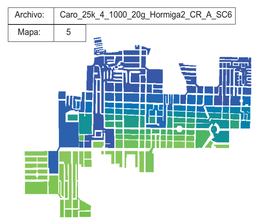
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC4
Mapa:	3



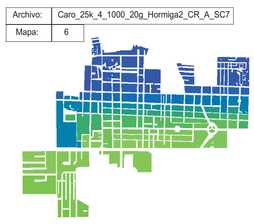
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC5
Mapa:	4



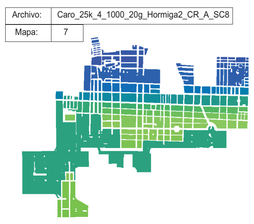
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC6
Mapa:	5



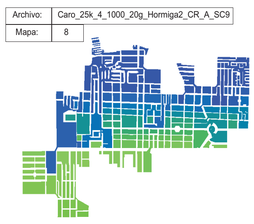
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC7
Mapa:	6



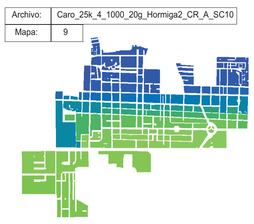
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC8
Mapa:	7



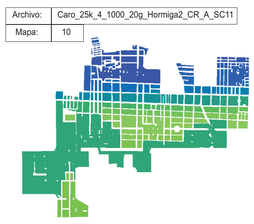
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC9
Mapa:	8



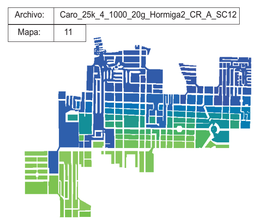
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC10
Mapa:	9



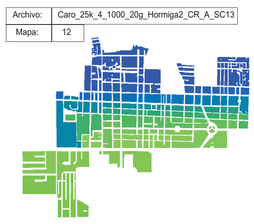
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC11
Mapa:	10



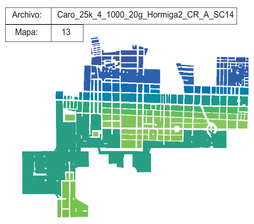
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC12
Mapa:	11



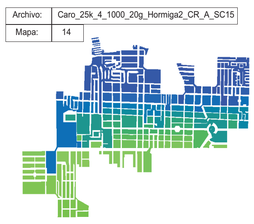
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC13
Mapa:	12



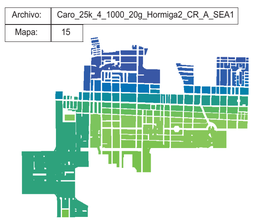
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC14
Mapa:	13



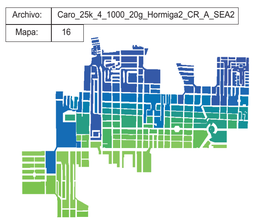
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC15
Mapa:	14



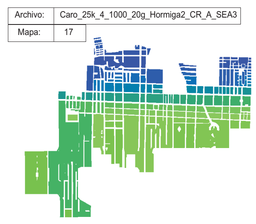
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA1
Mapa:	15



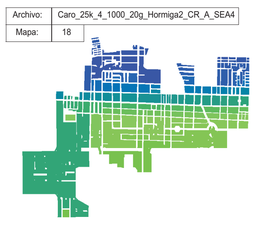
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA2
Mapa:	16



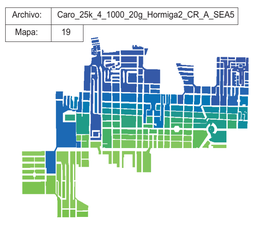
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA3
Mapa:	17



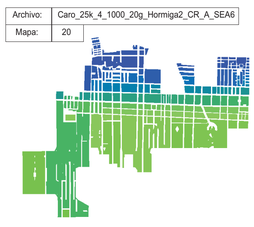
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA4
Mapa:	18



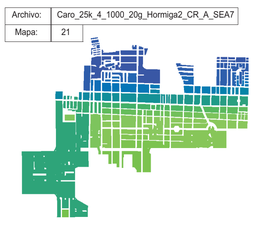
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA5
Mapa:	19



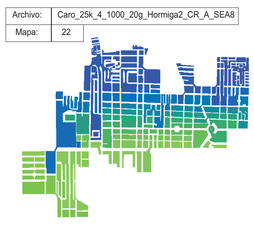
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA6
Mapa:	20



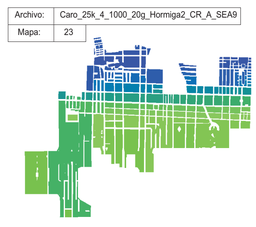
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA7
Mapa:	21



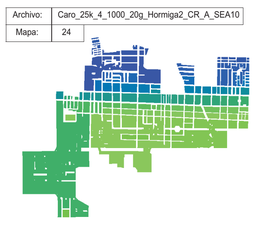
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA8
Mapa:	22



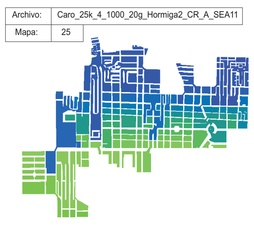
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA9
Mapa:	23



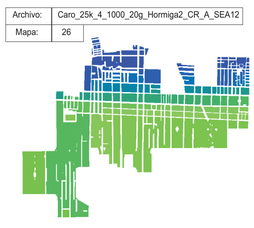
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA10
Mapa:	24



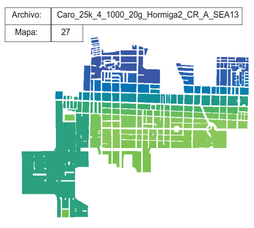
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA11
Mapa:	25



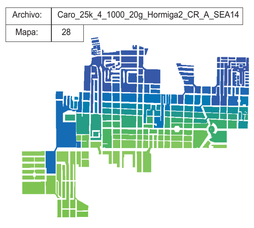
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA12
Mapa:	26



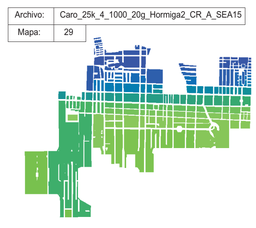
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA13
Mapa:	27



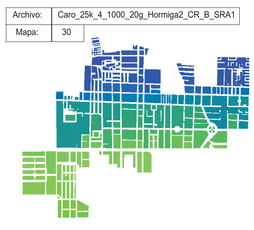
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA14
Mapa:	28



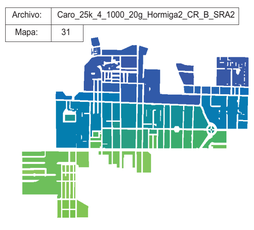
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA15
Mapa:	29



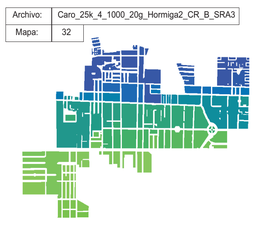
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA1
Mapa:	30



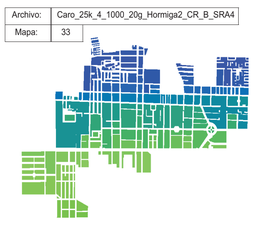
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA2
Mapa:	31



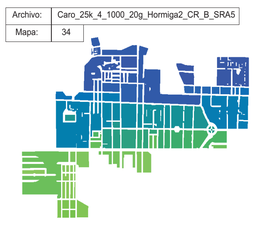
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA3
Mapa:	32



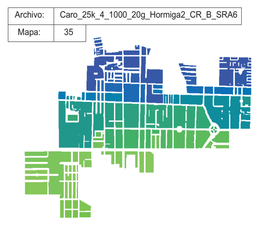
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA4
Mapa:	33



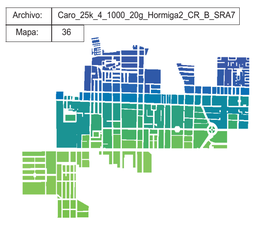
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA5
Mapa:	34



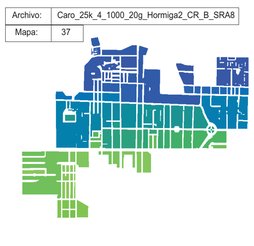
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA6
Mapa:	35



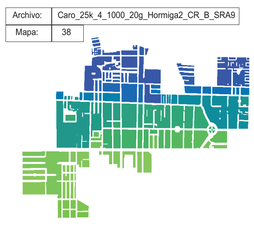
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA7
Mapa:	36



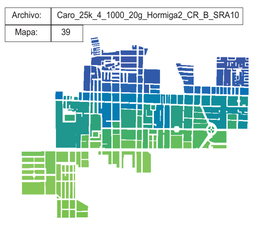
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA8
Mapa:	37



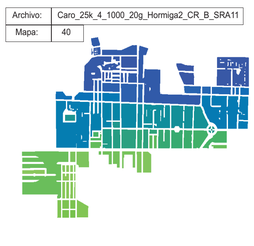
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA9
Mapa:	38



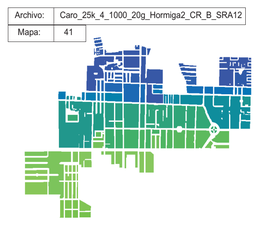
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA10
Mapa:	39



Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA11
Mapa:	40



Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA12
Mapa:	41



Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA13
Mapa:	42

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA14
Mapa:	43

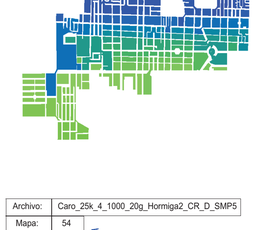
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA15
Mapa:	44

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_C_SC1
Mapa:	45

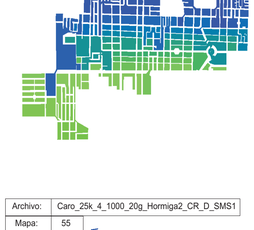
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_C_SC2
Mapa:	46

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_C_SC3
Mapa:	47

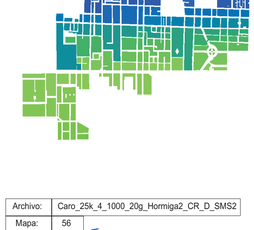
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_C_SC4
Mapa:	48



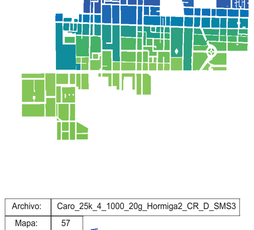
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_C_SC5
Mapa:	49



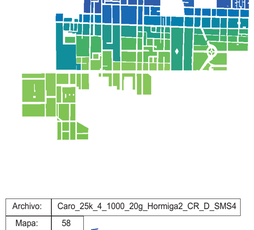
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMP1
Mapa:	50



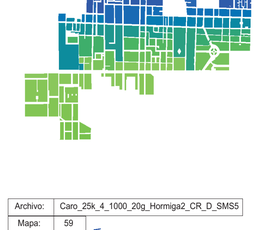
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMP2
Mapa:	51



Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMP3
Mapa:	52



Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMP4
Mapa:	53



Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMP5
Mapa:	54

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMS1
Mapa:	55

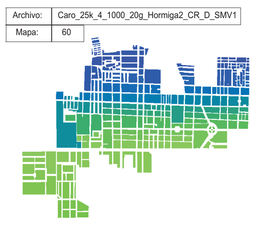
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMS2
Mapa:	56

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMS3
Mapa:	57

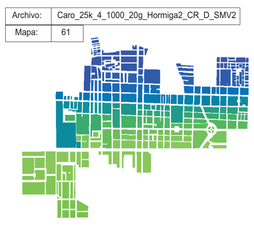
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMS4
Mapa:	58

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMS5
Mapa:	59

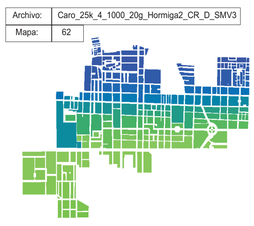
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMV1
Mapa:	60



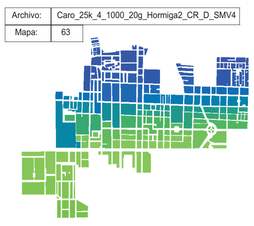
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMV2
Mapa:	61



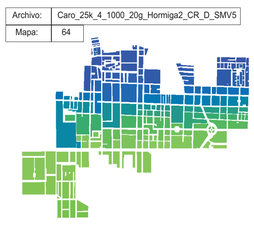
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMV3
Mapa:	62



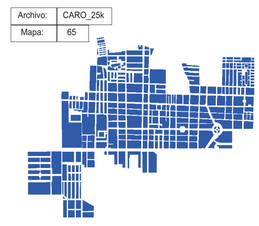
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMV4
Mapa:	63



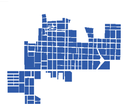
Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMV5
Mapa:	64



Archivo:	CARO_25k
Mapa:	65



Archivo:	caro_50k
Mapa:	66



GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

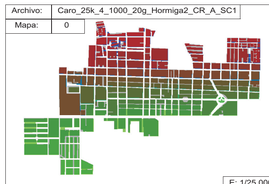
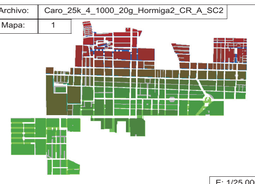
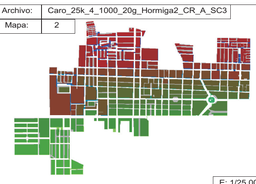
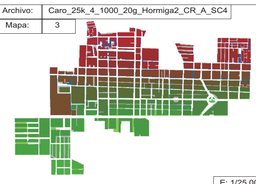
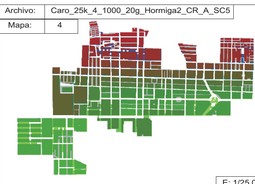
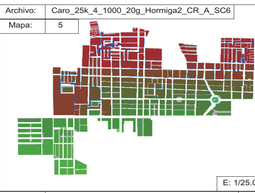
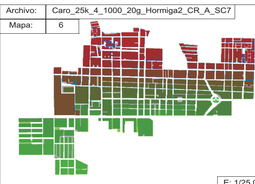
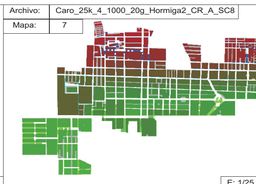
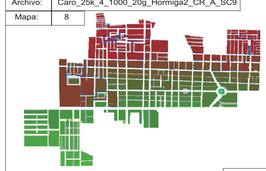
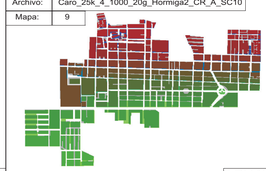
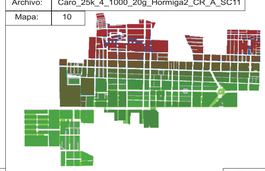
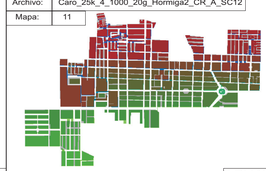
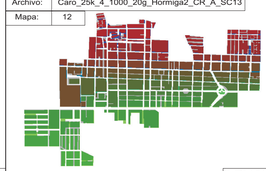
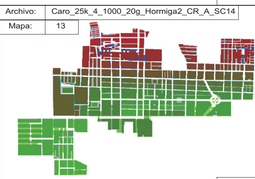
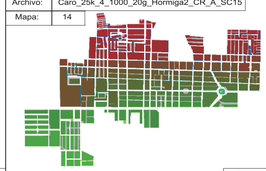
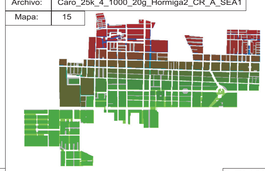
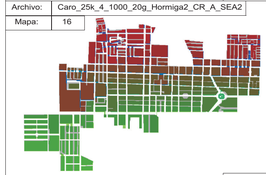
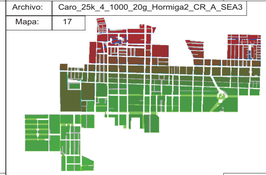
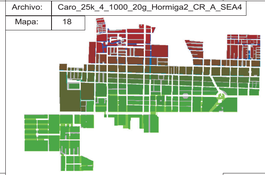
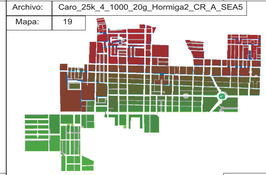
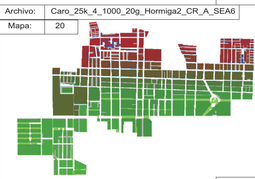
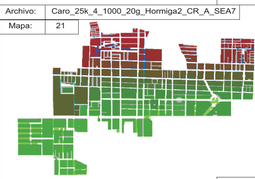
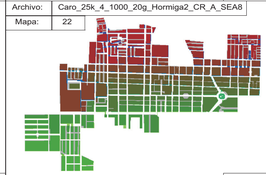
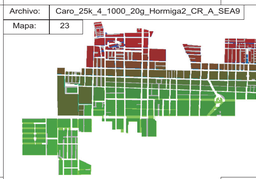
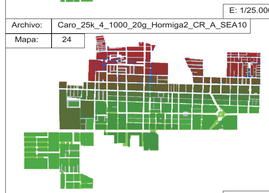
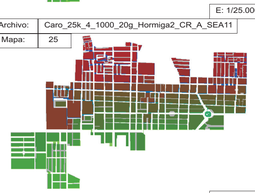
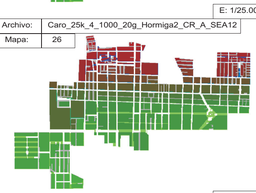
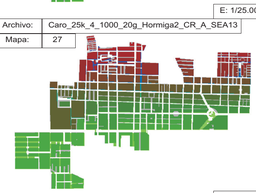
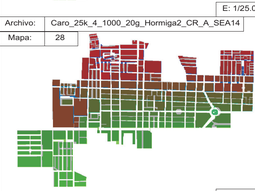
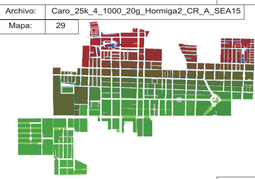
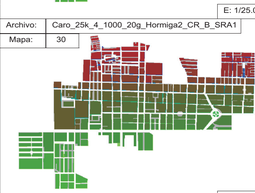
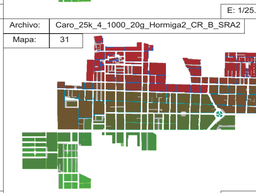
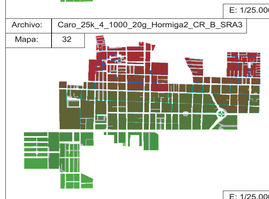
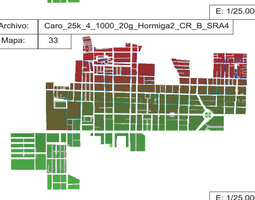
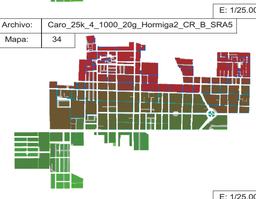
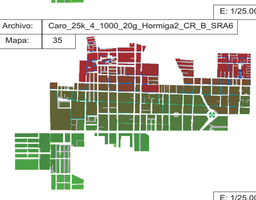
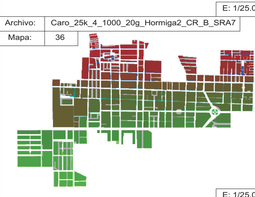
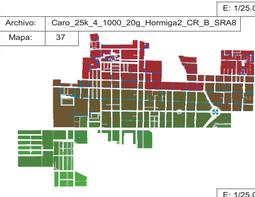
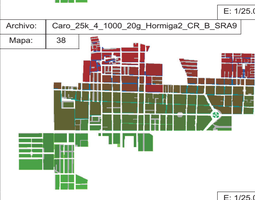
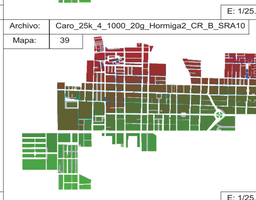
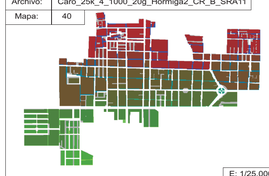
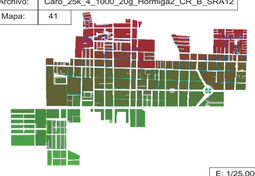
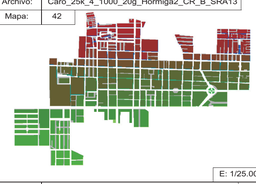
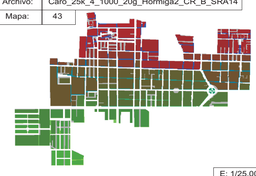
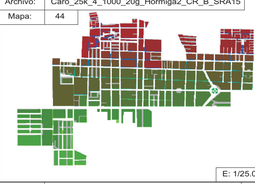
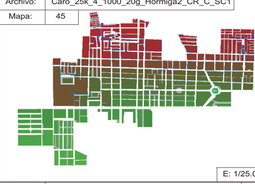
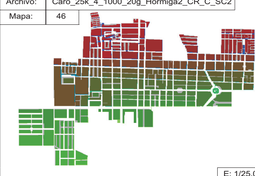
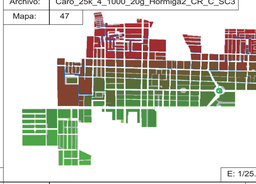
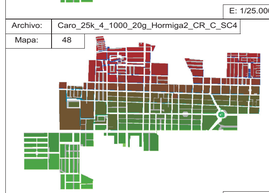
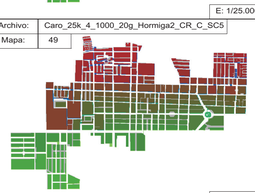
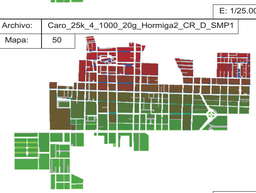
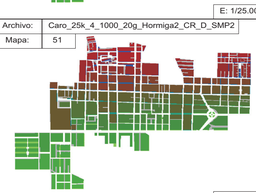
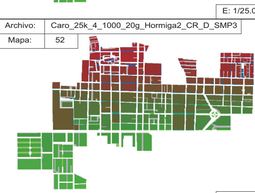
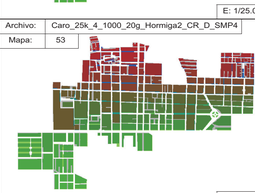
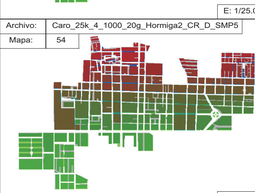
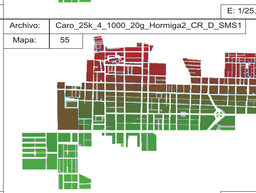
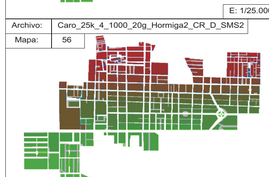
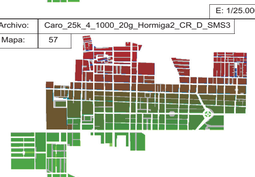
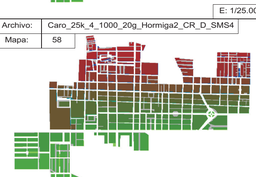
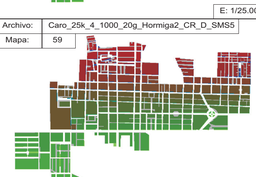
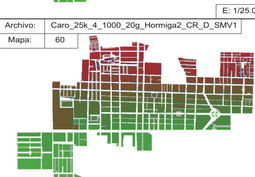
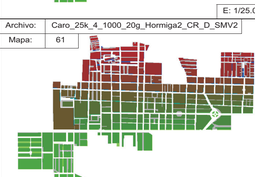
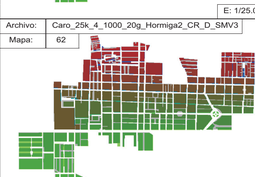
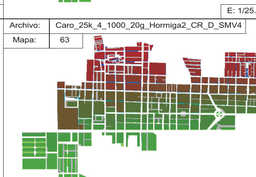
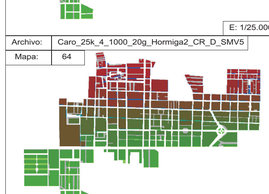
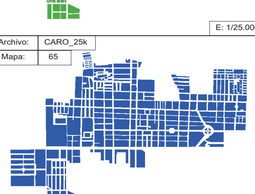
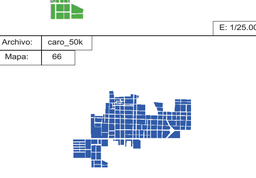
Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	1 de noviembre de 2003	No. Mapa:	A2-1
Escala:	1/25.000 (Último mapa a 1/50.000)	No. Hoja:	1 / 1

Anejo 3:
Resultados para La Carolina con cierres morfológicos circulares.

La Carolina (Cierre morfologico)

Archivo:	Mapa:	
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC1	0	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC2	1	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC3	2	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC4	3	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC5	4	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC6	5	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC7	6	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC8	7	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC9	8	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC10	9	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC11	10	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC12	11	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC13	12	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC14	13	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SC15	14	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA1	15	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA2	16	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA3	17	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA4	18	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA5	19	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA6	20	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA7	21	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA8	22	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA9	23	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA10	24	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA11	25	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA12	26	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA13	27	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA14	28	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_A_SEA15	29	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA1	30	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA2	31	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA3	32	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA4	33	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA5	34	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA6	35	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA7	36	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA8	37	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA9	38	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA10	39	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA11	40	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA12	41	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA13	42	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA14	43	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_B_SRA15	44	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_C_SC1	45	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_C_SC2	46	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_C_SC3	47	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_C_SC4	48	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_C_SC5	49	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMP1	50	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMP2	51	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMP3	52	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMP4	53	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMP5	54	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMS1	55	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMS2	56	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMS3	57	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMS4	58	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMS5	59	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMV1	60	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMV2	61	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMV3	62	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMV4	63	 E: 1/25.000
Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_D_SMV5	64	 E: 1/25.000
CARO_25k	65	 E: 1/25.000
caro_50k	66	 E: 1/50.000

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	3 de noviembre de 2003	No. Mapa:	A3-1
Escala:	Múltiples (indicadas en gráfico)	No. Hoja:	1 / 1

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación
en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica,
Geodésica y Fotogrametría

Anejo 4:

Resultados para La Carolina con cierres morfológicos cuadrados y superposición de originales.

La Carolina (morfológico cuadrado)

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	3 de noviembre de 2003	No. Mapa:	A4-1
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Anejo 5:

Resultados de la aplicación de la selección del grupo D a todos los cascos urbanos.
(Ejemplo para Jaén y La Carolina).

Jaen (Completo)

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM1
Mapa: 0

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM2
Mapa: 1

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM3
Mapa: 2

E: 1/25.000

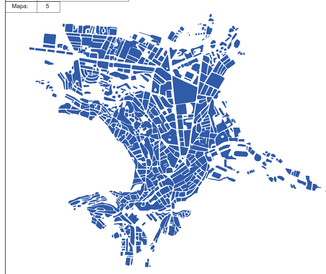
Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM4
Mapa: 3

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM5
Mapa: 4

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM6
Mapa: 5



E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM7
Mapa: 6

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM8
Mapa: 7

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM9
Mapa: 8

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM10
Mapa: 9

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM11
Mapa: 10

E: 1/25.000

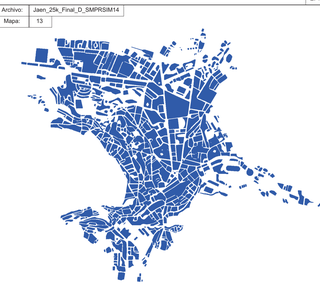
Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM12
Mapa: 11

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM13
Mapa: 12

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM14
Mapa: 13



E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIM15
Mapa: 14

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM1
Mapa: 15

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM2
Mapa: 16

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM3
Mapa: 17

E: 1/25.000

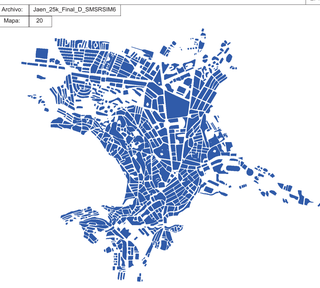
Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM4
Mapa: 18

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM5
Mapa: 19

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM6
Mapa: 20



E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM7
Mapa: 21

E: 1/25.000

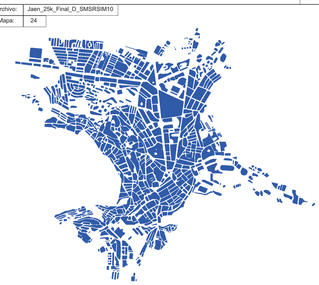
Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM8
Mapa: 22

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM9
Mapa: 23

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM10
Mapa: 24



E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM11
Mapa: 25

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM12
Mapa: 26

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM13
Mapa: 27

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM14
Mapa: 28

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIM15
Mapa: 29

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM1
Mapa: 30

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM2
Mapa: 31

E: 1/25.000

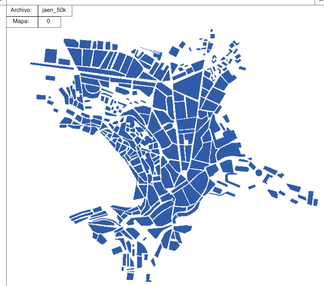
Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM3
Mapa: 32

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k
Mapa: 0

E: 1/25.000

Archivo: jaen_50k
Mapa: 0



E: 1/50.000

Jaen (Completo)

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM4
Mapa: 33

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM5
Mapa: 34

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM6
Mapa: 35

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM7
Mapa: 36

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM8
Mapa: 37

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM9
Mapa: 38

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM10
Mapa: 39

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM11
Mapa: 40

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM12
Mapa: 41

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM13
Mapa: 42

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM14
Mapa: 43

E: 1/25.000

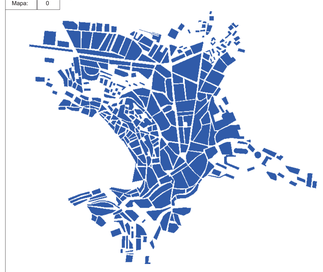
Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIM15
Mapa: 44

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k
Mapa: 0

E: 1/25.000

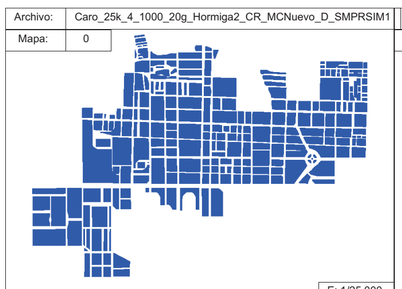
Archivo: jaen_50k
Mapa: 0



E: 1/50.000

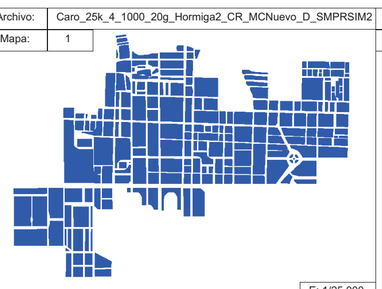
La Carolina (Completo)

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM1
Mapa:	0



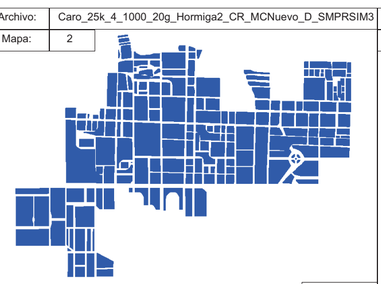
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM2
Mapa:	1



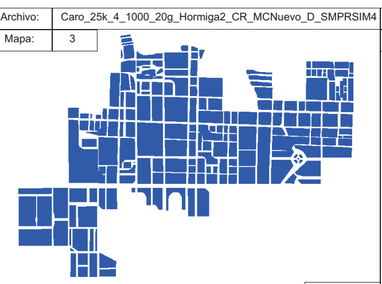
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM3
Mapa:	2



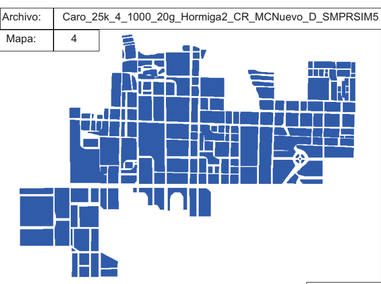
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM4
Mapa:	3



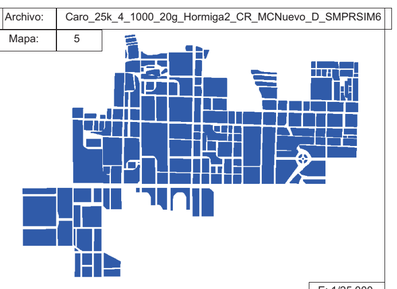
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM5
Mapa:	4



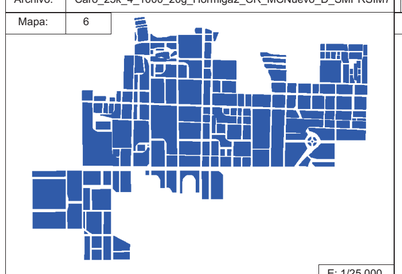
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM6
Mapa:	5



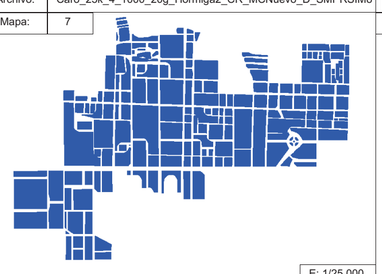
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM7
Mapa:	6



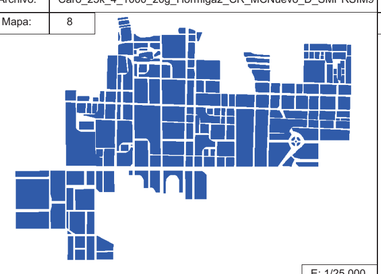
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM8
Mapa:	7



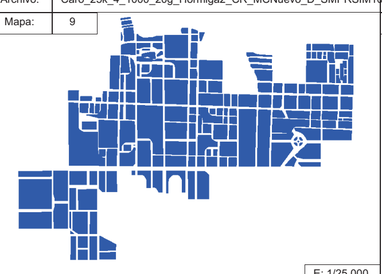
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM9
Mapa:	8



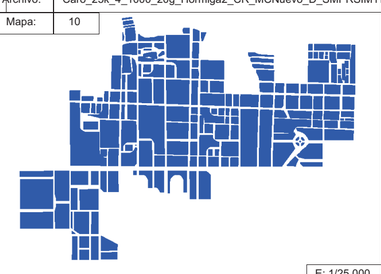
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM10
Mapa:	9



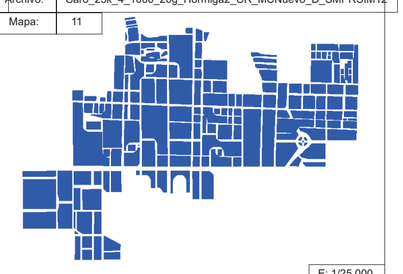
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM11
Mapa:	10



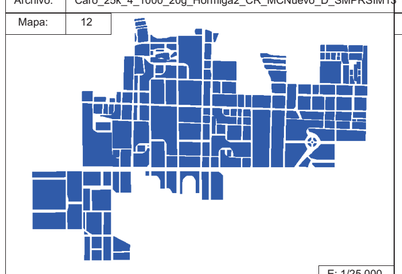
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM12
Mapa:	11



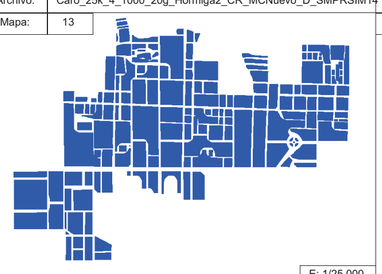
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM13
Mapa:	12



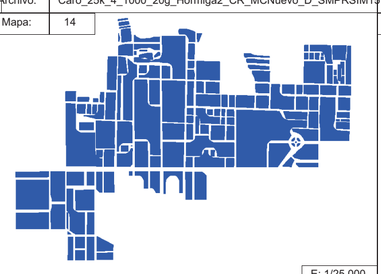
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM14
Mapa:	13



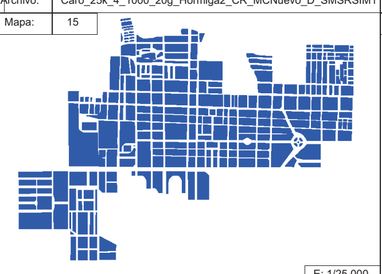
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMPRSIM15
Mapa:	14



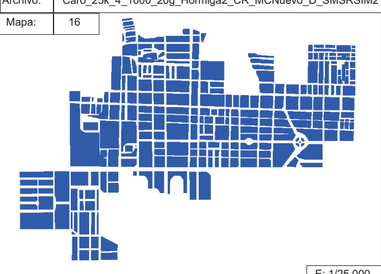
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM1
Mapa:	15



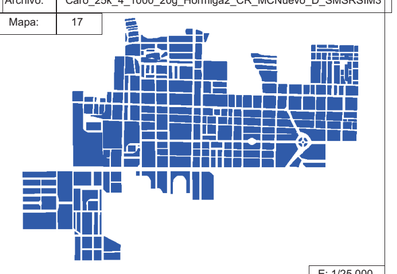
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM2
Mapa:	16



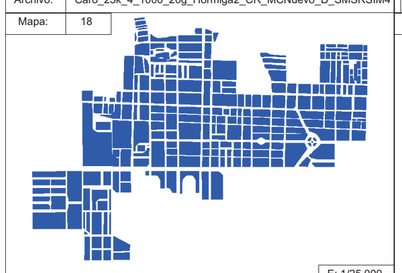
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM3
Mapa:	17



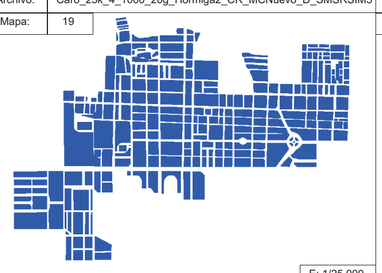
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM4
Mapa:	18



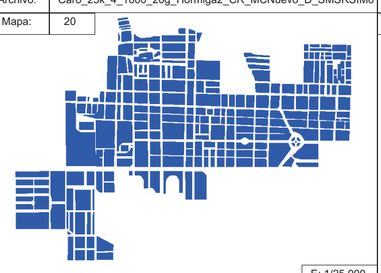
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM5
Mapa:	19



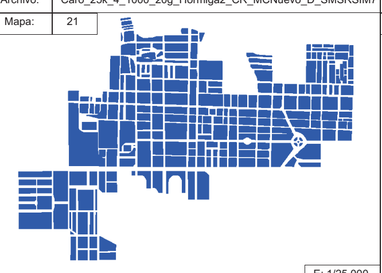
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM6
Mapa:	20



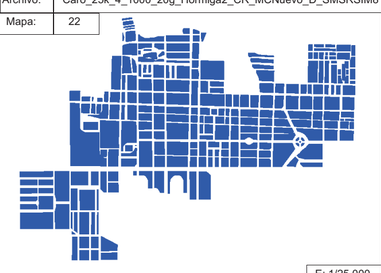
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM7
Mapa:	21



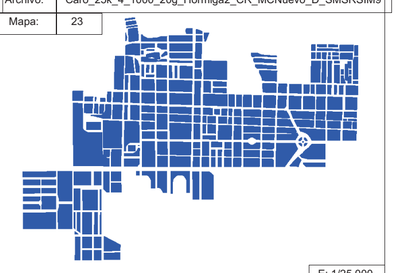
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM8
Mapa:	22



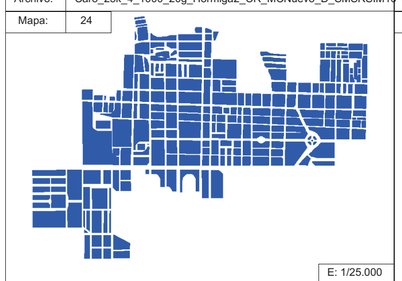
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM9
Mapa:	23



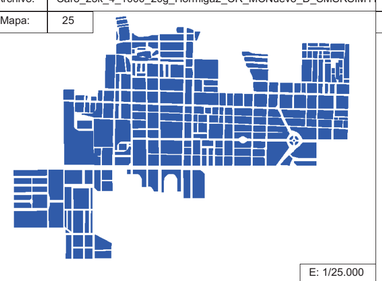
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM10
Mapa:	24



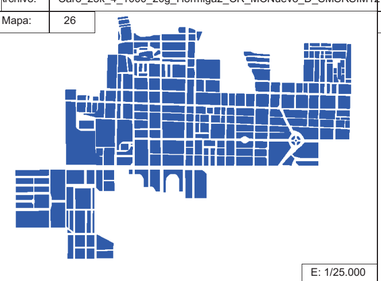
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM11
Mapa:	25



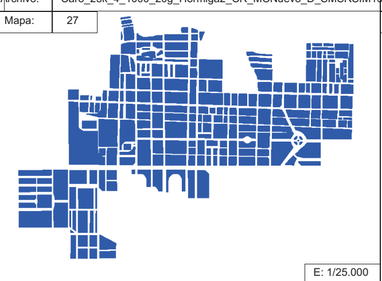
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM12
Mapa:	26



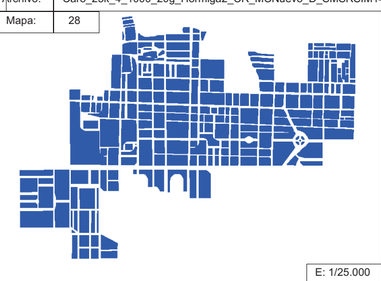
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM13
Mapa:	27



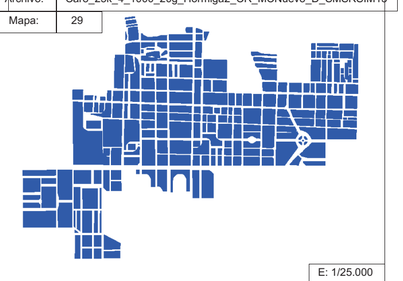
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM14
Mapa:	28



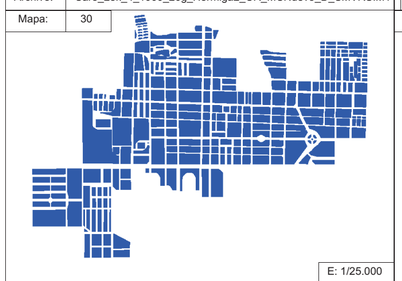
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMSRSIM15
Mapa:	29



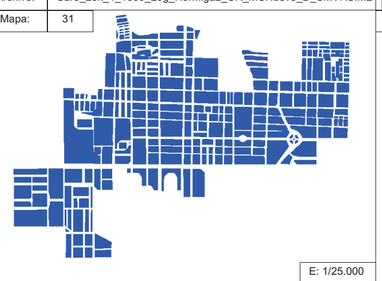
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM1
Mapa:	30



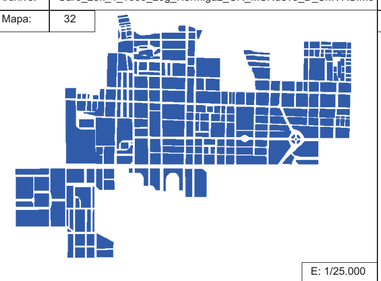
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM2
Mapa:	31



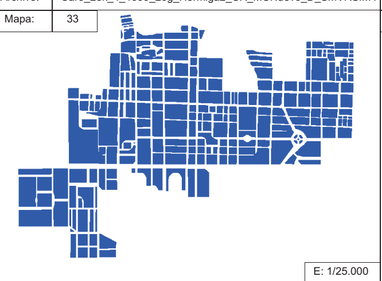
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM3
Mapa:	32



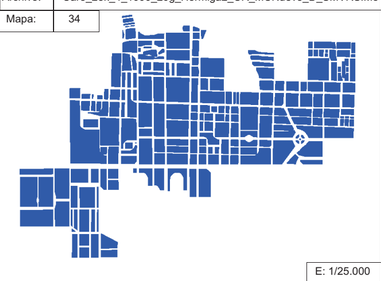
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM4
Mapa:	33



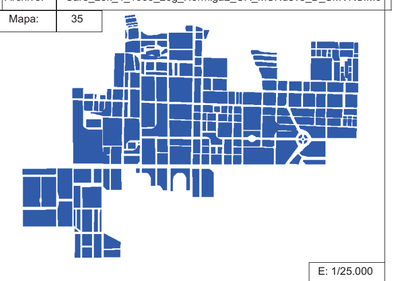
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM5
Mapa:	34



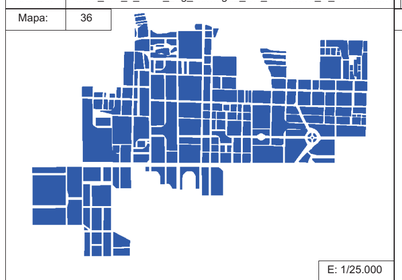
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM6
Mapa:	35



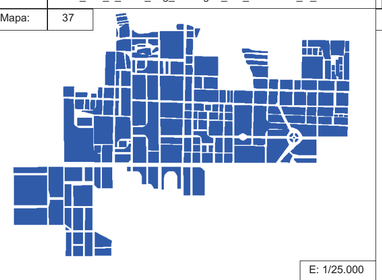
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM7
Mapa:	36



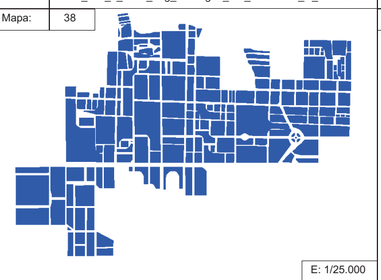
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM8
Mapa:	37



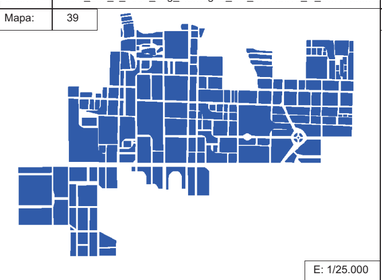
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM9
Mapa:	38



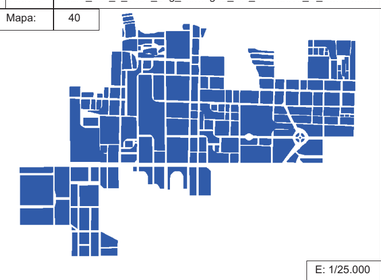
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM10
Mapa:	39



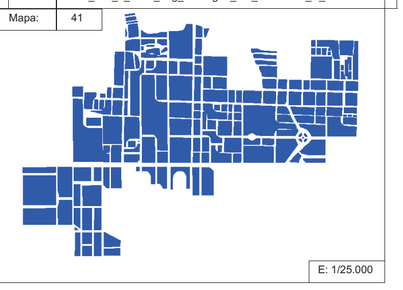
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM11
Mapa:	40



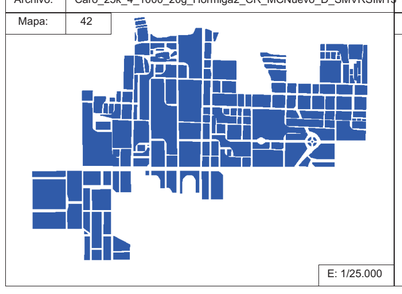
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM12
Mapa:	41



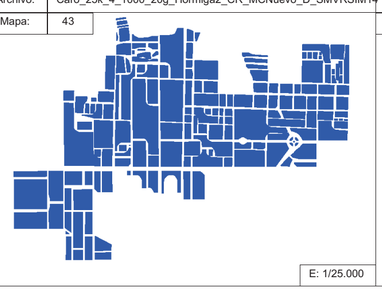
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM13
Mapa:	42



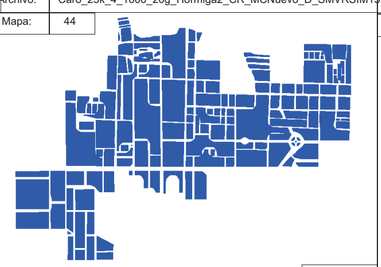
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM14
Mapa:	43



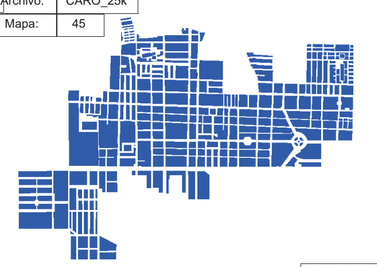
E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k_4_1000_20g_Hormiga2_CR_MCNuevo_D_SMVRSIM15
Mapa:	44



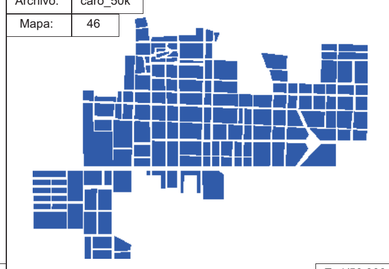
E: 1/25.000

Archivo:	CARO_25k
Mapa:	45



E: 1/25.000

Archivo:	caro_50k
Mapa:	46



E: 1/50.000

Anejo 6:

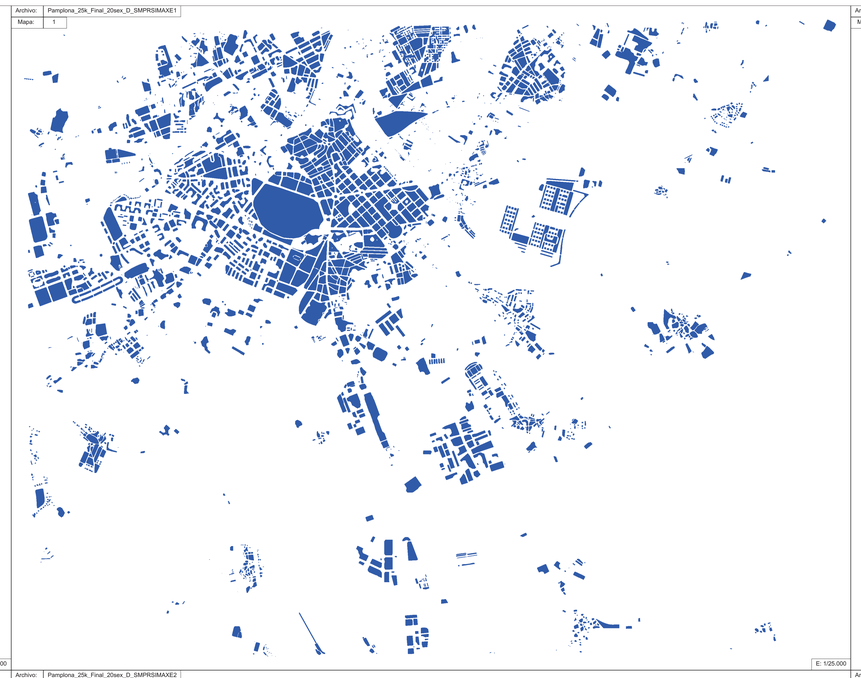
Resultados de la aplicación de la selección del grupo D
a todos los cascos urbanos y posterior apertura.

Pamplona (Completo Ejes)

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE1
Mapa: 0

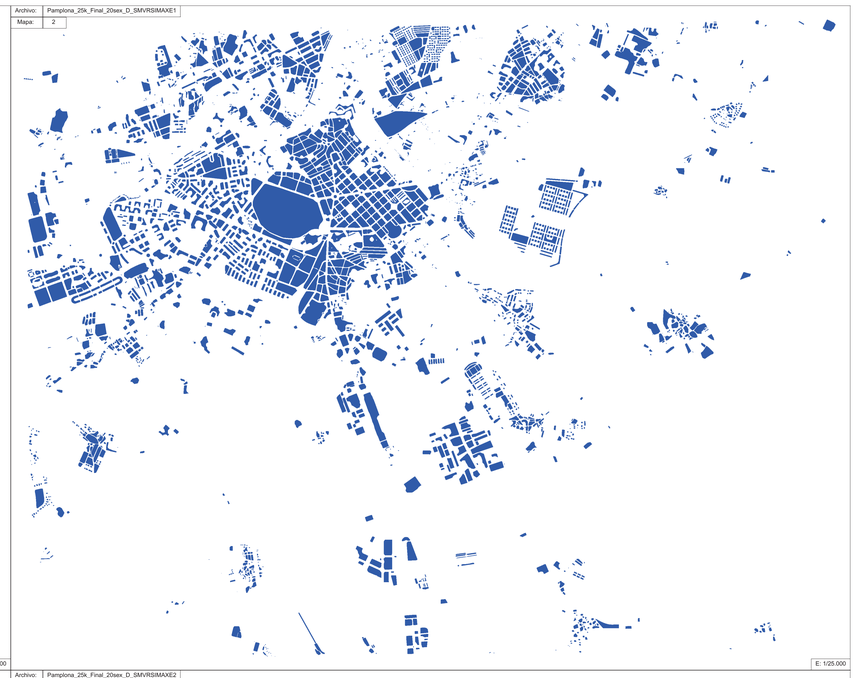
E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE1
Mapa: 1



E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE1
Mapa: 2



E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE2
Mapa: 3

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE2
Mapa: 4

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE2
Mapa: 5

E: 1/25.000

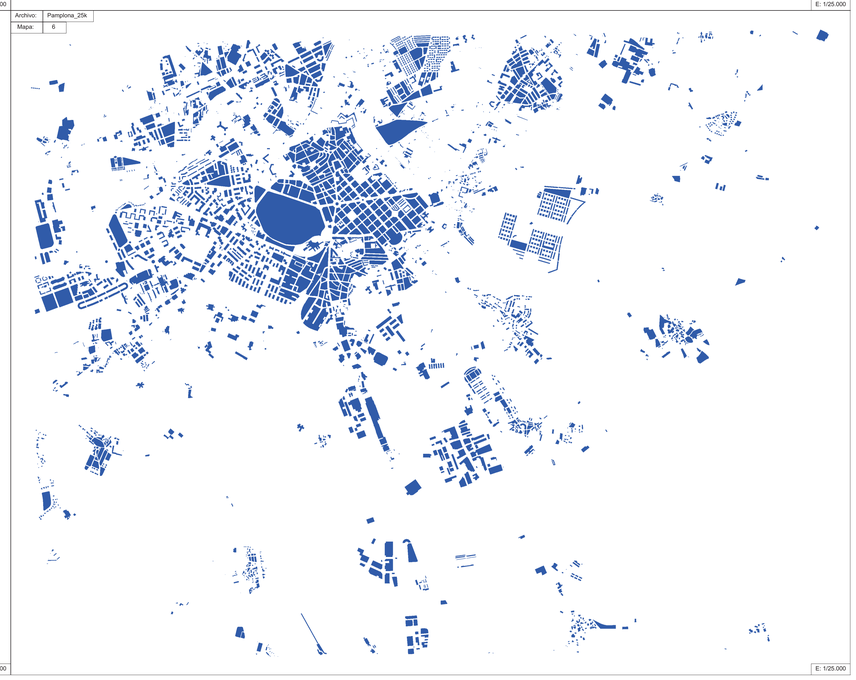
Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE3
Mapa: 6

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE3
Mapa: 7

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k
Mapa: 6



E: 1/25.000

Pamplona (Completo Ejes)

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE3
Mapa: 8

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE4
Mapa: 9

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE4
Mapa: 10

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE4
Mapa: 11

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE5
Mapa: 12

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE5
Mapa: 13

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE5
Mapa: 14

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE6
Mapa: 15

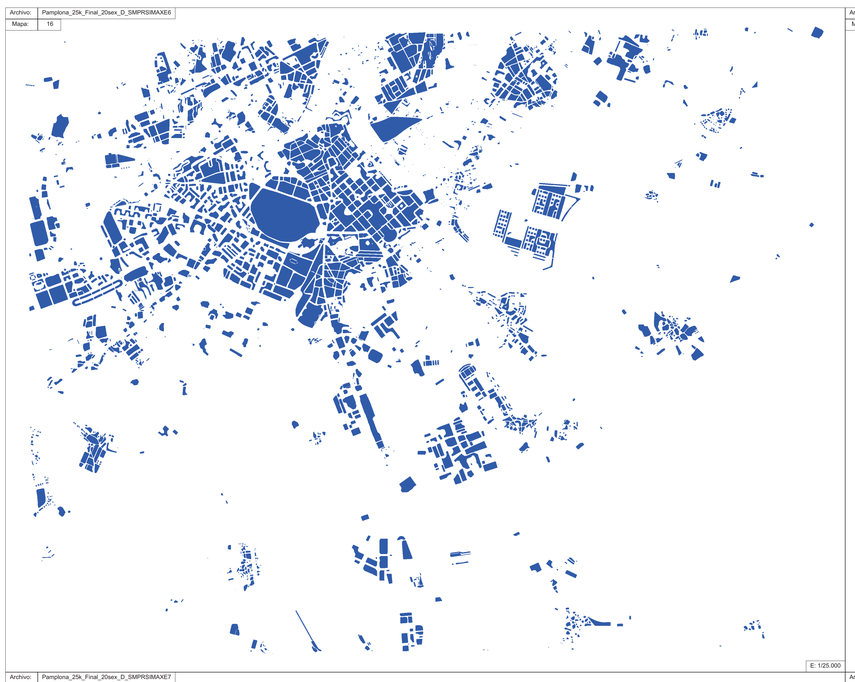
E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k
Mapa: 6

E: 1/25.000

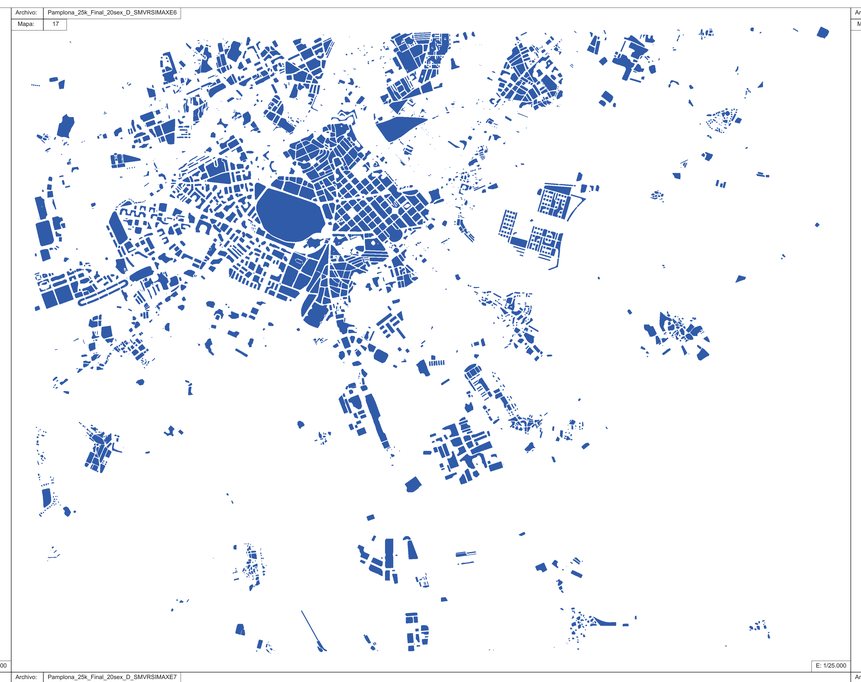
Pamplona (Completo Ejes)

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE6
Mapa: 16



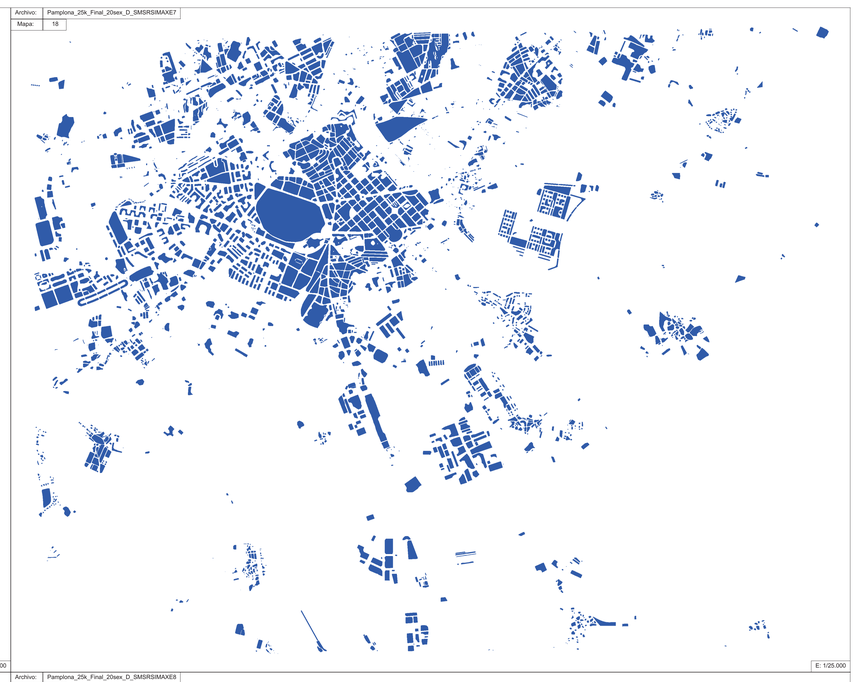
E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE6
Mapa: 17



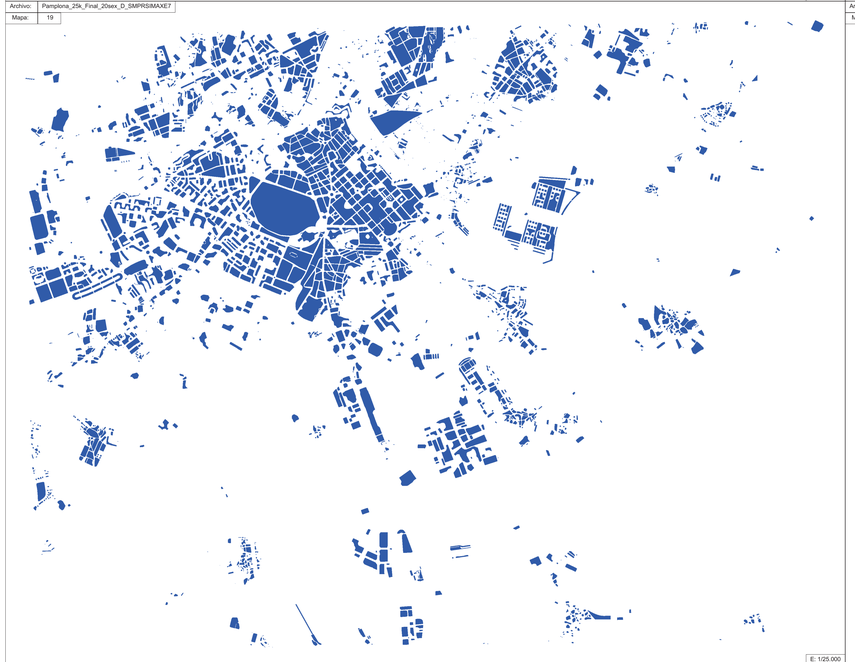
E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE7
Mapa: 18



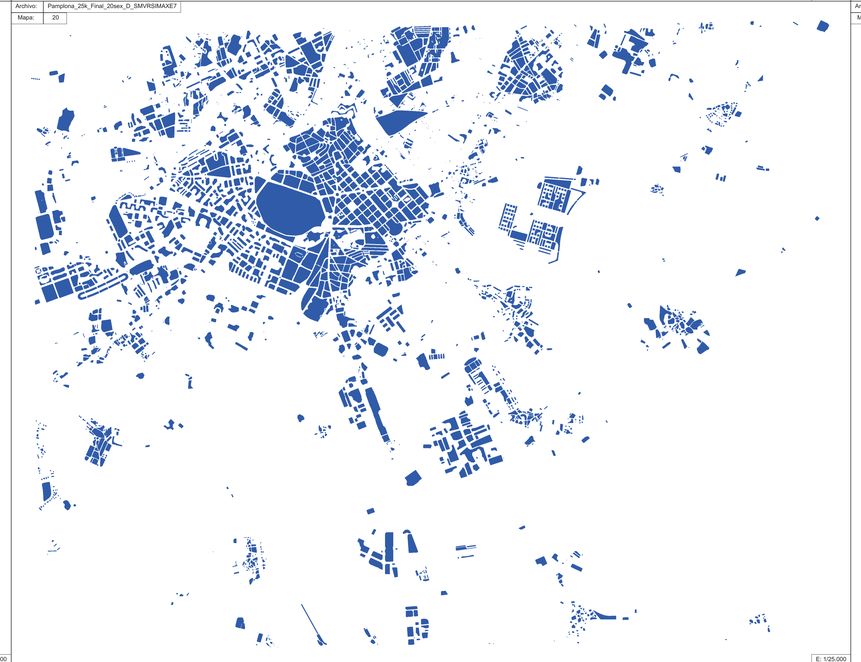
E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE7
Mapa: 19



E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE7
Mapa: 20



E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE8
Mapa: 21

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE8
Mapa: 22

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE8
Mapa: 23

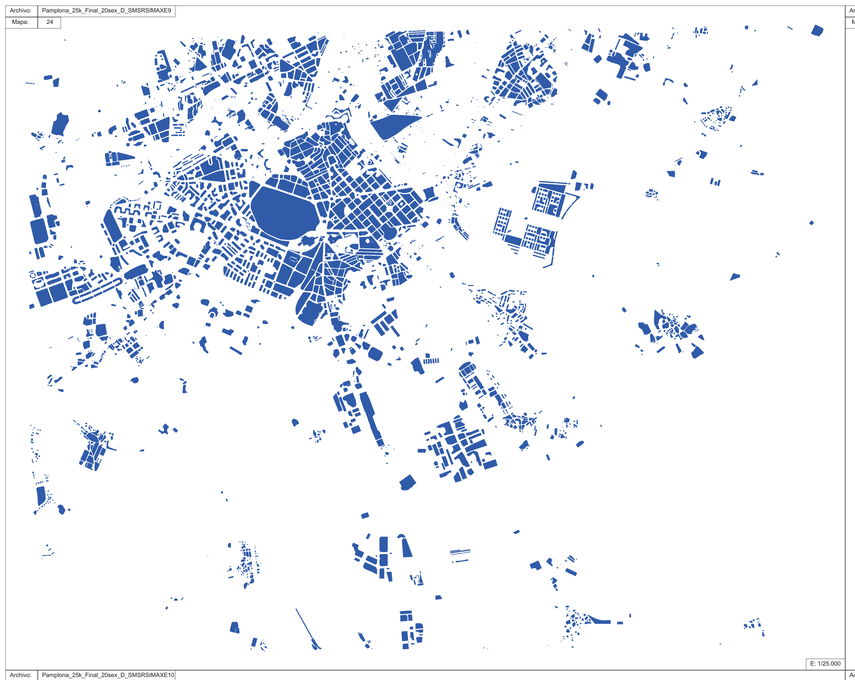
E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k
Mapa: 6

E: 1/25.000

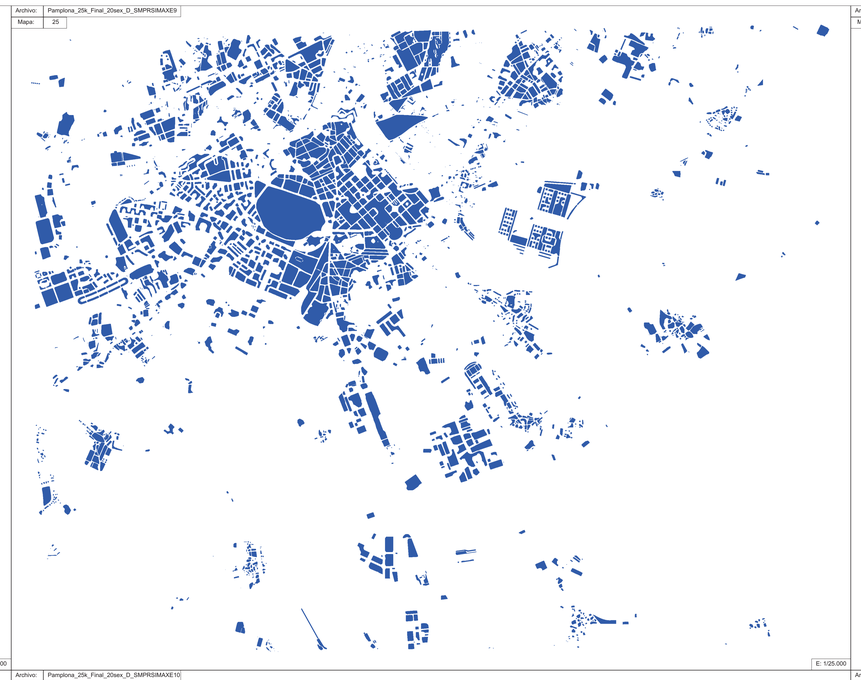
Pamplona (Completo Ejes)

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE9
Mapa: 24



E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE9
Mapa: 25



E: 1/25.000

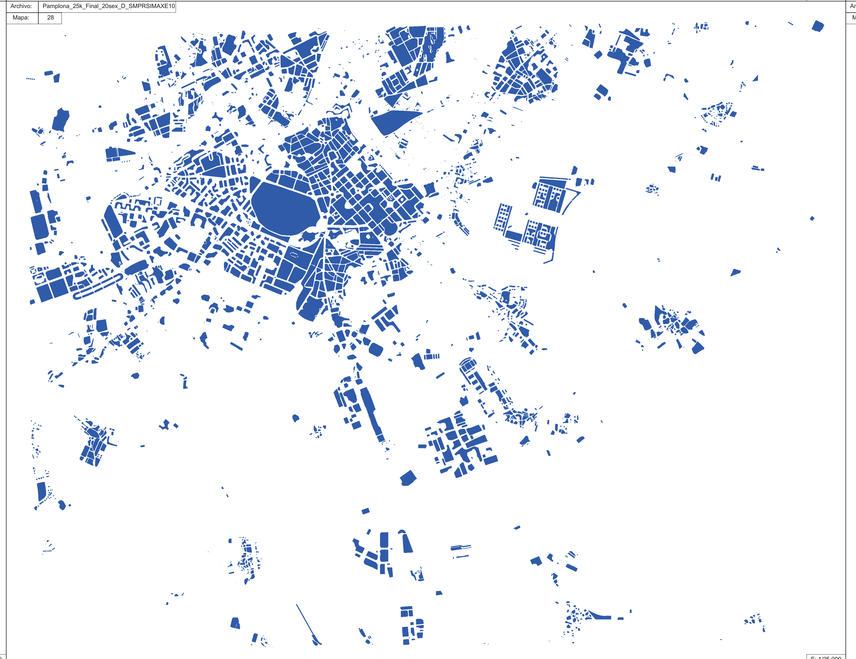
Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE9
Mapa: 26

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE10
Mapa: 27

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE10
Mapa: 28



E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE10
Mapa: 29

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE11
Mapa: 30

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE11
Mapa: 31

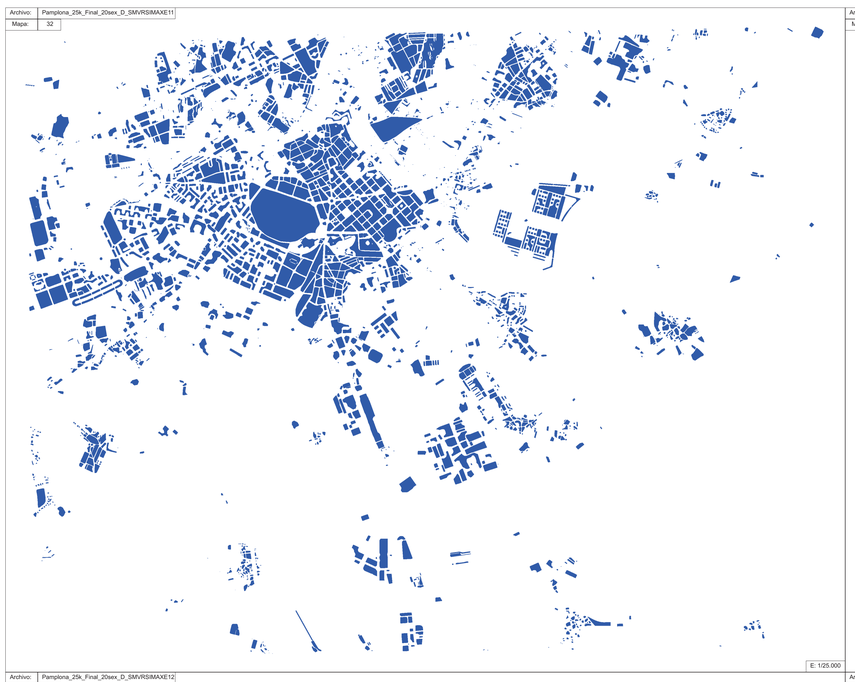
E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k
Mapa: 6

E: 1/25.000

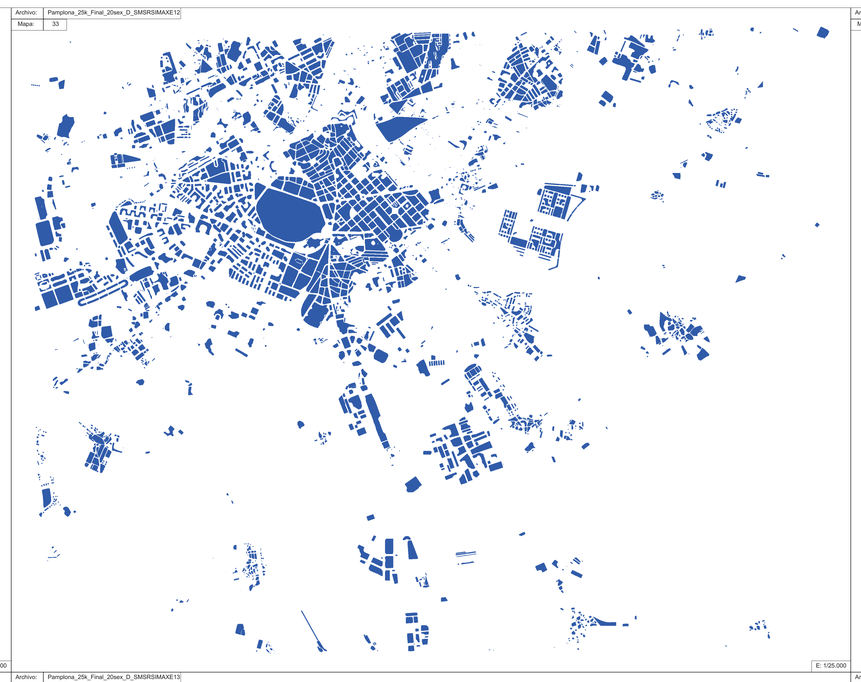
Pamplona (Completo Ejes)

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE11
Mapa: 32



E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE12
Mapa: 33

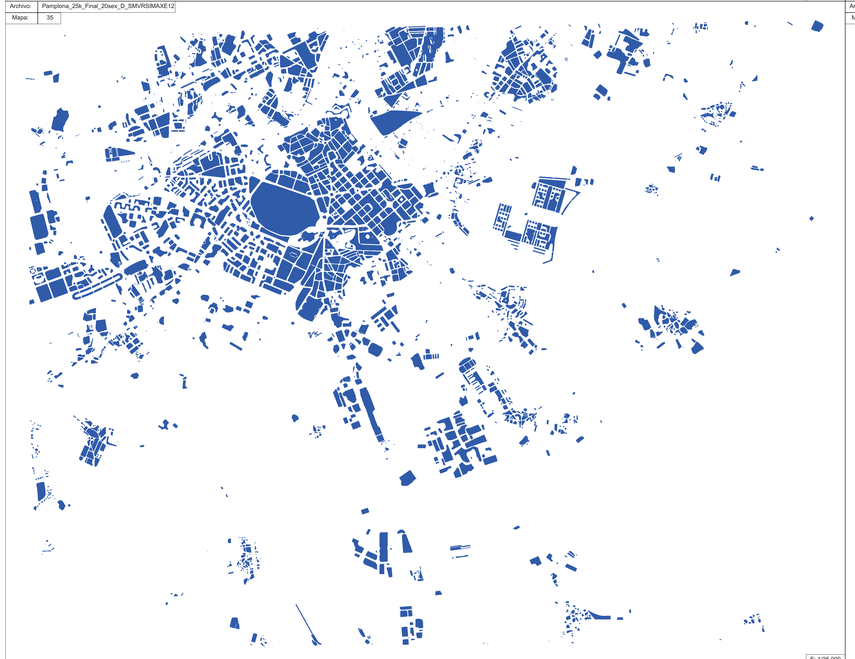


E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE12
Mapa: 34

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE12
Mapa: 35



E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE13
Mapa: 36

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE13
Mapa: 37

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE13
Mapa: 38

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE14
Mapa: 39

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k
Mapa: 6

E: 1/25.000

Pamplona (Completo Ejes)

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE14
Mapa: 40

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE14
Mapa: 41

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE15
Mapa: 42

E: 1/25.000

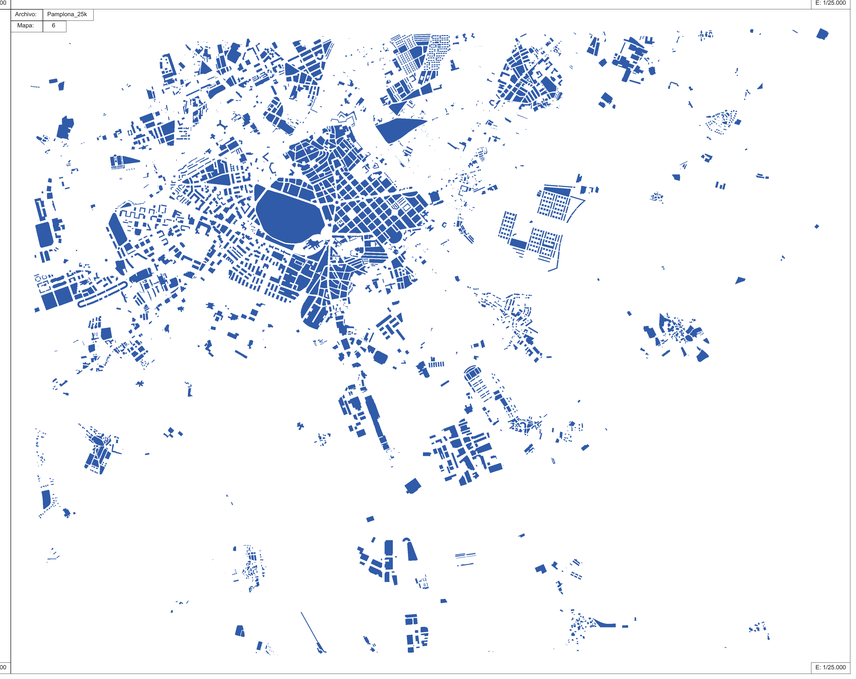
Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE15
Mapa: 43

E: 1/25.000

Archivo: Pamplona_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE15
Mapa: 44

E: 1/25.000

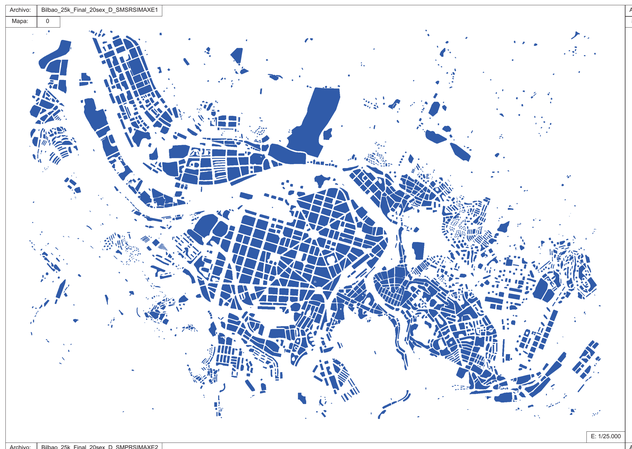
Archivo: Pamplona_25k
Mapa: 0



E: 1/25.000

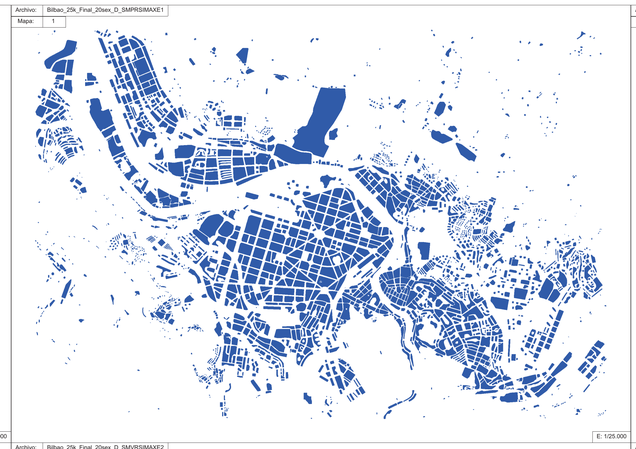
Bilbao (Completo Ejes)

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE1
Mapa: 0



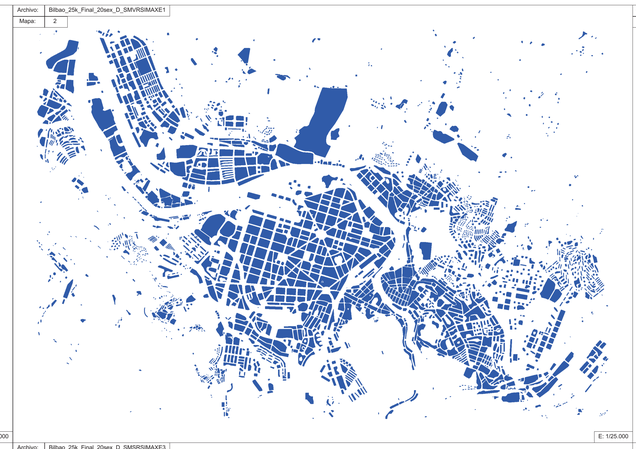
E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE1
Mapa: 1



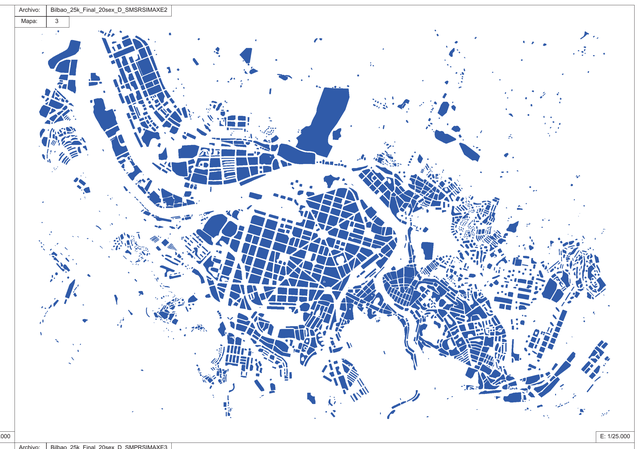
E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE1
Mapa: 2



E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE2
Mapa: 3



E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE2
Mapa: 4

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE2
Mapa: 5

E: 1/25.000

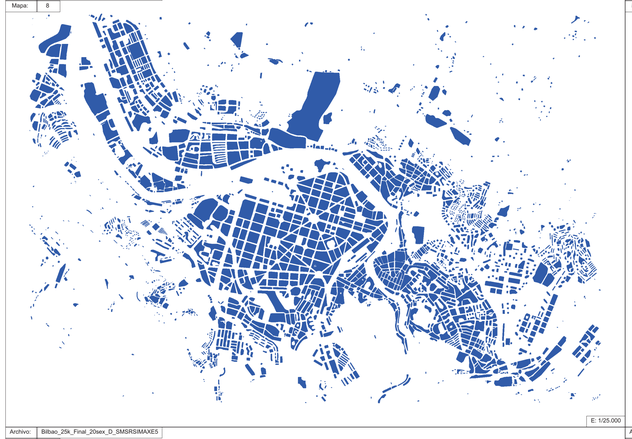
Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE3
Mapa: 6

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE3
Mapa: 7

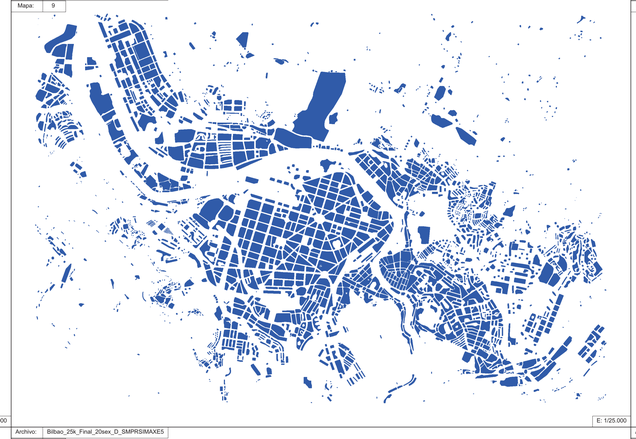
E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE3
Mapa: 8



E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE4
Mapa: 9



E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE4
Mapa: 10

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE4
Mapa: 11

E: 1/25.000

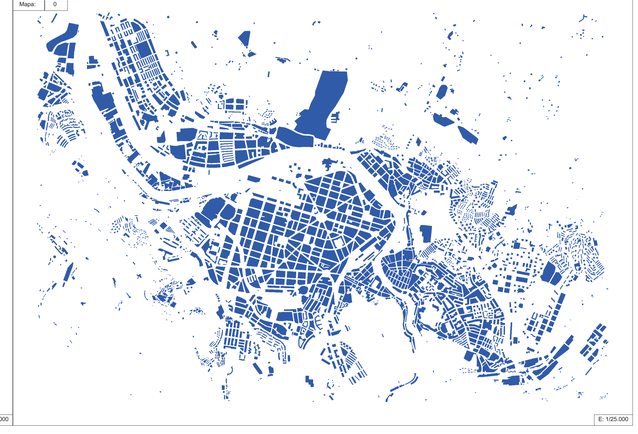
Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE5
Mapa: 12

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE5
Mapa: 13

E: 1/25.000

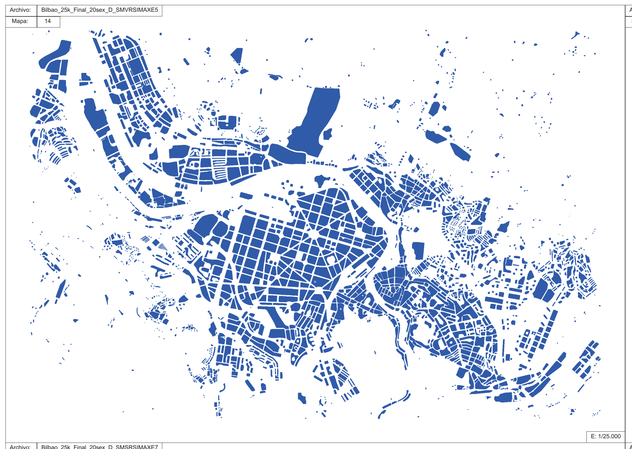
Archivo: Bilbao_25k
Mapa: 0



E: 1/25.000

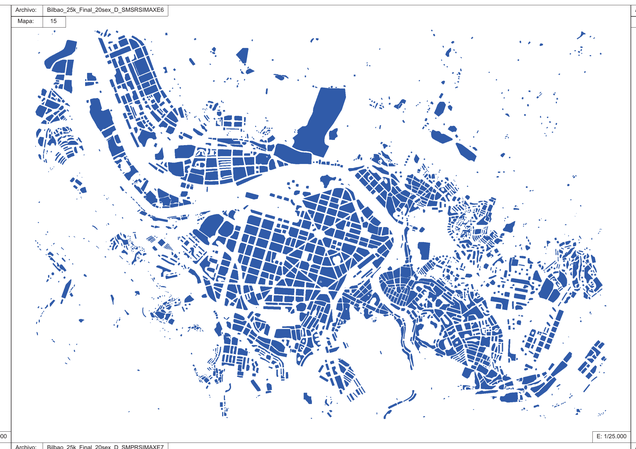
Bilbao (Completo Ejes)

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE5
Mapa: 14



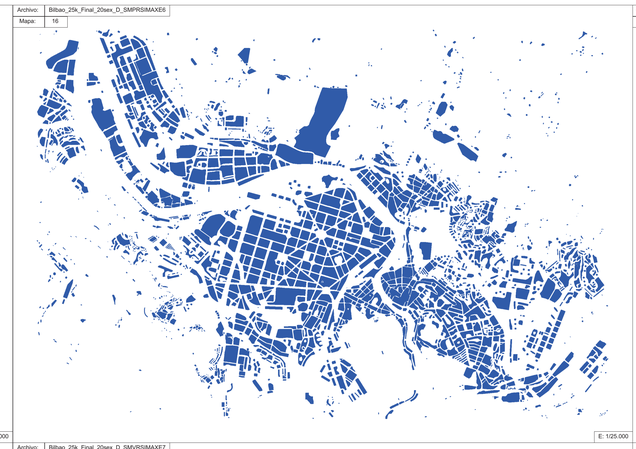
E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE6
Mapa: 15



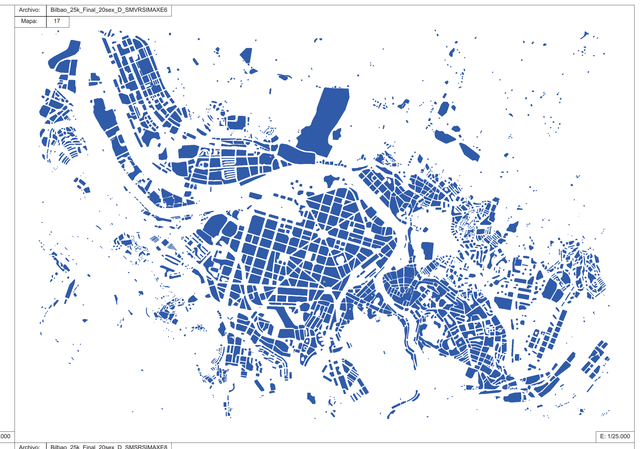
E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE6
Mapa: 16



E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE6
Mapa: 17



E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE7
Mapa: 18

E: 1/25.000

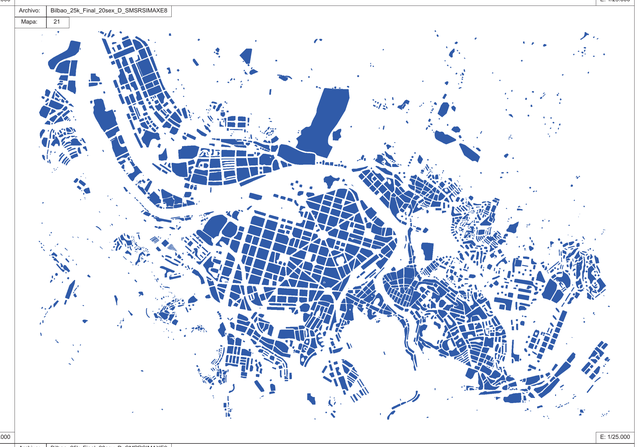
Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE7
Mapa: 19

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE7
Mapa: 20

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE8
Mapa: 21



E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE8
Mapa: 22

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE8
Mapa: 23

E: 1/25.000

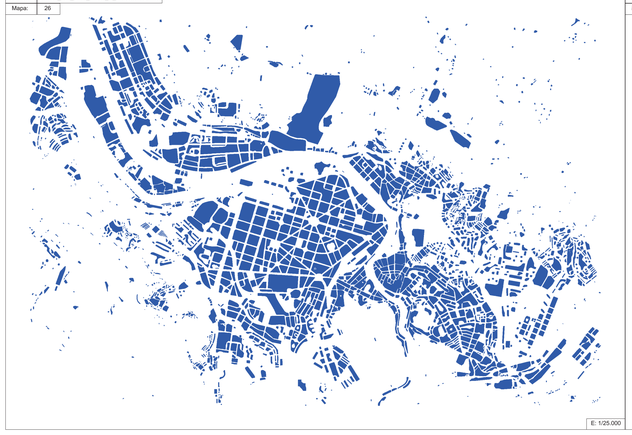
Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE9
Mapa: 24

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE9
Mapa: 25

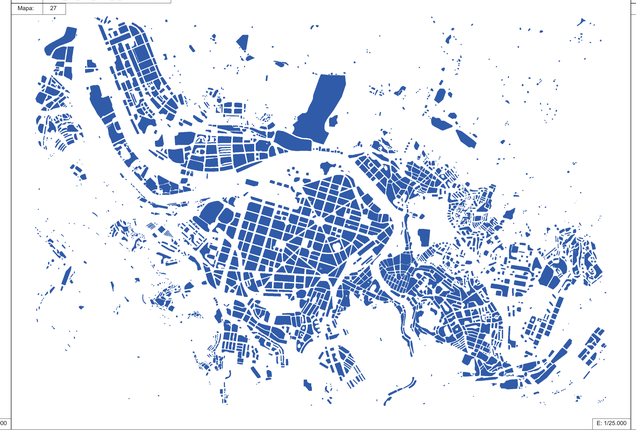
E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE9
Mapa: 26



E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE10
Mapa: 27



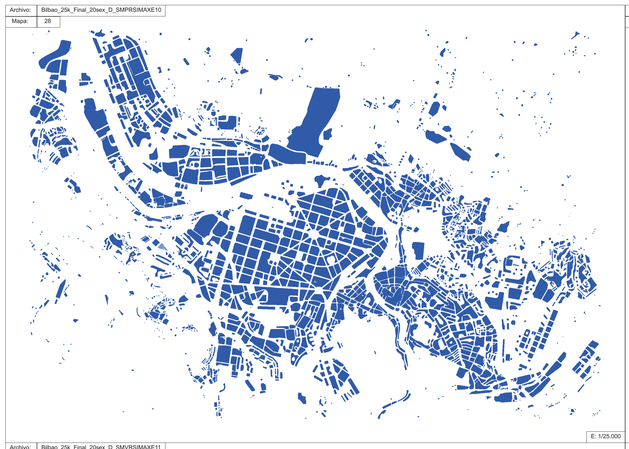
E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k
Mapa: 0

E: 1/25.000

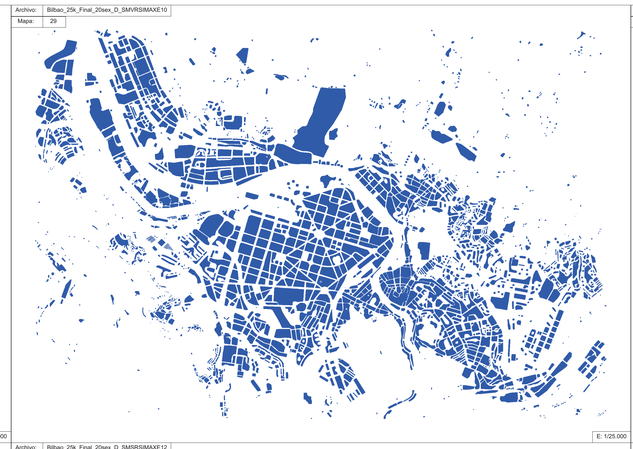
Bilbao (Completo Ejes)

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE10
Mapa: 28



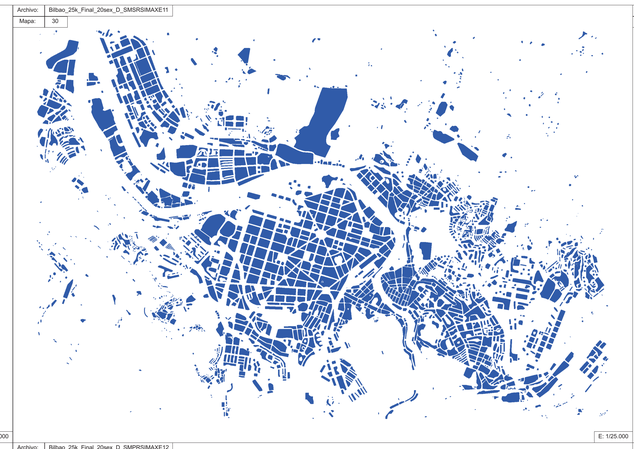
E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE10
Mapa: 29



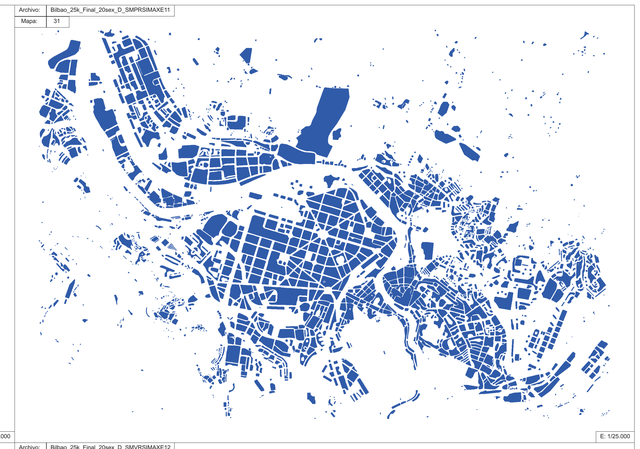
E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE11
Mapa: 30



E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE11
Mapa: 31



E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE11
Mapa: 32

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE12
Mapa: 33

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE12
Mapa: 34

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE12
Mapa: 35

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE13
Mapa: 36

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE13
Mapa: 37

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE13
Mapa: 38

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE14
Mapa: 39

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE14
Mapa: 40

E: 1/25.000

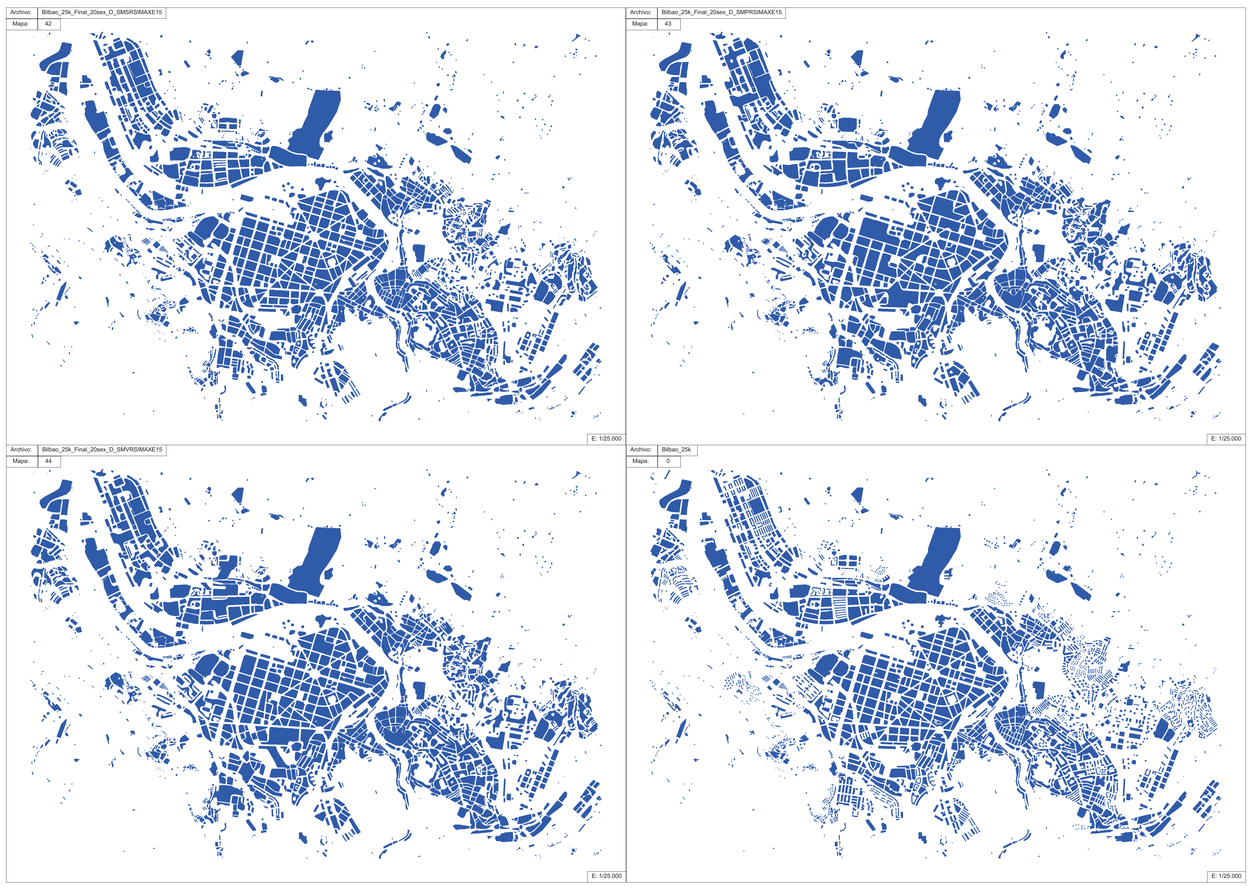
Archivo: Bilbao_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE14
Mapa: 41

E: 1/25.000

Archivo: Bilbao_25k
Mapa: 0

E: 1/25.000

Bilbao (Completo Ejes)



Burgos (Completo Ejes)

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE1
Mapa: 0

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE1
Mapa: 1

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE1
Mapa: 2

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE2
Mapa: 3

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE2
Mapa: 4

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE2
Mapa: 5

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE3
Mapa: 6

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE3
Mapa: 7

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE3
Mapa: 8

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE4
Mapa: 9

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE4
Mapa: 10

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE4
Mapa: 11

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE5
Mapa: 12

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE5
Mapa: 13

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE5
Mapa: 14

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE6
Mapa: 15

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k
Mapa: 0

E: 1/25.000

Burgos (Completo Ejes)

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE6
Mapa: 16

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE6
Mapa: 17

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE7
Mapa: 18

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE7
Mapa: 19

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE7
Mapa: 20

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE8
Mapa: 21

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE8
Mapa: 22

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE8
Mapa: 23

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE9
Mapa: 24

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE9
Mapa: 25

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE9
Mapa: 26

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE10
Mapa: 27

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE10
Mapa: 28

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE10
Mapa: 29

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE11
Mapa: 30

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE11
Mapa: 31

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k
Mapa: 0

E: 1/25.000

Burgos (Completo Ejes)

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE11
Mapa: 32

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE12
Mapa: 33

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE12
Mapa: 34

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE12
Mapa: 35

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE13
Mapa: 36

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE13
Mapa: 37

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE13
Mapa: 38

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE14
Mapa: 39

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE14
Mapa: 40

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE14
Mapa: 41

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE15
Mapa: 42

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE15
Mapa: 43

E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE15
Mapa: 44

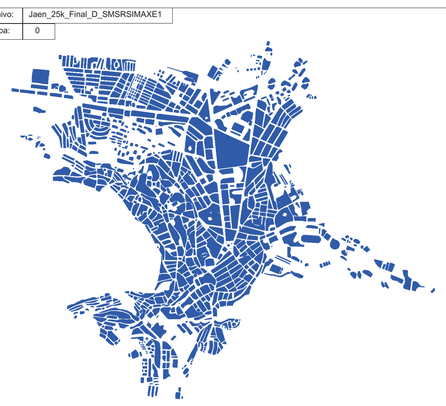
E: 1/25.000

Archivo: Burgos_25k
Mapa: 0

E: 1/25.000

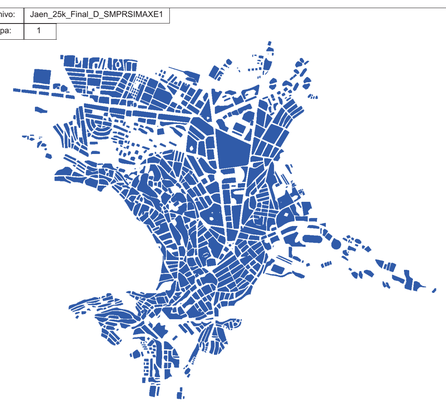
Jaen (Completo Ejes)

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE1
Mapa: 0



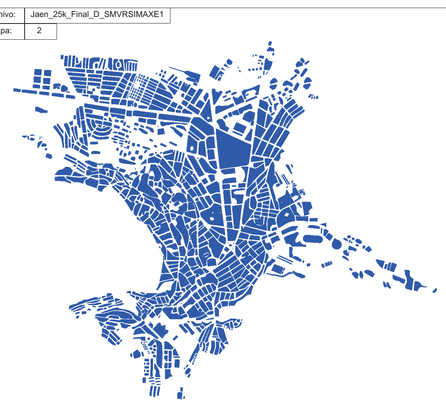
E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE1
Mapa: 1



E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE1
Mapa: 2



E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE2
Mapa: 3

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE2
Mapa: 4

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE2
Mapa: 5

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE3
Mapa: 6

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE3
Mapa: 7

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE3
Mapa: 8

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE4
Mapa: 9

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE4
Mapa: 10

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE4
Mapa: 11

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE5
Mapa: 12

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE5
Mapa: 13

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE5
Mapa: 14

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE6
Mapa: 15

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE6
Mapa: 16

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE6
Mapa: 17

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE7
Mapa: 18

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE7
Mapa: 19

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE7
Mapa: 20

E: 1/25.000

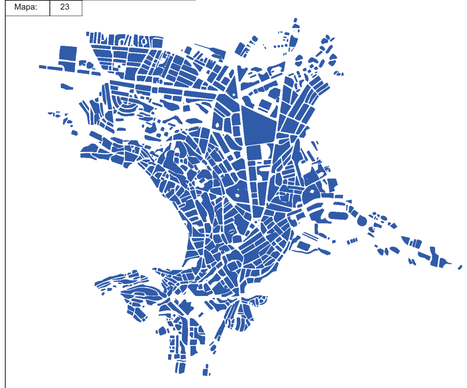
Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE8
Mapa: 21

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE8
Mapa: 22

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE8
Mapa: 23



E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE9
Mapa: 24

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE9
Mapa: 25

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k
Mapa: 0

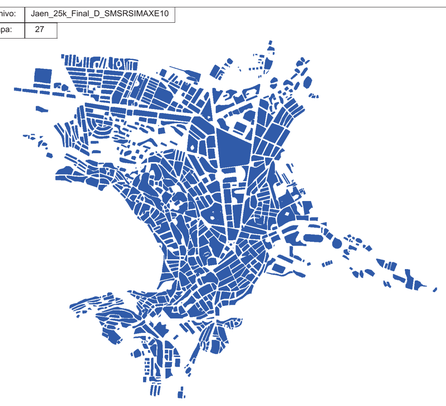
E: 1/25.000

Jaen (Completo Ejes)

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE9
Mapa: 26

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE10
Mapa: 27

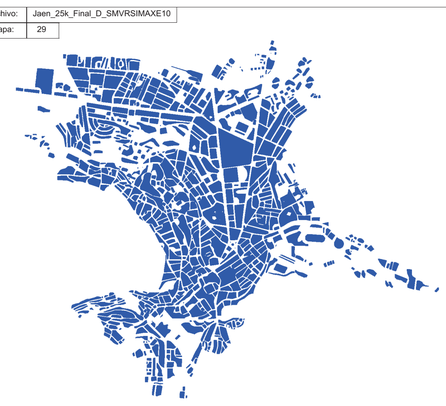


E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE10
Mapa: 28

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE10
Mapa: 29



E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE11
Mapa: 30

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE11
Mapa: 31

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE11
Mapa: 32

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE12
Mapa: 33

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE12
Mapa: 34

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE12
Mapa: 35

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE13
Mapa: 36

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE13
Mapa: 37

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE13
Mapa: 38

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE14
Mapa: 39

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE14
Mapa: 40

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE14
Mapa: 41

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMSRSIMAXE15
Mapa: 42

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMPRSIMAXE15
Mapa: 43

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k_Final_D_SMVRSIMAXE15
Mapa: 44

E: 1/25.000

Archivo: Jaen_25k
Mapa: 0

E: 1/25.000

Majadahonda (Completo Ejes)

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE1
Mapa: 0

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE1
Mapa: 1

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE1
Mapa: 2

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE2
Mapa: 3

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE2
Mapa: 4

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE2
Mapa: 5

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE3
Mapa: 6

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE3
Mapa: 7

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE3
Mapa: 8

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE4
Mapa: 9

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE4
Mapa: 10

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE4
Mapa: 11

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE5
Mapa: 12

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE5
Mapa: 13

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE5
Mapa: 14

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE6
Mapa: 15

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE6
Mapa: 16

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE6
Mapa: 17

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE7
Mapa: 18

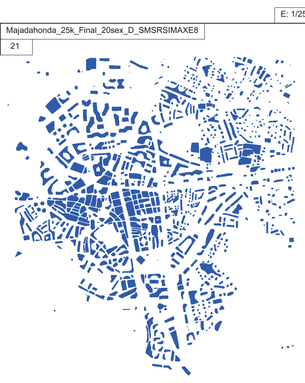
E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE7
Mapa: 19

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE7
Mapa: 20

E: 1/25.000

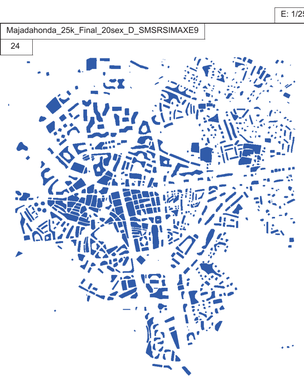
Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE8
Mapa: 21

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE8
Mapa: 22

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE8
Mapa: 23

E: 1/25.000

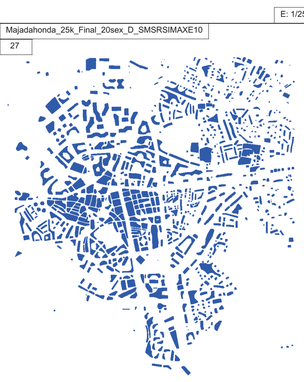
Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE9
Mapa: 24

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE9
Mapa: 25

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE9
Mapa: 26

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE10
Mapa: 27

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE10
Mapa: 28

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE10
Mapa: 29

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE11
Mapa: 30

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE11
Mapa: 31

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE11
Mapa: 32

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k
Mapa: 0

E: 1/25.000

Majadahonda (Completo Ejes)

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE12
Mapa: 33

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE12
Mapa: 34

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE12
Mapa: 35

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE13
Mapa: 36

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE13
Mapa: 37

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE13
Mapa: 38

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE14
Mapa: 39

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE14
Mapa: 40

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE14
Mapa: 41

E: 1/25.000

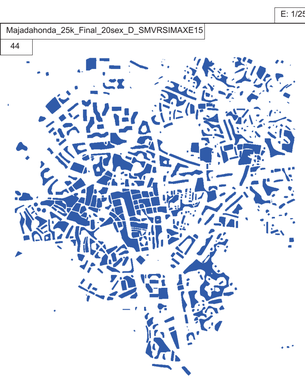
Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE15
Mapa: 42

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE15
Mapa: 43

E: 1/25.000

Archivo: Majadahonda_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE15
Mapa: 44

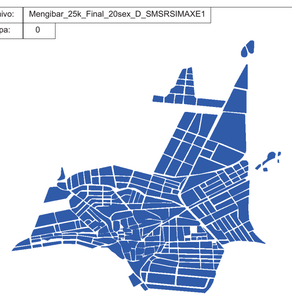


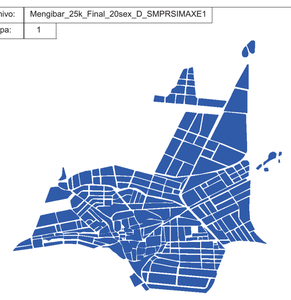
E: 1/25.000

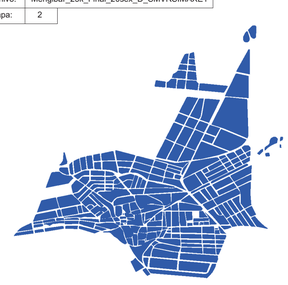
Archivo: Majadahonda_25k
Mapa: 0

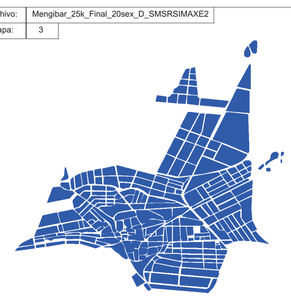
E: 1/25.000

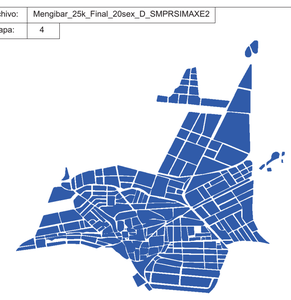
Mengibar (Completo Ejes)

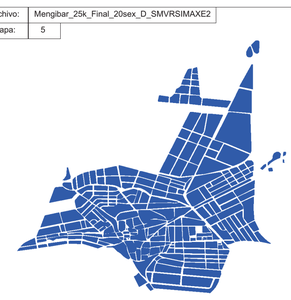
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE1
Mapa: 0

E: 1/25.000

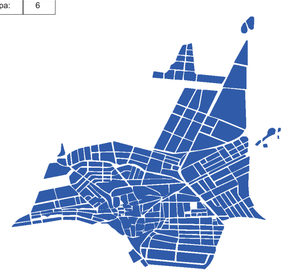
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE1
Mapa: 1

E: 1/25.000

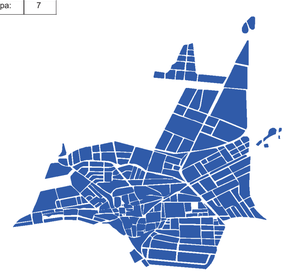
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE1
Mapa: 2

E: 1/25.000

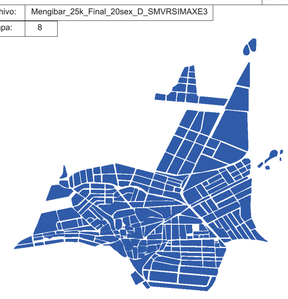
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE2
Mapa: 3

E: 1/25.000

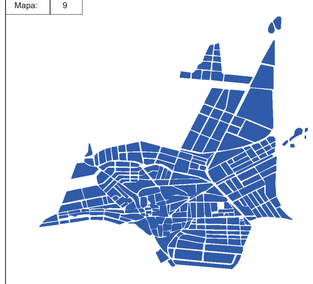
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE2
Mapa: 4

E: 1/25.000

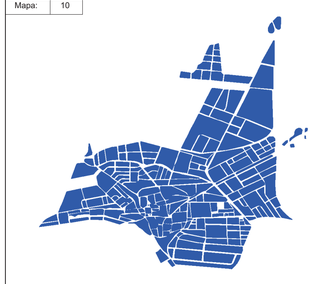
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE2
Mapa: 5

E: 1/25.000

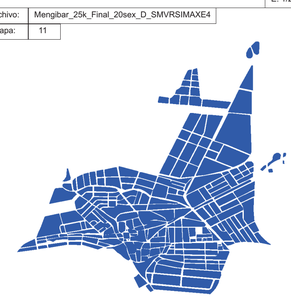
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE3
Mapa: 6

E: 1/25.000

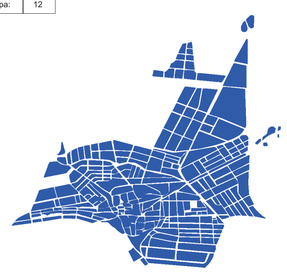
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE3
Mapa: 7

E: 1/25.000

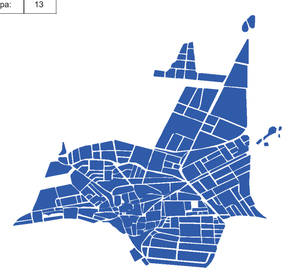
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE3
Mapa: 8

E: 1/25.000

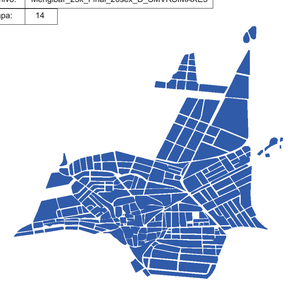
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE4
Mapa: 9

E: 1/25.000

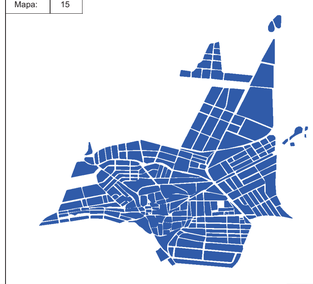
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE4
Mapa: 10

E: 1/25.000

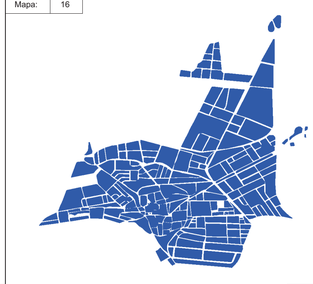
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE4
Mapa: 11

E: 1/25.000

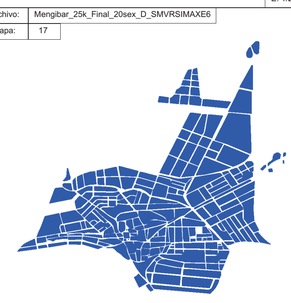
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE5
Mapa: 12

E: 1/25.000

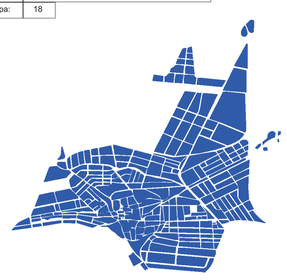
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE5
Mapa: 13

E: 1/25.000

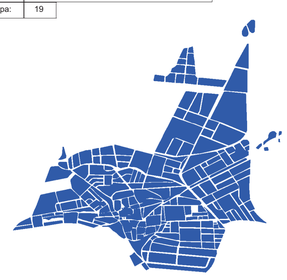
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE5
Mapa: 14

E: 1/25.000

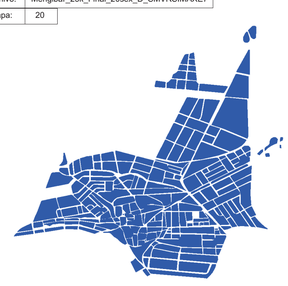
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE6
Mapa: 15

E: 1/25.000

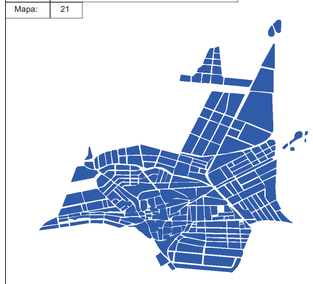
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE6
Mapa: 16

E: 1/25.000

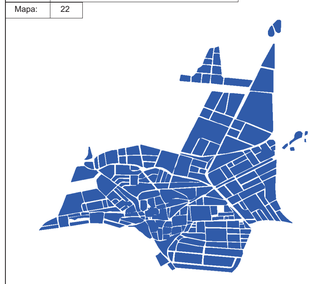
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE6
Mapa: 17

E: 1/25.000

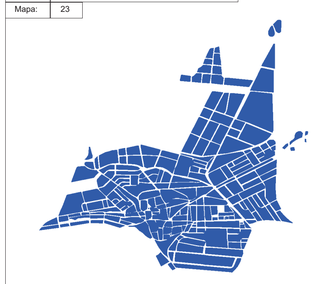
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE7
Mapa: 18

E: 1/25.000

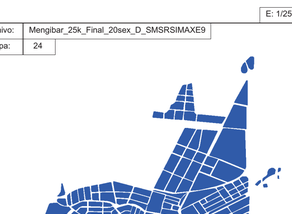
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE7
Mapa: 19

E: 1/25.000

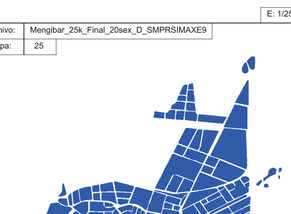
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE7
Mapa: 20

E: 1/25.000

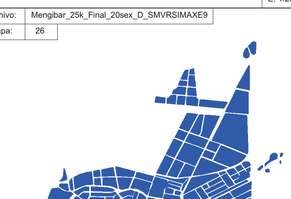
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE8
Mapa: 21

E: 1/25.000

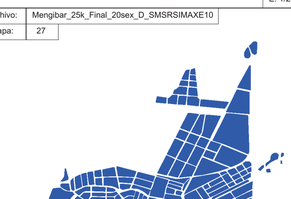
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE8
Mapa: 22

E: 1/25.000

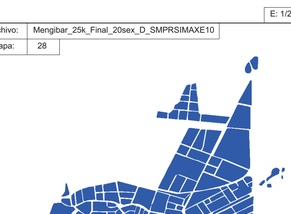
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE8
Mapa: 23

E: 1/25.000

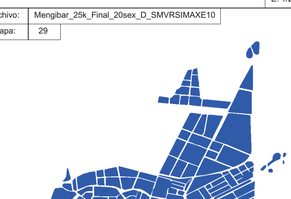
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE9
Mapa: 24

E: 1/25.000

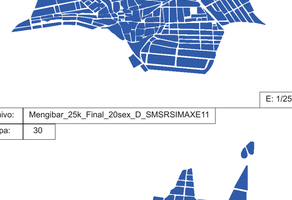
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE9
Mapa: 25

E: 1/25.000

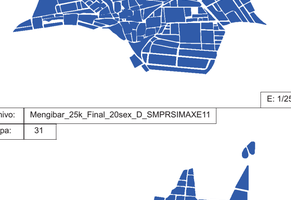
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE9
Mapa: 26

E: 1/25.000

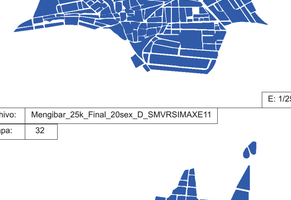
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE10
Mapa: 27

E: 1/25.000

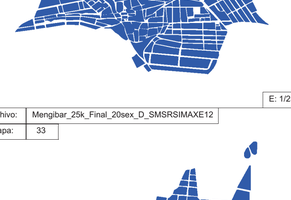
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE10
Mapa: 28

E: 1/25.000

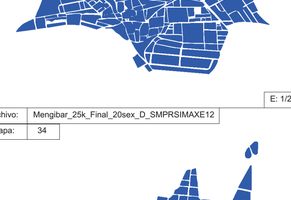
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE10
Mapa: 29

E: 1/25.000

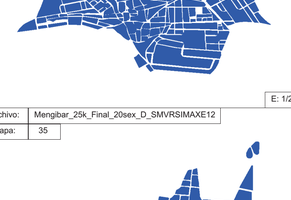
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE11
Mapa: 30

E: 1/25.000

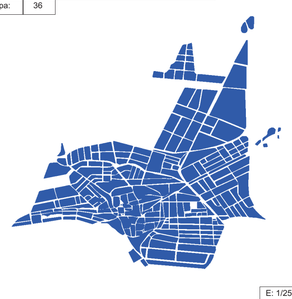
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE11
Mapa: 31

E: 1/25.000

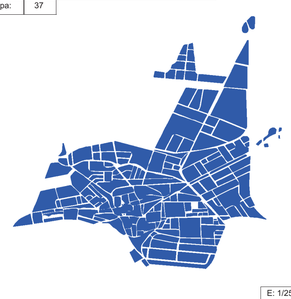
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE11
Mapa: 32

E: 1/25.000

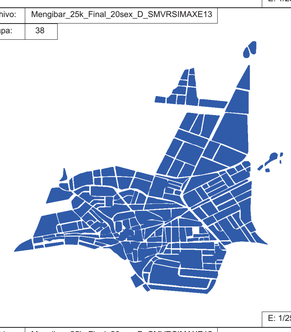
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE12
Mapa: 33

E: 1/25.000

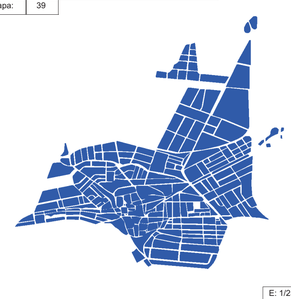
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE12
Mapa: 34

E: 1/25.000

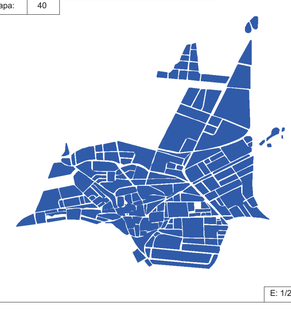
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE12
Mapa: 35

E: 1/25.000

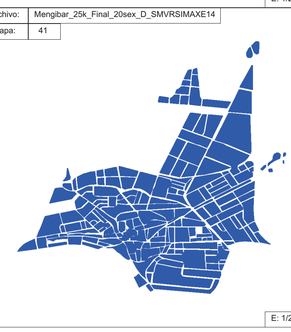
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE13
Mapa: 36

E: 1/25.000

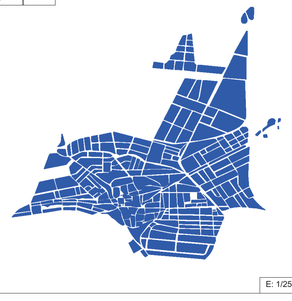
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE13
Mapa: 37

E: 1/25.000

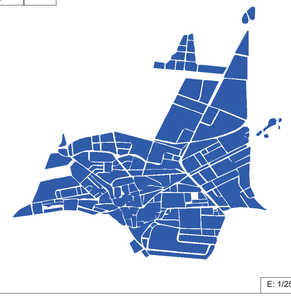
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE13
Mapa: 38

E: 1/25.000

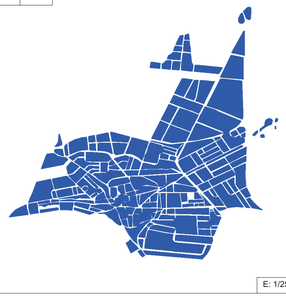
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE14
Mapa: 39

E: 1/25.000

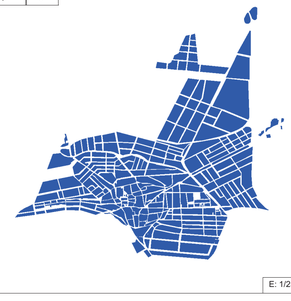
Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE14
Mapa: 40

E: 1/25.000

Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE14
Mapa: 41

E: 1/25.000

Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE15
Mapa: 42

E: 1/25.000

Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE15
Mapa: 43

E: 1/25.000

Archivo: Mengibar_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE15
Mapa: 44

E: 1/25.000

Archivo: Mengibar_25k
Mapa: 0

E: 1/25.000

Almeria (Completo Ejes)

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE1
Mapa: 0

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE1
Mapa: 1

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE1
Mapa: 2

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE2
Mapa: 3

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE2
Mapa: 4

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE2
Mapa: 5

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE3
Mapa: 6

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE3
Mapa: 7

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE3
Mapa: 8

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE4
Mapa: 9

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE4
Mapa: 10

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_25k
Mapa: N/D

E: 1/25.000

Almeria (Completo Ejes)

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE4
Mapa: 11

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE5
Mapa: 12

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE5
Mapa: 13

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE5
Mapa: 14

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE6
Mapa: 15

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE6
Mapa: 16

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE6
Mapa: 17

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE7
Mapa: 18

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE7
Mapa: 19

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE7
Mapa: 20

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE8
Mapa: 21

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_25k
Mapa: N/D

E: 1/25.000

Almeria (Completo Ejes)

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE8
Mapa: 22

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE8
Mapa: 23

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE9
Mapa: 24

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE9
Mapa: 25

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE9
Mapa: 26

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE10
Mapa: 27

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE10
Mapa: 28

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE10
Mapa: 29

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE11
Mapa: 30

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE11
Mapa: 31

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE11
Mapa: 32

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_25k
Mapa: N/D

E: 1/25.000

Almeria (Completo Ejes)

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE12
Mapa: 33

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE12
Mapa: 34

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE12
Mapa: 35

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE13
Mapa: 36

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE13
Mapa: 37

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE13
Mapa: 38

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE14
Mapa: 39

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE14
Mapa: 40

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE14
Mapa: 41

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE15
Mapa: 42

E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE15
Mapa: 43

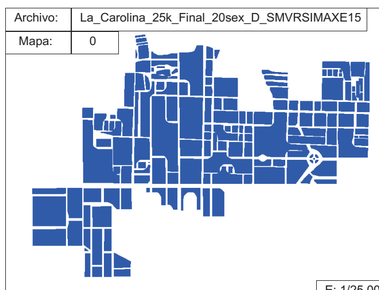
E: 1/25.000

Archivo: Almeria_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE15
Mapa: 44

E: 1/25.000

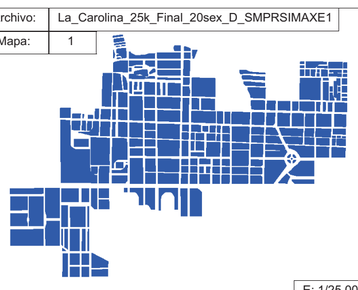
La Carolina (Completo Ejes)

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE15
Mapa:	0



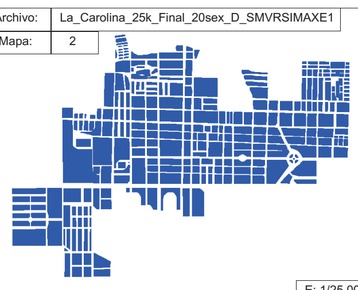
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE1
Mapa:	1



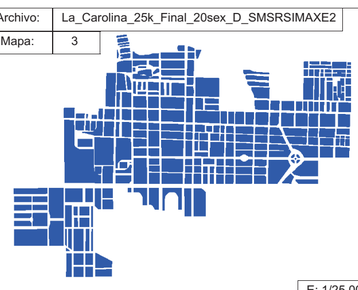
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE1
Mapa:	2



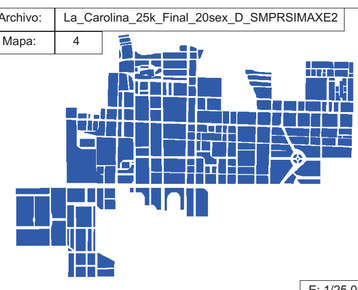
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE2
Mapa:	3



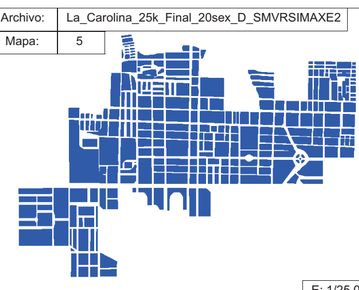
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE2
Mapa:	4



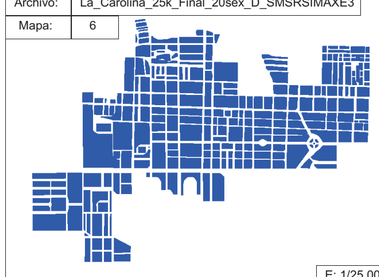
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE2
Mapa:	5



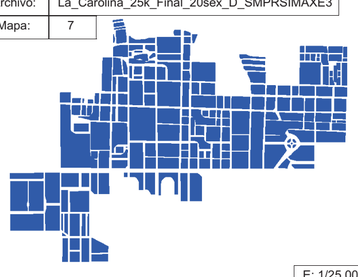
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE3
Mapa:	6



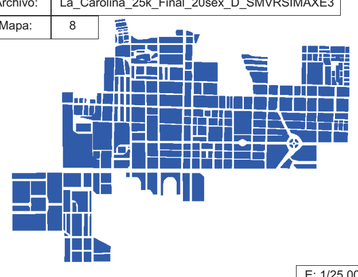
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE3
Mapa:	7



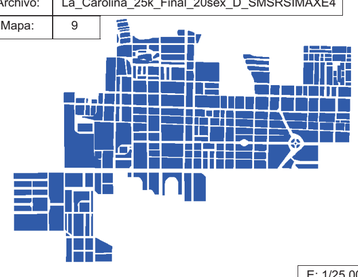
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE3
Mapa:	8



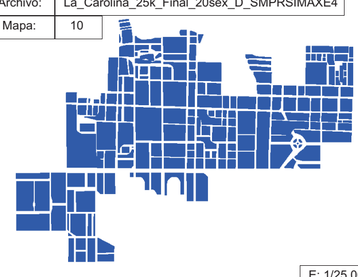
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE4
Mapa:	9



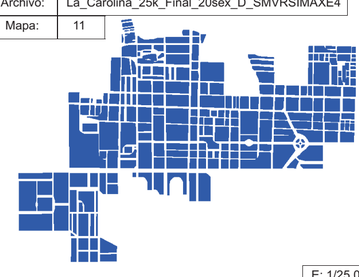
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE4
Mapa:	10



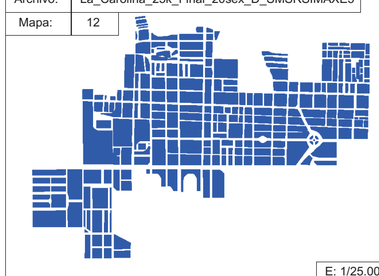
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE4
Mapa:	11



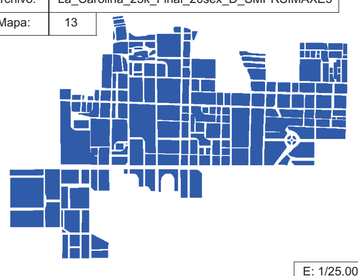
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE5
Mapa:	12



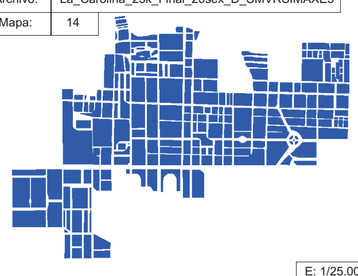
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE5
Mapa:	13



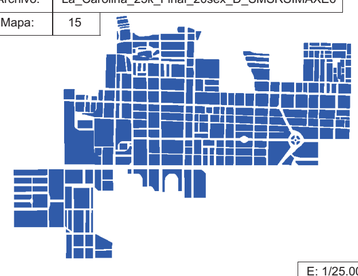
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE5
Mapa:	14



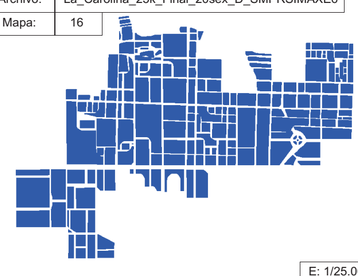
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE6
Mapa:	15



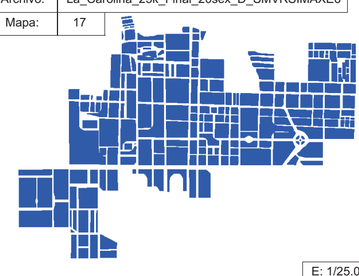
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE6
Mapa:	16



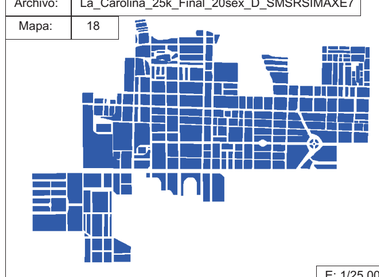
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE6
Mapa:	17



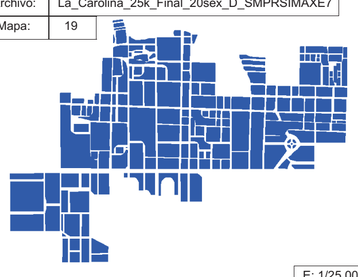
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE7
Mapa:	18



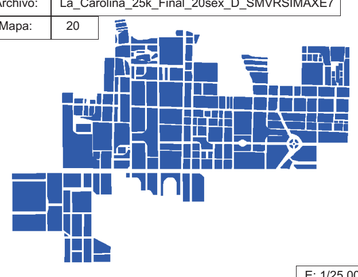
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE7
Mapa:	19



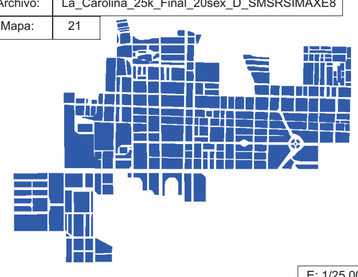
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE7
Mapa:	20



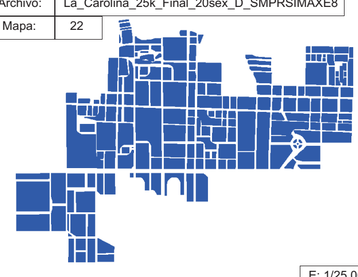
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE8
Mapa:	21



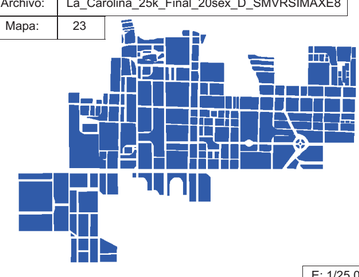
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE8
Mapa:	22



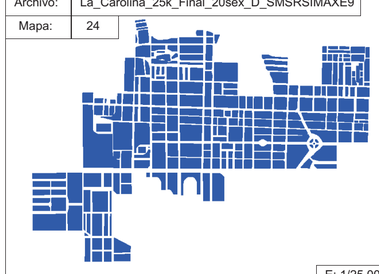
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE8
Mapa:	23



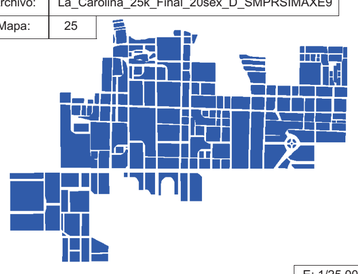
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE9
Mapa:	24



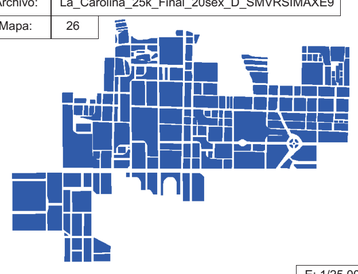
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE9
Mapa:	25



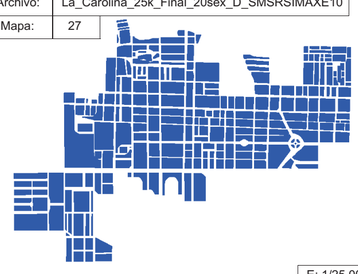
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE9
Mapa:	26



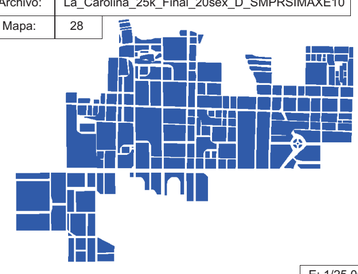
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE10
Mapa:	27



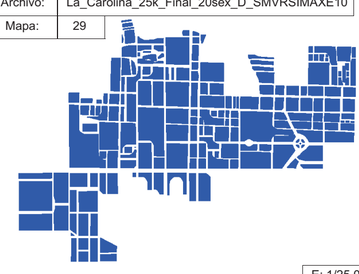
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE10
Mapa:	28



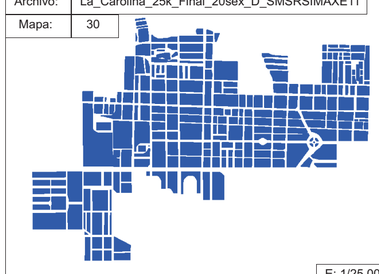
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE10
Mapa:	29



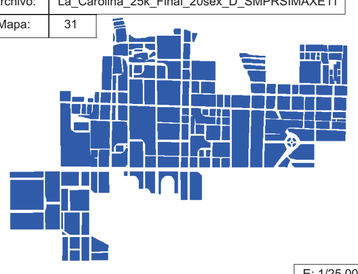
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE11
Mapa:	30



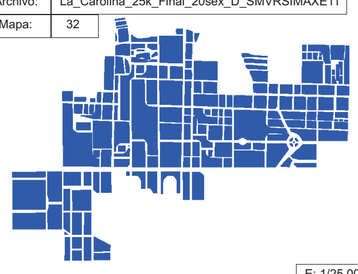
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE11
Mapa:	31



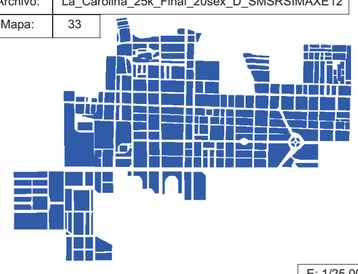
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE11
Mapa:	32



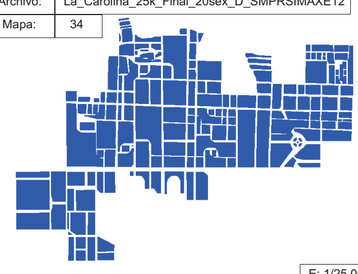
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE12
Mapa:	33



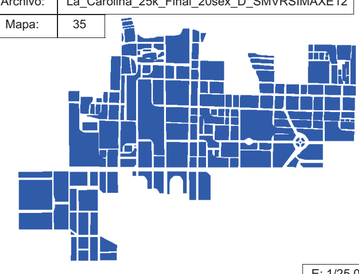
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE12
Mapa:	34



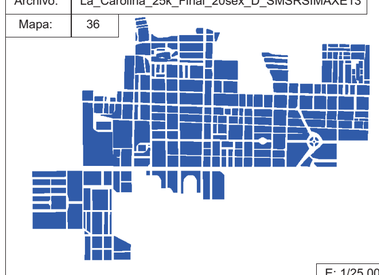
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE12
Mapa:	35



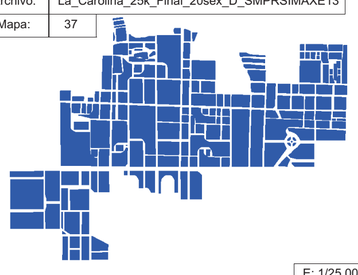
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE13
Mapa:	36



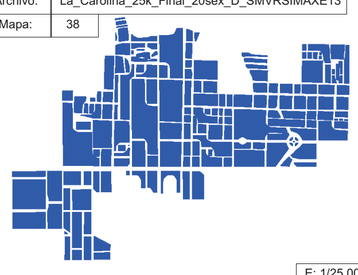
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE13
Mapa:	37



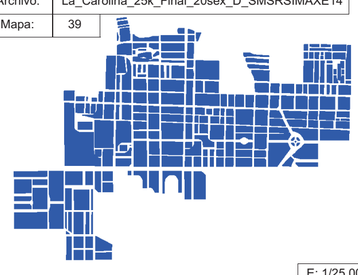
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE13
Mapa:	38



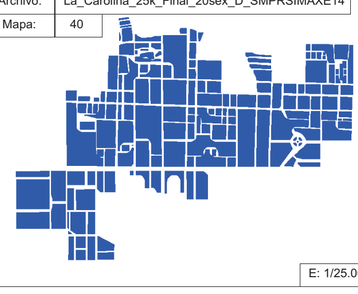
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE14
Mapa:	39



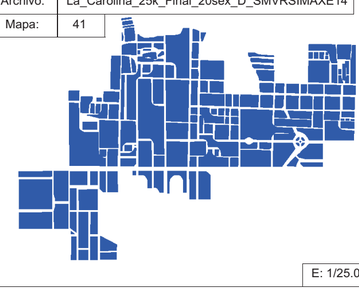
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE14
Mapa:	40



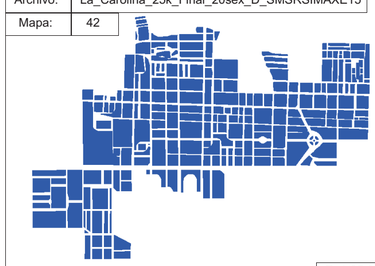
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE14
Mapa:	41



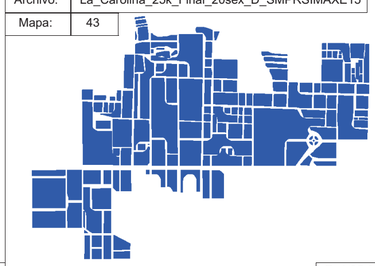
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE15
Mapa:	42



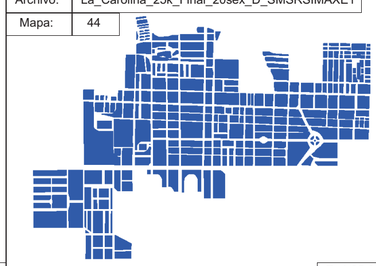
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE15
Mapa:	43



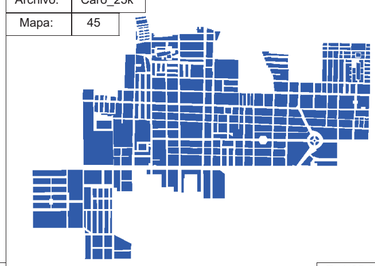
E: 1/25.000

Archivo:	La_Carolina_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE1
Mapa:	44



E: 1/25.000

Archivo:	Caro_25k
Mapa:	45



E: 1/25.000

Logroño (Completo Ejes)

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE1
Mapa: 0

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE1
Mapa: 1

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE1
Mapa: 2

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE2
Mapa: 3

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE2
Mapa: 4

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE2
Mapa: 5

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE3
Mapa: 6

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE3
Mapa: 7

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE3
Mapa: 8

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE4
Mapa: 9

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE4
Mapa: 10

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k
Mapa: N/D

E: 1/25.000

Logroño (Completo Ejes)

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE4
Mapa: 11

E: 1/25.000

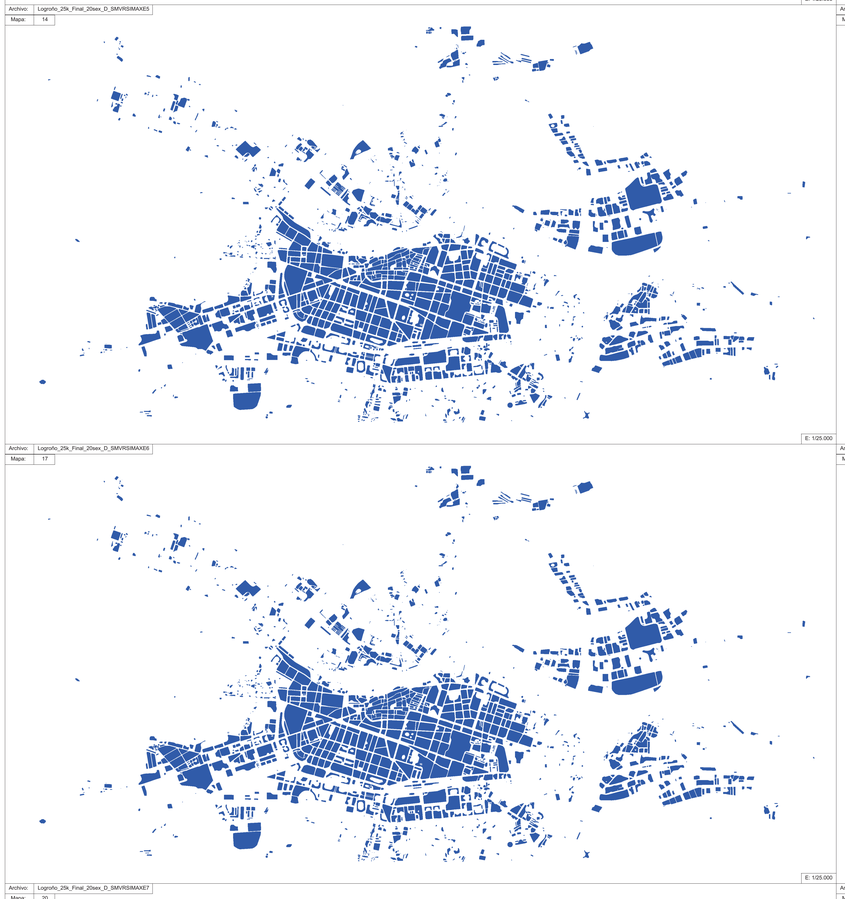
Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE5
Mapa: 12

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE5
Mapa: 13

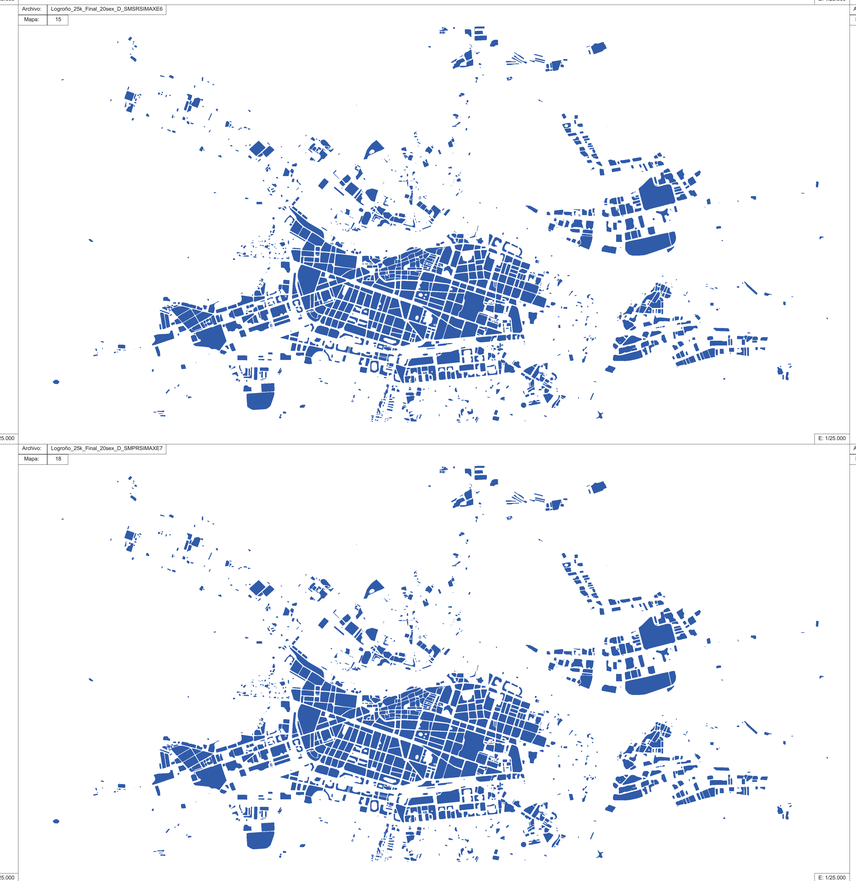
E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE5
Mapa: 14



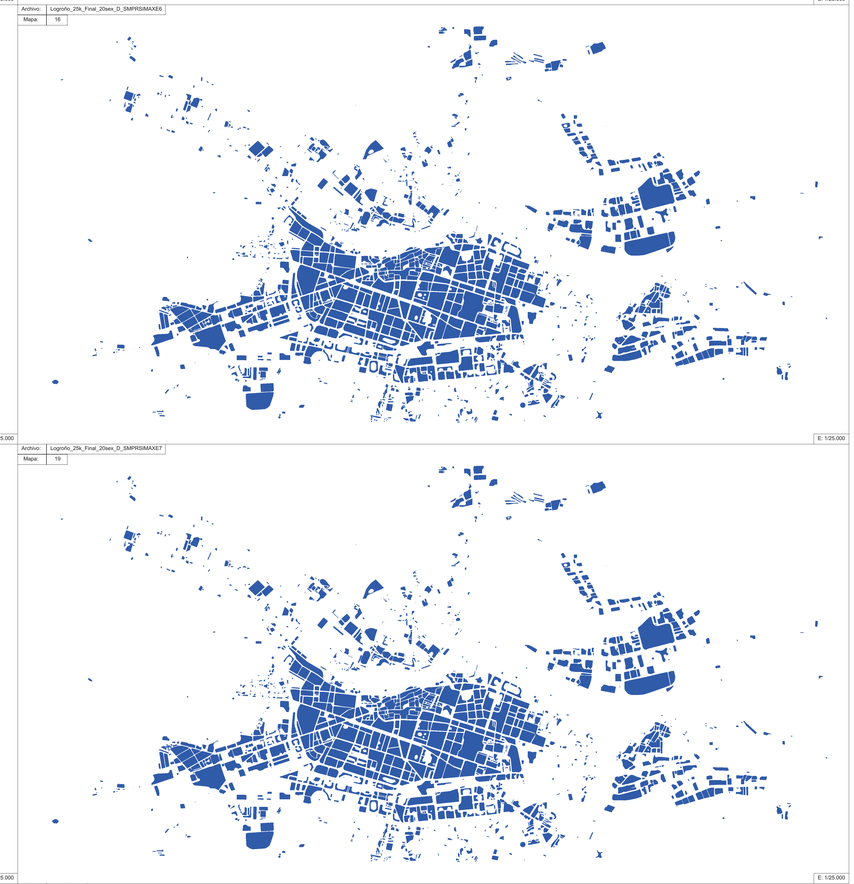
E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE6
Mapa: 15



E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE6
Mapa: 16



E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE6
Mapa: 17

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE7
Mapa: 18

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE7
Mapa: 19

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE7
Mapa: 20

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE8
Mapa: 21

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k
Mapa: N/D

E: 1/25.000

Logroño (Completo Ejes)

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE8
Mapa: 22

E: 1/25.000

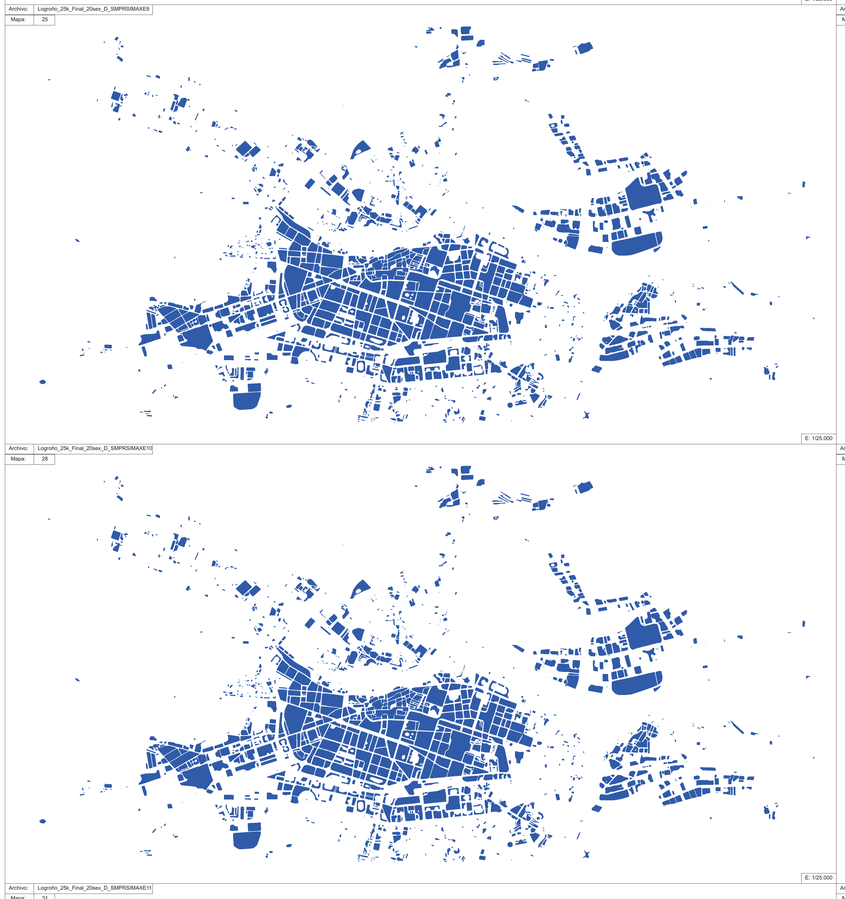
Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE8
Mapa: 23

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE9
Mapa: 24

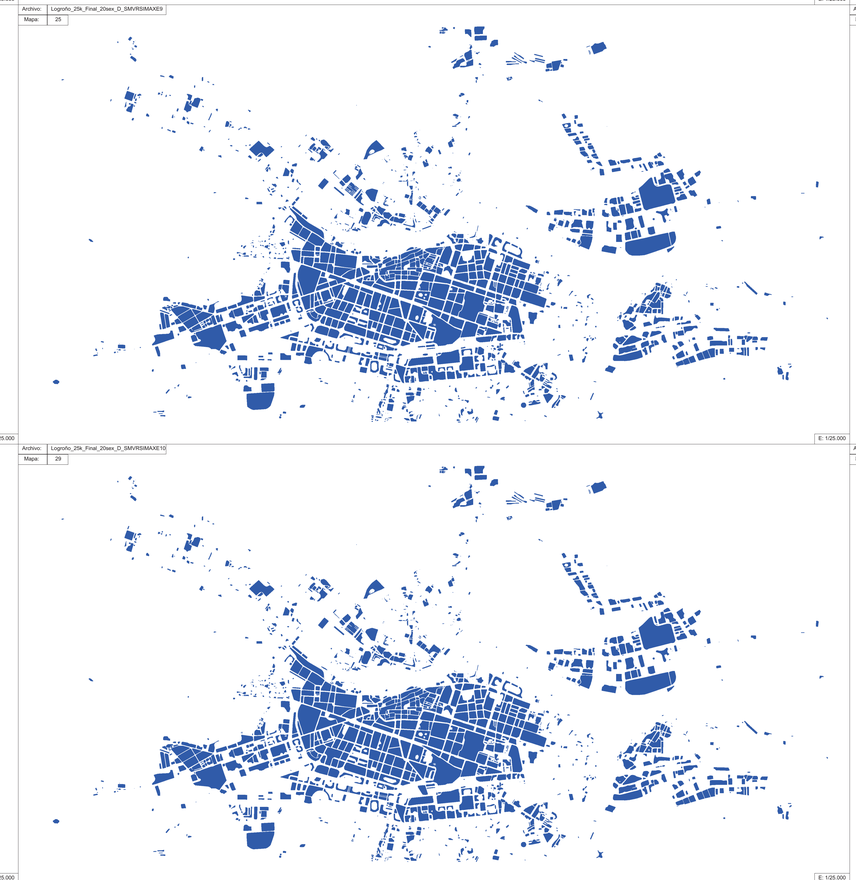
E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE9
Mapa: 25



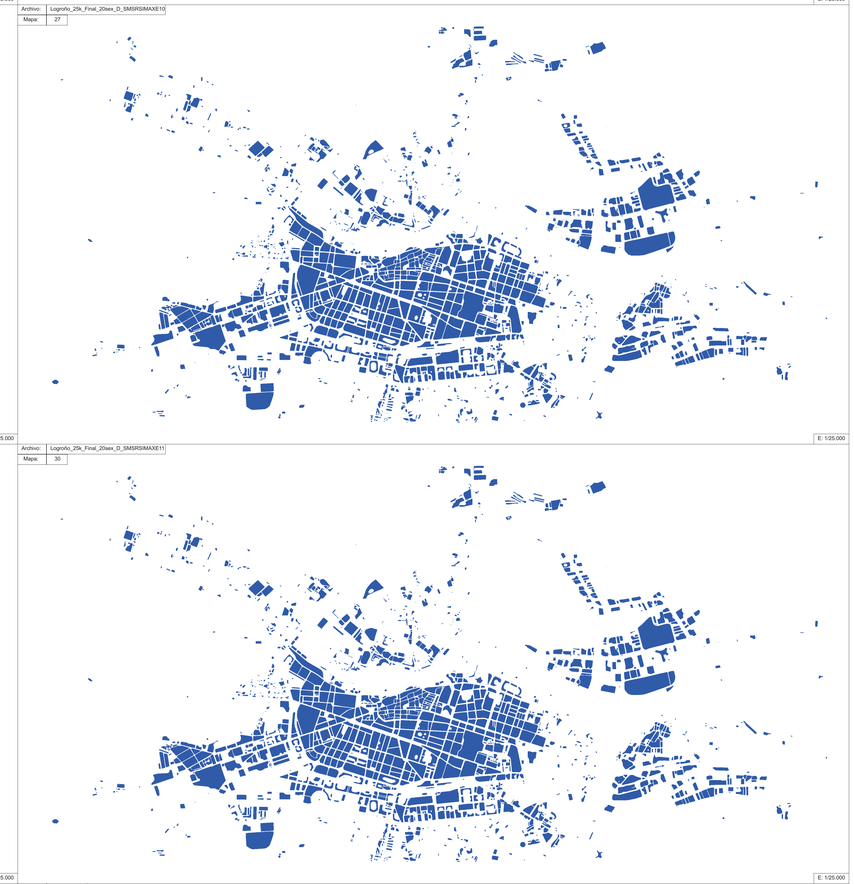
E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE9
Mapa: 26



E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE10
Mapa: 27



E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE10
Mapa: 28

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE10
Mapa: 29

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE11
Mapa: 30

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE11
Mapa: 31

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE11
Mapa: 32

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k
Mapa: N/D

E: 1/25.000

Logroño (Completo Ejes)

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE12
Mapa: 33

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE12
Mapa: 34

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE12
Mapa: 35

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE13
Mapa: 36

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE14
Mapa: 37

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE13
Mapa: 38

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE14
Mapa: 39

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE14
Mapa: 40

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE14
Mapa: 41

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMSRSIMAXE15
Mapa: 42

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMPRSIMAXE15
Mapa: 43

E: 1/25.000

Archivo: Logroño_25k_Final_20sex_D_SMVRSIMAXE15
Mapa: 44

E: 1/25.000

Anejo 7:
Encuesta enviada al grupo de expertos.

Jaén a 13 de diciembre de 2003

Estimado señor o señora:

Me encuentro realizando una tesis doctoral cuya temática es la generalización cartográfica de cascos urbanos buscando soluciones semiautomáticas en un entorno ráster.

El proceso que se ha desarrollado es la generalización de los cascos urbanos basada en algoritmos que incluyen, entre otros, criterios de enriquecimiento y percepción. Desde nuestro punto de vista, un proceso de generalización de cascos urbanos totalmente automático no es posible; por ello el objetivo último de nuestro trabajo consiste en aportar soluciones estandarizadas, que pueden considerarse como una solución previa a la final, y que requirieren, como última fase, que un cartógrafo realice tareas sencillas como la reconstrucción de alguna calle desaparecida, o la simplificación de algún edificio. Por tanto, consideramos que nuestro proceso reduce, en gran medida, la participación humana y su componente subjetiva, dejando sólo en manos del operario un conjunto mínimo de tareas elementales.

En la actualidad, los trabajos se encuentran en un estado avanzado y nos gustaría tener una valoración externa de algunos resultados parciales por parte de expertos.

Según todo lo anterior, le escribo estas líneas con la esperanza de que, como experto en la materia, y como fuente independiente del proceso desarrollado, pueda realizar una valoración de los ejemplos que se le envían. Sus valoraciones y comentarios servirán para comprobar:

a) Que el proceso de generalización es adecuado a los objetivos marcados.
b) Que la comprobación visual y los criterios de evaluación utilizados durante la tesis doctoral son coherentes con el grupo de expertos independiente (con diferentes orígenes y formaciones).

Todo ello nos será de gran valor para la continuación de estas investigaciones.

El trabajo que se le propone consiste en la revisión de los ejemplos que se le remiten en las hojas adjuntas. Todos los cascos han sido generalizados de forma completamente automática partiendo de datos de cartografía disponible. Su valoración global no debe olvidar que el objetivo del proceso no es una generalización definitiva sino una ayuda estándar al operario.

Para facilitar su participación y la homogeneidad de los resultados obtenidos con otros expertos, se le incluye una guía explicativa del trabajo a realizar y códigos de error. Se adjunta un sobre con la dirección listo para el envío, que, si lo estima oportuno se realizará a portes debidos y a través de una compañía de transporte urgente.

Para cualquier duda o consulta me encontraré a su disposición en :

D. Manuel A. Ureña Cámara
Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría.
Universidad de Jaén.
C/ Virgen de la Cabeza nº 2.

23071. Jaén (Jaén). España.
Teléfono trabajo +34 953 01 23 75
Teléfono particular +34 626 62 14 01
Correo electrónico maurena@ujaen.es

Agradeciendo de antemano toda su dedicación y esfuerzo, e ilusionado con poder contar con sus aportaciones, atentamente

Manuel A. Ureña Cámara.

Propuesta del proceso a realizar

El proceso que se le propone consiste en el análisis visual de los diferentes cascos urbanos (4 en total para cada una de las ciudades) que se le envían. Para facilitar la evaluación y análisis, se presentan en hojas independientes que contienen los siguientes elementos (ver Figura 1):

1. Conjunto de 3 cascos urbanos:
    1a. Esquina superior izquierda: Casco urbano generalizado representado a escala 1/25000.
    1b. Esquina inferior izquierda: El casco urbano 1a pero reducido a la escala 1/50000 (escala final de representación).
    1c. Esquina superior derecha: Casco urbano original a escala 1/25000.

2. Un conjunto de elementos que deben ser rellenados en la evaluación de la generalización divididos en:
    2a. Una zona indicando el grado de satisfacción general con la solución que se observa.
    2b. Una zona donde indicar los fallos o defectos codificados según la tabla que se adjunta al final y extraída de las pruebas realizadas por la OEEPE (ver tabla 1).

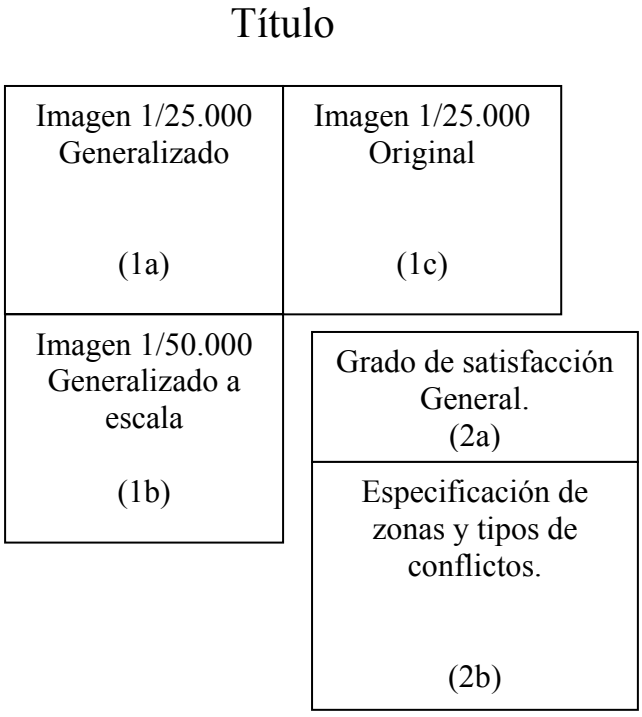


Figura 1. Diseño general de las hojas de los cascos urbanos.

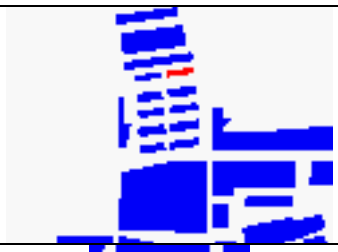
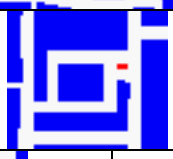
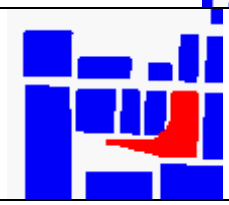
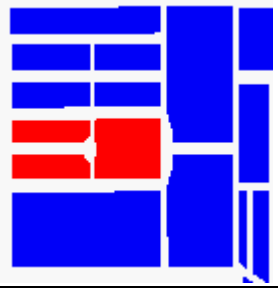
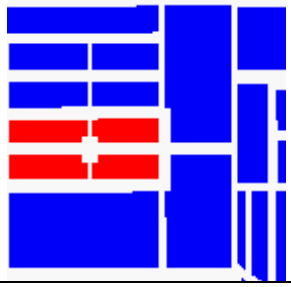
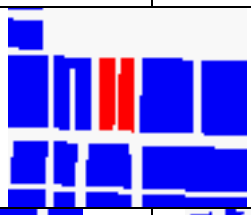
La revisión que se le propone, consistiría en dos partes:

1. Que emita su opinión global de satisfacción con la solución que le entregamos para ese casco urbano numerada de 1 (muy mal) a 10 (muy bien), teniendo en cuenta que es un resultado que se someterá a una posterior revisión por parte de un cartógrafo, y que dicha revisión debería ser mínima.
2. Que marque aquellas partes en la imagen 1/25000 con las que esté en desacuerdo, las numere e indique qué código o códigos de errores de la tabla 1 tiene. Toda esta información se incluirá en el área 2b (número de zona, código de error y una observación acerca de las razones del error).

Para cualquier duda o consulta me encontraré a su disposición en

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría.
Universidad de Jaén.
C/ Virgen de la Cabeza nº 2.
23071. Jaén (Jaén). España.
Teléfono trabajo +34 953 01 23 75
Teléfono particular +34 626 62 14 01
Correo electrónico maurena@ujaen.es

LISTADO DE CÓDIGOS

Tipo de elemento	Código	Descripción	Ejemplo
Polígonos individuales	120	Muy fino	
	121	Muy pequeño	
	131	Pérdida de características de forma	 Después de generalizar | Antes de Generalizar
Conjuntos de polígonos	421	Pérdidas del tamaño relativo	  Después de generalizar | Antes de Generalizar
	440	Polígonos muy cercanos	
	462	Polígono y hueco erróneos	Después de generalizar | Antes de Generalizar

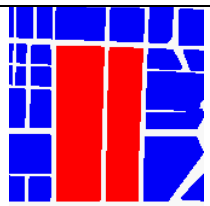
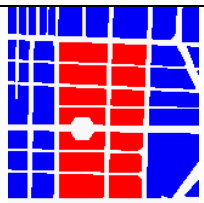
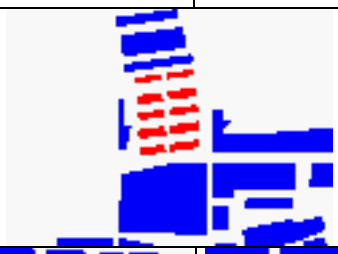
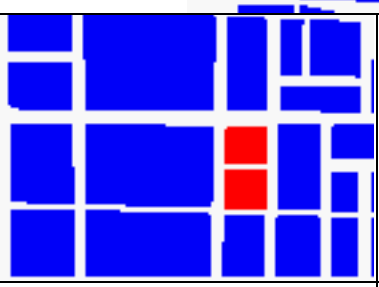
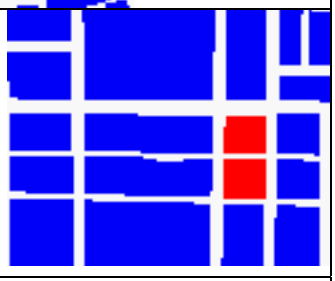
Tipo de elemento	Código	Descripción	Ejemplo	
	464	Pérdida de la estructura espacial general		
			Después de generalizar	Antes de Generalizar
	480	Sobredensidad de polígonos		
	481	Densidad homogénea errónea		
			Después de generalizar	Antes de Generalizar

Tabla 1. Códigos de conflictos (códigos originales de la encuesta de la OEEPE). Los elementos en rojo representan los que poseen el código de error indicado.

Anejo 8:
Cascos urbanos generalizados enviados al grupo de expertos.

Bilbao

Mapa: 25

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-2
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 4

Bilbao

Mapa: 29

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-2
Escala:	Multiple	No. Hoja:	2 / 4

Bilbao

Mapa: 40

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-2
Escala:	Multiple	No. Hoja:	3 / 4

Bilbao

Mapa: 25

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-2
Escala:	Multiple	No. Hoja:	4 / 4

Logroño

Mapa: 19

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-6
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 4

Logroño

Mapa: 28

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-6
Escala:	Multiple	No. Hoja:	2 / 4

Logroño

Mapa: 43

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-6
Escala:	Multiple	No. Hoja:	3 / 4

Logroño

Mapa: 44

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-6
Escala:	Multiple	No. Hoja:	4 / 4

Majadahonda

Mapa:	19

E: 1/25.000

Mapa:	N/D

E: 1/25.000

Mapa:	0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	17 de noviembre de 2003	No. Mapa:	A8-7
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 4

Majadahonda

Mapa:	15

E: 1/25.000

Mapa:	N/D

E: 1/25.000

Mapa:	0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	17 de noviembre de 2003	No. Mapa:	A8-7
Escala:	Multiple	No. Hoja:	2 / 4

Majadahonda

Mapa:	11

E: 1/25.000

Mapa:	N/D

E: 1/25.000

Mapa:	0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	17 de noviembre de 2003	No. Mapa:	A8-7
Escala:	Multiple	No. Hoja:	3 / 4

Majadahonda

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

Mapa: 44

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

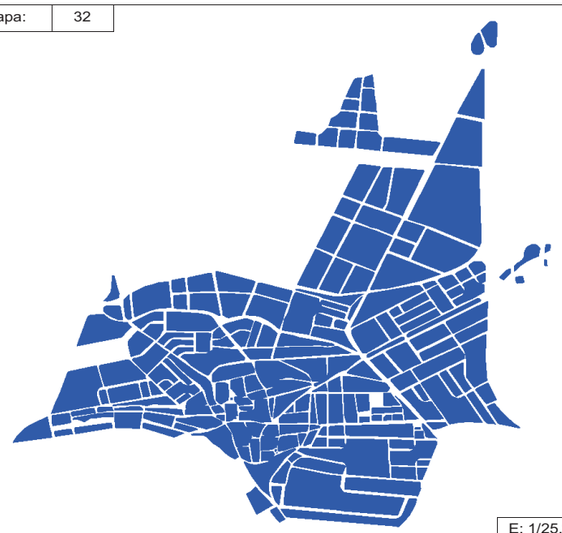
Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	17 de noviembre de 2003	No. Mapa:	A8-7
Escala:	Multiple	No. Hoja:	4 / 4

Mengíbar

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

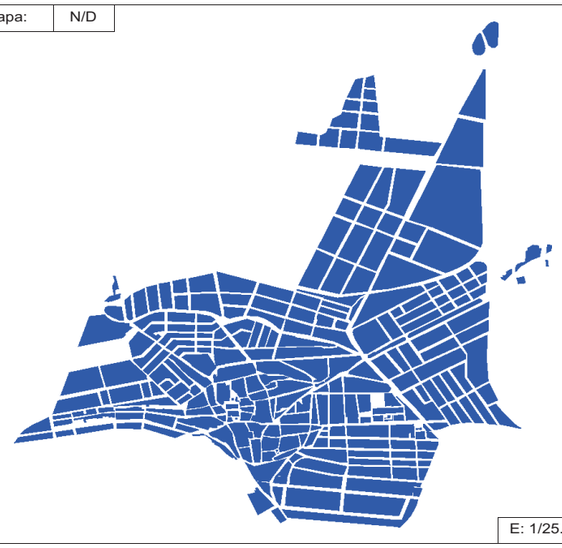
Conflicto	Zona	Observaciones

Mapa: 32



E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

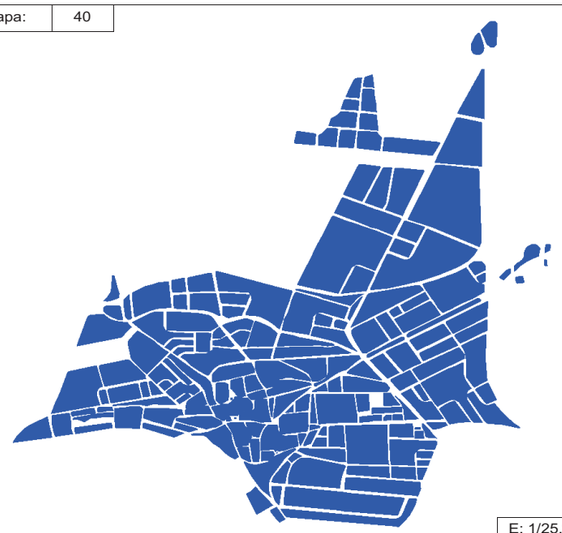
Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-8
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 4

Mengíbar

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

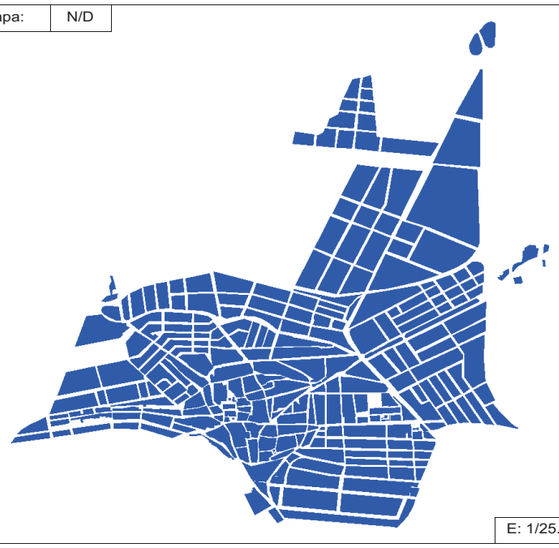
Conflicto	Zona	Observaciones

Mapa: 40



E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

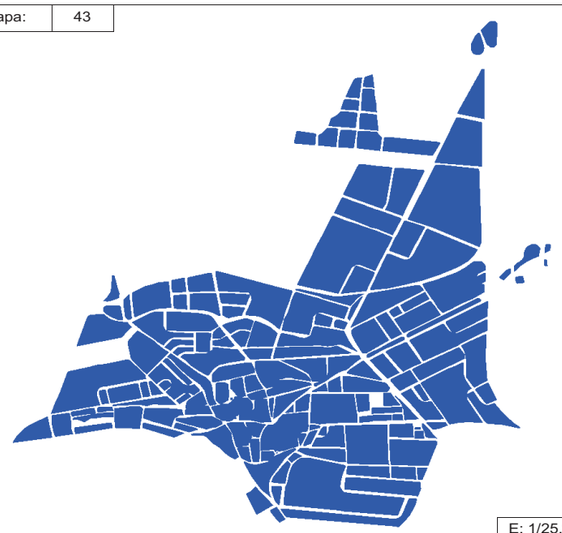
Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-8
Escala:	Multiple	No. Hoja:	2 / 4

Mengíbar

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

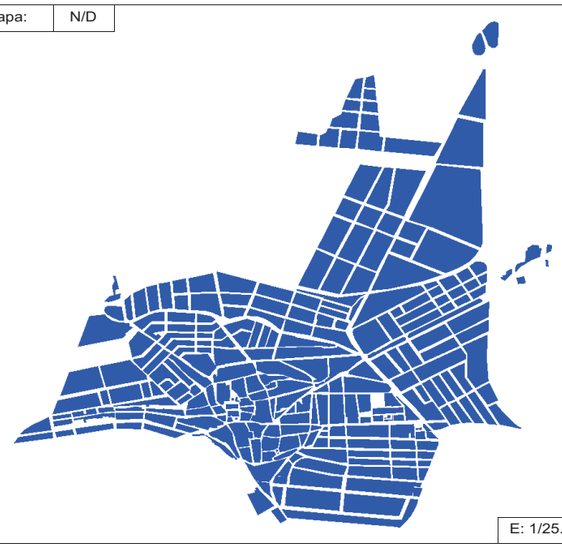
Conflicto	Zona	Observaciones

Mapa: 43



E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

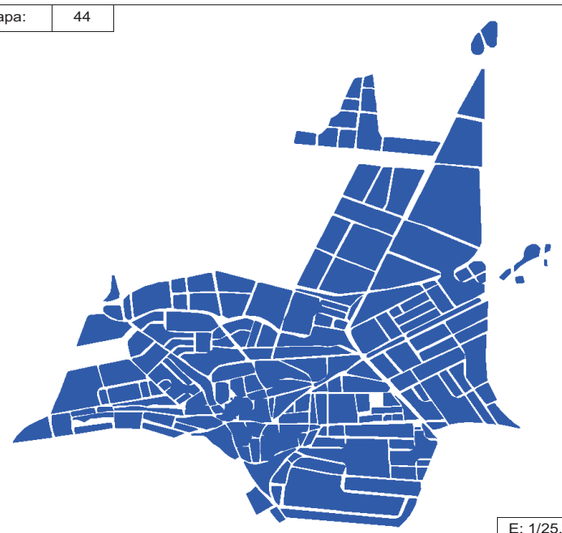
Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-8
Escala:	Multiple	No. Hoja:	3 / 4

Mengíbar

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

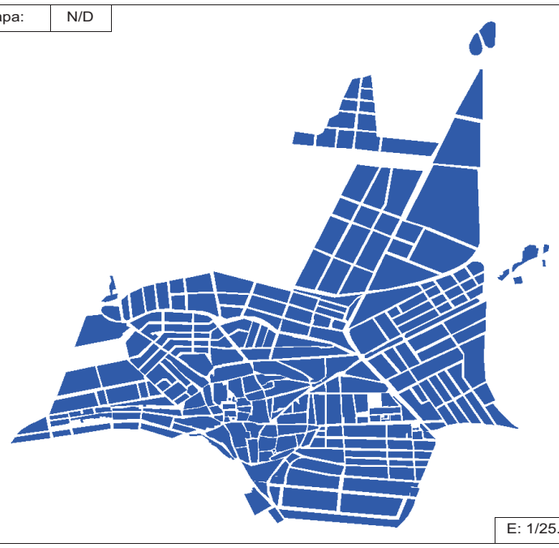
Conflicto	Zona	Observaciones

Mapa: 44



E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

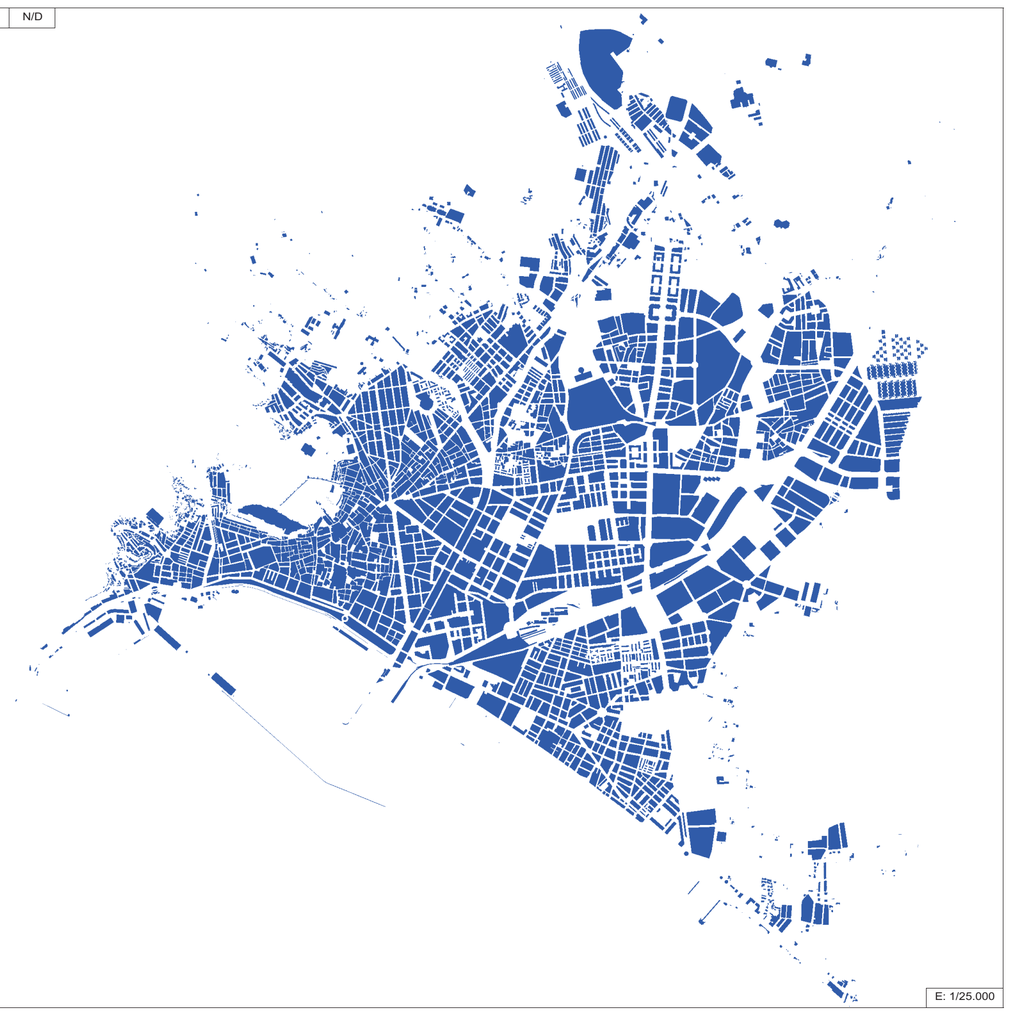
Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-8
Escala:	Multiple	No. Hoja:	4 / 4

Almería

Mapa: 19

E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

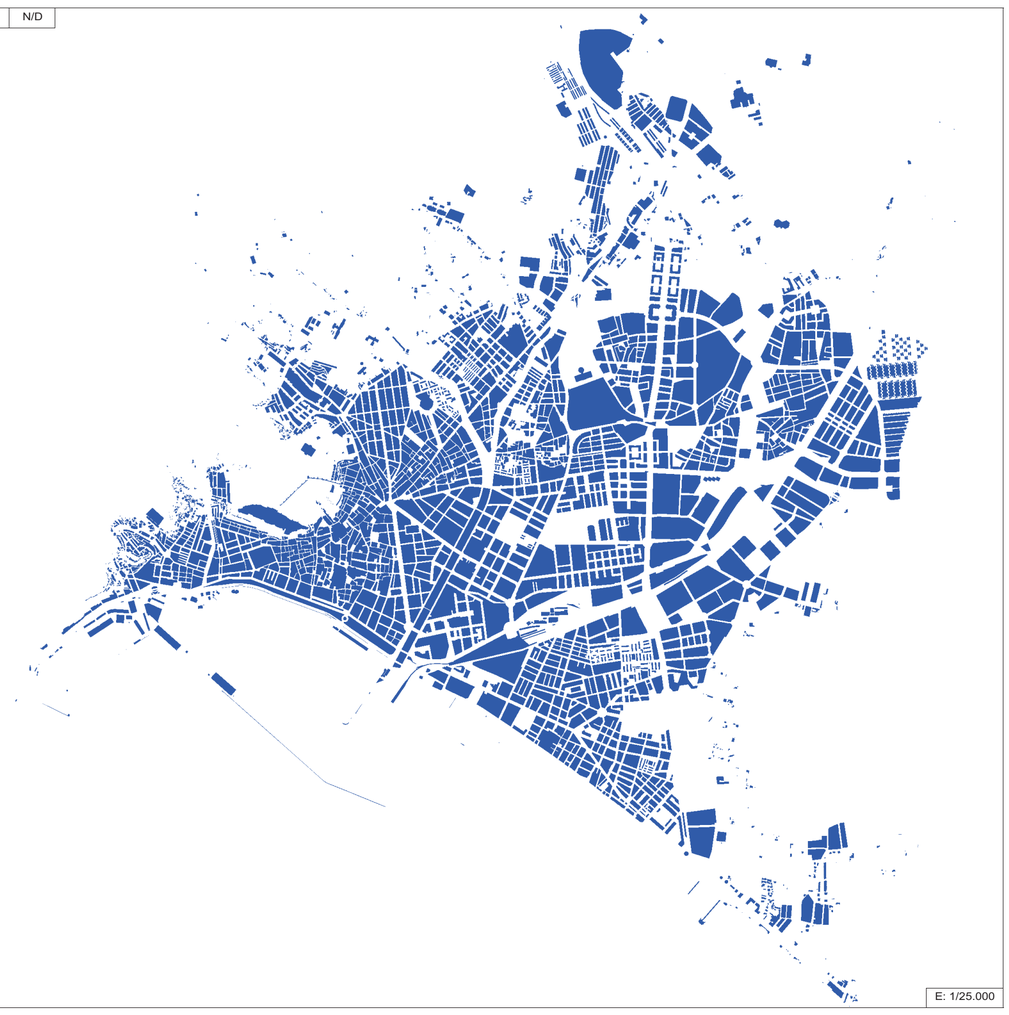
Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara		
Director:	C. U. Dr. D. Francisco J. Ariza Lopez		
Fecha:	9 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-1
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 1

Almería

Mapa: 25

E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

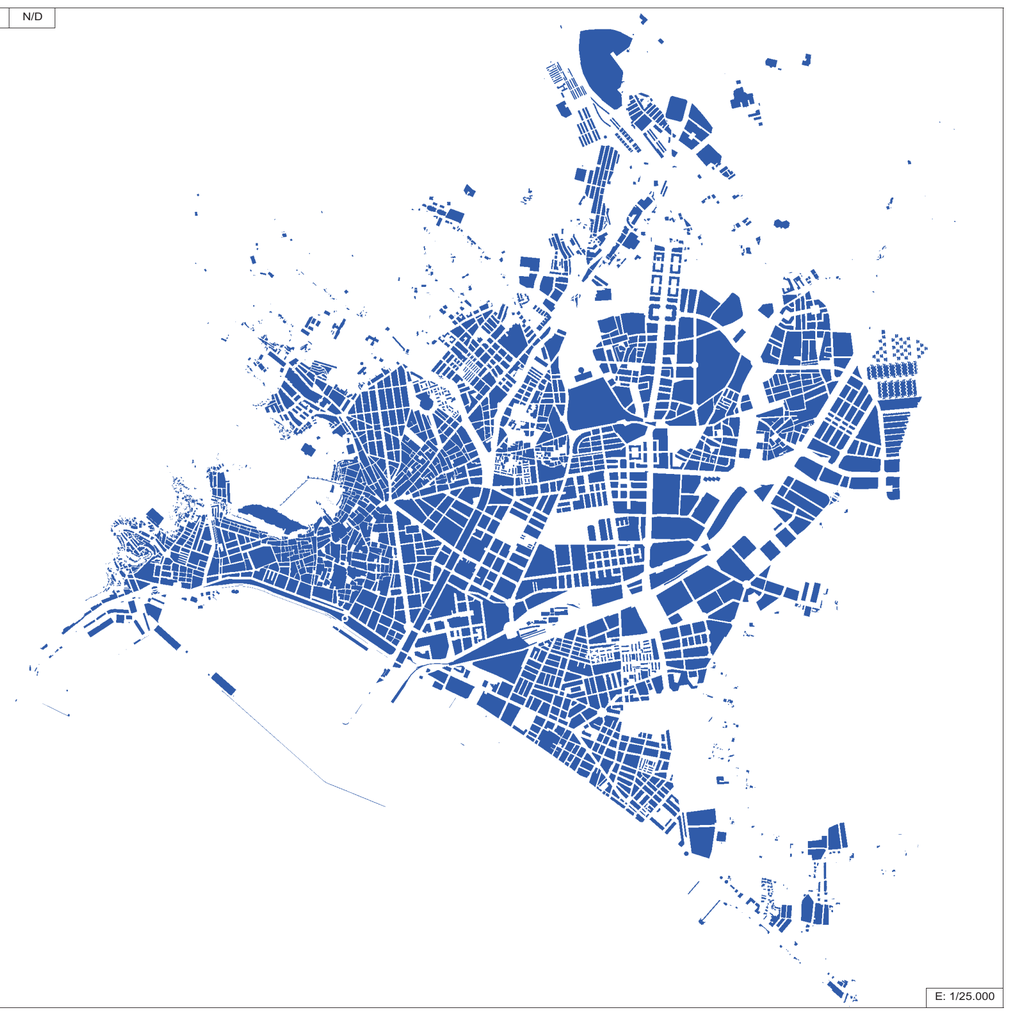
Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara		
Director:	C. U. Dr. D. Francisco J. Ariza Lopez		
Fecha:	9 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-1
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 1

Almería

Mapa: 40

E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	C. U. Dr. D. Francisco J. Ariza Lopez

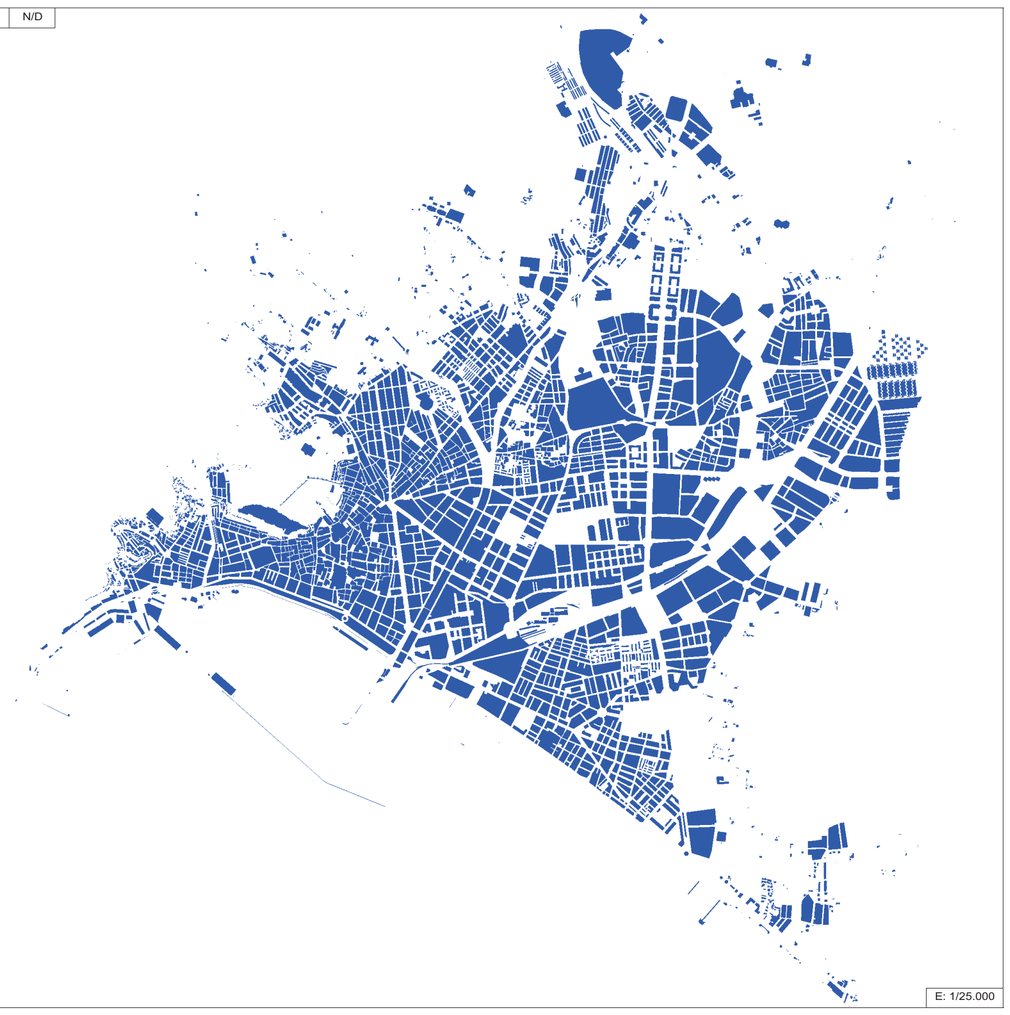
Fecha:	9 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-1
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 1

Almería

Mapa: 39

E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor: D. Manuel A. Ureña Camara

Director: Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	9 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-1
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 1

Burgos

Mapa: 44

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	9 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-3
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 4

Burgos

Mapa: 43

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	9 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-3
Escala:	Multiple	No. Hoja:	2 / 4

Burgos

Mapa: 41

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	9 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-3
Escala:	Multiple	No. Hoja:	3 / 4

Burgos

Mapa: 40

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	9 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-3
Escala:	Multiple	No. Hoja:	4 / 4

Jaén

Mapa: 19

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-4
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 4

Jaén

Mapa:	40

E: 1/25.000

Mapa:	N/D

E: 1/25.000

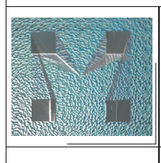
Mapa:	0

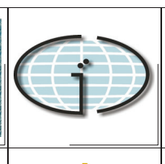
E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER





Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-4
Escala:	Multiple	No. Hoja:	2 / 4

Jaén

Mapa:	43

E: 1/25.000

Mapa:	N/D

E: 1/25.000

Mapa:	0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-4
Escala:	Multiple	No. Hoja:	3 / 4

Jaén

Mapa: 44

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

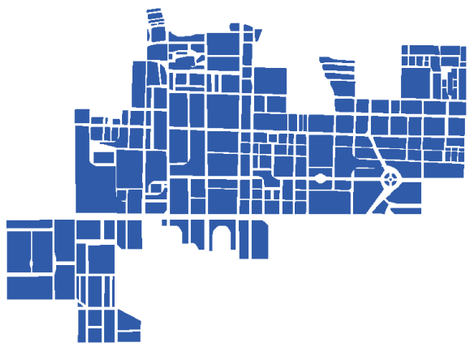
Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-4
Escala:	Multiple	No. Hoja:	4 / 4

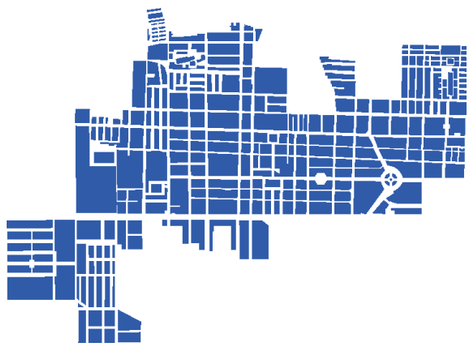
La Carolina

Mapa: 17



E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

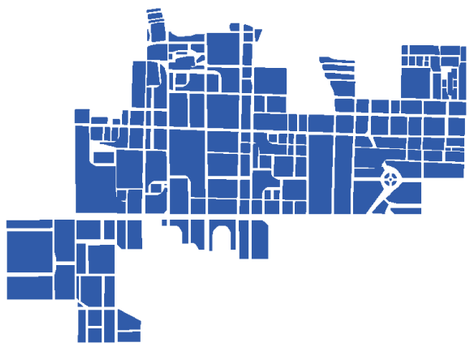
Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-5
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 4

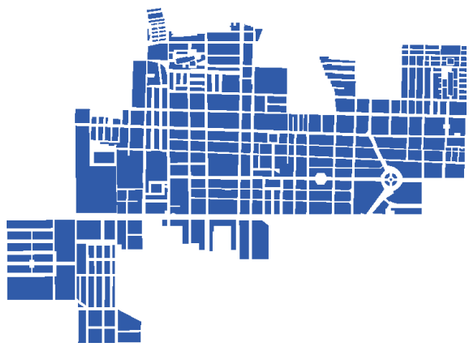
La Carolina

Mapa: 25



E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

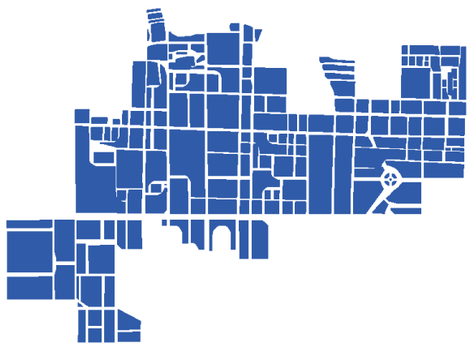
Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-5
Escala:	Multiple	No. Hoja:	2 / 4

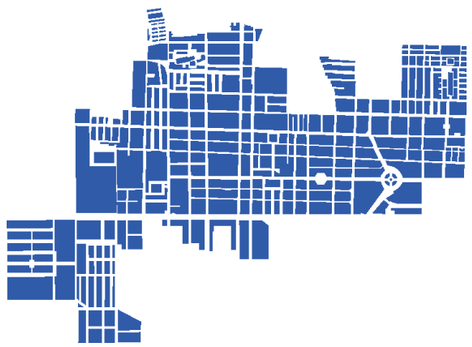
La Carolina

Mapa: 31



E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion en Ingenieria Cartografica

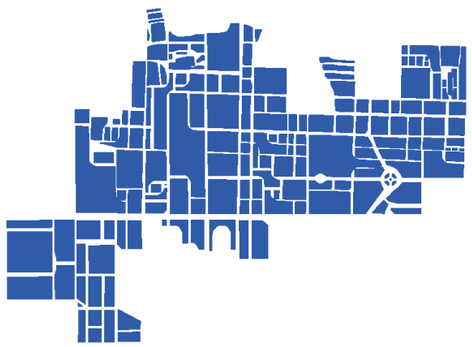
Dpto. de Ingenieria Cartografica, Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-5
Escala:	Multiple	No. Hoja:	3 / 4

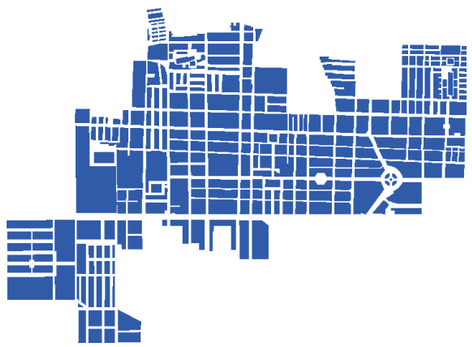
La Carolina

Mapa: 35



E: 1/25.000

Mapa: N/D



E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigacion
en Ingenieria Cartografica

Dpto. de Ingenieria Cartografica,
Geodesica y Fotogrametria

Autor:	D. Manuel A. Ureña Camara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	8 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-5
Escala:	Multiple	No. Hoja:	4 / 4

Pamplona

Mapa: 1

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-9
Escala:	Multiple	No. Hoja:	1 / 4

Pamplona

Mapa: 9

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor: D. Manuel A. Ureña Cámara

Director: Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-9
Escala:	Multiple	No. Hoja:	2 / 4

Pamplona

Mapa: 17

E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

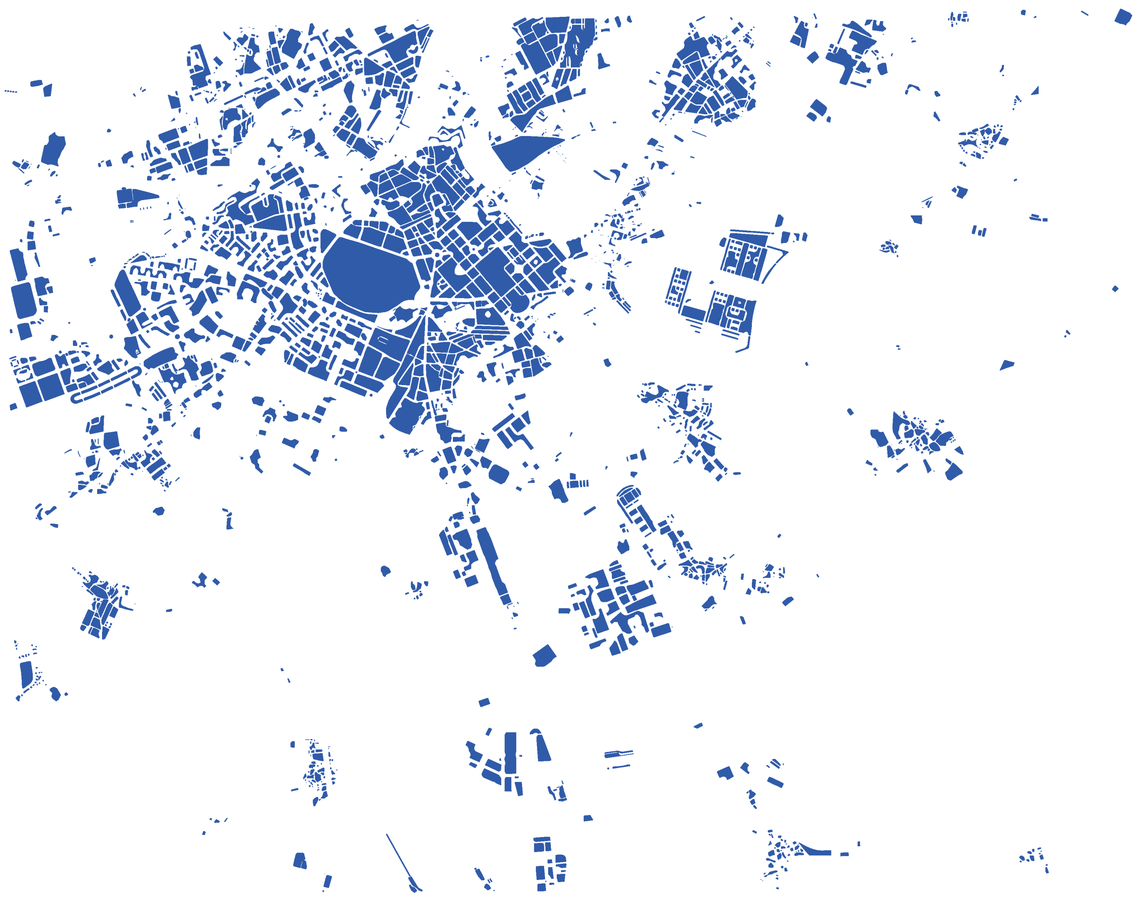
Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-9
Escala:	Multiple	No. Hoja:	3 / 4

Pamplona

Mapa: 40



E: 1/25.000

Mapa: N/D

E: 1/25.000

Mapa: 0

E: 1/50.000

Grado de contento general (10 muy bueno - 1 malo)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Conflicto	Zona	Observaciones

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN FORMATO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	10 de diciembre de 2003	No. Mapa:	A8-9
Escala:	Multiple	No. Hoja:	4 / 4

Anejo 9:
Mejores resultados de generalización seleccionados en el proceso de los resultados.

Almería

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A9-1
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Bilbao

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A9-2
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Burgos

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A9-3
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Logroño

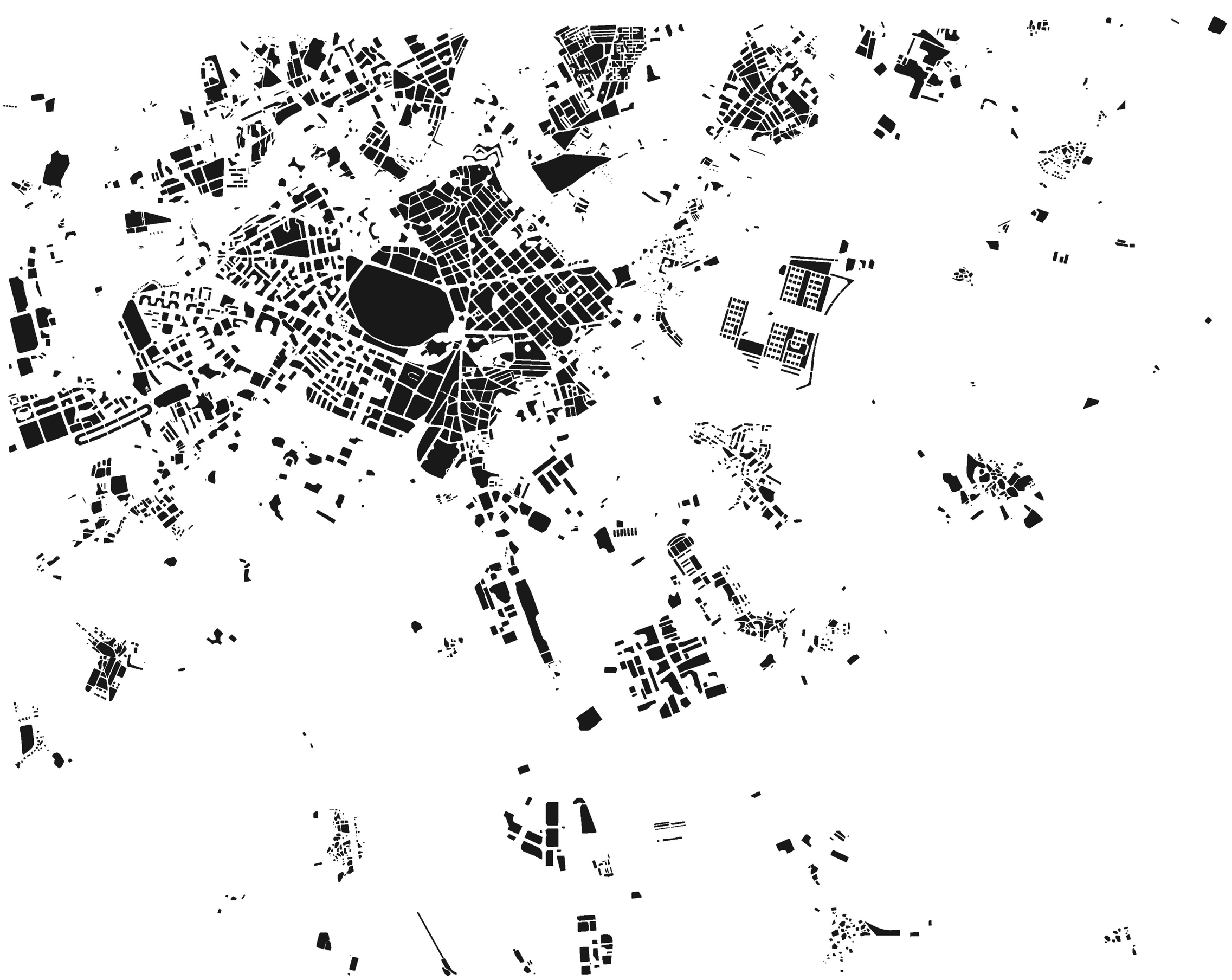
Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A9-6
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Pamplona



GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A9-9
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Jaén

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica	
Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría	

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A9-4
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

La Carolina

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A9-5
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Majadahonda

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A9-7
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Mengíbar

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	12 de octubre de 2003	No. Mapa:	A9-8
Escala:	1 / 25.000	No. Hoja:	1 / 1

Anejo 10:
Generalización realizada en Jaén empleando el motor de generalización tras el tercer ajuste

Jaén

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica	
Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría	

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara		
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López		
Fecha:	1 de junio de 2004	No. Mapa:	A10-1
Escala:	Múltiple (1/25.000 y 1/50.000)	No. Hoja:	1 / 1

Anejo 11:

Generalización realizada en Jaén empleando el motor de generalización tras el tercer ajuste y la revisión manual interactiva.

Jaén

GENERALIZACION DE CASCOS URBANOS EN MODELO RASTER

Grupo de Investigación
en Ingeniería Cartográfica

Dpto. de Ingeniería Cartográfica,
Geodésica y Fotogrametría

Autor:	D. Manuel A. Ureña Cámara
Director:	Dr. D. Francisco J. Ariza López

Fecha:	1 de junio de 2004	No. Mapa:	A11-1
Escala:	Múltiple (1/25.000 y 1/50.000)	No. Hoja:	1 / 1