



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Departamento de Informática y Sistemas

Doctorado en
Tecnologías de la Información y sus Aplicaciones

Tesis Doctoral

**PARAMETRIZACIÓN DE LA FORMA URBANA SOSTENIBLE
MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE PATRONES
CON TÉCNICAS DE PROCESADO DE IMAGEN**

*PARAMETERIZATION OF SUSTAINABLE URBAN FORM USING AUTOMATIC
PATTERN RECOGNITION BY IMAGE PROCESSING TECHNIQUES*

Autor

Ismael Quevedo Medina

Tutores

**Dr. Carlos Manuel Travieso González
Dr. Enrique Rubio Royo**

Las Palmas de Gran Canaria, noviembre de 2015

Don Agustín Trujillo Pino, SECRETARIO DEL DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA,

CERTIFICA,

Que el Consejo de Doctores del Departamento, en su sesión extraordinaria de fecha 12 de Noviembre de 2015, tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación a la tesis doctoral titulada "***Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas procesado de imagen***" presentada por el doctorando Don Ismael Quevedo Medina y dirigida por el Doctor Don Carlos Manuel Travieso González y el Doctor Don Enrique Rubio Royo.

Y para que así conste, y a efectos de lo previsto en el Artº 6 del Reglamento para la elaboración, defensa, tribunal y evaluación de tesis doctorales de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a Doce de Noviembre de Dos Mil Quince.



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS

PROGRAMA DE DOCTORADO

DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y SUS APLICACIONES



TESIS DOCTORAL

**Parametrización de la forma urbana sostenible
mediante el reconocimiento automático de patrones
con técnicas de procesamiento de imágenes**

*Parameterization of sustainable urban form using
automatic pattern recognition by image processing
techniques*

AUTOR: D. Ismael Quevedo Medina

DIRECTOR: Dr. D. Carlos Manuel Travieso González
Dr. D. Enrique Rubio Royo

El Director

El Codirector

El Doctorando,

Las Palmas de Gran Canaria a 11 de noviembre de 2015

*Dedicado a
mi familia*

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas que me han ayudado y o apoyado para hacer esta tesis, sin ellos no hubiese sido posible, no todos caben en esta lista.

En primer lugar, dar las gracias a mis directores, **Dr.Carlos Travieso**, quien desde la primera conversación que tuvimos, ha estado siempre predispuesto y positivo a buscar soluciones. A **Dr.Enrique Rubio**, que ha tenido que ser más que un director y siempre ha confiado en este trabajo, A **Dr.Manuel Galán**, quien confió en mí y en esta investigación desde un primer momento y me facilitó los medios para que fuera posible, donde estés, se que estarás orgulloso.

Gracias a la **ACIISI**, Agencia Canaria de Investigación Innovación y Sociedad de la Información, que financió la beca de investigación. A **D. Faustino García Márquez**, director de la Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible durante el año 2008, quien ha hecho un esfuerzo urbanístico por las generaciones futuras.

Gracias a mi familia, en especial a mi **padre Paco**, **mi madre Rosa** y mi padre espiritual, el **padre Báez**, todos ellos se lo han tomado como algo propio, gracias por todo.

Gracias a los profesores **Dr.Henriett Fekete**, **Dr. Nimish Bioria**, **Dr.J. Hubers**, de la Universidad Tecnológica de Delft, que me acompañaron durante la estancia de investigación. A **David Hernandez**, mi primer alumno oficial quien se ha interesado por esta materia, a **Dr.Jose Beirao** y **Dr. Nuno Duarte** de la Universidad Técnica de Lisboa, cuyas conversaciones me sirvieron para concretar.

Gracias a mis amigos, por todo su apoyo y ánimos, a compañeros y a la **familia Van Passen**: Bertram, mama Wil y prof. papa Kees, cuyas conversaciones de domingo aportaron mucho a la utilidad de esta tesis.

Muchas gracias a todos.

Resumen

El modelo de las ciudades, es uno de los principales responsables del cambio climático y de la destrucción del territorio .

Solo en España entre 2001 y 2011, ha habido un incremento del 17% de viviendas. Un dato alarmante es que España tiene veinticinco millones de viviendas para 46 millones de habitantes, 1,8 hab/casa, mientras que Alemania tiene 15 millones de casas para 80 millones de habitantes, lo que es 5,38 hab/casa.

En el caso de Canarias, el territorio es un bien limitado, y el máspreciado, para garantizar la sostenibilidad del modelo económico principal, que es el turismo.

Uno de los principales objetivos de esta tesis es proponer, para los participantes en la planificación urbanística, metodologías paramétricas para evaluar y planificar, de forma objetiva, un desarrollo urbanístico sostenible, desde la forma urbana de la ciudad y hacerlo de forma automática.

Se ha desarrollado un modelo de urbanismo paramétrico, mediante parámetros e indicadores. Con este modelo, se identifican los patrones de la forma urbana de las ciudades y se detectan los parámetros e indicadores de sostenibilidad de la forma. Se han usado mapas del OSM mediante metodologías de procesado de imagen en RGB.

Este proceso ha sido automatizado, generando un algoritmo que lee los mapas y e identifica los patrones de ciudades según su sostenibilidad.

En esta tesis se presentan dos experimentos de suma importancia y relevancia. Uno es el estudio de la sostenibilidad de la forma urbana, de veinte de las urbanizaciones turísticas más importantes de Canarias. El otro, es el estudio de la sostenibilidad urbana de ciento cuarenta y siete ciudades del planeta del *ranking* de las ciudades inteligentes *Cities in Motion 2015*, del IESE.

Abstract

Urban development has been in the spotlight of the most and the least critics, especially in the last years of the real estate bubble. Only in Spain the number of allocations has increased by 17% between 2001 and 2011. An alarming fact is that Spain accounts for 25 million allocations for 46 million people which means 1.8 persons per house, while Germany has 15 million dwellings for 80 million people, which makes 5.38 persons per house.

In the case of the Canary Islands, the territory is limited and the most precious in order to ensure the sustainability of the primary economic model, which is tourism.

One of the main objectives of this thesis is to propose the parametric methodologies for evaluating and planning sustainable urban development to the participants of urban planning from the urban form of the city.

A parametric model of urban planning has been developed through parameters and indicators. With this model, the patterns of the urban form of cities are identified and the parameters and indicators of sustainability of the same form are detected. Maps of the Open Street Maps have been used by the means of image processing methodologies in RGB.

This process is automatic; it is generated generating an algorithm that reads maps and classifies patterns of cities according to their sustainability.

Two of the experiments that have been implemented in this thesis cover importance and relevance. One of them is the study of the twenty most important tourist resorts of the Canary Islands, while the other one is the study of 147 cities of the planet that were taken from the ranking of smart cities Cities in Motion 2015, IESE.

Índice general

Agradecimientos	III
Abstract	VII
Lista de figuras	XIII
Indice de cuadros	XIX
Glosario	XXI
1. Introducción	3
1.1. Motivo	3
1.2. Estado del arte	4
1.2.1. Trabajos previos del autor	6
1.3. Propuesta	18
1.4. Objetivo	20
1.5. Estructura del documento	21
2. Desarrollo del estado del arte	23
2.1. Estado del arte	23
2.1.1. Urbanismo sostenible	23
2.1.2. El Urbanismo en la Sociedad en RED, Sociedad Infor- macional.	24
2.1.3. Territorios inteligentes	27
2.1.4. Urbanismo 2.0 frente al Urbanismo 1.0	32
2.1.5. La cuantificación de la ciudad sostenible, la densidad . .	35
2.1.6. Formas de alternativas urbanas	38
3. Definición de la metodología paramétrica	47
3.1. Introducción a la metodología paramétrica	47
3.2. Descripción de parámetros	48
3.3. Descripción de indicadores	49
3.4. Descripción de índices compuestos	50
3.5. Descripción detallada de Indicadores	51
3.5.1. Densidad de ocupación bruta	51
3.5.2. Discontinuidad de infraestructuras	52
3.5.3. Forma urbana	54
3.5.4. Complejidad de la forma urbana	55
3.5.5. Índice de compacidad de red	57
3.5.6. Síntesis de los parámetros	60

3.5.7.	Síntesis de los indicadores	60
3.5.8.	Indicadores de otros autores	62
4.	Detección automática de parámetros mediante procesado de imagen	67
4.1.	Introducción a la detección automática de parámetros	67
4.2.	Obtención de la base de datos	68
4.3.	Metodología	71
4.4.	Desarrollo	74
5.	Desarrollo de los experimentos	109
5.1.	Experimento 1. Estudio de patrones abstractos de forma de ciudades mediante la metodología paramétrica	109
5.1.1.	Descripción	111
5.1.2.	Desarrollo	111
5.1.3.	Resultado	115
5.1.4.	Conclusiones	118
5.1.5.	Matriz de sostenibilidad del experimento uno	119
5.2.	Experimento 2. Estudio de urbanizaciones turísticas de Canarias	119
5.2.1.	Metodología	121
5.2.2.	Desarrollo	123
5.2.3.	Resultados	126
5.2.4.	Análisis de las diferencias métricas entre el método manual y el automático	126
5.2.5.	Diferencias en tiempo empleado entre el método manual y el método automático.	127
5.3.	Experimento 3. Estudio de las urbanizaciones turísticas de Canarias	128
5.3.1.	Descripción	128
5.3.2.	Desarrollo	128
5.3.3.	Resultados	130
5.3.4.	Matriz de sostenibilidad de las urbanizaciones turísticas de Canarias	132
5.4.	Experimento 4. Estudio de ciudades globales	133
5.4.1.	Descripción	134
5.4.2.	Desarrollo	135
5.4.3.	Resultados	146
5.4.4.	Matriz de sostenibilidad de ciudades globales	146
6.	Discusión	147
6.1.	Introducción	147
6.2.	La metodología paramétrica y automática propuesta	147
6.2.1.	Propuesta de nuevos parámetros	147
6.3.	Sistema identificación automático	148
6.4.	Comparativa frente a los sistemas actuales	148
6.5.	Comparativa de ciudades	149

6.5.1.	Metodología utilizada para la comparación	149
6.5.2.	Desarrollo	149
6.5.3.	Resultados de Urbanizaciones turísticas de Canarias . . .	150
6.5.4.	Resultados de las Ciudades Globales	152
6.6.	Análisis de los resultados obtenidos	155
6.6.1.	Índice de la forma urbana (UCI o SUI)	155
6.6.2.	Índice del verde urbano (GUI)	156
6.6.3.	Índice de densidad de Ocupación (DS o GSI)	156
7.	Conclusiones y Líneas futuras	159
7.1.	Introducción	159
7.2.	Conclusiones	160
7.3.	Líneas futuras	161
7.3.1.	Líneas futuras en el urbanismo paramétrico	161
7.3.2.	Aplicación para la definición del modelo de ciudad	162
7.3.3.	Otras aplicaciones del procesado de imagen en el urba- nismo	162
	Bibliografía	165
	Anexos	173
A.		175
A.1.	Proposal	175
A.2.	Objective	176
A.2.1.	Approach of the hypothesis	176
A.3.	Document structure	176
A.4.	Discussion	179
A.4.1.	Introduction	179
A.4.2.	Suggested parametric and automatic methodology	179
A.4.3.	Comparison of cities	180
A.5.	Conclusions and future development	183
A.5.1.	Conclusions	183
A.5.2.	Future developments	185
B.		189
B.1.	Resultados para zonas turísticas de Canarias	189
C.		211
C.1.	Resultados para las ciudades globales	211

Índice de figuras

1.1.	Esquema de la distribución inicial del proyecto ECO+TuR	7
1.2.	Problemática sobre la parametrización del planeamiento urbanístico sostenible aplicado al Campo Internacional de Maspalomas	9
1.3.	Eco-torres. Estructuras prefabricadas de soporte de la habitaciones prefabricadas	10
1.4.	Pabellón QPC, nube de puntos cuántica	10
1.5.	Descripción del proceso para hacer un pabellón cortado por una espada de kung fu	12
1.6.	Proceso de parametrización, Centro Cívico y de comercio, en Foz de Arelho	13
1.7.	Programa propuesto por el método paramétrico e imagen volumétrica	14
1.8.	Proyecto de hotel paramétrico y sostenible	15
1.9.	Vista general de urbanización sostenible de diseño paramétrico .	16
1.10.	Vista general de urbanización sostenible de diseño paramétrico .	17
1.11.	Tabla del resumen del modelo propuesto	19
2.1.	Cartel sobre la parametrización del planeamiento urbanístico sostenible aplicado al Campo Internacional de Maspalomas	28
2.2.	Tracs en el metro de Milán	31
2.3.	Indicadores del ranking de ciudades inteligentes utilizado en el ranking de las ciudades europeas inteligentes de tamaño medio .	31
2.4.	La estructura de Futur ITCs Urban Programme	32
2.5.	Esquema de funcionamiento del Urbanismo 2.0 versus Urbanismo 1.0	33
2.6.	Matriz del sistema de indicadores del urbanismo ecológico	36
2.7.	La ciudad jardín de Ebenezer Howard	37
2.8.	Criterio de diseño según el tipo de ciudad	39
2.9.	Smart Code en relación con urbanizaciones de Canarias	40
2.10.	Urban Pattern Application Ontology	42
2.11.	Diferentes formas de representar patrones de distintas ciudades .	43
2.12.	La construcción y el análisis de la representación "primal" de una red de calles	44
2.13.	La construcción y análisis previo representación de una red de calles para el estudio de posibilidades de robo	45
2.14.	Flujo de procedimiento en la herramienta de diseño de urbanismo paramétrico	46
3.1.	Índice de forma definido para el software FRANSAT	58

3.2. Descripción de las diferencias entre tener un área mayor y un área menor y el número de polígonos, descripción del software FRANSAT	59
3.3. Valores LSI	59
3.4. Patrón que sintetiza cuatro urbanizaciones	64
4.1. Comparativa mapas de diferentes fuentes	69
4.2. Comparativa de mapas obtenidos con distintas pantallas	70
4.3. Cubo de valores RGB	71
4.4. Elementos estructurales más comunes	72
4.5. Efecto de dilatación, erosión, apertura y cierre	73
4.6. Imagen original e imagen esqueletizada	73
4.7. Mapa tipo detalle (Los Cristianos)	74
4.8. Mapa tipo detalle gran escala (Barcelona)	75
4.9. Mapa tipo detalle (Extracción de componentes RGB)	75
4.10. Componentes RGB obtenidas de la zona señalada en la figura	76
4.11. Imagen tipo detalle una vez recortada	77
4.12. Imagen resultado de la detección de autopista en Los Cristianos	78
4.13. Imagen resultado de la detección de carreteras primarias en Los Cristianos	78
4.14. Imagen resultado de la detección de carreteras secundarias en Los Cristianos	79
4.15. Imagen resultado de la detección de carreteras terciarias en Los Cristianos	79
4.16. Imagen resultado de la detección de edificios en Los Cristianos	80
4.17. Imagen resultado de la detección de zonas de parcela en Los Cristianos	80
4.18. Imagen resultado de la detección de zonas verdes en Los Cristianos	81
4.19. Imagen resultado de la detección de vacíos urbanos en Los Cristianos	81
4.20. Esquema básico para la obtención del perímetro en mapas detalle	82
4.21. Suma de edificios, parcelas y carreteras para Los Cristianos	82
4.22. Imagen resultante de la dilatación, relleno y erosión	83
4.23. Imagen resultante de la eliminación de objetos secundarios	83
4.24. Imagen resultante de la eliminación de los vacíos urbanos y los invernaderos	84
4.25. Contornos a partir de la imagen sin vacíos urbanos e invernaderos	84
4.26. Contorno de los Cristianos	85
4.27. Perímetro superpuesto sobre el mapa original de Los Cristianos	85
4.28. Proceso para determinar la ocupación bruta en mapas detalle	86
4.29. Ocupación bruta superpuesta sobre el mapa de Los Cristianos	87
4.30. Esquema básico para la obtención de la ocupación neta en mapas detalle	87
4.31. Ocupación neta de Los Cristianos	88

4.32. Esquema básico para la obtención de la longitud de las carreteras en mapas detalle	88
4.33. Resultado de la suma de carreteras en Los Cristianos	89
4.34. Resultado de la dilatación sobre la suma de carreteras	89
4.35. Resultado de la esqueletización	90
4.36. Resultado de la esqueletización con zoom, y señalización de objetos aislados	90
4.37. Resultado de la eliminación de los objetos aislados	91
4.38. Carreteras en el interior del perímetro de Los Cristianos	91
4.39. Proceso para determinar el área de construcción y el área de verde urbano	92
4.40. Área de construcción en Los Cristianos	92
4.41. Área de verde urbano en Los Cristianos	93
4.42. Imagen resultado de la detección de carreteras principales en Barcelona	94
4.43. Imagen resultado de la detección de carreteras secundarias en Barcelona	94
4.44. Imagen resultado de la detección de carreteras terciarias en Barcelona	95
4.45. Imagen resultado de la detección de zonas verdes en Barcelona	95
4.46. Imagen resultado de la detección de humedales en Barcelona	96
4.47. Imagen resultado de la detección de invernaderos en Barcelona	96
4.48. Esquema básico para la obtención del perímetro provisional en mapas a gran escala	97
4.49. Resultado de la dilatación, relleno y erosión de carreteras para Barcelona	97
4.50. Resultado de la eliminación de zonas aisladas para Barcelona	98
4.51. Contorno que define el perímetro para Barcelona	99
4.52. Contorno sobre imagen en color que define el perímetro para Barcelona	99
4.53. Proceso para la obtención de la ocupación bruta	100
4.54. Ocupación bruta para Barcelona	100
4.55. Proceso para la obtención de la ocupación neta	101
4.56. Ocupación neta de Barcelona	101
4.57. Esquema básico para la obtención de la longitud de los contornos de la ocupación neta en mapas a gran escala	102
4.58. Contornos que encierran a la ocupación neta en Barcelona	102
4.59. Esquema básico para la obtención de la longitud de las carreteras en mapas a gran escala	103
4.60. Resultado de la esqueletización de carreteras para Barcelona	103
4.61. Carreteras a partir de las cuales se extrae la longitud total de las mismas para Barcelona	104
4.62. Proceso para la obtención del área de verde urbano (GU)	104
4.63. Zonas verdes dentro del perímetro	105
4.64. Grandes verdes para Barcelona	105

4.65. Resto de verdes para Barcelona	106
4.66. Proceso para la obtención de la superficie de humedales (W) . .	107
4.67. Zonas de humedales interiores al perímetro de Barcelona	107
5.1. Esquema de patrones utilizados	110
5.2. Matriz de parámetros utilizados en cada patrón	112
5.3. Orden según C	113
5.4. Orden según N	113
5.5. Orden según M	113
5.6. Orden según V	113
5.7. Orden según F	113
5.8. Orden según los parámetros	114
5.9. Ordenación según DI	115
5.10. Orden de patrones según COI	116
5.11. Orden de patrones según SUI	116
5.12. Orden de los patrones según LSI, SHDI, SHAPE, FRACTAL, N, 117	
5.13. Orden según TARA inversa	118
5.14. Matriz de sostenibilidad del experimento 1	119
5.15. Mapas de urbanizaciones turísticas de Canarias calcadas para ser medidas en herramienta CAD	123
5.16. Mapa de Playa del Inglés, Meloneras y Maspalomas, extraído del Google Maps	124
5.17. Selección en blanco y negro de la superficie neta, los grandes verdes urbanos (Golf de Maspalomas), y calles primarias y se- cundarias	124
5.18. Superficie neta o de parcelas para obtener el perímetro	125
5.19. Imagen de Maspalomas, obtenida del callejero turístico del IDE- CAN	125
5.20. BW imagen, en la que están seleccionados las carreteras, los verdes urbanos y los vacíos urbanos que serán clasificados por tamaño	125
5.21. Parámetros de urbanizaciones turísticas de Canarias	129
5.22. Gráfica de densidad de red forma y fractal de las urbanizaciones de Canarias	131
5.23. Matriz de sostenibilidad de GUI, GSI y SUI con el nombre de las ciudades	132
5.24. Matriz de sostenibilidad de GUI, GSI y SUI de las urbanizacio- nes de Canarias.	133
5.25. Gráfica de resultados de parámetros globales de otros autores 1	138
5.26. Gráfica de resultados de parámetros globales de otros autores 2	139
5.27. Gráfica de resultados de parámetros globales de otros autores 3	140
5.28. Gráfica de resultados de indicadores globales 1	143
5.29. Gráfica de resultados de indicadores globales 2	144
5.30. Gráfica de resultados de indicadores globales 3	145
5.31. Matriz de sostenibilidad de las ciudades globales	146

-
- 6.1. Matriz de sostenibilidad analizada, de las urbanizaciones Canarias 151
 - 6.2. Matriz de sostenibilidad analizada, de las ciudades globales . . . 155

Índice de cuadros

2.1. Consecuencias de las diferentes formas de ciudad, sobre el territorio	39
4.1. Componentes RGB para los mapas detalle	76
5.1. Parámetros obtenidos de los patrones urbanos	112
5.2. Tabla con la ordenación de la posición	114
5.3. Orden del 1 al 16 de la posición sumada de los parámetros de cada uno de los patrones	114
5.4. Resultado de indicadores propios	115
5.5. Resultados de indicadores adaptados de otros autores	117
5.6. Datos de los parámetros obtenidos de forma manual	126
5.7. Datos de los parámetros obtenidos de forma automática	126
5.8. Resultado de éxito, diferencia entre medirlo de forma manual y automática	127
5.9. Datos de los parámetros de las veinte urbanizaciones turísticas de Canarias	129
5.10. Indicadores estudiados de otros autores, adaptados a la escala de este experimento	130
5.11. Tabla de matriz de sostenibilidad	131
6.1. Tabla de resultados de las urbanizaciones canarias para obtener la matriz de sostenibilidad	149
6.2. Tabla de resultados globales para obtener la matriz de sostenibilidad	152

Glosario

AND Es un conector lógico cuyo valor de la verdad resulta en cierto sólo si ambas proposiciones son ciertas, y en falso de cualquier otra forma. 104

C Perímetro de objetos o islas. 55, 60

CAD Computer Assisted Drawing. XVI, 121, 122

CF Complejidad de la forma urbana dispersa. 55, 56, 115

Co Área de onstrucción. 49, 126

COI Indicador Conectividad. XVI, 50, 61, 115, 116, 122, 130, 131

CUS Collaborative Urban System. 25

DI Dispersión. XVI, 60, 115

DMN Indicador de discontinuidad de infraestructuras. 52, 53, 115

DS Densidad de ocupación bruta. XI, 49, 50, 51, 52, 56, 60, 62, 115, 117, 130, 141, 149, 152, 156

ECO+TUR Proyecto ECO+TUR, proyecto de parque ecológico y turístico para la zona de Maspalomas. En él se modifica la densidad edificatoria y la ocupación del suelo para reconvertir áreas turísticas obsoletas en un gran parque sostenible. Es el proyecto final de carrera de Ismael Quevedo Medina como desarrollo de otros proyectos hechos durante el MAPUP, con el mismo cometido. Año académico 2005, 2007. 7, 9

FAGSTATS Software para estudios medioambientales de gran escala mediante procesamiento de imagen de satélite. 55

FRAC Fractal. 62, 130

FSI Flour Space Index. 35, 38, 44

GPS Global Position System, Sistema de Posicionamiento Global 27, 29

GRAFCAN Cartográfica de Canarias S.A.. 70

GSI Ground Space Index. XI, XVI, 35, 38, 44, 49, 51, 60, 63, 65, 115, 117, 118, 122, 130, 131, 132, 141, 149, 156

- GU** Área del Verde Urbano. XV, 47, 60, 92, 104, 122
- GU** Área del Verde Urbano. 47, 135
- GUI** Índice del Verde Urbano. XI, XVI, 62, 65, 122, 131, 132, 134, 149, 152, 156
- Hardware-City** La parte física de la ciudad. 32
- I+D+I** Investigación, desarrollo e innovación. 120
- IDE** Infraestructura de Datos Espaciales. 32, 121
- IESE** ESE Business School es una escuela de posgrado en dirección de empresas de la Universidad de Navarra. Cuenta con campus en Barcelona y Madrid, y sedes en Nueva York, Múnich y São Paulo. V, 21, 133
- INE** Instituto Nacional de Estadística. 4
- ITN** Indicador de la eficiencia de la red de transporte. 49
- K** Conocimiento. 33, 34
- K-citizen** Base de la información que da forma a las ciudades y territorios. 34
- L** Superficie libre. 47, 60
- LC** Longitud de carreteras. 60, 128, 135
- LSI** Indicador de forma. XVI, 54, 59, 116, 117, 118, 130, 141
- M** Número de edificaciones aisladas o discontinuas. XVI, 52, 53, 60, 111, 113
- MAPUP** Máster en Planificación urbana y del Territorio. Año académico 2005, 2007 6, 7
- N** Número de islas aisladas. 52, 53, 55, 60, 63, 111
- O** Ocupación Neta. 47, 48, 50, 51, 87
- OFI** Optimización de la huella Indicador. 50, 61, 115, 122, 130, 131
- OII** Indicador de optimización de infraestructura. 49, 50, 61, 115, 116, 131
- OSM** Open Street Maps. Comunidad colaborativa de usuarios que introducen información y la comparten de forma libre para ser descargada y editada V, 18, 27, 29, 69, 70, 74, 121, 127, 128, 148, 163
- OSR** Open Space Ratio. 38, 44

- P** Perímetro. 47, 48, 60, 82, 111
- PFC** Proyecto Final de Carrera. 7
- PLAND** Porcentaje de paisaje. 60, 62, 117, 118, 130, 141
- QPC** Quantum Point Cloud, nube de puntos cuántica. 10
- RGB** Red, Green, Blue. Modelo de color, las imágenes están compuestas por tres planos de imagen independientes, uno por cada color primario V, XIV, 18, 67, 68, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 93
- S** Ocupación bruta. 47
- SCA** Sistema Complejo Adaptativo. 25
- SHDI** Shannon's Diversity Index. XVI, 53, 62, 116, 117, 130, 141
- SIG** Sistemas de Información Geográfica. conjuntos de herramientas que permiten manipular bases de datos de información geo-referenciada 6
- Software-City** Es la parte informacional y de actividades de la ciudad. La ciudad virtual 32
- SUI** Shape Urban Index. Índice de forma Urbana. XI, XVI, 51, 61, 62, 65, 115, 116, 118, 122, 130, 131, 132, 134, 149, 150, 152, 155
- TARA** Indicador de la tara urbana. XVI, 63, 117
- TICS** Tecnologías de la Información y la Comunicación. 5, 29, 30, 31, 32
- UCI** Índice de complejidad urbana. XI, 50, 61, 115, 131, 155
- UCL** University Central of London. 29
- UDS** Densidad mancha urbana. 50, 61, 115, 117, 131
- Urbanismo 1.0** Es la forma tradicional de hacer urbanismo antes de la sociedad en red. IX, 4, 32
- Urbanismo 2.0** Es el urbanismo de la sociedad en red. IX, 32
- UV** Vacíos Urbanos. 47, 48, 60
- W** Área de humedales. XVI, 49, 60, 106

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se exponen los motivos que han llevado a realizar esta tesis, además se plantea el estado del arte sobre los bloques temáticos principales, explicando los trabajos previos del autor, la propuesta, el objetivo, el teorema y la estructura del documento.

1.1. Motivo

El funcionamiento de las ciudades es el principal motivo que incide en el cambio climático que experimenta el planeta, en las últimas décadas. La forma urbana de las ciudades, es un condicionante inequívoco que condiciona el óptimo funcionamiento de las mismas. El óptimo funcionamiento, es consecuencia directa de la forma urbana: los recorridos de movimientos de los habitantes, las actividades, el consumo energético, la repetición de procedimientos insostenibles, como son, por ejemplo, los desplazamientos largos a diario para ir al lugar de trabajo.

Por otro lado, en los últimos años, el desarrollo urbanístico ha sido motivo de controversia y de crispación pública debido, en muchos casos, a los criterios utilizados para definir las áreas urbanas y los parámetros de crecimiento de las ciudades. Estos criterios no siempre se han entendido como objetivos territoriales. Los criterios urbanísticos utilizados, en algunos casos, se han podido entender como subjetivos o relacionados con la propiedad del suelo y no con métricas de sostenibilidad.

En el caso de Canarias, el territorio es un bien limitado, el máspreciado. Es necesario conservarlo con delicadeza, entre otras razones, para garantizar la sostenibilidad del modelo económico principal, que es el turismo.

En el año 2015, la densidad de población de la isla de Gran Canaria es de 838.397 personas. La superficie apta para ser habitada es de 1.092, ya que el 30% del territorio es espacio natural protegido, por tanto, la densidad de población es de 767,8 habitantes por . Si a este dato, se le suma los 3.580.317 de turistas que visitaron Gran Canaria en el año 2014, se obtienen cifras que ponen en evidencia la vulnerabilidad del territorio [INNE, 2015].

Los planificadores necesitan de herramientas que posibiliten la parametrización de procesos de planificación con base sostenible, en aras de controlar el deterioro irreversible del medio natural.

1.2. Estado del arte

El desarrollo urbano que han experimentado las principales ciudades, de escala mundial, durante las últimas décadas, ha demostrado la necesidad de prevenir y planificar, con criterios de sostenibilidad, la configuración del territorio y los recursos del planeta. El 54% de la población mundial vive hoy en las ciudades, frente al 30% que había en 1950. La predicción es que en 2050 el 66% de la población mundial viva en ciudades, estando concentrado en ciudades africanas el 90% de este crecimiento.

El informe Brundtland, de 1987 *Comun Future*, para la ONU, indica el conflicto de intereses que existe entre el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental [Brundtland et al., 1987], advirtiéndole que el coste medioambiental es alto, se habla por primera vez del término desarrollo sostenible [ONU, 2001].

La última burbuja inmobiliaria ocurrida en EEUU y Europa, ha sido la única capaz de parar, de alguna forma, el crecimiento, desmesurado e insostenible y de baja calidad, que se estaba dando en los últimos años. En el caso de España se ha seguido una lógica de obtener plusvalías recalificando y construyendo suelos sin tener tan en cuenta las lógicas del planeamiento urbano y territorial [Naredo, 2010], y sin planificar y evaluar los aspectos de sostenibilidad, al menos, en términos social, económico y medioambiental. Según el censo del INE, España cuenta con un menor porcentaje de viviendas, anteriores a 1940 que el de Alemania, tras haber sido gravemente dañada en la II Guerra Mundial, lo cual muestra el modelo de *restart* Español, frente al de rehabilitar, reciclar, reconstruir ciudad desde la base tradicional que se ha seguido en otros lugares.

Actuando con herramientas tradicionales del Urbanismo 1.0 [Quevedo, 2013] en una sociedad que hoy es casi 3.0 se han creado ambientes urbanos desarraigados del sentido de pertenencia de los pobladores, en ocasiones inconexos con el resto de la ciudad y sin continuidad que haga entender la ciudad como un todo, con su riqueza de significados. *"Por esta razón, tanto el ambiente urbano como el rural, conviene preservar algunos lugares donde se eviten intervenciones humanas que los modifiquen constantemente"* [Francisco, 2015].

Para Manuel Castells, el crecimiento urbano, a expensas de los poderes económicos exclusivamente, ha demostrado ser ineficaz para crear calidad de vida de los usuarios, tanto en los países desarrollados como en los países con menos recursos [Castells, 2004].

Según el censo INE 2015, el número de viviendas entre 2001 y 2011 se incrementó, en un 17 %, en 10 años, con un total de 25.208.622 viviendas [INNE, 2015], quedando en 0,54 casas por habitante. Este dato contrasta frente a los 15 millones de viviendas que tiene Alemania con 80.767.463 personas [GMBH, 2015], que toca a 0,18 viviendas por persona.

Han sido numerosos los esfuerzos, de los gobiernos y de organismos internacionales, para intentar prever una calidad de vida y garantizar la subsistencia de los seres que habitan el territorio y del medio ambiente. La Declaración de Estocolmo de 1972 establece las bases para luchar contra el cambio climático originado por la contaminación que los países ejercen con sus patrones de producción y modos de vida [ONU, 1972]. La Cumbre de la Tierra, en Río de Janeiro, en 1992, reafirma lo anterior, reconociendo la naturaleza integral e interdependiente de nuestra tierra y tiene como principio número uno «Los seres humanos establecen el centro de las preocupaciones con el desarrollo sostenible». [ONU, 1992].

Ya lo dice el proverbio chino, *el aleteo de una mariposa puede originar un Tsunami al otro lado del mundo*, concepto de la teoría del caos [Gleick, 1997]. De la misma forma, cada vez más, el mundo está interconectado y el entorno de relaciones pertenece a un ámbito global, cuya influencia se nota a miles de kilómetros de donde son originadas.

La conectividad, interoperabilidad, hiperconectividad, en definitiva, la globalización, hacen del mundo una esfera cada vez más pequeña, susceptible de cambios interdependientes entre lugares muy lejanos. Al igual que se pudo predecir, en cierta manera, cómo afectaría internet a “La Sociedad Red” [Castells and Andrade, 2010], en el urbanismo, al ser un proceso mucho más lento, se puede predecir cuál será la influencia de esta nueva sociedad que es cambiante, pero solo hasta cierto punto.

Factores como los procesos migratorios que acontecen en los últimos años de países en desarrollo hacia países con un mayor bienestar y factores como la compartición de la información vía Internet, hacen que los gobiernos se planteen las reglas tradicionales de la planificación urbana. Puede que la población flotante exigirá un urbanismo flotante, itinerante, que no dañe el medio ambiente sino que funcione como un regenerador del área donde se inserta. Un urbanismo flexible y no tan categórico como el que ya se conoce, un urbanismo holístico, consensuado, participativo y quién sabe si temporal. Pero ante todo, un urbanismo que sea capaz de adaptarse al momento en el que vive y que no sea destructor de suelo, de biodiversidad, de recursos naturales, culturales y sociales generación tras generación.

El auge del transporte intermodal ha reducido los tiempos de trayecto entre los distintos polos de atracción de la tierra, a la vez que han crecido nuevos

polos. El desarrollo de las TICS hace que las distancias sean prácticamente nulas, para la compartición de la información ya que los tiempos de transmisión se han reducido a niveles antes impensables.

A pesar de las diferencias culturales entre las distintas poblaciones del planeta, y aún diferenciando los niveles de desarrollo, se puede identificar, en la organización del territorio y ciudades, distintos patrones de comportamiento y de construcción del entorno físico, que pueden ser clasificados por parámetros comunes.

1.2.1. Trabajos previos del autor

En este apartado se comentarán algunos trabajos previos del autor, que forman parte de las razones para llegar a determinar el planteamiento de esta tesis.

El primer trabajo a comentar, se realizó durante el MAPUP. Este trabajo versa sobre la sistematización de la información de los complejos turísticos, de toda Playa del Inglés. En este trabajo se ha realizado una base de datos para un SIG. En este estudio se evaluaron unos doscientos cincuenta complejos de apartamentos y unos veinte hoteles para conocer las diferencias métricas y grados de deterioro de los mismos.

Para este trabajo se utilizaron los parámetros referentes a:

- Antigüedad
- Capacidad alojativa
- Categoría
- Tipología edificatoria
- Condiciones de la edificación (aspecto general)
- Estado de los servicios básicos
- Nivel de accesibilidad
- Existencia de servicios complementarios e implantación de nuevas tecnologías de comunicación

En este estudio se han tomado una serie de parámetros, se evaluaron las variables para clasificar el grado de obsolescencia de cada complejo turístico. El resultado ofrece un mapa de aquellas zonas a rehabilitar con el tipo de intervenciones que son necesarias para renovar. [Cáceres, 2007].

En la figura 1.1, se muestra el Como trabajo final de curso se realizó un proyecto de reconversión turística, en el que se trabajó sobre la urbanización de Maspalomas, por ser una cuyos espacios públicos, están más degradados. El problema en este tipo de urbanizaciones, más que ser un problema de inversión, lo es de la insostenibilidad de la baja densidad existente para tantos metros cuadrados y lineales de infraestructuras y parques.



Figura 1.1: Esquema de la distribución del proyecto ECO+TUR, Maspalomas, realizado en 2006 previo al proyecto de PFC [Quevedo et al., 2007]

El siguiente trabajo a comentar es el proyecto final de carrera, realizado entre los años 2005 y 2007. Este trabajo se hizo como parte del MAPUP, bajo la dirección de Dr. Eduardo Cáceres

Se realizó un estudio de densidades y de grados de obsolescencia de la las zonas públicas y privadas de la urbanización turística de Maspalomas, Gran Canaria.

Una conclusión de este estudio es que la densidad de usuarios del área de Maspalomas es los bastante baja como para no se sostenible. Menos usuarios por kilómetro cuadrado significa que el coste del mantenimiento de la urbanización va a ser mayor, el gasto energético también, el consumo de aguas para mantener los jardines también es mayor. El resultado de un modelo de baja densidad es tener áreas públicas sin mantenimiento, abandonadas y obsoletas.

En la figura 1.2 se describe por un lado, la problemática existente, por otro lado, la propuesta urbanística por capas de variables utilizadas. En este proyecto se propuso reconvertir la urbanización de Maspalomas en un parque ecológico llamado ECO+TUR.

En la estrategia utilizada se trata de rescatar los valores naturales que hacen singular a Maspalomas y trata de hacer que la urbanización sea la que sostiene el ciclo del agua y energético del parque. El parque está compuesto por un sistema de recorridos peatonales, carriles bici y transporte público y recorridos de agua que distribuyen una serie de nodos.

En estos nodos se sitúan estructuras desmontables sobre las cuales se ubican apartamentos prefabricados con terraza. Estos apartamentos cuentan con todas las comodidades que los usuarios han deseado, en el producto turístico de Gran Canaria, pero en altura. Las aguas de los hoteles y apartamentos son reutilizadas mediante un sistema de humedales, cada usuario turístico gasta una media de 300 litros de agua al día.

El sistema elegido para distribuir la nueva densidad ha sido la colocación de los citados soportes de estructura metálica en los nodos. Estos soportes serán las eco-torres, donde se ubican habitaciones prefabricadas. Estas ecotorres pueden variar su altura según la ubicación y parámetros de paisaje. Con este sistema se consigue por un lado, una mayor conservación del suelo, por otro lado, el proceso de renovación total, que se estima cada treinta años, se hace directamente en los módulos prefabricados, a los que se sustituyen elementos. Este sistema consigue una mayor sostenibilidad por el consumo de suelo, el consumo de materiales, el transporte de los mismos y porque generaría una industria local cualificada de renovación.

Como se ha explicado en los anteriores trabajos existe un común denominador en la línea de estos trabajos. Por una lado la parametrización de soluciones, por otro lado, la sostenibilidad de las soluciones.

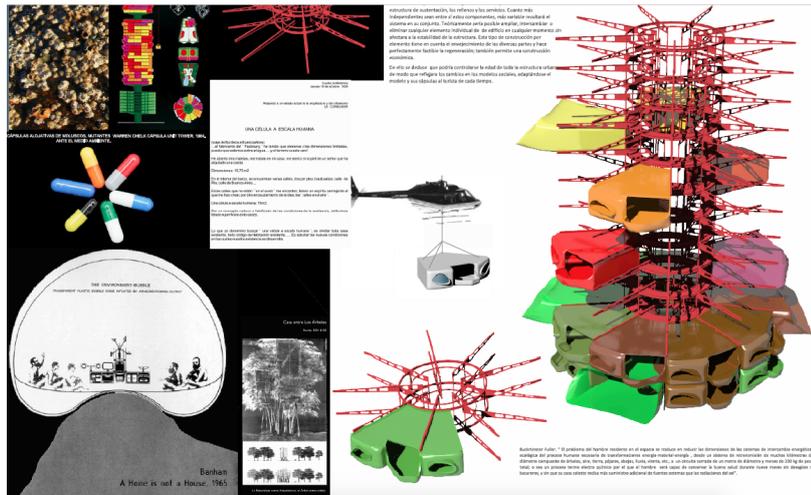


Figura 1.3: Eco-torres. Estructuras prefabricadas de soporte de la habitaciones prefabricadas, dentro del proyecto ECO+TUR, Maspalomas [Quevedo et al., 2006]

En este contexto la parametrización y sostenibilidad, es una actitud. Se puede buscar una relación matemática a todos los procesos que ocurren a nuestro alrededor y reproducir así modelos de posibles fenómenos estáticos o dinámicos.

El siguiente proyecto es un ejemplo más de parametrización. En este caso es el diseño y construcción de un prototipo en veinte días. Se trató del diseño y construcción de un prototipo de arquitectura paramétrica y construcción digitalizada junto con alumnos y profesores de la TU Delft y de la TU Nanjing [Feng, 2013].



Figura 1.4: Pabellón QPC, nube de puntos cuántica, diseñado, procesado y fabricado de forma paramétrica en Marzo de 2011, en La Universidad de Nanjing, China, en colaboración con la Universidad de Delft, Holanda.

Dada la complejidad de las geometrías utilizadas, las herramientas y la variedad de alumnos que participaron en el proceso se hizo necesario establecer esquemas de trabajo basados en el aprendizaje personal y en el aprendizaje colaborativo.

En el diagrama de la figura 1.5 se muestra cómo se parametrizó de un video tomado, el movimiento de un señor con su espada, que por la mañana entrenaba kung fu. De los fotogramas se interpretó un modelo del movimiento que corta un cubo de 3 x 3 metros y se diseñó un prototipo paramétrico.

En el proceso de diseño seguido para el proyecto de Centro Cívico y comercial de Foz de Arelho, Portugal, [Quevedo et al., 2005] se consideraron principalmente diez parámetros: Malla de 7x7 metros, vistas principales, dirección óptima por soleamiento, alineación con la línea de mar, superficie de programa de actividades diferenciando los distintos usos, grado de intimidad de cada uno de los usos, posicionamiento respecto al nivel del suelo y paseos públicos respecto a cada uso, altura necesaria de edificación y alturas de los volúmenes de alrededor, alineación con pendientes del terreno y recorridos habituales de personas por la parcela.

El punto de partida fue una cuadrícula de 7x7 metros, en la que se encajaba todo el programa con los distintos usos, con una geometría cuadrada. La incorporación de cada uno de los parámetros fue progresiva, transformando la geometría del equipamiento mediante cada inclusión de cada nuevo parámetro. Cumpliendo con estos parámetros de entrada el resultado fue un conjunto de edificios de diferentes alturas uno dos por una cubierta común que actúa como prolongación de la naturaleza y los paseos exteriores que lo rodea. Esta cubierta consigue mantener una idea unitaria del conjunto y a la vez ofrece una cota superior desde la que el usuario podrá observar a distancias más largas, dadas las grandes distancias entre una y otra orillas del lago.

La posición de los edificios, la orientación, la geometría y la cota de recorridos con respecto al nivel de los paseos públicos exteriores es diferente según el tipo de uso para el que está diseñado cada pabellón. Las salas de exposición están semi-enterradas, logrando tener mayor altura interior y luz indirecta desde las partes superiores, logra además tener recorridos alrededor de las obras a distintas alturas.

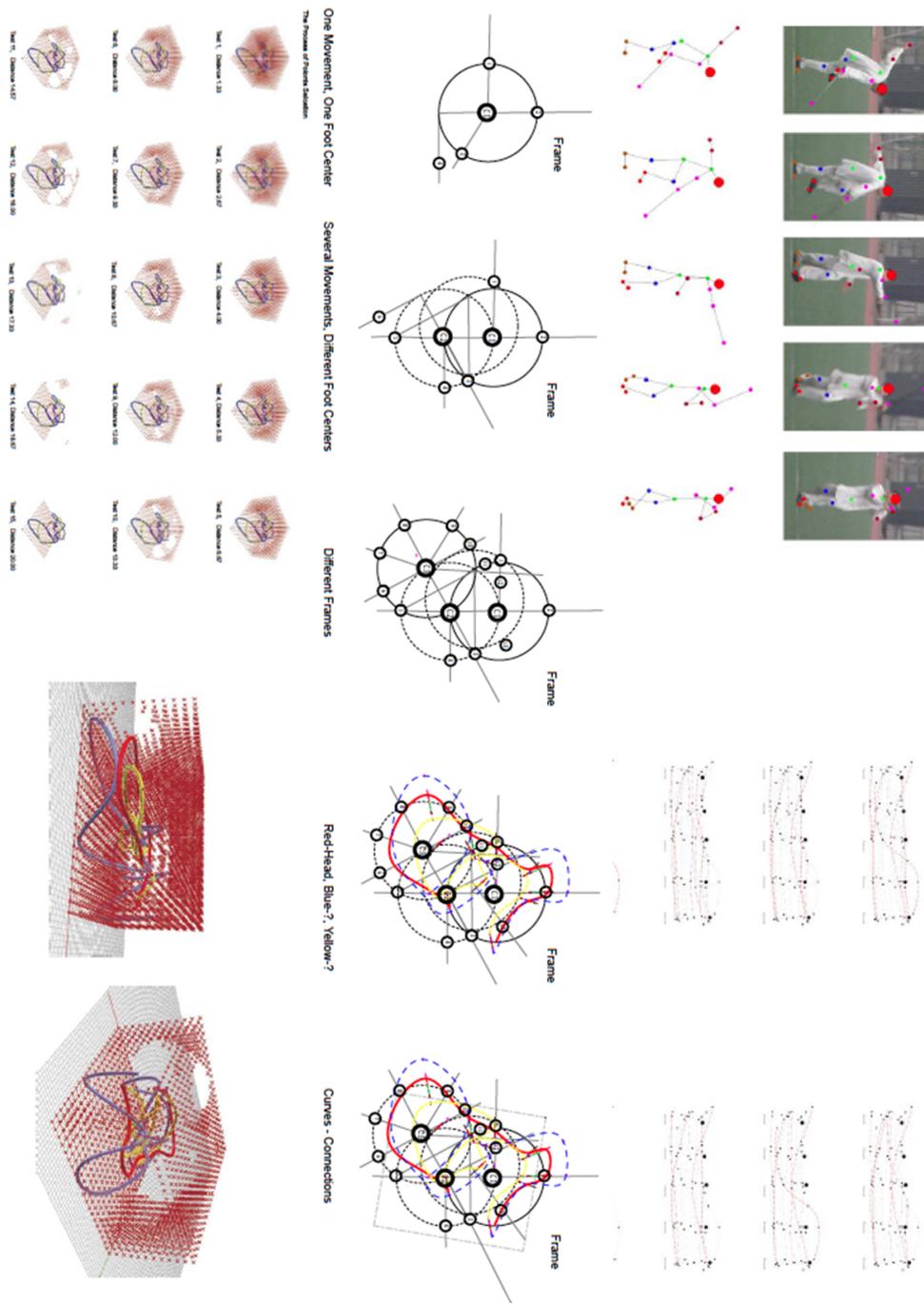


Figura 1.5: Descripción del proceso para hacer un pabellón cortado por una espada de kung fu.



Figura 1.6: Proceso de parametrización, Centro Cívico y de comercio, en Foz de Arelho [Quevedo et al., 2005]

El restaurante flota como un barco en el lago, produciendo sensación de movimiento siendo una actividad más dinámica. La cafetería se ancla en el fondo del lago ofreciendo la posibilidad de tocar el agua y de mostrar la lámina de agua como continuidad de las terrazas escalonadas conforme baja y sube la marea sobre las terrazas. La biblioteca vuela sobre la plaza para conseguir un entorno de mayor inspiración, alejándose de la cota de recorridos y consiguiendo las mejores vistas. El auditorio está semienterrado, abriéndose, tras el escenario, las vistas a la laguna con sus barcas y actividades marisqueras. Las tiendas ubicadas en los cruces de caminos más concurridos y la cofradía frente a la línea de mar. Todos los volúmenes están unidos por una cubierta-mirador que da continuidad a la topografía artificial que integra el edificio en el área de intervención.

El urbanismo es una disciplina holística debido a que el conjunto de interacciones entre sus partes por separado no son suficiente para explicar el resultado complejo del sistema. El auge de nuevas herramientas capaces de resolver de forma más rápida y eficaz modelos algorítmicos complejos y el aumento exponencial de la información y la comunicación, entre otros factores, ha hecho que cada vez se puedan introducir más parámetros y complejidad al proceso de diseño de los modelos de ciudades y edificios.

El urbanismo paramétrico, como sistema para generar proyectos participativos resulta aún más enriquecido con el aporte de las Tecnologías de la Información y Comunicación. La revolución digital ha hecho que la compartición de información y la participación ciudadana sea aún más horizontal y haya mayor facilidad para la transparencia y fluidez en los procesos. El desarrollo de herramientas que van en este sentido, es motivo de muchas investigaciones

y motivo de experimentación de varias universidades hoy en día. El desarrollo de técnicas en este sentido, sin duda será una realidad en un futuro próximo.

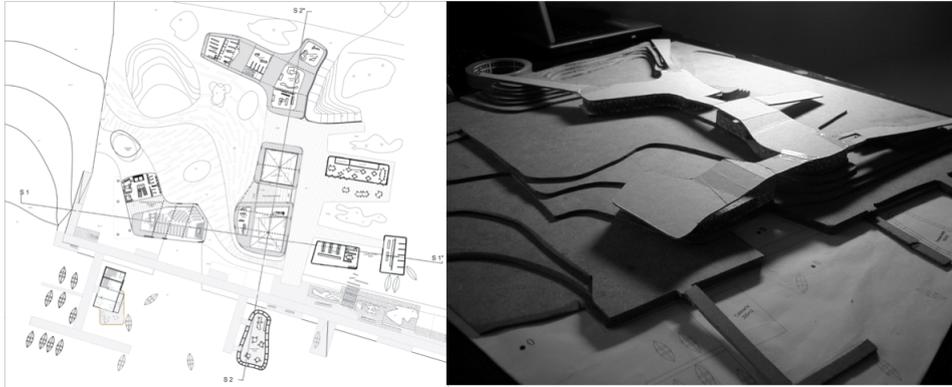


Figura 1.7: Programa propuesto por el método paramétrico e imagen volumétrica. Proyecto Centro Cívico Fox de Arelho [Quevedo et al., 2005]

El urbanismo paramétrico, como sistema para generar proyectos participativos resulta aún más enriquecido con el aporte de las Tecnologías de la Información y Comunicación. La revolución digital ha hecho que la compartición de información y la participación ciudadana sea aún más horizontal y haya mayor facilidad para la transparencia y fluidez en los procesos. El desarrollo de herramientas que van en este sentido, es motivo de muchas investigaciones y motivo de experimentación de varias universidades hoy en día. El desarrollo de técnicas en este sentido, sin duda será una realidad en un futuro próximo.

La sostenibilidad es tender al equilibrio de las variables que soportan, definen y caracterizan cualquier sistema. En un sistema urbano la sostenibilidad viene definida por las variables que versan sobre la compacidad, la conectividad, la densidad edificatoria, la calidad del espacio público, la habitabilidad urbana del espacio público, la calidad del aire, el confort acústico, el confort térmico, la accesibilidad, el espacio destinado al peatón, la superficie libre por habitante, la percepción espacial del verde urbano, la funcionalidad del espacio, la funcionalidad y eficiencia de las infraestructuras de transporte, la mezcla de funciones urbanas, la densidad del verde urbano, la gestión de la energía, la gestión del agua, la gestión de los residuos y la cohesión social, son algunos de los aspectos que habría que evaluar en una ciudad para considerar su grado de sostenibilidad.

Son antiguas parcelas de uso turístico cuyas expectativas de desarrollo se paralizaron con la ley 19/2003, la llamada ley de la moratoria turística de Canarias. Ya desde las Directrices de Ordenación del Turismo de Canarias, decreto 4/2001 de enero de 2001, se han hecho esfuerzos en pro de la conservación del territorio, respecto a la ocupación del suelo. Las directrices establecieron la

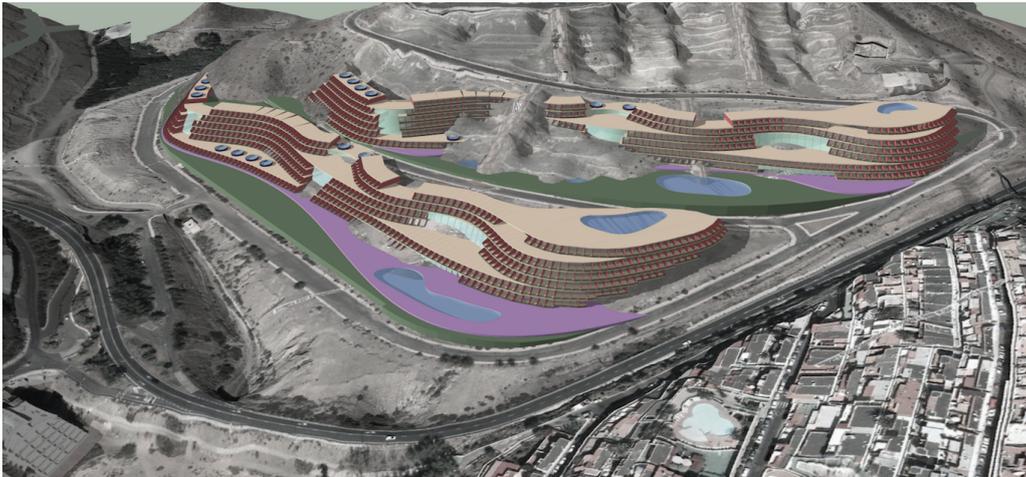


Figura 1.8: Proyecto de hotel paramétrico y sostenible

necesidad de desarrollar ordenación general y sectorial "desde una perspectiva de la sostenibilidad" territorial. Desde las directrices de ordenación se han incluido parámetros para buscar una mayor sostenibilidad. Los parámetros más significativos son los relativos a la densidad de habitantes, establecida en 400 habitantes por hectárea o 500 en el caso de suelo de rehabilitación turística. También los parámetros de edificabilidad, establecidos en 1,2 , para nuevo suelo y 1,5 , para suelo en rehabilitación. Además la reserva de 40 de suelo libre o equipamiento por cada 100 edificados. Y la imposibilidad de desarrollar nuevo suelo que no estuviese consolidado por la urbanización. En aras de conseguir una mayor sostenibilidad, el texto refundido de la ley del suelo de Canarias, habla de buscar un modelo compacto, en consecuencia, las directrices cambian a rústico aquellos suelos que estuviesen en discontinuidad y no hubiesen sido construidos con anterioridad. El suelo de uso turístico debe ser ordenado desde los planes territoriales turísticos y en planeamiento general local, como el caso que se exponen a continuación.

En as imágenes de las figuras 1.8 y 1.9 y 1.10, se muestran unos proyectos planificados, por el autor de esta tesis, en antiguos solares no construidos, con una infraestructura urbana ya ejecutada, pero abandonada, y en continuo deterioro. Uno de los principios de la sostenibilidad es evitar el nuevo consumo de suelo y la expansión de las ciudades. Rehabilitar, reciclar y reconstruir suelos ya deteriorados. No obstante, la prohibición de intervenir en suelos no urbanizados, no debe se un imperativo, pero si se deben tener criterios objetivables para tratar este asunto que crea tanta controversia, como es la permisividad de construir nuevos hoteles de cinco estrellas para buscar una mayor calidad.

La calidad ambiental o paisajística y la sostenibilidad, no se miden con los mismos criterios que la calidad turística, por tanto, es necesario parametrizar la sostenibilidad y desligarla de los estándares turísticos.



Figura 1.9: Vista general de hotel sostenible de diseño paramétrico en la que todo el conjunto está diseñado para abastecer y regenerar el área donde se inserta [Quevedo, 2015]

En este caso son proyectos de hoteles que utilizan variables de sostenibilidad, mediante un sistema paramétrico. El objetivo es conseguir que los hoteles se conviertan en los regeneradores del área donde están. Se trata de cerrar el ciclo como si de un ser vivo que se adapta al terreno se tratase. En una intervención de este tipo, es necesario cerrar el ciclo de los recursos naturales afectados por la nueva intervención. Algunos de estos recursos son los que se detallan a continuación: la gestión de aguas, la gestión y reciclaje de residuos, el reciclaje de aguas para crear zonas verdes, la regeneración de los desmontes en el paisaje, los corredores verdes y de especies, la integración de los edificios en la topografía, integración paisajística, la participación de los interesados en el proceso, los materiales, la eficiencia energética, la utilización de energía renovable, el aprovechamiento de la luz solar, las vistas desde cada punto, los acabados integrados, los materiales del lugar, etc.

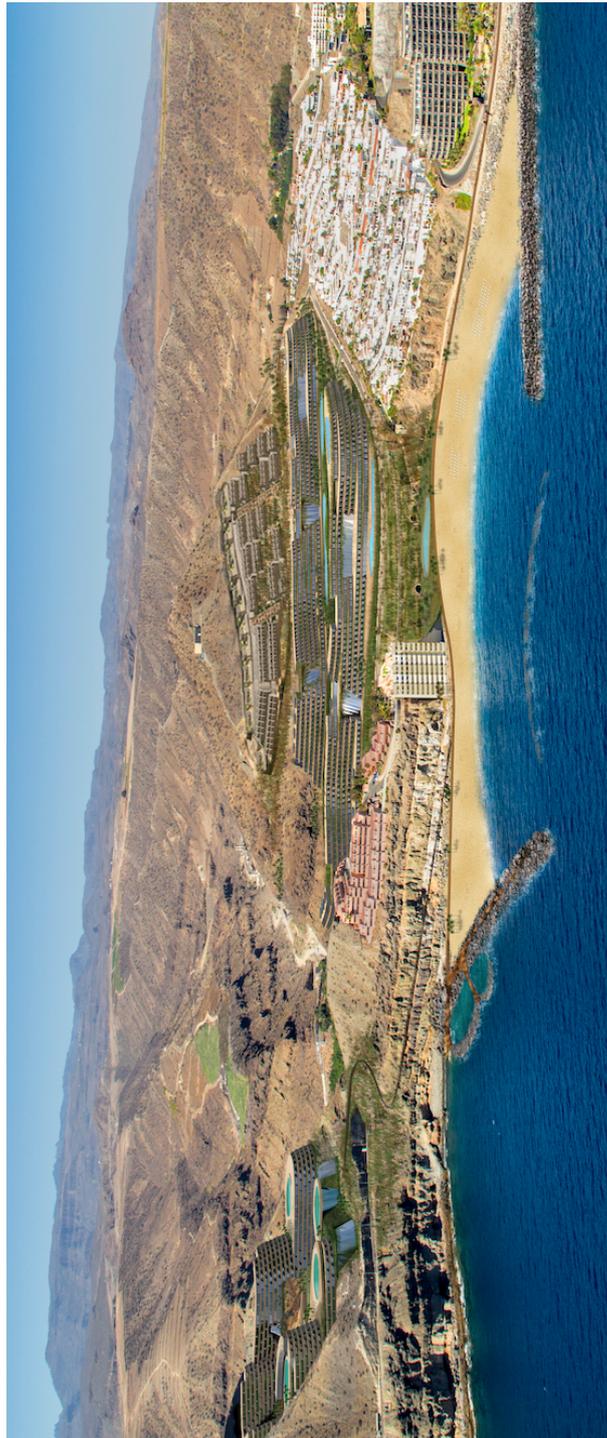


Figura 1.10: Vista general de urbanización sostenible de diseño paramétrico en la que todo el conjunto está diseñado para auto-abastecer y regenerar el área donde se inserta [Quevedo, 2015]

1.3. Propuesta

En esta tesis se propone una metodología paramétrica que sirve de apoyo para planificar, de forma objetiva, y con criterios de sostenibilidad. Este proceso se hace de forma automática con el procesado de imágenes.

La metodología paramétrica es de gran utilidad para los participantes en la planificación urbanística. Metodologías paramétricas consiguen evaluar y planificar, de forma objetiva, un desarrollo urbanístico sostenible, desde la forma urbana de la ciudad.

Se ha desarrollado un modelo de urbanismo paramétrico, mediante parámetros e indicadores. Este modelo identifica los patrones de la forma urbana de las ciudades los cuantifica y calcula indicadores de sostenibilidad. Se han usado mapas del OSM, mediante metodologías de procesado de imagen en la matriz de RGB.

Este proceso ha sido automatizado, desarrollando un algoritmo que lee los mapas y clasifica los patrones de ciudades según su sostenibilidad. Con este proceso se consigue estudiar todas las urbanizaciones que se quieran a una velocidad de más de dos mil veces mayor que con los métodos tradicionales y con menos personas.

En este documento se han realizado cuatro experimentos. Los dos primeros experimentan la metodología paramétrica propuesta, los dos segundos experimentan el procesado de imágenes propuesto, con la metodología paramétrica.

Uno de los experimentos, de gran relevancia, es el estudio de veinte de las urbanizaciones turísticas más importantes de Canarias, el otro es el estudio de ciento cuarenta y siete ciudades del planeta.

En definitiva, en este documento se quiere:

- Definir los parámetros de sostenibilidad urbanística de una urbanización, válidos para comparar distintas operaciones urbanas.
- Crear una herramienta capaz de identificar, capturar, medir, calcular, combinar y clasificar los parámetros para identificar ciudades según el grado de sostenibilidad de urbanización, de forma automática.
- Proponer uno indicadores de sostenibilidad urbanística basados en las métricas de la forma urbana.

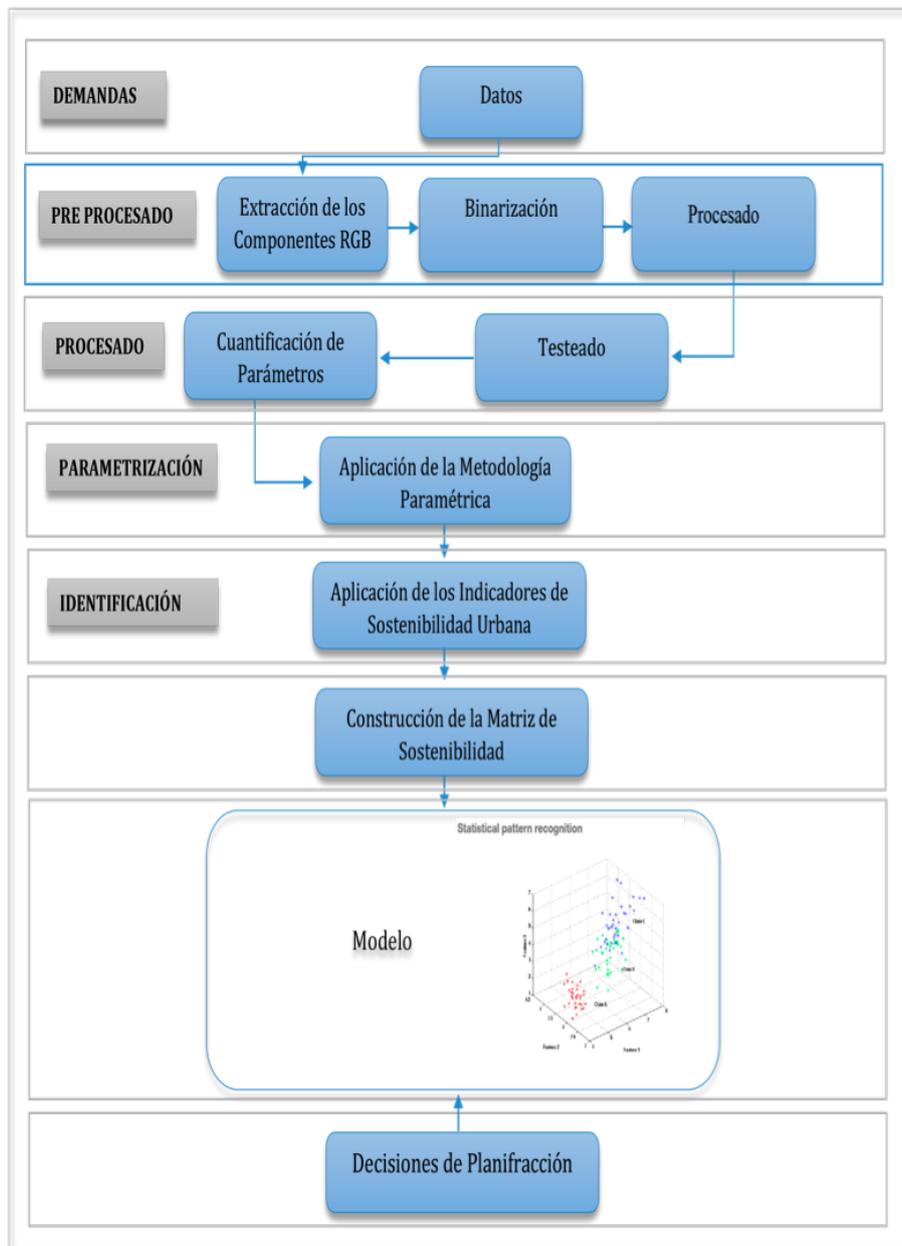


Figura 1.11: Tabla del resumen del modelo propuesto

1.4. Objetivo

El objetivo de esta tesis es proponer un sistema de evaluación paramétrica del planeamiento urbano sostenible mediante el uso de reconocimiento de patrones urbanos obtenidos de mapas y su automatización mediante el técnicas de procesado de imágenes.

Los objetivos de esta tesis están enmarcados en la planificación urbanística y el procesado automático de imágenes:

Por un lado, proponer un sistema de automático y paramétrico de evaluación y planificación, del planeamiento urbano sostenible mediante el uso de reconocimiento de patrones en imágenes aéreas, mapas y su validación mediante metodología basada en el procesado de imágenes.

Por otro lado, innovar en las aplicaciones del procesado de imágenes para la planificación urbanística mediante el reconocimiento automático de patrones.

Planteamiento de la hipótesis El presente capítulo se demuestra cómo aplicar la hipótesis de la tesis doctoral

.^A partir de la información dada por puntos de control, extraídos de un mapa, que definen los parámetros de ciudades cualesquiera, se plantea su procesado pasando a un espacio hiperdimensional y produciendo entonces, una herramienta eficiente para la identificación automática de formas de ciudad y la identificación de la sostenibilidad".

1.5. Estructura del documento

Este documento está estructurado en seis capítulos, las referencias, el listado de acrónimos y tres apéndices, el primero de ellos, las principales partes de la tesis en inglés.

En el primer capítulo se introduce al lector en el problema real y potencial de la sostenibilidad de las ciudades del siglo XXI, se plantea la hipótesis y se hace una breve reseña del estado del arte.

En el capítulo dos se desarrolla el estado del arte. En este capítulo se describen los métodos cuantitativos para evaluar y planificar la sostenibilidad de las ciudades y se analiza la importancia de la forma urbana y el potencial de la definición de la ciudad como patrones.

En el capítulo tres se describe la metodología paramétrica y se desarrollan los indicadores propuestos en base a los parámetros. Se analiza la implicación de cada parámetro e indicador y se hace una exposición de los indicadores válidos, propios y externos, para este modelo.

En el capítulo cuatro se desarrolla el algoritmo para la automatización del procesado de imágenes, que define los patrones. En éste capítulo se describe paso a paso el proceso para obtener los parámetros de forma automática. Primero la detección y después el cálculo para imágenes de gran escala y de pequeña escala. Se desarrolla la metodología con la ciudad de Barcelona y con la urbanización turística de Los cristianos, Tenerife.

En el capítulo cinco, se desarrolla la parte experimental en cuatro experimentos. En el experimento uno se han tomado patrones abstractos de posibles urbanizaciones, aplicando la metodología paramétrica planteada en la hipótesis, además se aplican los indicadores utilizados, de forma manual.

En el segundo experimento se aplica la metodología paramétrica urbanizaciones turísticas de las islas Canarias, de forma manual y automatizada para ver las diferencias.

En el tercer experimento de este capítulo, se aplica la metodología paramétrica y el reconocimiento automático de patrones, desarrollado y optimizado a veinte urbanizaciones de Canarias.

En el cuarto experimento, la metodología paramétrica y el reconocimiento automático de patrones, desarrollado y optimizado a ciento cuarenta y siete ciudades del planeta, obteniendo los datos cuantitativos que ubican a las ciudades según la matriz de sostenibilidad.

Esta matriz clasifica las ciudades según su sostenibilidad, basada en los indicadores sintéticos de la forma urbana sostenible. Estas imágenes son extraídas del ranking de *Cities in Motion* 2015 del IESE.

En el capítulo seis se hace la discusión de los resultados obtenidos. La combinación de la metodología paramétrica y el reconocimiento automático de patrones ubica las ciudades en una matriz tridimensional de sostenibilidad.

En el capítulo siete se desarrollan las conclusiones y líneas futuras.

El apéndice A es el documento traducido al inglés como requisito para la mención europea. Este documento consta de parte del capítulo uno y del capítulo seis con la discusión, conclusiones y resultados, traducidos al inglés.

El apéndice B es la colección de imágenes obtenidas del procesado de las urbanizaciones turísticas de Canarias.

En el apéndice C se exponen, por cada ciudad, siete de las imágenes obtenidas del procesado de mapas referentes a las ciudades globales.

Capítulo 2

Desarrollo del estado del arte

2.1. Estado del arte

2.1.1. Urbanismo sostenible

Una variedad de problemas ambientales incluyendo el cambio climático, la lluvia ácida, contaminación de acuíferos, contaminación del aire, basuras, pérdida de biodiversidad, desertificación y pérdida de ozono, están afectando la integridad del planeta. Siendo este un problema global, causado desde formas de actuar locales, precisa de acciones colectivas y transnacionales para evitar un mayor deterioro [Farr, 2011].

En 1969 el Arquitecto y Paisajista escocés, McHarg, escribió un libro muy influyente en el que, en un momento de crecimiento urbano industrializado, propone las estructuras naturales como el eje en el que basar el planeamiento urbano [McHarg and Mumford, 1969].

Para Douglas Far el Urbanismo Sostenible deriva de tres movimientos de reforma de finales del siglo XX que trascendieron del ambientalismo anti-social de McHarg y pasaron a resaltar los beneficios de integración de dos sistemas humanos y sociales [Farr, 2011]. Estos son los movimientos basados en el crecimiento urbano inteligente, el Nuevo Urbanismo y las construcciones inteligentes. El nuevo urbanismo nació en Norteamérica en 1979 con la idea de crear poblados al estilo tradicional pero incluyendo el transporte público como transporte básico y las calles peatonales como ejes estructurantes. Establece también estrategias para concentrar las actividades necesarias y evitar la dispersión urbana [Katz et al., 1994].

Para Lye Liang and Chen Gang [Lye and Gang, 2010] existen cinco pilares básicos para contribuir con la sostenibilidad del urbanismo: (1) La Estructura Urbana. (2) Transporte. (3) Energía y Eficiencia de Recursos. (4) Infraestructura social y Viabilidad Económica. (5) Monitoreo y Evaluación.

2.1.2. El Urbanismo en la Sociedad en RED, Sociedad Informacional.

Se ve un cambio de paradigma importante en la estructura social, económica, cultural y política a nivel global. El desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación y su aplicación ha sido la base para crear una nueva sociedad, economía, cultura e incluso política que es global, funciona en red y es informacional. Es global porque opera a nivel internacional, sin importar la ubicación geográfica, las diferencias de cultura, las diferentes políticas...; funciona en una red interconectada y expandida, en la que los nodos son las intersecciones de las curvas, y las uniones de otras conexiones. Castells define los nodos como lo contrario a : . . .

los mercados de la bolsa y sus centros auxiliares de servicios avanzados en la red de servicios financieros globales. Son los consejos nacionales de ministros y los comisarios europeos en la red política que gobierna la UE. Son los campos de coca y amapola, los laboratorios clandestinos, las pistas de aterrizaje secretas, las bandas callejeras y las instituciones financieras de la red de blanqueo de dinero en la red de tráfico de drogas que penetra en economías, sociedades y estados de todo el mundo. Son canales de televisión, los estudios de filmación, los entornos de diseño informático, los periodistas de los informativos y los aparatos móviles que generan, transmiten y reciben señales en la red global de los nuevos medios que constituyen la base de la expresión cultural y la opinión pública en la era de la información.

Es informacional porque la posición de la sociedad, la economía, de los nodos, etc., reside en la capacidad de generar información, conocimiento e innovación para revertir al resto de la red.

Una nueva economía basada en el acceso al conocimiento tecnológico, constituye la base de la productividad y la competencia y se organiza entorno a redes globales de información y capital. Para Castells, el modo capitalista de producción, si es puramente especulativo, se somete a un riesgo excesivo y acaba agotándose por simple probabilidad estadística. Sin embargo el modo informacional de producción se basa en el conocimiento generado y procesado por las tecnologías de la información, siendo esto necesario para que el capital financiero pueda operar y competir [Castells, 2004].

Las ciudades tienen una nueva dimensión vital y expandida que es Internet. Las más inteligentes son sistemas globales de sistemas, interconectadas, interdependientes y actúan como nodos del conocimiento a escala mundial. La nueva dimensión requiere de nuevas metodologías de hacer urbanismo capaz de gestionar la complejidad de las ciudades, los mecanismos que se utilizan hoy

en día para hacer planeamiento urbano pertenecen a otra era, tradicional, a la que se puede llamar 1.0.

La propuesta del urbanismo colaborativo como sistema de planificación emergente y necesario, muestra la posibilidad de dar respuesta a la complejidad con la que los planificadores se encuentran, cada vez más, en el ejercicio de sus tareas [Quevedo, 2013].

Las ciudades y el territorio funcionan como elementos vivos interconectados, como ecosistemas [Pickett et al., 2008]. Planificar de forma determinística un proceso que en sí mismo es dinámico [White and Engelen, 1993], resulta cuanto menos difícil y en resultado no siempre se consiguen las mejores soluciones. Los momentos económicos, sociales, culturales etc., cambian a un ritmo muy distinto al que cambia la ciudad.

Participación ciudadana

En la era de la comunicación y el conocimiento un objetivo importante es lograr una participación cívica más efectiva [Houghton et al., 2014] y una mayor sostenibilidad urbana mediante el planteamiento holístico y sistémico de la complejidad urbana [Rueda, 2012b].

Una participación cívica extensa importante es parte de la "*Knowledge based eco-city planning*" [Lye and Gang, 2010] y contribuye al proceso de crear ciudad en modo *botton-up*. La participación económica, cívica y de expertos en el desarrollo de las ciudades es indispensable para obtener buenos resultados en la práctica, no es sólo cuestión de técnica, economía y política. Se deben poner las bases para una nueva forma de hacer urbanismo de la sociedad en red. Este nuevo planteamiento complejo del ejercicio del urbanismo, como urbanismo colaborativo, requiere de un nuevo perfil profesional del urbanista, adaptado al cambio.

El planteamiento del urbano como un Sistema Complejo Adaptativo SCA como un sistema ecológico sostenible con el medio.

Durante los dos últimos años han emergido a partir del uso de las tecnologías de la información grupos con inquietudes sobre Sistemas de Urbanismo Colaborativo. *Collaborative Urban System* CUS es una comunidad interdisciplinaria de expertos, empresas y organizaciones que busca aportar comprensión a la influencia de las tecnologías de la información en el planeamiento urbano dentro del contexto de las ciudades inteligentes. Soluciones prácticas como "*Play the City*", promovido por [Rambaldi et al., 2006] son acercamientos al Urbanismo Colaborativo de forma didáctica en forma de juego. También experiencias en

participación ciudadana con el uso de modelos 3D del territorio como *Modelagem 3D Participativa* [Rambaldi et al., 2006] muestran el éxito de estas prácticas para la cohesión y la sostenibilidad de los proyectos urbanos y de la ordenación del territorio.

El urbanismo como problema sistémico Si se enfoca el urbanismo como un problema dentro del pensamiento Sistémico. El pensamiento Sistémico contempla el todo y las partes, así como las conexiones entre las partes y estudia el todo para poder comprender las partes. Una combinación de lluvia, atmósfera y sol hace que emerja el arcoíris, sin embargo la lluvia en sí es otro sistema que depende de otros factores. Un sistema tiene a su vez propiedades emergentes, a veces inesperadas [OConnor and McDermott, 1998].

El urbanismo es el conjunto de disciplinas que se encarga del estudio de los asentamientos humanos para su diagnóstico, comprensión e intervención. El urbanismo utiliza a la geografía urbana como herramienta fundamental, e intenta comprender los procesos urbanos a fin de planificar las intervenciones para la cualificación del espacio

Si se analiza esta afirmación se puede deducir que el conjunto de disciplinas que intervienen en el estudio de los asentamientos urbanos es, cuanto menos, múltiple y diversificado. Ninguna disciplina por sí solo puede encargarse de la planificación. Por tanto, es necesario el uso de metodologías y herramientas que hagan capaz la intervención de múltiples disciplinas y expertos.

Según el pensamiento sistémico la relación entre causa y efecto no es lineal, se puede establecer en círculos de forma que la causa puede ser efecto al mismo tiempo y efecto puede ser la causa. Solo la repetición nos permite entender la estructura del sistema, los autores indican que tres repeticiones es

un patrón, que nos llevará a la estructura del sistema"

[OConnor and McDermott, 1998].

Al observar el todo se puede entender parte de las partes por tanto, un acercamiento global facilita la comprensión del sistema. Según la teoría del Caos, Sistemas Complejos ante mínimas variaciones pueden provocar cambios impredecibles a largo plazo. Este sistema deja de ser aleatorio cuando se consigue identificar patrones que, cuando se repiten en todos los niveles de la estructura se denominan fractales. Dimensiones fractales y leyes definibles, son características de sistemas, justo en el límite entre el orden y el caos [Bak et al., 1987], [Kauffman and Johnsen, 1991]. Trabajos en la teoría de Sistemas Dinámicos y Evolucionarios sostienen que la complejidad es una cualidad inherente y necesaria de las ciudades [White and Engelen, 1993]. Los sistemas sociales son sistemas ricos de información, los cuales serán denominados *Software City*.

Esas estructuras de información, de una u otra forma, se reflejan en la ciudad construida, la que serán determinados *Hardware city* [Quevedo, 2010].

Esta teoría o interpretación está en contraposición con las posturas de análisis geográfico tradicionales. En pocas palabras, la posición ortodoxa es que la mayor complejidad es simplemente ruido, oscureciendo una estructura que es esencialmente simple. En el modelo de la teoría de la renta, Alonso desarrolla un análisis mayormente matemático basado principalmente en tópicos como son la localización y densidad de las residencias y compañías, renta de terrenos agrícolas, y el equilibrio de la estructura del valor del suelo y usos del suelo en la regiones urbanas y rurales [Alonso et al., 1964].

Teorías actuales analizan la ciudad desde este enfoque sistémico hasta el punto de no entender la ciudad o el territorio por sí mismos si no como una parte de un todo que pertenece a un sistema global de ciudades. Saskia Sassen describe como "La Ciudad Global" como aquellas ciudades desarrolladas bajo el efecto de la globalización y el constante crecimiento de la urbanización. Estas ciudades están interconectadas y tienen un efecto tangible y directo sobre asuntos mundiales en esferas socio-económicas, culturales y políticas [Sassen, 1999].

2.1.3. Territorios inteligentes

El término Territorios inteligentes fue esbozado en el libro del mismo nombre, editado por la Fundación Metrópoli. En éste se hace un recorrido por las características globales del urbanismo del siglo XXI, introduciéndole en la era de la información y el conocimiento [Vegara et al., 2004].

En este apartado se describirán los procesos que el autor identifica en esta era de la información y la relación con el urbanismo.

Sistemas de Posicionamiento Geográfico Los Sistemas de Posicionamiento Geográfico o *Geographical Position System*, GPS han sido desarrollados y asequible de una forma estrepitosa en los últimos años. Las iniciativas de edición de mapas de código abierto como *Open Street Map* OSM, han contribuido a la liberación de la información geográfica del planeta. Hasta hace quince años se necesitaban conocimientos universitarios para editar información cartográfica desde la geografía, la topografía, la geodésica... etc. Han sido necesarios medios técnicos y tecnológicos muy desarrollados para cartografiar el mundo. Desde los 1960 se han utilizado técnicas relacionadas con la computación para transcribir, editar, analizar la información cartográfica.

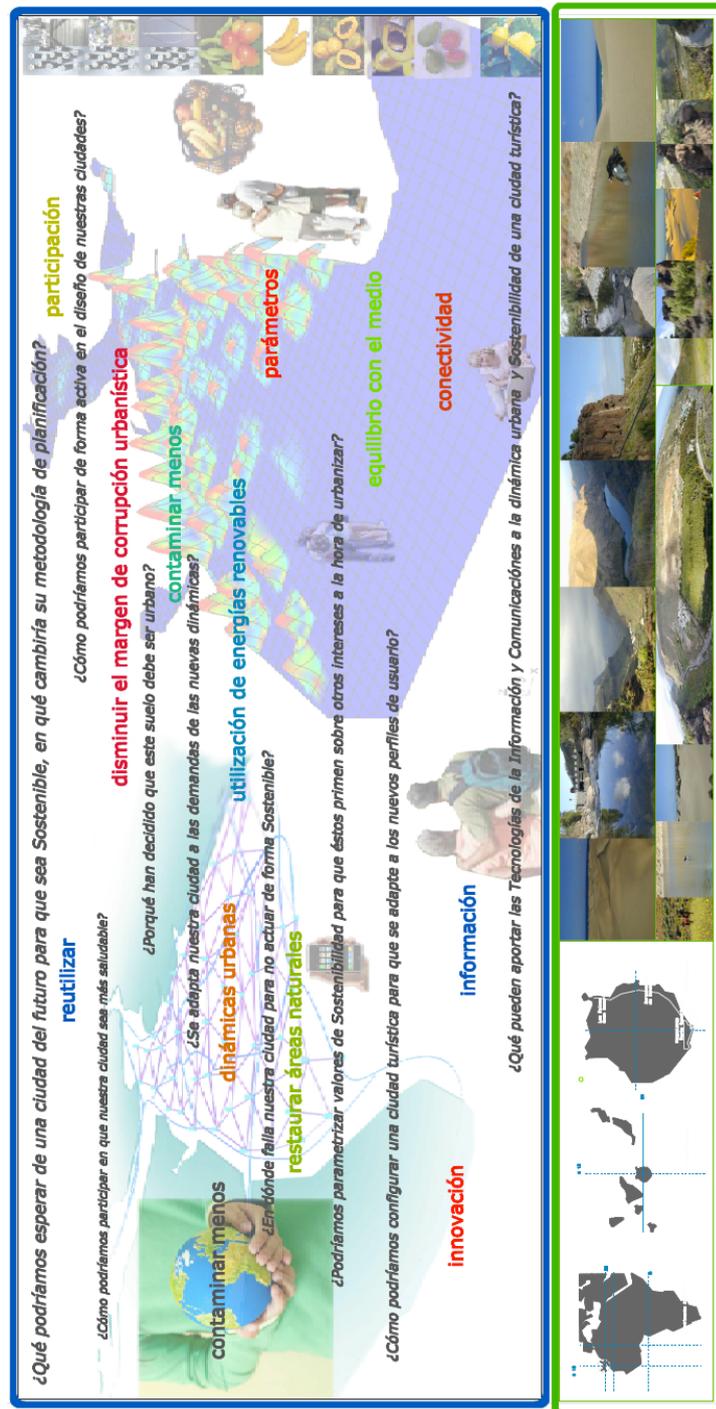


Figura 2.1: Cartel sobre la parametrización del planeamiento urbanístico sostenible aplicado al Campo Internacional de Maspalomas. Para el Congreso Internacional de Arquitectura Sostenible de Valladolid 2009, cartel de participación [Quevedo et al., 2009]

Los gobiernos han tenido departamentos que se dedican a estos cometidos, invirtiendo en equipamiento e infraestructura necesaria. En muchos países la in-

formación geográfica pública no es de uso libre. Los usuarios pagan por generarla mediante los impuestos y por adquirirla para su uso [Haklay and Weber, 2008].

En el año 2000, el presidente Bill Clinton anunció la disponibilidad de la señal GPS. La señal GPS proporciona el posicionamiento de los objetos con una precisión de 5 a 10 metros, ofreciendo de forma barata y sencilla, la posibilidad de desarrollar técnicas de edición de información Geo-referenciada con el uso de herramientas al alcance de todos [Turner, 2006].

Uno de los proyectos con más éxito, que han aprovechado estas ventajas, ha sido el OSM, como iniciativa de la UCL, con el profesor Steven Coast [Goodchild, 2007]; [Coast et al., 2007]. Es una comunidad colaborativa de usuarios que introducen información y la comparten de forma libre para ser descargada y editada. En 2014, a los 10 años de ser creado, existían en el mundo 1.840.000 usuarios, de los cuales 22.600 aportaban algo mensualmente. Ante esto no hay empresa ni gobierno que pueda competir [Haklay and Weber, 2008].

Se han utilizado los mapas de la aplicación como soporte para esta investigación porque han ofrecido mejor visibilidad de los datos, mayor facilidad en el manejo de la escala, menos símbolos que confundan la imagen, estándar en las imágenes de diferentes ciudades y mayor resolución y definición que otros mapas.

Las ciudades inteligentes

Las *Smart Cities* es un término relativamente nuevo que hace referencia a la ciudad virtual con el auge de las TICS. España es el primer país europeo en el uso de *smartphones*. En 2014 había un 81 % de *smartphones* utilizados frente al 63 % del año anterior. El uso de personas de entre 55 y 64 años que acceden a Internet diariamente, ha crecido en 8,6 puntos [Telefónica, 2015] durante el último año. Es señal de cómo las Tecnologías de información y Comunicaciones cala en la sociedad y ésta a su vez forma parte de la sociedad en red.

Las ciudades están cruzadas por una gran nube de redes de comunicación e información creadas y gestionadas por los usuarios, administraciones, empresas etc. Una ciudad inteligente debe tener la inteligencia necesaria para hacer uso de esta tecnología y mejorar la vida de los usuarios y la calidad del ecosistema que interpreta.

Los factores de éxito que se pueden destacar en una *Smart City* con los siguientes:

- Gestión y Organización
- Tecnología

- Gobernanza
- Política
- Gente y comunidades
- La economía
- El entorno natural
- Infraestructura construida Chourabi, H. et al., 2012

Otros estudios incluyen factores necesarios para una *Smart City* como:

- Construcción de wireless city
- Servicios públicos y gestión social inteligentes
- Construcción de tratamiento médico inteligente
- Construcción de ciudad verde
- Hogares inteligentes
- Transporte inteligente
- Gestión urbanística inteligente
- Turismo inteligente [Su et al., 2011]

Las *Smart Cities* pueden ser comparadas con constelaciones de instrumentos, a lo largo de muchas escalas, que están conectadas a través de múltiples redes que proporcionan datos continuos con respecto a los movimientos de personas y materiales en términos de flujo de decisiones sobre la forma física y social de la ciudad. Sin embargo las ciudades solo pueden ser inteligentes si hay funciones inteligentes que hacen posible integrar y sintetizar estos datos a algún propósito, formas de mejorar la eficiencia, la equidad, la sostenibilidad y la calidad de vida en las ciudades"[Batty et al., 2012]

La *Smart City* es una ciudad de la sociedad del conocimiento que, haciendo uso de las TICS, integra aspectos físicos, de gestión de recursos urbanos y de personas, para producir una mejor calidad de vida y medioambiental, una mejor participación ciudadana y una economía sostenible. La condición de ciudad inteligente la hace competente dentro de la red global de ciudades a la que pertenece.

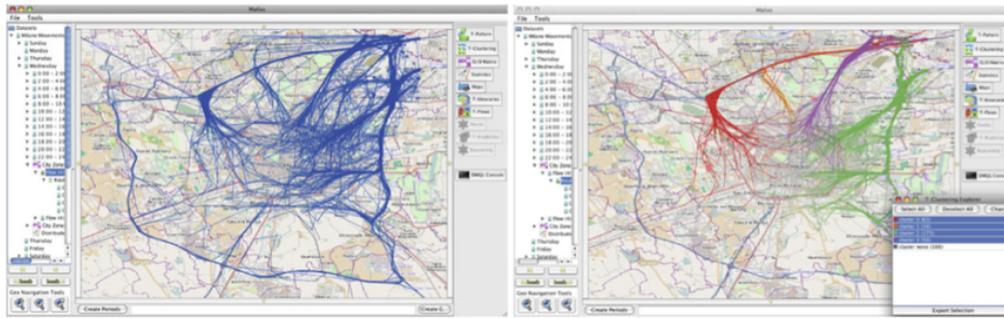


Figura 2.2: Tracs en el metro de Milán. (a) Centro de la ciudad al Noreste (b) Clusters de trayectorias de likes.

En el estudio interuniversitario de 2007 *Smart Cities. Ranking of European medium-sized cities* [Giffinger et al., 2007], se hace una clasificación para evaluar ciudades europeas de tamaño mediano como *Smart Cities* identificando y evaluando los siguientes aspectos y factores:

- Smart Economy. Competitividad.
- Smart Mobility. Transporte y TICS.
- Smart Governance. Participación Ciudadana.
- Smart Environment. Recursos Naturales
- Smart People. Capital Humano y Capital Social.
- Smart Living. Calidad de Vida.

SMART ECONOMY (Competitiveness)	SMART PEOPLE (Social and Human Capital)	SMART GOVERNANCE (Participation)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Innovative spirit ▪ Entrepreneurship ▪ Economic image & trademarks ▪ Productivity ▪ Flexibility of labour market ▪ International embeddedness ▪ <i>Ability to transform</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Level of qualification ▪ Affinity to life long learning ▪ Social and ethnic plurality ▪ Flexibility ▪ Creativity ▪ Cosmopolitanism/Open-mindedness ▪ Participation in public life 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participation in decision-making ▪ Public and social services ▪ Transparent governance ▪ <i>Political strategies & perspectives</i>
SMART MOBILITY (Transport and ICT)	SMART ENVIRONMENT (Natural resources)	SMART LIVING (Quality of life)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Local accessibility ▪ (Inter-)national accessibility ▪ Availability of ICT-infrastructure ▪ Sustainable, innovative and safe transport systems 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Attractivity of natural conditions ▪ Pollution ▪ Environmental protection ▪ Sustainable resource management 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cultural facilities ▪ Health conditions ▪ Individual safety ▪ Housing quality ▪ Education facilities ▪ Touristic attractivity ▪ Social cohesion

Figura 2.3: Indicadores del ranking de ciudades inteligentes utilizado en el ranking de las ciudades europeas inteligentes de tamaño medio [Giffinger et al., 2007]

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

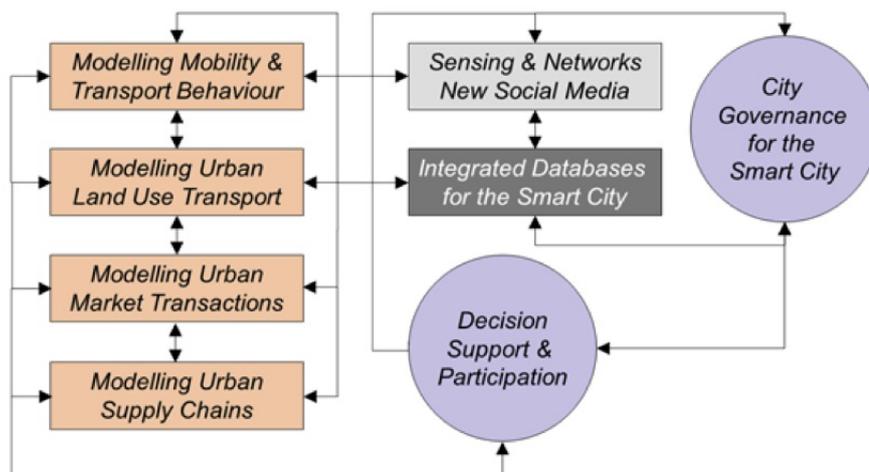


Figura 2.4: La estructura de *Futur ITCs Smart Cities Programme*.

2.1.4. Urbanismo 2.0 frente al Urbanismo 1.0

Urbanismo 2.0 es el resultado de introducir los valores de la colaboración, interoperabilidad, diseño basado en el usuario y compartición de la información de forma operativa con el uso de las TICS.

Los problemas de salubridad que tenían las ciudades medievales fueron resueltos posteriormente con los nuevos planes y técnicas. Con el conocimiento compartido cada civilización ha dado respuesta a las demandas de la sociedad según la tecnología, transferibilidad de conocimiento y técnicas del momento y lugar.

En la era de la comunicación y el conocimiento la planificación ya no es solo una cuestión física o geométrica y numérica, hoy una nueva dimensión que debe ser analizada. Para futuros planteamientos, es necesario considerar la Hardware-City y la Software-City [Quevedo, 2010].

Las nuevas tecnologías aplicadas al urbanismo han superado, de una forma emergente, las expectativas la utilidad y el potencial que se podía esperar de las TICS aplicadas al urbanismo. Por un lado, el desarrollo de las IDE y su potencial para gestionar grandes informaciones territoriales, los gobiernos y empresas. Por otro, lado la utilidad en tiempo real, como pueden ser operaciones de logística empresarial, el Internet de las cosas con geolocalización, estudios de mercado, estudios de flujo de tráfico [Quevedo et al., 2011].

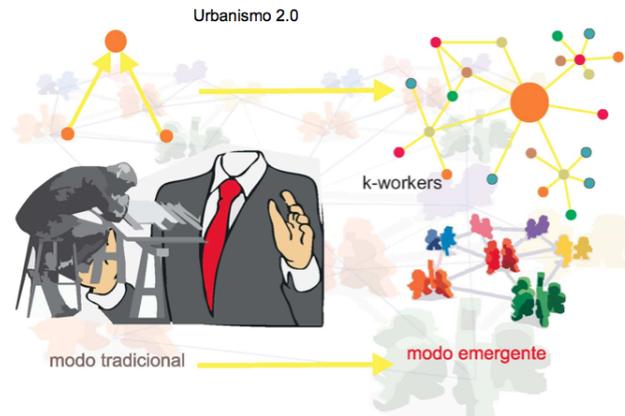


Figura 2.5: Esquema de funcionamiento del Urbanismo 2.0 versus Urbanismo 1.0. [Quevedo et al., 2009].

Contexto histórico del urbanismo 2.0

A lo largo de la historia de las civilizaciones, a mayor transferibilidad de conocimiento y mayor conectividad física entre las distintas poblaciones del planeta, mayor ha sido el crecimiento del conocimiento y el desarrollo.

El siglo XVIII fue el siglo de la revolución industrial y las ciudades se convirtieron en los lugares de creación de la economía, dónde, en busca de un mejor bien estar se aglutinó la gente venida de los campos para trabajar. El siglo XX con la revolución tecnológica permitió comunicar las ciudades a través de las nuevas infraestructuras y nuevos medios de transporte más rápidos y eficaces, las ciudades se han convertido en lugares desde los que se gestionan las economías de otros territorios más que donde se crea la economía en sí. El siglo XXI es la era de la comunicación y el conocimiento, surge como un punto de inflexión tecnológico significativo.

Hasta ahora la transferencia de la información y el conocimiento dependía de la velocidad de transporte entre los nodos o ciudades, pero a su vez ésta dependía de la distancia entre los nodos. En la era del conocimiento el tiempo de transferencia de la información y el conocimiento K no se mide con la velocidad de desplazamiento entre las ciudades o poblaciones, que dependía de la infraestructura de transporte (camino, carreteras, puentes, puertos, aeropuertos... etc.) y de tecnología de transporte (la mula, carro Romano, máquina de vapor, el avión...). Durante esta era la transferencia del conocimiento es instantánea y la tendencia de las ciudades competentes es de crear nuevos centros capaces de albergar infraestructura y capital humano del conocimiento o inteligente.

La ciudad tiene un nuevo espacio vital y expandido que es internet [Quevedo, 2013]. La gestión de la información generada en las ciudades y la

participación directa de los ciudadanos son nuevas oportunidades para hacer un Urbanismo Colaborativo para la ciudad inteligente.

Una ciudad que quiere ser competente debe ir más allá de las fronteras de los territorios con los que está conectada por tierra o mar. La nueva situación requiere de nuevas metodologías que den respuesta para preparar el planeamiento urbano de la sociedad global hiperconectada, con mecanismos dinámicos que favorezcan la economía, el bienestar social y la calidad medioambiental.

La *Hardware city* es la parte física de la ciudad y el territorio. La *Software City* es la parte de la información que se genera y se gestiona dentro de la ciudad y con otras ciudades, también el capital intelectual y capital social. Al integrar la dimensión informacional de la ciudad se consigue lo que se conoce hoy por la *Smart City*. Estos dos conceptos funcionan juntos, no son independientes pero se debe añadir otro componente que hace que los patrones se modifiquen de forma dinámica.

El nombre de la *K-citizen* viene de la K de conocimiento (knowledge). Es el usuario de la ciudad en la era del conocimiento, está preparado e integrado en la sociedad del conocimiento [Rubio Royo, 2009]. Su dimensión de influencia va más allá de los recorridos y actividades que se hacen en la ciudad. El K-citizen al estar conectado en red es el que genera la información que ocurre en la ciudad global y está integrado con una participación activa. Es la base de la información que da forma a las ciudades y territorios.

El urbanismo paramétrico

Se entiende por urbanismo paramétrico el conjunto de disciplinas que intervienen en el diseño, estudio y planificación de una ciudad o territorio mediante técnicas que incluyen parámetros de forma coordinada.

El término urbanismo paramétrico proviene del concepto de "Diseño paramétrico" a su vez de la "Arquitectura Paramétrica". A éstos términos, les diferencia las escalas de aplicación, sin embargo la metodología tiene una base común. Ambas disciplinas utilizan procesos de diseño indeterminados, en los que, previo al modelo, se seleccionan una serie de parámetros y se construye un algoritmo sobre el que se fundamenta el proceso creativo. El resultado tiende a ser complejo e inesperado.

Sistema de Parámetros Urbanos Sostenibles En el congreso de Arquitectura sostenible de Valladolid 2009, se planteó necesidad de identificar parámetros que conduzcan a evaluar una propuesta urbanística mediante indicadores urbanos [Quevedo et al., 2009].

Durante los cursos de *Conceptos Básicos en el Desarrollo Urbano Sostenible* se trabajó con alumnos de diversas carreras que iban desde el derecho, la ingeniería Química, la biología, la geografía, la arquitectura, la psicología etc. Dividiéndonos en grupos multidisciplinares se desarrolló un proyecto, durante una semana, para lograr un campus universitario sostenible. Los ámbitos de trabajo en los que se enfocó el trabajo fueron: (1) Territorio y transporte, (2) Aguas, (3) Energías limpias, (4) Materiales, diseño y ciclo de usos, (5) Programación de usos y Diseño arquitectónico, (6) Implicación social. Las propuestas fueron concluyentes, pese al poco tiempo y la disparidad de áreas del conocimiento que participaron. Se desarrolló la idea de una "Tarjeta Verde" que mide la aportación que realizan los usuarios al campus mediante la eficiencia en el consumo de recursos y uso de las infraestructuras [Quevedo et al., 2009], [Quevedo, 2010].

Las propuestas fueron concluyentes, pese al poco tiempo y la disparidad de áreas del conocimiento que participaron. Se desarrolló la idea de una "Tarjeta Verde" que mide la aportación que realizan los usuarios al campus mediante la eficiencia en el consumo de recursos y uso de las infraestructuras [Quevedo et al., 2009], [Quevedo, 2010].

Para Salvador Rueda existen cuatro bloques principales en la definición de una urbanización sostenible:

- Compacidad y funcionalidad
- Complejidad
- Eficiencia
- Cohesión social

2.1.5. La cuantificación de la ciudad sostenible, la densidad

La densidad como indicador ha sido considerada como uno de los factores clave para definir las operaciones urbanas, esta relaciona la superficie construida con la superficie libre pero puede tener sus distintas variables. Así puede definir de ocupación como la superficie ocupada por la edificación o Ground Space Index GSI, la densidad, la densidad de construcción o Floor Space Index (FSI) como la superficie construida entre la superficie total, la densidad de habitantes por hectárea, la densidad de viviendas por hectárea etc.



Figura 2.6: Matriz del sistema de indicadores del urbanismo ecológico [Rueda, 2012a]

Cuando en 1902, el británico Ebenezer Howard's publicó el libro "Garden Cities of Tomorrow", comenzó un movimiento contrario a la ciudad concentrada, en la que tomaban las ventajas de vivir en las zonas rurales y las ventajas de servicios cubiertos de una ciudad. Se establecía una organización en la que las distancias entre las ciudades había que mantenerlas para conseguir un mantenimiento de la población desde el sector primario. Este modelo de ciudad era propuesto para evitar la dispersión urbana descontrolada pero mantener rentas adecuadas para sostener la ciudad jardín. C.B.Purdom la define como:

Una ciudad jardín es una ciudad planeada para la industria, para la vida saludable; de un tamaño que hace posible una mezcla total de la vida social, pero no más larga; rodeado de un cinturón permanente de tierras rurales; la totalidad es de propiedad pública o mantenidos en fideicomisos para la comunidad[Purdom et al., 1921].

Este modelo de ciudad establece 45 casas por hectárea, lo equivalente a 180 camas por hectárea [Howard, 1989]. Esta teoría ha sido considerada como fallida debido a su modelo de baja densidad Después de los años 1910 y basadas en estos conceptos se desarrollaron las normas [Unwin and Mellanby, 1912] a través de las Tudors Walters Report [Committee et al., 1918] establecieron 30 casas por hectárea o de 120 a 150 camas por hectárea [Burton et al., 2003]. Para Ken Yeang la ciudad puede ser resuelta a base de rascacielos ecológicos que funcionan como regeneradores de los recursos naturales en la ciudad, él es-

tablece que un número adecuado es de 80 viviendas por hectárea [Yeang, 2001]. Esta es la misma cifra utilizada, entre otros parámetros, Salvador Rueda para el diseño de un eco barrio en Figueres [Rueda, 2012a].

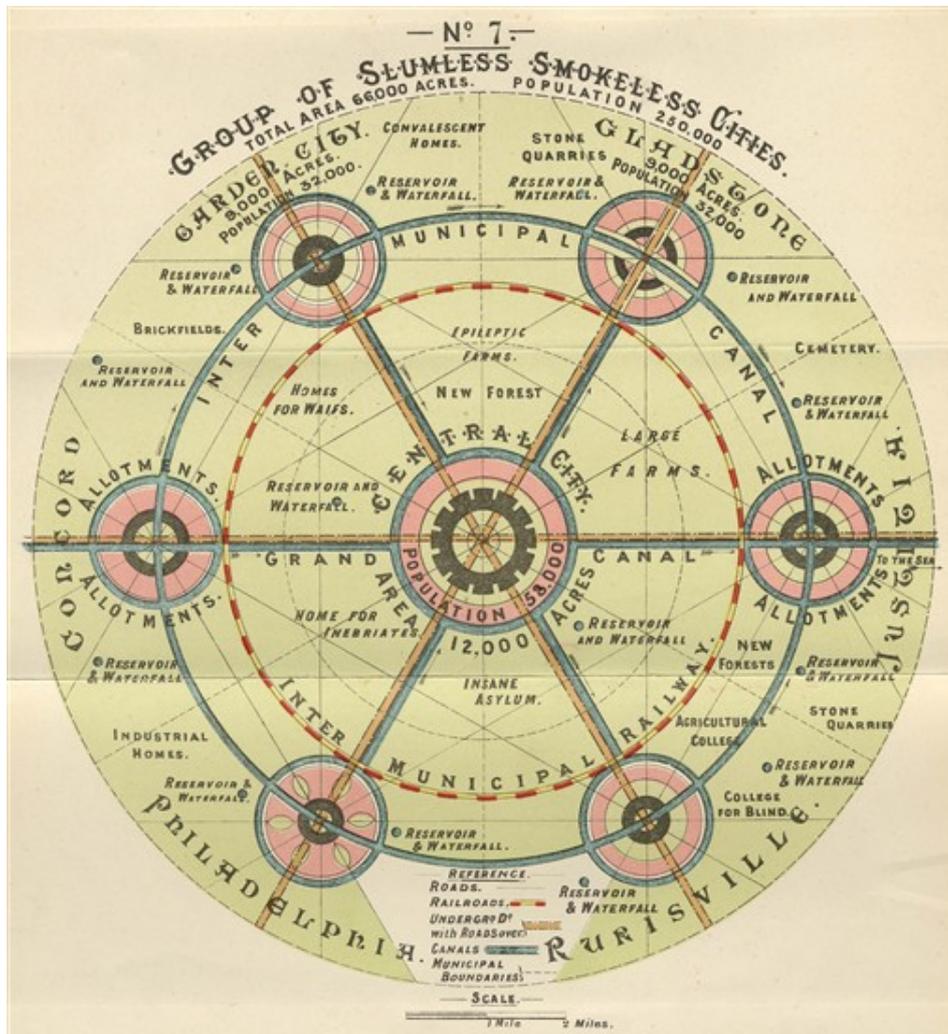


Figura 2.7: La ciudad jardín de Ebenezer Howard [Howard, 1989]

La densidad es un término clave que relaciona la geografía de las actividades del territorio con la geometría de los lugares a través del espacio construido [Batty, 2009].

El problema de la planificación urbanística ha sido el uso de diferentes métricas para definir la densidad y por tanto no es comparable en cantidades en el espectro geográfico. Por ejemplo, no sería lo mismo comparar la densidad de edificios con la superficie total que ocupan, o el número de habitantes con el número de edificios, o el número de edificios en relación a la superficie que ocupan las parcelas.

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

Es de destacar que no existen demasiadas reglas para medir y comparar las densidades de las ciudades y territorios aunque sí muchos estudios que relacionan la densidad con la forma urbana y con la sostenibilidad. Con frecuencia las medidas de densidad relacionan población con número de viviendas y superficie edificada, u ocupada. Las cantidades varían cuando están definiendo densidades brutas o intensivas del suelo.

En el estudio de Campoli y MacLean de cómo se perciben doscientos cincuenta diferentes barrios según sus calles, edificios y espacios libres, destacan que la densidad no es la única que diferencia una urbanización de otra, pero sí la forma urbana. La capa de la calle, las agregaciones de construcciones, la calidad de la arquitectura y el uso del espacio libre, son otras características que diferencian las urbanizaciones [Norman et al., 2006]. Pont y Haupt han definido cuatro características de la densidad que son: floospace index FSI; como densidad de construcción; el Ground Space Index GSI que es el porcentaje de suelo cubierto por los edificios; el Open Space Ratio OSR que es el porcentaje de espacio libre; y el Average Number of Floors in an área, que es la altura media de las edificaciones [Berghauser Pont and Haupt, 2010].

En los años setenta, se daba por sentado que la alta densidad consume menos energía que la baja densidad, debido principalmente al consumo energético en el transporte privado. Sin embargo nuevas teorías encuentran que el mayor consumo energético de las ciudades proviene de los edificios, en su climatización y aire acondicionado. Los edificios de las grandes ciudades arrojan sombras sobre el resto de la ciudad, provocando un mayor consumo de iluminación, por otro lado, el efecto invernadero de la polución en las ciudades y la falta de permeabilidad del suelo hacen que la temperatura aumente y se use más la refrigeración [Baker and Steemers, 2003]. Por tanto la alta densidad debe ser combinada con un buen diseño que abarque estrategias de transporte público eficiente, espacios verdes drenantes adecuados y aprovechamiento de las energías pasivas como son la luz solar y corrientes de viento.

Michael Batty (2009) opina que se debe ver la densidad en el contexto del transporte, lo cual implica una relación entre el uso del suelo y la actividades para optimizar el uso de la energía, contribuyendo a disminuir el consumo de recursos fósiles y el cambio climático [Batty, 2009].

2.1.6. Formas de alternativas urbanas

El debate sobre si es mejor una alta densidad o una baja densidad, está siempre vivo en el ámbito del urbanismo. La dispersión, la compactación o la expansión, son modelos de ciudad totalmente distintos. Cada uno de éstos modelos están asociados a una serie de consecuencias en la sostenibilidad del modelo de ciudad. Las consecuencias son derivadas de las actividades o de la forma urbana.

Un modelo compacto reduce el viaje al reducir la necesidad de viajar, aumenta la cohesión social, reduce las emisiones de CO2 al reducir el transporte privado, reduce la ocupación del suelo el consumo de energía.

Un modelo urbano disperso reduce el coste de vida y de producción, aumenta la asequibilidad y el acercamiento social, reduce la impermeabilidad de la tierra, reduce las consecuencias del ruido y contaminación sobre el hombre.

Un modelo de ciudad expandida reduce los gastos de viaje si se crean comunidades equilibradas. Reduce la saturación, aumenta la cohesión social, precisa de medidas para proteger el paisaje y tiene mayor potencial para desarrollar los recursos de autosuficiencia energética.

TIPO	ECONÓMICO	SOCIAL	AMBIENTAL	RECURSOS
Compactación	Reduce el coste del viaje al reducir la necesidad de viajar	Cohesión Social Vitalidad	Reduce las Emisiones de CO ² por habitante y m ²	Reduce el uso del Suelo Urbano Reduce el consumo de energía
Dispersión	Reduce el coste de vida y de producción	Aumenta la asequibilidad Reduce la aglomeración	Reduce la Impermeabilidad de la tierra Menor exposición al ruido y la contaminación	Uso potencial de los Recursos Renovables
Expansión	Reduce los gastos de viaje a través de comunidades equilibradas	Reduce la saturación Cohesión social	Algún tipo de protección del paisaje	Mayor potencial para el uso de los recursos renovables y sostenibilidad de producción

Cuadro 2.1: Consecuencias de las diferentes formas de ciudad, sobre el territorio.

		Urban form			
		Neotraditional development	Compact city	Urban containment	Eco city
Design concepts (criteria)	Density	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High
	Diversity	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High
	Mixed land use	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High
	Compactness	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High
	Sustainable transportation	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High
	Passive solar design	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High
	Greening – ecological design	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High	1. Low 2. Moderate 3. High
	Total score	15 points	17 points	12 points	16 points

Note: Scores of the urban forms are highlighted in **bold underline**.

Source: Jabareen (2006).

Figura 2.8: Criterio de diseño según el tipo de ciudad, Jabareen (2006).

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes



Figura 2.9: Smart Code en relación con urbanizaciones de Canarias, elaboración propia.

La figura 2.9 es una adaptación del código inteligente a la realidad del territorio canario. En ella, se puede observar, como del T1 (zona natural) hasta el SD (espacio del distrito) describe los patrones de densidad urbana de las distintas realidades del territorio canario. El *Smart Code* es una iniciativa desarrollada por [Duany et al., 2007].

Ciudad compacta Hay una relación directa entre la forma urbana y el desarrollo sostenible. Elkin sugiere que una ciudad sostenible debe ser de una forma y escala apropiada para ser caminada, recorrida en bicicleta y con un transporte público eficiente y con una compacidad que promueva interacción social [Williams et al., 2000]. La forma y la eficiencia de la ciudad compacta, en términos de sostenibilidad, está asociada a la concentración y desconcentración, con la centralización y descentralización con algún grado de autonomía [Burton et al., 2003]

Patrones Urbanos La ciudad funciona de una forma incontrolable. Las variables son muchas y hay muchos agentes que participan. Si embargo, se puede estudiar la estructura de la ciudad desde los fenómenos que sí pueden ser definidos, por sus repeticiones, mediante patrones.

No en vano, el estudio de los patrones de comportamiento ha sido utilizado en muchas ciencias para el entendimiento de Sistemas Complejos. Christopher Alexander consigue definir 253 patrones [Alexander, 1964] con los que se pueden crear infinitas combinaciones para definir problemas y soluciones que se repiten en ciudades, edificios y construcciones. La definición de patrones urbanos ha sido utilizada también para el urbanismo, es el caso de los patrones basados en el precio del suelo y la relación con las distancias a los centros de trabajo y las circunstancias negativas que implica que la densidad de población esté concentrada de forma exponencialmente negativa a la distancia al centro de las ciudades [Muth, 1969].

*-¿Me consideras un hombre culto y leído?
-Sin duda -Replicó Zi-gong-. ¿No lo crees?
-En absoluto -dijo Confucio-. Tan solo he agarrado el hilo que
enlaza el resto. [Castells, 2004].*

Para Castells, en la nueva Sociedad en red el poder de los flujos tiene prioridad sobre los flujos de poder, [Castells and Andrade, 2010, p. 552]

Patrones Urbanos El estudio de los patrones urbanos desde una perspectiva ontológica científica, ha sido profundamente estudiado por Crístoper Alexander [Alexander et al., 1977]. En él describe situaciones generales de los ámbitos físicos de las ciudades que nos ayuda a acercarnos a cómo se vive y se percibe la ciudad y los rincones en su proceso.

La definición desde la perspectiva ontológica de los patrones de ciudades persigue resumir la definición simple de un todo, como respondiendo a la pregunta de ¿Qué hay?, todo [Quine, 1980]. En el presente en el presente documento se pretende definir la sostenibilidad de las ciudades también de forma simple, incluyendo la globalidad.

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

El concepto ontológico para definir los patrones urbanos ha sido explorado por otros autores. Para Montenegro, los patrones urbanos están basados en un nivel alto de ontología desde la que se describen relaciones de la macro escala a "Application Ontologies" que explican procesos de la escala del planeamiento urbano y los "Specific Space Ontologies" que son concebidos como especificaciones específicas de conceptos para evitar resultados ambiguos. En el cuadro siguiente se muestra cómo funciona el diagrama ontológico propuesto como *Urban Pattern Application Ontology* [Montenegro and Duarte, 2008].

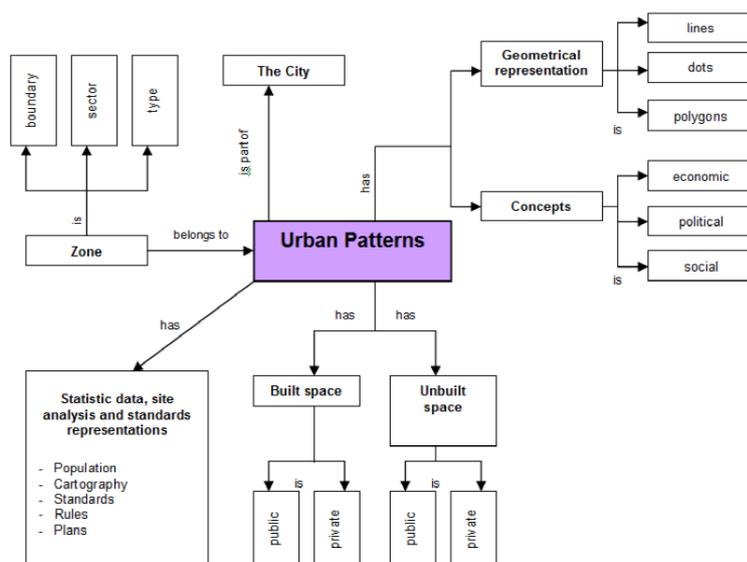


Figura 2.10: Urban Pattern Application Ontology, [Montenegro and Duarte, 2008]

Mediante el estudio de la geometría las redes de calles de las ciudades se pueden definir los patrones de forma matemática.

En la figura 2.11, de la 1 a la 6, se muestran diferentes formas de representar patrones de distintas ciudades. Las primeras seis, imágenes muestran la ciudad desde el vacío urbano como negativo de los construido. En las siguientes seis imágenes se muestra la red de conexión de la ciudad mediante vectores e intersecciones. De ellos se puede extraer posiciones de los nodos, longitudes entre los nodos o distancias, densidad de cruces, regularidad de la trama urbana, rupturas de la trama que pueden ser debidas a yacimientos geológicos como ríos, montes o monumentos.

El estudio de los patrones en el ámbito urbano, ofrece numerosas aplicaciones tanto dinámicas como estáticas. Un modelo matemático, basado en la geometría del patrón de las calles de un barrio, puede servir para simular la vulnerabilidad de una determinada calle frente al robo [Davies and Bishop, 2013].

La definición de estos modelos pueden ser útiles para tomar decisiones de intervención urbanas morfológicas, que eviten situaciones que ofrezcan mayor riesgo de atraco.

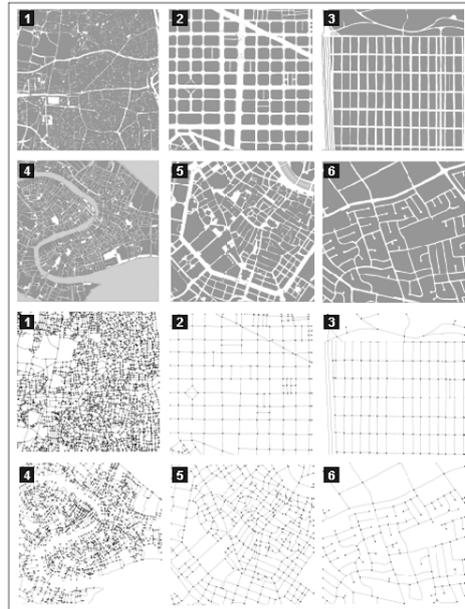


Figura 2.11: Diferentes formas de representar patrones de distintas ciudades]

El estudio de los patrones en el ámbito urbano, ofrece numerosas aplicaciones tanto dinámicas como estáticas. Un modelo matemático, basado en la geometría del patrón de las calles de un barrio, puede servir para simular la vulnerabilidad de una determinada calle frente al robo [Davies and Bishop, 2013]. La definición de estos modelos pueden ser útiles para tomar decisiones de intervención urbanas morfológicas, que eviten situaciones que ofrezcan mayor riesgo de atraco.

- (a) El mapa de la red original de la calle , como se obtiene de openstreet-map.org
- (b) Nodos colocados en cada intersección entre las calles
- (c) Enlaces añadidos entre cualquier par de intersecciones que están conectados por un segmento de calle
- (d) Mapa con zoom a la sección resaltada en rojo en (c)
- (e) Imagen del mapa de fondo eliminado aislar estructura de la red
- (f) Los enlaces de color de acuerdo con la intermediación (donde el azul es baja y el rojo es alto)

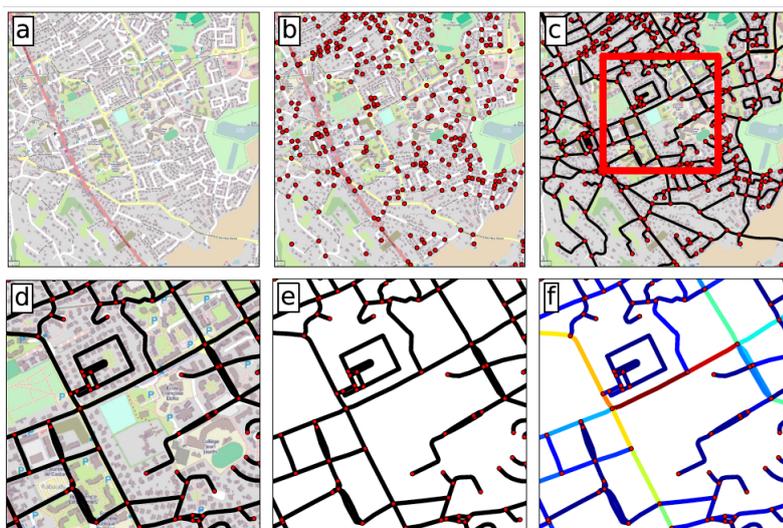


Figura 2.12: La construcción y el análisis de la representación "primal" de una red de calles. Este ejemplo muestra una sección de la red de Toulouse, Francia

Urbanismo paramétrico En la *City Induction Project*, se utilizan gramáticas urbanas llamadas *Urban Induction Patterns (UIP)* para generar gramáticas de diseño urbano.

Una gramática urbana es un producto cartesiano de gramáticas paralelas que son usadas como un conjunto de formas parametrizadas desde la ontología de la ciudad [Beirão et al., 2011]

Herramienta de diseño urbano paramétrico en el que los datos de *Gross Surface Index GSI*, *Flor Surface Index (FSI)* y *Oen Space Ratio OSR* entre otros, pueden comprobarse en tiempo real a la vez que el modelo 3D [Beirão et al., 2011]. En la siguiente figura se muestra la secuencia seguida por [Beirão et al., 2011] para generar una urbanización de forma paramétrica. En este proceso los parámetros utilizados son principalmente relativos a las densidades, superficies y edificabilidad.

En la práctica existen varios sistemas de auditorías sobre Calidad y Sostenibilidad del Medio Urbano. En España existen recomendaciones y la Guía Metodológica para los sistemas de auditoría, editado por el ministerio de fomento. A continuación se comentan algunos de los sistemas de auditoría de sostenibilidad utilizados en la actualidad internacionalmente:

- LEED for Neighborhood Development. Este sistema se utiliza como sistema de certificación para nuevos proyectos y construcciones urbanas. LEED fue presentado después de la primera versión de la certificación para edificaciones.

- **BREEAM Communities.** El sistema de certificación BREEAM para urbanismo, desarrollado por la organización BRE Global de Reino Unido. Este sistema fue presentado primeramente como versión piloto en 2008, veinte años después de que la organización hubiera empezado a desarrollar procedimientos de certificación para la edificación.
- **CASBEE for Urban Development.** El CASBEE for Urban Development fue presentado en 2007, fue desarrollado por el Institute for Building Environment and Energy Conservation -IBEC conjuntamente con representantes de la industria.

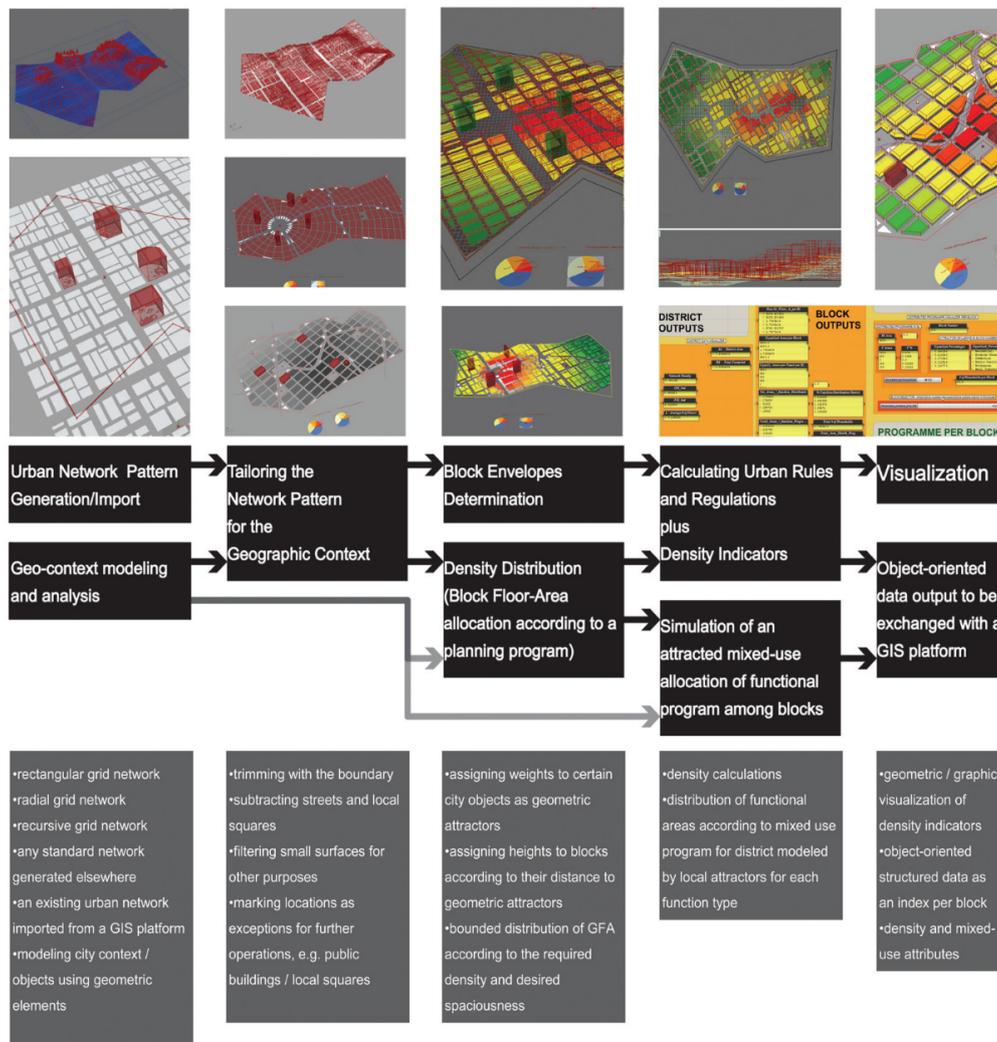


Figura 2.13: La construcción y análisis previo representación de una red de calles para el estudio de posibilidades de robo. [Davies and Bishop, 2013].

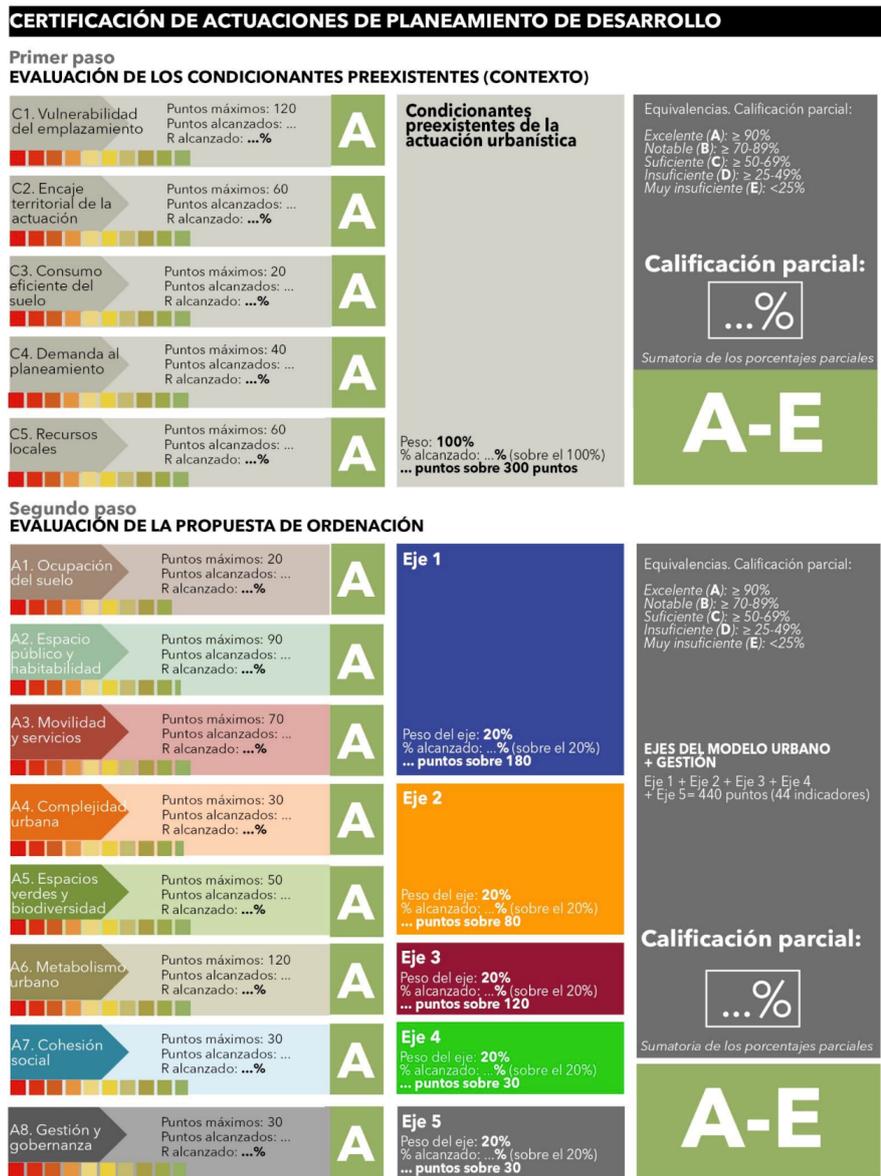


Figura 2.14: Flujo de procedimiento en la herramienta de diseño de urbanismo paramétrico [Beirão et al., 2011].

En la figura 2.14 se muestra una ficha tipo del sistema propuesto para certificaciones de planeamiento sostenible en la guía metodológica de sistemas de auditorías [Rueda, 2012b]

Capítulo 3

Definición de la metodología paramétrica

3.1. Introducción a la metodología paramétrica

Para definir modelos de ciudades respecto a su forma urbana es necesario establecer ciertas reglas o criterios que hagan capaz la comparación entre distintas ciudades.

En este capítulo se definen los parámetros de cada ciudad que se utilizan en el modelo. De la relación de éstos parámetros se obtienen los indicadores que también se describen en este capítulo.

Los indicadores desarrollados en este capítulo son los que cuantifican las distintas formas de las ciudades y con ellos se pueden clasificar según sus características de sostenibilidad.

El modelo de ciudad puede ser definido según la morfología urbana. Los índices e indicadores urbanos, describen situaciones de mayor y menor optimización de los recursos medioambientales, infraestructura y suelo, por tanto, pueden indicar numéricamente cuan sostenible es una ciudad según su configuración. Los parámetros medidos para construir éste modelo son los siguientes:

- Perímetro exterior (P)
- Superficie bruta (S)
- Superficie ocupada (O)
- Superficie libre (L)
- Superficie del verde urbano (GU)
- Superficie de los grandes verdes urbanos (GU)
- Superficie de los vacíos urbanos (UV)
- Número de edificaciones aisladas en continuidad

- Número de edificaciones completamente aisladas
- Número de vértices hacia fuera

Cada uno de estos parámetros puede tener infinitas dimensiones distintas. La combinación entre ellos definirá los patrones morfológicos que identifican la configuración de la ciudad.

3.2. Descripción de parámetros

En este apartado se describirá, los parámetros a detectar para definir la forma urbana de los patrones y clasificar sus índices de sostenibilidad.

Las calles Las calles o (CL) se miden en metros o kilómetros, según escala de la ciudad que se estudia. Diferenciando entre ellas tres rangos:

- Calles principales (Ca).
- Calles secundarias (Cb).
- Calles terciarias (Cc).

A efectos del cálculo se tendrá la longitud de cada una de ellas y la superficie que ocupan.

El perímetro El perímetro (P) es el borde del espacio construido. Según la escala de trabajo se definirá este borde como una franja medida en metros desde la construcción de borde que encierra el área de la ciudad que se analiza. Así para el estudio de planos a gran escala, este borde puede ser de 500 metros a 1.000 metros desde la superficie construida. Este parámetro ayuda a definir la periferia de la ciudad. Para ciudades más pequeñas, este parámetro puede rondar entre los 20 metros y 100 metros de ancho.

A efectos del cálculo se utiliza solo la longitud.

Ocupación bruta La ocupación bruta (S) es el área encerrada por el perímetro (P). La unidad de medida es en m^2 o Km^2 o hectárea, según el tamaño de la ciudad que se analiza.

Ocupación neta El ocupación neta (O) es el área ocupada por los edificios y espacios privados. Se obtiene el resultado al restar la superficie de calles y de espacios libres o vacíos urbanos.

Vacíos urbanos El vacío urbano (UV) es un parámetro recoge aquellos espacios que no son construidos pero que tampoco son espacios libres de la ciudad. Es importante tomarlos ya que forman parte de la ocupación bruta (A) de la ciudad. De estos espacios se calculará la superficie y según la escala a la que se esté trabajando, los se considerarán o no como parte de la ciudad consolidada.

Área de construcción El área de construcción (Co) corresponde a los m^2 de la superficie de suelo ocupada por la edificación. Es un parámetro que no siempre se va a obtener, dependerá de la escala de la ciudad con la que se trabaja y de la fiabilidad de los datos ofrecidos por la imagen.

Área del verde urbano El área del verde urbano (GU) es la superficie de espacios verdes que hay en la ciudad. La obtención de este parámetro dependerá de la escala de trabajo y la disponibilidad de los datos.

Área de humedales El área de humedales (W) para cuando se trabaje con ciudades con amplios espacios de humedales, lagos, ríos, canales, etc.

Tiempo Este parámetro es el tiempo (t) empleado por la herramienta para medir el dato, calcularlo, analizarlo y ofrecer el resultado.

3.3. Descripción de indicadores

Indicador de optimización de infraestructura El indicador de optimización de infraestructura (OII) indica la relación entre la longitud de las calles y el perímetro de la urbanización. Un índice más alto significa que la urbanización tiene una infraestructura más optimizada.

$$OII = \frac{C}{P} \quad (3.1)$$

Indicador de la eficiencia de la red de transporte El indicador de la eficiencia ITN de la red de transporte es la relación entre la superficie de la urbanización y la mayor longitud de las calles. Este indicador es la relación entre la superficie de la urbanización y la longitud de las calles. Una tasa más alta puede significar dos cosas, *a*) el desarrollo de la infraestructura tiene unas calles muy eficientes; *b*) en un caso extremo indicaría que la red de carreteras no es suficiente para llegar a las poblaciones.

$$ITN = \frac{S}{C} \quad (3.2)$$

Densidad de la huella o densidad de ocupación La densidad de la huella o densidad de ocupación (DS) es un indicador básico en el ámbito de la urbanística. DS, Indica la relación entre el área ocupada por el edificio y la zona de la urbanización. Otros autores lo definen como GSI (Gross Surface Index), [Berghauser Pont and Haupt, 2010].

Optimización de la huella Indicador La optimización de la huella Indicador (OFI) ($S/P/100$) mide la relación entre la superficie de la urbanización y el perímetro del desarrollo. Una mayor OFI significa que la urbanización es más compacto y tiende a formas más redondeadas, a menor OFI significa la urbanización es menos compacto, tiene muchas lagunas en el complejo y tiende a formas expansión urbana.

$$OFI = \frac{S}{P} \quad (3.3)$$

Indicador Conectividad El indicador conectividad (COI), indica la relación entre la superficie ocupada por los edificios y calles área de longitud. Cuanto mayor sea el COI quiere decir que la urbanización está mejor conectado internamente.

$$COI = \frac{O}{C} \quad (3.4)$$

Densidad de mancha urbana La densidad de mancha urbana (UDS) ($P/O \times 100$) relaciona el perímetro del desarrollo de la zona ocupada por edificios.

$$UDS = \frac{P}{O} \quad (3.5)$$

Un importante indicador significa que la urbanización tiene más perímetro desarrollo por metros construidos, por lo tanto, se trata de una urbanización que consume más terreno con menos densidad de construcción.

3.4. Descripción de índices compuestos

Índice de complejidad urbana El índice de complejidad urbana (UCI) ($OII \times DS/t$) se calcula mediante la relación de OII por DS, enumera los parámetros medidos del complejo con el tiempo empleado en la medición. Esto

demuestra la complejidad de la geometría urbana y describe la evolución con geometrías urbanas menos comunes.

$$UDS = \frac{OII \times DS}{t} \quad (3.6)$$

Shape Urban Index Es la relación que existe entre la raíz cuadrada de la ocupación y el perímetro por la superficie.

$$SUI = \frac{\sqrt{O}}{P \times S} \quad (3.7)$$

Un índice más alto indica que la cuya ocupación del territorio es más óptima en términos de consumo de suelo, por tanto, la infraestructura requiere de menos kilómetros por usuario.

3.5. Descripción detallada de Indicadores

3.5.1. Densidad de ocupación bruta

Este indicador permite evaluar la huella bruta de la edificación dentro de la urbanización, en el ámbito de estudio en cuanto al consumo de suelo.

Resultado deseado El objetivo de este parámetro es detectar la densidad de ocupación bruta (DS), que es la superficie de la ocupación de la edificación en relación a la superficie de la urbanización.

Definición del criterio o indicador El indicador evalúa la superficie de ocupación los edificios en relación a la superficie urbanizada del ámbito de estudio. Esta huella se plantea en referencia al suelo, a modo de porcentaje.

Este indicador analiza la gestión que se está llevando a cabo del suelo, en el sentido que evalúa el buen uso del suelo en relación a la superficie ocupada por la urbanización y lo edificado. Es válido para el planeamiento existente para analizar si las previsiones de crecimiento futuro de la unidad son desproporcionadas o por el contrario, de contención.

Ámbito de aplicación Aplicable a suelos urbanos de los se tengan datos sobre la edificación.

Escala de análisis Supeditado a la obtención de la ocupación de los edificios, se usar para escalas a nivel municipal de pequeñas poblaciones.

Parámetros de cálculo Relación entre la superficie del ámbito de estudio encerrado por el perímetro y la superficie total:

$$DS \equiv GSI = \frac{O}{S} \quad (3.8)$$

Consideraciones técnicas Siendo un indicador que precisa de información sobre la superficie ocupada por la edificación, está sujeto a la obtención de este parámetro. En la lectura de las imágenes a gran escala es difícil detectarlo, por tanto, en la mayoría de los soportes gráficos utilizados está condicionado al tamaño de la imagen.

Parámetros de evaluación Los rangos de evaluación establecidos para este parámetro son:

- Valor mínimo $\implies DS < 0,30$
- Deseable $\implies DS > 0,60$

3.5.2. Discontinuidad de infraestructuras

Evaluar la continuidad de la trama urbana que ocupa la edificación de una urbanización dentro del perímetro de estudio.

Resultado deseado El indicador de discontinuidad de infraestructuras o DMN representa el número de barrios o agrupaciones de construcción continuas (N) frente al número de edificaciones aisladas o discontinuas (M) dentro del perímetro de estudio.

Definición del criterio o indicador Este parámetro se plantea en referencia la infraestructura necesaria como las calles, alumbrado público, abastecimiento de aguas, abastecimiento de energía, evacuación de agua, evacuación de residuos, a modo de porcentaje. Este indicador analiza la gestión que se está llevando a cabo del suelo, en el sentido que evalúa el buen uso de las infraestructuras en relación a la continuidad edificada de la urbanización.

Es válido para el planeamiento existente para analizar si las previsiones de inversión futuro de la unidad son desproporcionadas o por el contrario, de contención. Es válido también para hacer planteamientos que conduzcan a una mayor continuidad de la trama urbana.

Ámbito de aplicación En el caso de los suelos urbanos de los que se tengan datos sobre la edificación, se usará este dato, en los de mayor escala se usará el barrio o los municipios según la escala de trabajo.

Escala de análisis Aplicable todas las escalas de estudio. La fórmula se puede adaptar, en el caso de lo edificado, se usará para escalas a nivel municipal de pequeñas poblaciones, para escalas mayores se usarán los datos descritos en el párrafo anterior.

Parámetros de cálculo Relación entre el número de celdas conectadas frente al número de celdas aisladas (M)

$$DMN = \frac{N_i}{M_i} \quad (3.9)$$

Consideraciones técnicas Este indicador se puede aplicar en las distintas escalas pero hay que modificar los parámetros de entrada. Cuando se trate con urbanizaciones de villa y jardín van a salir decimales muy altos, si es el caso, puede ser expresado en proporción de mil para ajustar los resultados.

Parámetros de evaluación Los rangos de evaluación establecidos para este parámetro son:

- Valor mínimo $\implies DMN < 0,30$
- Deseable $\implies DMN > 0,60$

Justificación de la medida

En una ciudad que camina hacia la sostenibilidad, el porcentaje de viajes en vehículo privado no debería superar el 10 % de los viajes totales y el porcentaje de ocupación de las calles para la motorización no debería pasar del 25 %, en el resto (más del 75 %) quien domina es el peatón [Rueda, 2012b, p. 29].

Este parámetro puede ser comparado según la fórmula de Shannon's Diversity Index (SHDI) donde:

SHDI es 0 cuando el paisaje contiene solo un parche o isla por tanto no tiene diversidad. SHDI aumenta a medida que el número de diferentes tipos de parches, es decir, la riqueza de islas (N, M) aumenta y la distribución proporcional de la zona entre los tipos de islas se vuelve más equitativa.

SIDI es 0 cuando el territorio contiene solo 1 parche, por tanto no es diverso. Al aumentar SIDI aumenta la diversidad de diferentes tipos de parches y la distribución llega a ser más equitativa [McGarigal, 2002, p. 129].

3.5.3. Forma urbana

Evaluar la forma urbana con respecto a la dimensión y posición de sus bordes o perímetro.

Resultado deseado El indicador de forma LSI muestra la concentración o compacidad de la forma.

Definición del criterio o indicador El indicador evalúa la superficie de ocupación los edificios en relación a la superficie urbanizada del ámbito de estudio. Esta huella se plantea en referencia al suelo, a modo de porcentaje.

Este indicador analiza la gestión que se está llevando a cabo del suelo, en el sentido que evalúa el buen uso del suelo en relación a la superficie ocupada por la urbanización y lo edificado. Es válido para el planeamiento existente para analizar si las previsiones de crecimiento futuro de la unidad son desproporcionadas o por el contrario, de contención.

Ámbito de aplicación Aplicable a suelos urbanos de los que se tengan datos sobre la edificación.

Escala de análisis Supeditado a la obtención de la ocupación de los edificios, se usará para escalas a nivel municipal de pequeñas poblaciones.

Parámetros de cálculo Relación entre el perímetro y la superficie, basado en el Landscape Shape Index. Para el caso del cálculo de patrones, al perímetro se le ha sumado el contorno de la edificación. De esta forma, se consigue mayor precisión porque se considera el contorno de los ámbitos ocupados:

$$LSI = \frac{25 \times \sum_{k=1}^m (C_{ik} + P_{ik})}{\sqrt{S}} \quad (3.10)$$

Consideraciones técnicas Será 1 cuando corresponde a una simple forma. El indicador aumenta cuando las formas del territorio son irregulares y/o el tamaño del perímetro aumenta con el correspondiente incremento de distintos tipos.

Parámetros de evaluación Los rangos de evaluación establecidos para este parámetro son:

- Valor máximo $\implies LSI > 250$
- Deseable $\implies 220 < LSI < 230$

Justificación de la medida El estudio de este parámetro permite conocer la relación entre la forma de la construcción del territorio y la superficie de la urbanización bruta. Identifica aquellas formas irregulares ya sean curvas o rectas con respecto al sector o polígono en el que se inserte la urbanización de estudio.

Este parámetro es definido también como FORMA *Shape* del territorio. Este índice fue inicialmente propuesto por Patton [Patton, 1975, p. 171, 173] y se utiliza en el software FAGSTATS para identificar las formas de los distintos usos del paisaje.

Donde es el perímetro total de los parches y urbanización estudiada, S es la superficie total encerrada por el perímetro de la urbanización [McGarigal, 2002].

3.5.4. Complejidad de la forma urbana

Resultado deseado Evaluar la complejidad de la disposición de la edificación o núcleos urbanos dentro del ámbito de estudio.

La complejidad de la forma urbana dispersa, CF, es la longitud del perímetro neto de las agrupaciones de edificación (C) en relación al número de núcleos discontinuos urbanos de la urbanización (N).

Definición del criterio o indicador El indicador evalúa la complejidad de la forma urbana según la dispersión de la urbanización, mediante la medición de la longitud del perímetro edificado por área ocupada por los edificios.

Este indicador se plantea a modo de ocupación los edificios en relación a la superficie urbanizada del ámbito de estudio.

Tener valores altos puede ser debido a la adaptación de la urbanización al terreno y o elementos preexistentes de la ciudad. En urbanizaciones nuevas puede ser señal de falta de planeamiento o un alto nivel de diseño.

Este indicador analiza la gestión que se está llevando a cabo del suelo, en el sentido que evalúa el buen uso del suelo en relación a la superficie ocupada por la urbanización y lo edificado. Es válido para el planeamiento existente para analizar creatividad de la ciudad y su identidad.

Ámbito de aplicación Aplicable a todos los suelos urbanos, habiendo que cambiar los parámetros según la disponibilidad.

Escala de análisis A escala menos se usarán el perímetro de las edificaciones, para escalas a nivel municipal de pequeñas poblaciones. Para escalas mayores se tomarán los perímetros internos de las poblaciones restando los vacíos urbanos.

Parámetros de cálculo Relación entre el perímetro neto de las edificaciones y el número de islas continuas:

$$CF = \frac{C}{N} \quad (3.11)$$

Consideraciones técnicas Siendo un indicador que precisa de información sobre la superficie ocupada por la edificación, está sujeto a la obtención de este parámetro. En la lectura de las imágenes a gran escala es difícil detectarlo, por tanto, en la mayoría de los soportes gráficos utilizados está condicionado al tamaño de la imagen.

Parámetros de evaluación Los rangos de evaluación establecidos para este parámetro son:

- Valor mínimo $\implies DF < 0,30$
- Deseable $\implies DF > 0,60$

Justificación de la medida El estudio de la densidad de ocupación ha sido siempre una constante en los parámetros urbanísticos de estudio. De este dato se puede analizar el espacio utilizado por la edificación y el útil para usos públicos de la ciudad. Una DS amplia frente alta significa que habrán más metros de suelo libre por superficie ocupada por la edificación. Esto a efectos de sostenibilidad urbana, resulta positivo si la densidad edificatoria es mayor porque aumenta la densidad de complejidad de la trama urbana y por tanto la optimización de las infraestructuras y recursos. Un DS muy bajo puede corresponder a modelos de ciudad rural de baja densidad o a modelos de gran concentración de la edificación en torres. En el año 1933, [Corbusier, 1931] Le Corbusier presentó una alternativa a la ciudad compacta de del siglo 20 y los espacios de jardines amplios de tipología de villa. Esto fue la apuesta por la ciudad verde con espacios libres muy amplia, aire fresco, luz y sol.

A juicio de muchos expertos, densidades más altas pueden abordar una serie de deficiencias de desarrollo sostenible, "pero solo si este nuevo desarrollo se hace desde una política de diseño ecológico que proporciona tránsito amable y opciones de estilo de vida libre de automóviles"[Ziegler, 2009, p. 175-129].

El análisis del crecimiento previsto en relación a la ocupación de suelo existente es un indicador de la intensidad que toma el proceso urbanizador en el municipio de estudio [Rueda, 2012b, p. 244].

De forma complementaria y para realizar una evaluación del grado de desarrollo y agotamiento del suelo urbanizable en el planeamiento urbanístico, se puede calcular la superficie de la unidad de ordenación/actuación respecto a la superficie urbanizable total del municipio.

3.5.5. Índice de compacidad de red

Evaluar la compacidad frente a la dispersión de la edificación o núcleos urbanos, dentro del ámbito de estudio.

Resultado deseado La compacidad, CO, es la longitud del perímetro bruto de la urbanización en relación al perímetro neto de las agrupaciones de edificios.

Definición del criterio o indicador El indicador evalúa la compacidad y dispersión de la urbanización mediante la medición de la longitud del que encierra lo la urbanización frente al perímetro edificado.

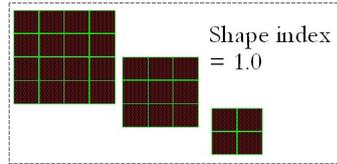
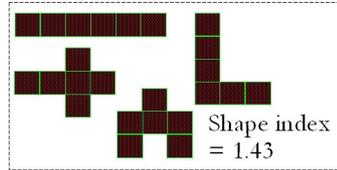
Este indicador analiza la gestión que se está llevando a cabo del suelo, en el sentido que evalúa el buen uso del suelo en relación a la superficie ocupada por la urbanización y lo edificado. Es válido para el planeamiento existente para analizar si las previsiones de crecimiento futuro de la unidad son desproporcionadas o por el contrario, de contención.

Este indicador relaciona directamente el tejido interno con el perímetro urbano que lo engloba. Si este indicador da un resultado menor, la red interna es más intensa.

El indicador evalúa la compacidad y dispersión de la urbanización mediante la medición de la longitud del que encierra lo la urbanización frente al perímetro edificado.

Insights on Metrics...*shape metrics*

- Shape index (unitless)



Shape Index

$$\frac{P_{ij}}{n_i n_j} \rightarrow P_{ij}$$

$1 \leq \text{SHAPE}$, without limit

Shape index is measure of patch geometric complexity based on a standardized perimeter to area ratio; i.e., >1 equals increasing departure from square shape

Figura 3.1: Índice de forma definido para el software FRANSAT, [McGarigal et al., 2002].

Ámbito de aplicación Aplicable a todos los suelos urbanos en los que previamente se hayan diferenciado entre el perímetro neto y bruto.

Escala de análisis Para escala local se usará la edificación como neto, para escala municipal y territorial se usará las manzanas o barrios respectivamente.

Parámetros de cálculo Relación entre el perímetro total de la urbanización entre el perímetro del espacio edificado:

$$CO = \frac{P}{C} \quad (3.12)$$

Consideraciones técnicas Este indicador relaciona medidas longitudinales de los bordes urbanos y los bordes edificados. Variará según los tipos de suelo incluido en la urbanización, ya sean vacíos urbanos, espacios verdes, carreteras primarias, secundarias y terciarias, etc.

Parámetros de evaluación Los rangos de evaluación establecidos para este parámetro son:

- Valor mínimo $\implies CO < 0,40$
- Deseable $\implies CO > 0,60$

Insights on Metrics... *core area metrics*

Collection of metrics describing the patch interior (core) area after accounting for depth-of-edge effects

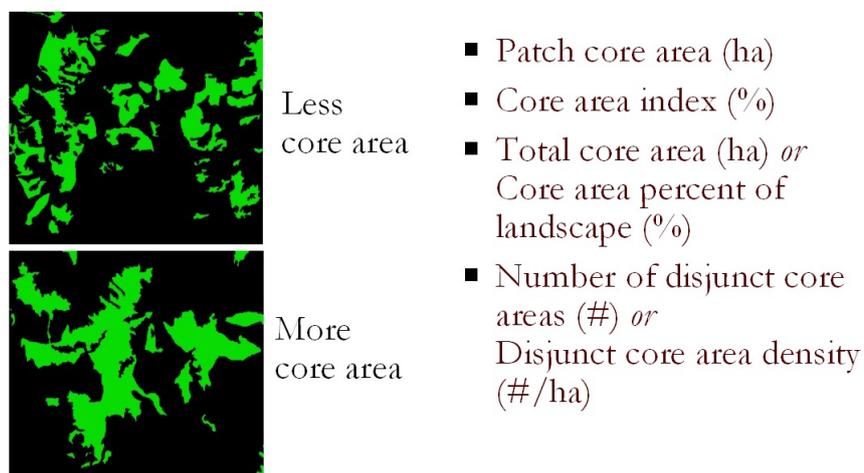


Figura 3.2: Descripción de las diferencias entre tener un área mayor y un área menor y el número de polígonos, descripción del software FRANSAT [McGarigal et al., 2002].

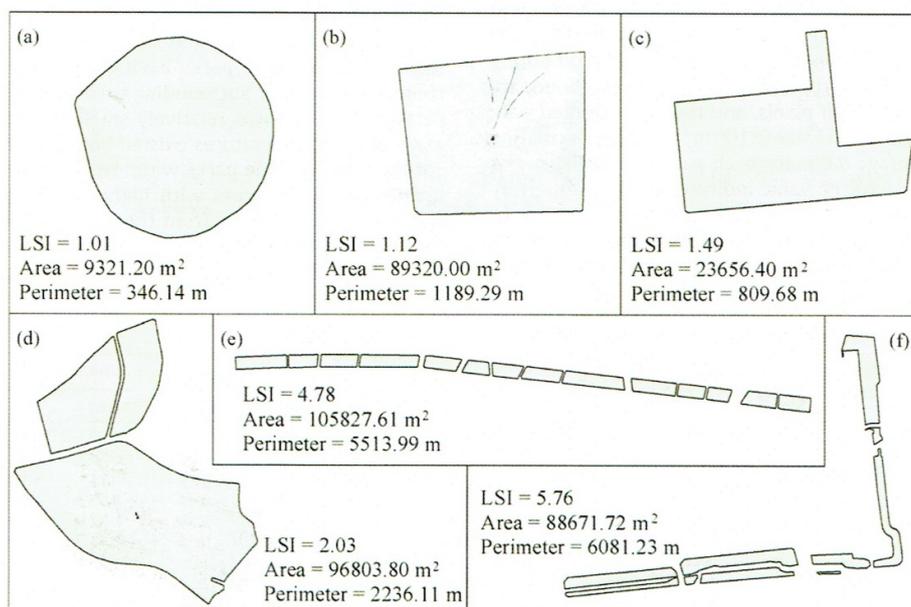


Figura 3.3: Valores LSI [Cao et al., 2010].

En la tabla 3.3, se representan gráficamente las diferentes formas de espacios verdes dentro de la ciudad. Cuando el LSI está muy próximo a 1 la forma

es redonda, y cuanto más se aleje, indica una forma alargada. Esta relación de perímetro y área es válida para el estudio de la forma de los patrones de ciudad.

3.5.6. Síntesis de los parámetros

Como resumen de los parámetros se dispone de la siguiente lista:

- Superficie bruta (S)
- Superficie ocupada (O)
- Perímetro exterior (P)
- Perímetro de objetos o islas (C)
- Superficie libre (L)
- Número de edificaciones aisladas en continuidad (N)
- Número de edificaciones completamente aisladas (M)
- Número de vértices hacia fuera (V)
- Longitud de carreteras (LC)
- Vacíos Urbanos (UV)
- Verdes Urbano (GU)
- Humedales (W)

3.5.7. Síntesis de los indicadores

A continuación, se detallan las ecuaciones de los indicadores.

Índice de Ocupación Bruta

$$GSI \equiv PLAND \equiv DS = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m O_{ij})}{S} \quad (3.13)$$

Índice de Ocupación Bruta

$$AMN = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m N_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m M_{ij})} \quad (3.14)$$

Dispersión Urbana

$$DI = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m C_{ij})}{110 \times (\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m N_{ij}))} \quad (3.15)$$

Índice de Compacidad Urbana

$$CO \equiv OII = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m CL_{ij})} \quad (3.16)$$

Índice de optimización de la forma Indicador

$$OFI = \frac{P}{\sqrt{S} \times 10} \quad (3.17)$$

Indicador Conectividad Eficiente

$$COI = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m O_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m C_{ij})} \quad \text{donde } C = CL \quad (3.18)$$

Densidad mancha urbana Indica el esparcimiento

$$UDS = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m O_{ij})} \quad (3.19)$$

Índice de Complejidad urbana

$$UCI = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m C_{ij}) \times \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m O_{ij})}{10}}{10} \quad (3.20)$$

Índice de forma Urbana

$$SUI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m [O_{ij}]^2)}{P \times S}} \quad (3.21)$$

Índice de Verde Urbano

$$GUI = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m GU_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m O_{ij})} \quad (3.22)$$

Matriz de sostenibilidad

Esta matriz representa la síntesis del método paramétrico aplicado a los patrones. En ella se ubican en el espacio hiperdimensional las ciudades según los valores de los índices DS, GUI y SUI. En esta matriz se relaciona la forma urbana, con densidad y con verde urbano.

3.5.8. Indicadores de otros autores

Índice de forma (SHAPE) [McGarigal et al., 2002]

$$SHAPE = \frac{P_{ik}}{2\sqrt{\pi * P_{ik}}} \quad (3.23)$$

Dimensión fractal (FRACTAL) [McGarigal et al., 2002]

$$FRAC = \frac{2 \ln C}{\ln P_{ik}} \quad (3.24)$$

Shannon's Diversity Index (SHDI) [McGarigal et al., 2002], [Li and Reynolds, 1993]

$$SHDI = \sum_{i=1}^m P_i * \ln P_i \quad (3.25)$$

Porcentaje de paisaje (PLAND) [McGarigal et al., 2002], [Li and Reynolds, 1993]

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n S_{ij}}{S} \times 100 \quad (3.26)$$

Densidad de la Red (N) [Berghauser Pont and Haupt, 2010]

$$N_f = \frac{c_n + \frac{LE}{2}}{S_f} \quad (3.27)$$

Ground Space Index (GSI) [Patton, 1975]

También conocido como Densidad de ocupación o porcentaje de paisaje.

$$GSI_x = \frac{O}{S} \quad (3.28)$$

Siendo (x) la unidad de agregación según la escala. Puede ser la manzana, el barrio, el municipio...

TARA [Berghauser Pont and Haupt, 2010]

$$Tx = \frac{S_x - S_{x-1}}{S_x} \quad (3.29)$$

Siendo (x) es la unidad de agregación según la escala. Puede ser la manzana, el barrio, el municipio... y siendo ($x - 1$) es la unidad de escala menor que pertenece a (x)

TARA & N (b) [Berghauser Pont and Haupt, 2010]

$$b = \frac{2 * \left(1 - \sqrt{\frac{GSI_f}{GSI_i}}\right)}{N_f} \quad (3.30)$$

Ejemplo de patrones de urbanizaciones en imagen binaria

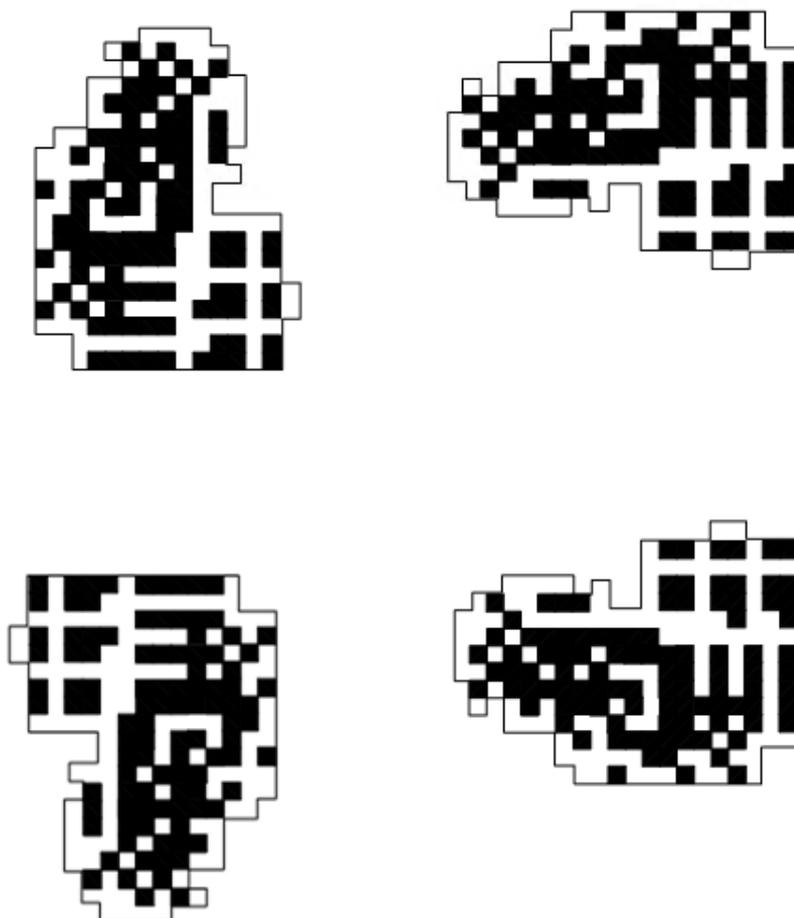


Figura 3.4: Patrón que sintetiza cuatro urbanizaciones.

La figura anterior, es un ejemplo que representa cuatro ciudades o urbanizaciones distintas. Cada una de las figuras sintetiza un patrón de urbanización en el que los píxeles negros representan lo construido y los píxeles en blanco representan lo libre o el espacio vacío. El borde exterior representa el perímetro de urbanización y los bordes de lo construido representan el contorno de los construido o, en este caso, la longitud de las calles.

Según la metodología que se va a utilizar, las cuatro urbanizaciones son exactamente iguales ya que corresponden a la misma figura que ha sido invertida y girada. No obstante, esta coincidencia resulta prácticamente imposible que se produzca en la realidad, ya que cada plan parcial por diferentes condicionantes, responde a la realidad del territorio de manera distinta.

De estos patrones se pueden extraer los parámetros que se han estudiado

anteriormente y con ellos los indicadores que identificarán cada ciudad por sus niveles de sostenibilidad de la forma urbana.

Al realizar la métrica y al obtener los indicadores más sintéticos, se construye la matriz de sostenibilidad del patrón de urbanización. Estos indicadores son:

- GSI, densidad de ocupación
- GUI, densidad del verde urbano
- SUI, índice de sostenibilidad urbana.

Capítulo 4

Detección automática de parámetros mediante procesamiento de imagen

4.1. Introducción a la detección automática de parámetros

Las técnicas de procesamiento digital de imágenes y reconocimiento de patrones se han aplicado a diversos campos y tan multidisciplinarios como la biometría [Faundez-Zanuy et al., 2007] ó el reconocimiento de texto braile [Falcon et al., 2005].

En ese caso, será aplicado a planos de zonas urbana para la identificación de parámetros y patrones de ciudades.

En este capítulo se explica cómo funciona la técnica de procesamiento de imágenes para la detección automática. Se explica también cómo se obtiene la información desde imágenes de mapas RGB para traducirla a parámetros.

Se describe el procedimiento o metodología, paso a paso, que hay que seguir para obtener las imágenes de los mapas y los parámetros descifrados en el capítulo dos.

En este capítulo los parámetros son extraídos de dos tipos de mapas de ciudades, utilizando mapas obtenidos mediante capturas de pantalla del Open Street Maps:

- Un mapa que es de ciudades turísticas de Canarias, cuya imagen presenta una calidad de 2560×1440 píxeles. Cada píxel está a una escala de 2,11 metros por píxel de largo, lo cual quiere decir que cada mapa que se estudie de las urbanizaciones de Canarias, representa una superficie de 2,59 kilómetros de alto por 4,55 kilómetros de largo.
- Un mapa que es de ciudades globales, obtenidas del ranking de *Cities in Motion* [IESE, 2015]. En estos mapas cada píxel mide entre 10 y 18 metros de largo, esto significa que cada mapa representa una superficie de entre 13 kilómetros de ancho por 23 kilómetros de largo y 23 kilómetros de ancho por 40 kilómetros de largo.

Conceptos básicos sobre colorimetría. Existen dos áreas de aplicación principales que desarrollan aplicaciones basadas en los métodos de tratamiento digital de imágenes: un área es la mejora de la información pictórica para la interpretación y otra área es el procesamiento de los datos para la interpretación de una máquina [Gonzalez and Woods, 2002]. Este documento se va a centrar en la segunda parte, en concreto, en el procesamiento automático de imágenes a color.

El color representa un descriptor potente que simplifica la identificación de objetos y su extracción de una escena, mediante el análisis automático de imágenes. Por otro lado, la capacidad de las máquinas de detectar colores es muy superior a la de los humanos cuyo ojo es capaz de discernir miles de matices e intensidades de color; pero solo veinticuatro matices de niveles en gris. Estas dos razones fundamentales hacen que el procesamiento de imágenes sea de gran interés.

Modelos de color Un modelo de color facilita la especificación de los colores de una forma aceptada genéricamente y normalizada. Un modelo de color es la representación en un sistema tridimensional de coordenadas de un subespacio de este sistema, en el que cada punto representa un color con un valor para cada uno de los ejes de coordenadas.

En la actualidad, la mayoría de los modelos están orientados para el desarrollo de determinados hardware como son monitores de televisión, impresoras etc., también orientados al desarrollo de aplicaciones para manipular el color, para por ejemplo animaciones.

Los modelos existentes son el RGB (red, green and blue), son los modelos más habituales utilizados para monitores de color y cámaras de video. El CMY (cyan, magenta, yellow) se utiliza para impresoras de color, el YIQ (luminancia, y las componentes cromáticas fase y cuadratura), y el HSI (hue, saturation, intensity). Los modelos de color más utilizados para el procesado de señales son los RGB, YIQ y HSL.

4.2. Obtención de la base de datos

En este apartado se describirá brevemente, la forma de obtención de la base de datos. Para las bases de datos de las ciudades globales y de Canarias, se ha realizado el mismo procedimiento. Las imágenes se han obtenido mediante una captura de pantalla de mapas del OSM.

Se han elegido veinte urbanizaciones turísticas de Canarias, de las que se han definido los patrones de la forma urbana.

Para las imágenes globales, se ha realizado la misma operación para ciento cuarenta y siete ciudades del mundo.

Se han tomado capturas de pantalla de mapas en diferentes páginas webs y escalas.

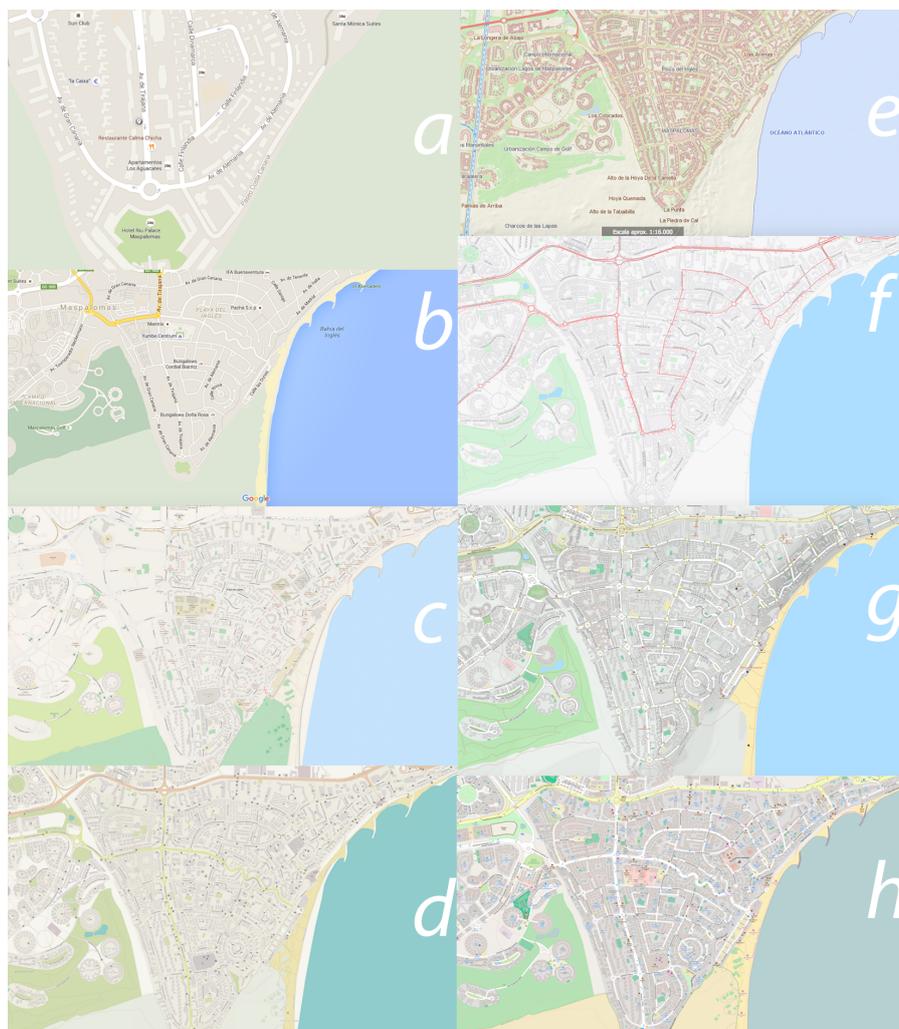


Figura 4.1: Comparativa de Mapas de Playa del Inglés obtenidos de diferentes fuentes

- La imagen (a), ha sido tomada del Google Maps. En ella se puede ver cómo la información que ofrece está deformada. y hay que acercarse tanto que no permite abarcar mucho ámbito
- La imagen (b), ha sido tomada del Google Maps a mayor distancia, la información de las parcelas y edificación, se pierde

- La imagen (c) pertenece al OSM. Es el mapa de Map Quest, la información que ofrece es limitada
- La imagen (d) es el mapa ciclista del OSM. La resolución es buena pero los símbolos dificultan su lectura
- La imagen (e) está sacada del IDECAN, [de Canarias, 2015], mapa editado por GRAFCAN. Es la mejor de las resoluciones. Ofrece información detallada de las edificaciones y los espacios verdes y a distancias superiores. Sin embargo, solo serviría para el ámbito de las islas Canarias y no para el resto del planeta
- La imagen (f) es el mapa de transporte de OSM. A pesar de tener buena resolución, al ser un mapa temático dificulta la lectura del algoritmo
- La imagen (g) es el mapa humanitario de OSM. Ofrece una gran resolución e información adecuada pero presenta mucha confusión o ruido
- La imagen (h) es el mapa estándar del OSP. Se ha utilizado este mapa debido a que da mejor y más información de las ciudades y es estandarizado para la gran mayoría de las ciudades

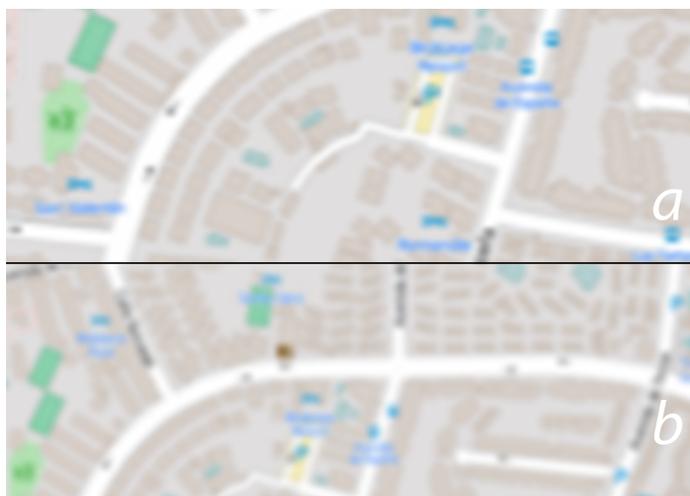


Figura 4.2: Comparativa de mapas obtenidos con distintas pantallas. a) es una pantalla de 2560 x 1440 píxeles, b) es una pantalla de 1440 x 900 píxeles

Al pasar de usar una imagen de 1440 × 900 píxeles a una de 2560 × 1440 píxeles, se mejora un 177 % más la resolución. Esto permite obtener una mayor amplitud de territorio y una mejor resolución en los parámetros relativos a calles y edificios.

4.3. Metodología

Modelo de color RGB. Este trabajo se ha basado fundamentalmente en el modelo de color RGB, por lo que a continuación se entra más en profundidad en su descripción.

En el modelo RGB, cada color está compuesto por sus componentes espectrales primarias de rojo, verde y azul. El RGB está basado en un sistema de coordenadas cartesianas. El subespacio de color de interés es el cubo mostrado en la figura siguiente, en la que los valores del modelo están en tres vértices, el negro en el origen y el blanco en el vértice opuesto al origen.

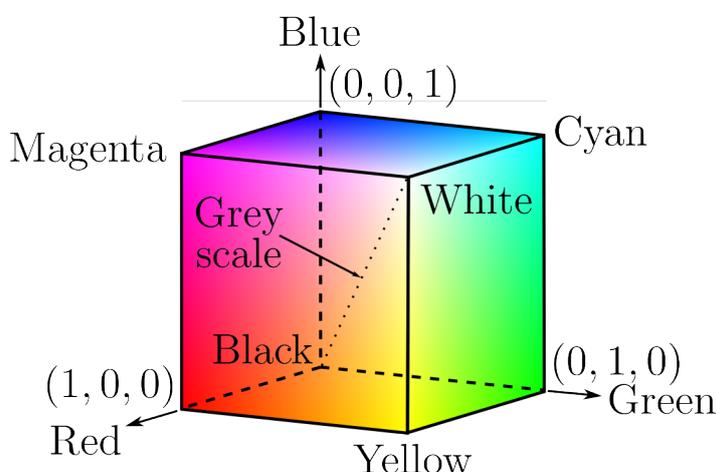


Figura 4.3: Cubo de valores RGB, [Gonzalez and Woods, 2002]

En este modelo los colores son puntos del cubo o de su interior, definidos por vectores que se sitúan desde el origen y la escala de grises se extiende del negro al blanco a lo largo de una diagonal del cubo. Todos los valores de color se suponen normalizados, de esta forma el cubo de la figura anterior es el cubo unidad.

En este modelo de color, las imágenes están compuestas por tres planos de imagen independientes, uno por cada color primario. En un monitor RGB, estas tres imágenes se combinan para producir una imagen en color compuesta. El procesamiento de imágenes se hace en base a las imágenes expresadas de forma natural en términos de tres planos de color, empleando el modelo RGB [Gonzalez and Woods, 2002].

Morfología matemática La morfología matemática se basa en la teoría de conjuntos y en la topología. Cada conjunto es representado por la forma de los objetos en una imagen binaria. utilizando la correspondencia entre los operadores lógicos básicos y operaciones básicas sobre conjuntos, cualquier transformación sobre un conjunto define una nueva imagen.

Haciendo transformaciones morfológicas se extraen estructuras geométricas de los conjuntos sobre los que se opera, utilizando otro conjunto conocido como elemento estructurante. La forma y el tamaño de este elemento se escogen de acuerdo a la morfología del conjunto sobre el que modificar.

Existen diversas formas y tamaños del elemento estructural, según la extracción de formas que se desean obtener. Desplazando el elemento estructural sobre la imagen, el operador analiza típicamente su posición en relación al primer plano y fondo de la misma. En la siguiente figura, se muestran los elementos estructurales más comunes, aunque puede ser utilizado cualquier otro.



Figura 4.4: Elementos estructurales más comunes. [Gonzalez and Woods, 2002]

Basados en procesos morfológicos, se pueden encontrar aplicaciones tales como la segmentación, restauración, detección de bordes, aumento de contraste, análisis de texturas, compresión, etc. Las aplicaciones básicas de la morfología matemática son operaciones de erosión, dilatación, apertura y cierre [Torres,].

Erosión La erosión es la transformación como resultado de comprobar si el elemento estructurante Y está totalmente incluido dentro del conjunto X . El resultado de la erosión es conjunto vacío cuando esto no ocurre. La erosión de un conjunto X por un elemento estructurante Y , es el conjunto de puntos o elementos x , pertenecientes a X , de manera que cuando el elemento estructurante Y se traslada a ese punto, el elemento queda excluido en X . La definición de erosión se muestra en la ecuación 4.3.

$$\varepsilon_y(x) = \{x \mid Y_x \subseteq X\} \quad (4.1)$$

Dilatación Es la operación contraria a la erosión. La dilatación es el conjunto de puntos origen del elemento estructural, tales que el elemento estructural contiene algún elemento del conjunto, cuando el elemento se desplaza por el espacio contenedor de ambos conjuntos.

$$\delta_y(x) = \{x \mid Y_x \cap x \neq \emptyset\} \quad (4.2)$$

Apertura La apertura de una señal por un elemento estructural, se nombra por queda definida como la erosión de por, seguida de la dilatación por el mismo elemento estructural.

$$\gamma_y(f) = \delta_y(\varepsilon Y(f)) \tag{4.3}$$

Cierre El cierre de una señal por un elemento estructural se denota por γ_y , se define como la dilatación de f por y , seguida por la erosión del elemento estructural.

$$\varphi_y(f) = \varepsilon_y(\delta_y(f)) \tag{4.4}$$

Aplicando estas operaciones queda como se muestra en la figura a continuación:



Figura 4.5: Efecto de dilatación, erosión, apertura y cierre, [Restrepo, 2015]

Esqueletización La esqueletización es el proceso de quitar de un patrón la mayor cantidad de píxeles posibles sin afectar la forma general del patrón. En otras palabras, después que los píxeles hayan sido quitados, el patrón debe ser reconocido [Athó, 2006]. El esqueleto obtenido debe tener las siguientes tres propiedades:

- Tan delgado como sea posible
- Conectado
- Centrado

Al alcanzar estas condiciones el algoritmo debe detenerse. Un ejemplo aplicando esqueletización es el que se muestra a continuación:

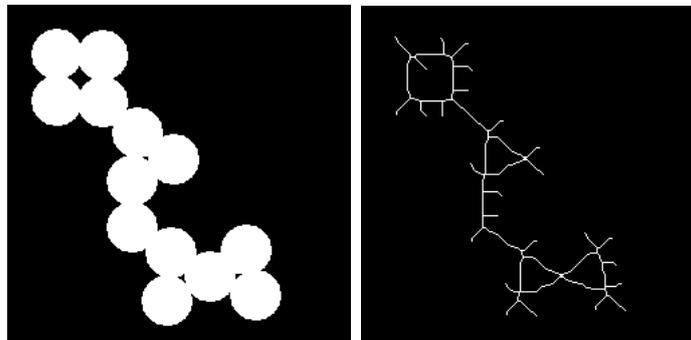


Figura 4.6: Imagen original e imagen esqueletizada.

4.4. Desarrollo

Extracción de las componentes RGB de los mapas de experimento

En primer lugar, hay que saber que se utilizarán dos tipos de mapas, desde los cuales se detectan las distintas zonas de interés, unos que en este trabajo se denominan de "gran escala", y otros que se denominan detalle, que muestran con mayor precisión y resolución las diferentes zonas. Se utilizan los dos tipos de mapa porque cada uno de ellos puede aportar distintos parámetros.

Se han utilizado mapas extraídos de *Open Street Map* (OSM), utilizando dos escalas distintas. Una escala de (1:200) de las urbanizaciones turísticas de Canarias en la que se estudiar una serie de parámetros y otra escala mayor (1:1000) en la que se detectan otros parámetros.

Para realizar la detección de las zonas requeridas, lo primero que hay que obtener son sus componentes RGB en la imagen procedente de OSM, tanto las de "gran escala", como las "detalle", que se utilizan para todo el proceso. Las imágenes utilizadas son como las que se muestran a continuación, extraídas mediante una captura de pantalla.

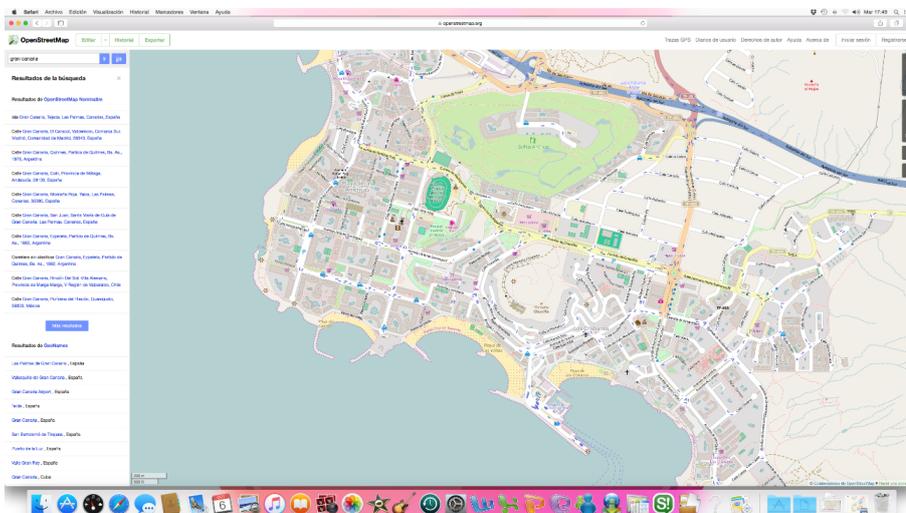


Figura 4.7: Mapa tipo detalle (Los Cristianos).

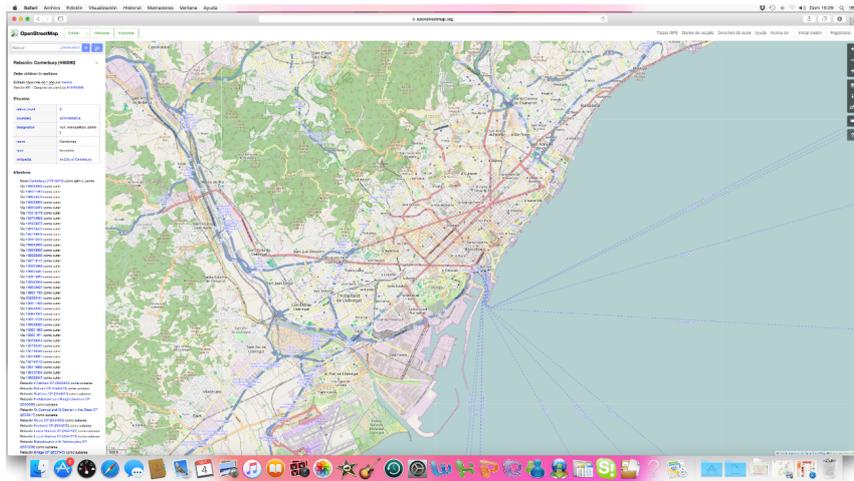


Figura 4.8: Mapa tipo detalle gran escala (Barcelona).

Para obtener las componentes se ha utilizado el programa Adobe Photoshop CC aunque se puede utilizar cualquier otro programa de edición de imágenes que proporcione una herramienta similar a "cuentagotas" de dicho programa, o también se podría hacer con Matlab [The Mathworks, 2015] pero podría llegar a ser bastante más laborioso para obtener el mismo resultado. En el caso de Adobe Photoshop simplemente hay que abrir la imagen y clicar sobre el píxel del que se quiere tomar la muestra de color que servirá de referencia para la posterior detección, tal y como se ve en la siguiente figura para el caso de las carreteras principales:



Figura 4.9: Mapa tipo detalle (Extracción de componentes RGB).

Una vez seleccionado el píxel deseado, inmediatamente en la pestaña color aparecen las componentes RGB del mismo como se aprecia en la siguiente imagen.

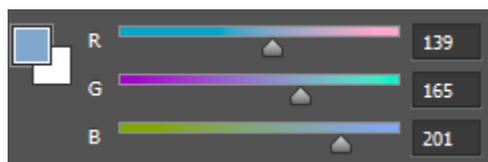


Figura 4.10: Componentes RGB obtenidas de la zona señalada en la figura

Por tanto, para las carreteras principales se tiene que $R=139$, $G=165$, $B=201$. Para el resto de zonas a detectar el proceso es exactamente el mismo, teniendo los valores que se muestran a continuación, para el caso de las imágenes "gran escala o escala de ciudades globales" cada una de ellas.

Lista de valores RGB para las ciudades globales

A continuación, se detallan los valores para los colores de referencia.

ZONA	VALOR R	VALOR G	VALOR B
Carreteras primarias (azules)	139	165	201
Carreteras primarias (rojas)	217	157	158
Carreteras primarias (línea de trenes)	154	154	154
Carreteras primarias (túneles submarinos 1)	226	232	242
Carreteras primarias (túneles submarinos 2)	230	198	197
Carreteras primarias (túneles submarinos 3)	184	225	184
Carreteras secundarias (naranjas)	246	213	171
Carreteras secundarias (amarillas)	246	246	188
Carreteras secundarias (verdes)	150	210	150
Carreteras terciarias	255	255	255
Zona verde 1	173	207	160
Zona verde 2	63	202	154
Zona verde 3	201	248	204
Zona verde 4	182	225	182
Humedales	182	208	208
Invernaderos	235	221	202

Cuadro 4.1: Componentes RGB para los mapas detalle.

Corte del área de interés en el mapa.

En primer lugar, antes de detectar los distintos colores correspondientes a la leyenda del mapa, se debe llevar a cabo un recorte de las imágenes para eliminar de la captura original las zonas que no son de interés quedando de la siguiente manera:

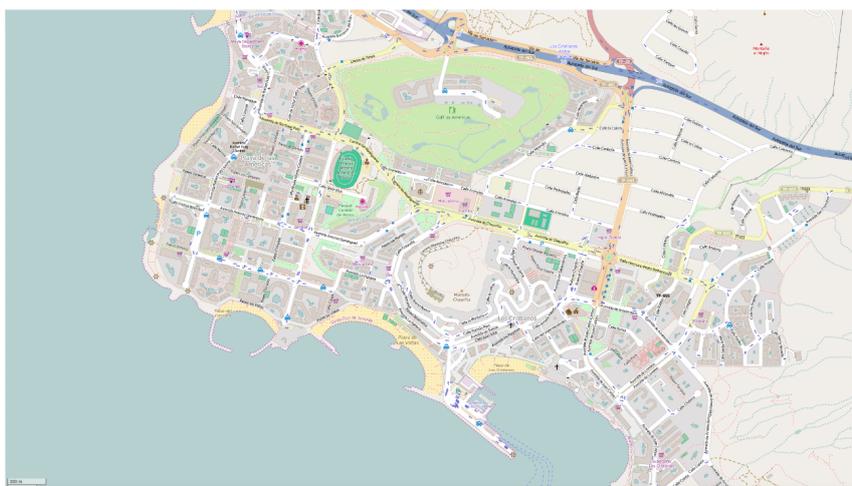


Figura 4.11: Imagen tipo detalle una vez recortada.

Para el recorte de las imágenes se utiliza la función *imcrop*, a la que se introduce la imagen a recortar y el píxel de origen para el recorte, seguido del ancho y el alto deseado para la imagen resultante.

Desarrollo, detección de los parámetros en RGB para mapas de canarias y mapas de gran escala.

Se define el procedimiento para medir los parámetros para las dos escalas distintas. Según el zoom que se realice en los mapas, se obtendrá información con mayor o menor detalle sobre calles, construcciones, superficies, distintos tipos de uso, etc. En este apartado, se explican las diferencias métricas utilizadas para configurar el código que automatiza cada proceso de obtención de parámetros.

Detección de las zonas de interés en las imágenes de los mapas turísticos de Canarias.

En primer lugar, antes de detectar los distintos colores correspondientes a la leyenda del mapa, se debe llevar a cabo un recorte de las imágenes para eliminar de la captura original las zonas que no son de interés quedando de la siguiente manera:

Para el recorte de las imágenes se utiliza la función *imcrop*, a la que se introduce la imagen a recortar y el píxel de origen para el recorte, seguido del ancho y el alto deseado para la imagen resultante.

Ahora, que ya no hay zonas de la imagen que desechar, se pasa a obtener las imágenes resultantes de la detección de las distintas zonas de interés. A continuación, se muestra el resultado para cada una de las zonas extraídas,

en este caso y como ejemplo, para Los Cristianos, donde todas serán imágenes binarias en las que aparece en blanco sobre fondo negro aquello que se pretende extraer.



Figura 4.12: Imagen resultado de la detección de autopista (se suman a las primarias) en Los Cristianos.



Figura 4.13: Imagen resultado de la detección de carreteras primarias en Los Cristianos.

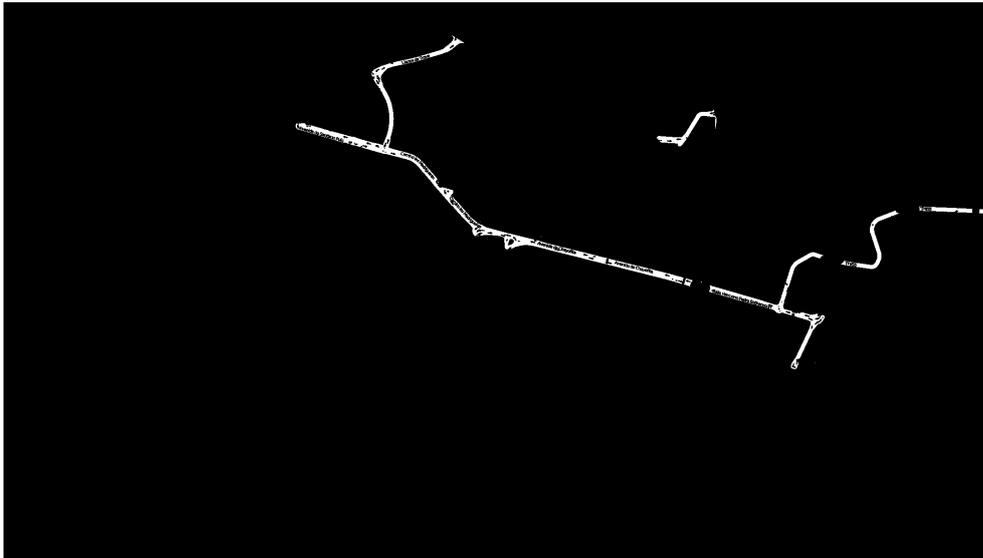


Figura 4.14: Imagen resultado de la detección de carreteras secundarias en Los Cristianos.



Figura 4.15: Imagen resultado de la detección de carreteras terciarias en Los Cristianos.



Figura 4.16: Imagen resultado de la detección de edificios en Los Cristianos.



Figura 4.17: Imagen resultado de la detección de zonas de parcela en Los Cristianos.



Figura 4.18: Imagen resultado de la detección de zonas verdes en Los Cristianos.



Figura 4.19: Imagen resultado de la detección de vacíos urbanos en Los Cristianos.

Para el caso de los invernaderos, se extraen exactamente igual, pero en el caso particular de Los Cristianos el resultado es una imagen de ceros, es decir, en negro, ya que no hay construcciones de ese tipo en la zona.

Una vez se tienen las imágenes originales desglosadas en imágenes por zonas, el siguiente paso es la obtención de parámetros básicos a partir de las mismas.

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

Determinación de parámetros

Para las imágenes detalle, correspondientes a las principales zonas turísticas de las Islas Canarias, los parámetros a determinar son: perímetro, ocupación bruta, ocupación neta, longitud de las carreteras, área de construcción y verde urbano. (Supongo que estarán descritos previamente).

Perímetro (P) Para el cálculo del perímetro el proceso a seguir es el siguiente:

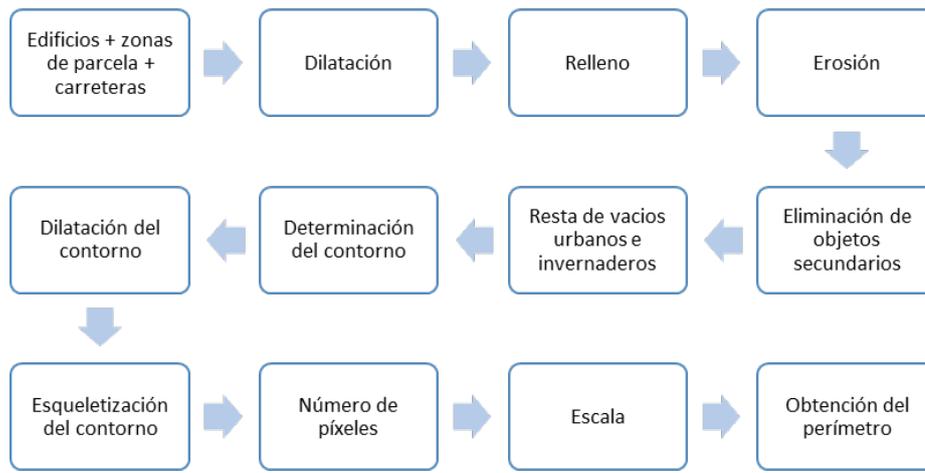


Figura 4.20: Esquema básico para la obtención del perímetro en mapas detalle.

Para obtener dicho perímetro en las imágenes detalle, en primer lugar, se utiliza la zona de edificios, la de parcela, las carreteras principales, secundarias y las carreteras terciarias, todas ellas dilatadas convenientemente. Partiendo de esas se unen cada una de las zonas y se obtiene lo siguiente:

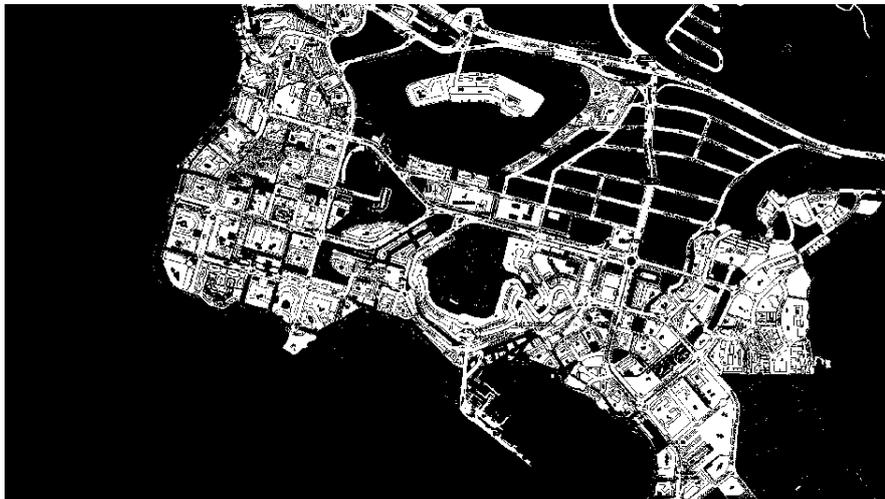


Figura 4.21: Suma de edificios, parcelas y carreteras para Los Cristianos.

A esta imagen se le aplica una dilatación, *imdilate*, para tratar de eliminar los pequeños huecos producidos por nombre y pequeños símbolos. Posteriormente un relleno, *imfill*, para tratar de crear una gran mancha uniforme y por último una erosión, *imerode*, para tener los límites originales de antes de la dilatación y así no falsear resultados. El resultado de estas tres operaciones es el que se muestra en la Figura 21.



Figura 4.22: Imagen resultante de la dilatación, relleno y erosión.

En este punto, se identifican todos los objetos que componen la imagen, mediante *bwlabel*, y se eliminan todos aquellos objetos menores que el principal, que corresponde con la superficie encerrada por el perímetro. Dicha superficie queda de la siguiente forma:



Figura 4.23: Imagen resultante de la eliminación de objetos secundarios

Ahora se restan de la imagen de la figura anterior, todos los vacíos urbanos y los invernaderos, también dilatados y erosionados quedando:



Figura 4.24: Imagen resultante de la eliminación de los vacíos urbanos y los invernaderos.

Ahora se realiza otra eliminación de objetos secundarios, ya que al eliminar algunas partes, pueden volver a aparecer objetos aislados, y en este punto ya se puede llevar a cabo la determinación del contorno, que en primera instancia queda de la siguiente forma:



Figura 4.25: Contornos a partir de la imagen sin vacíos urbanos e invernaderos.

En nuestro caso el contorno que nos interesa es simplemente el exterior, que corresponde con el perímetro. Para ello se realiza una nueva eliminación de objetos secundarios y ya se obtiene lo siguiente:



Figura 4.26: Contorno de Los Cristianos.

Ahora con la escala, y con el número de píxeles que forman el contorno, se obtiene la longitud del perímetro. En el caso de Los Cristianos es de aproximadamente 15 kilómetros. Superponiendo el perímetro sobre el mapa en color original se obtiene la figura que se muestra a continuación:



Figura 4.27: Perímetro superpuesto sobre el mapa original de Los Cristianos.

Ocupación bruta (A) Para el cálculo de este parámetro, el proceso es el siguiente:

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesado de imágenes

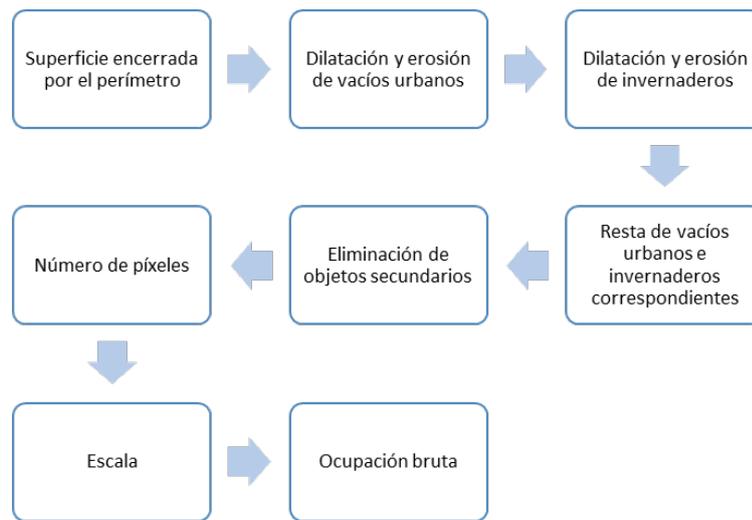


Figura 4.28: Proceso para determinar la ocupación bruta en mapas detalle.

En primer lugar, se carga la imagen correspondiente a los vacíos urbanos y a la superficie encerrada por el perímetro, y se realiza un AND lógico, para solo queden con los vacíos interiores a dicho perímetro. Estos vacíos se dilatan y erosionan, para eliminar posibles textos del mapa o píxeles no detectados.

El siguiente paso es determinar la superficie de los tres vacíos urbanos mayores, y si en su conjunto suman más del 20% de la superficie que encierra el perímetro se eliminan de la ocupación bruta. En caso de no cumplirse esta condición no se restará para el cálculo de la ocupación bruta. El proceso se repite con los invernaderos, pero en este caso si se eliminan siempre de la ocupación bruta.

Una vez eliminados los vacíos urbanos, si corresponde, y los invernaderos se eliminan posibles objetos secundarios, se determina el número de píxeles que componen la superficie restante, y con la escala se obtiene el valor de la ocupación bruta, que para Los Cristianos es de en torno a 5 kilómetros cuadrados.

El resultado gráfico de todo el proceso para Los Cristianos es el siguiente:



Figura 4.29: Ocupación bruta superpuesta sobre el mapa de Los Cristianos.

Ocupación Neta (O). Para el cálculo la ocupación neta este es el proceso a seguir:



Figura 4.30: Esquema básico para la obtención de la ocupación neta en mapas detalle.

En primer lugar, se cargan las imágenes que corresponden a los edificios y a las zonas de parcela y se suman. A continuación, se hace una AND lógica con la superficie encerrada por el perímetro, consiguiendo de esta forma que solo se muestren las partes de la primera imagen dentro del perímetro.



Figura 4.31: Ocupación neta de Los Cristianos.

A continuación, sólo queda determinar el número de píxeles y mediante la escala la ocupación neta, que en el caso de Los Cristianos es de 1,5 kilómetros cuadrados aproximadamente.

Longitud de las carreteras. El esquema básico para la obtención de este parámetro es el siguiente:

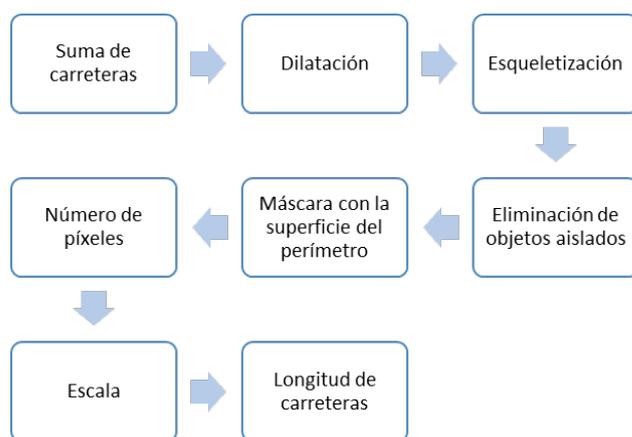


Figura 4.32: Esquema básico para la obtención de la longitud de las carreteras en mapas detalle.

Para este parámetro, el primer paso es realizar la suma de todas las carreteras de la ciudad que se esté estudiando en cada caso. Para el caso de Los Cristianos quedaría dicha suma como se muestra.



Figura 4.33: Resultado de la suma de carreteras en Los Cristianos.

Como se aprecia en la figura, las carreteras no aparecen totalmente rellenas, debido a textos y símbolos en el mapa. Para eliminarlos y que queden uniformes se lleva a cabo una dilatación de la imagen.



Figura 4.34: Resultado de la dilatación sobre la suma de carreteras.

Una vez se ha realizado la dilatación, las carreteras aparecen completamente conectadas y rellenas. Llegados a este punto se puede llevar a cabo una esqueletización de las mismas. La esqueletización, como se ha explicado anteriormente, consiste en la eliminación de píxeles en las fronteras de los objetos mientras sea posible pero sin llegar a separarlos. Al aplicar este procesado se obtiene lo siguiente:

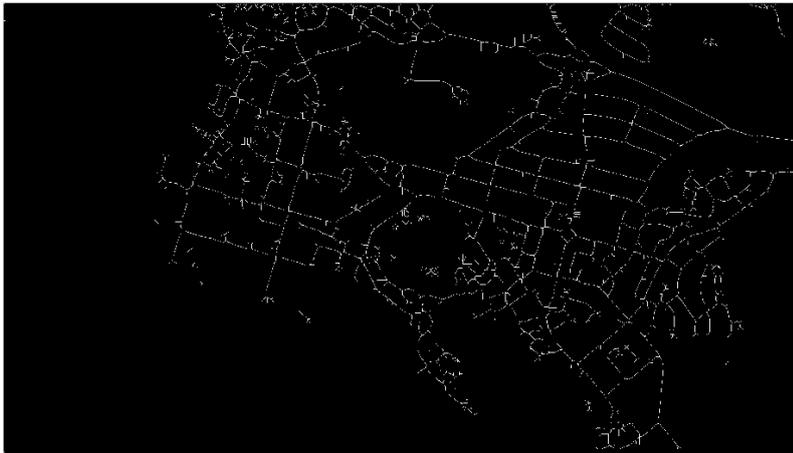


Figura 4.35: Resultado de la esqueletización.

A simple vista, parece que los píxeles blancos que conforman la imagen no están unidos entre sí, pero es una simple cuestión de zoom como se muestra a continuación.

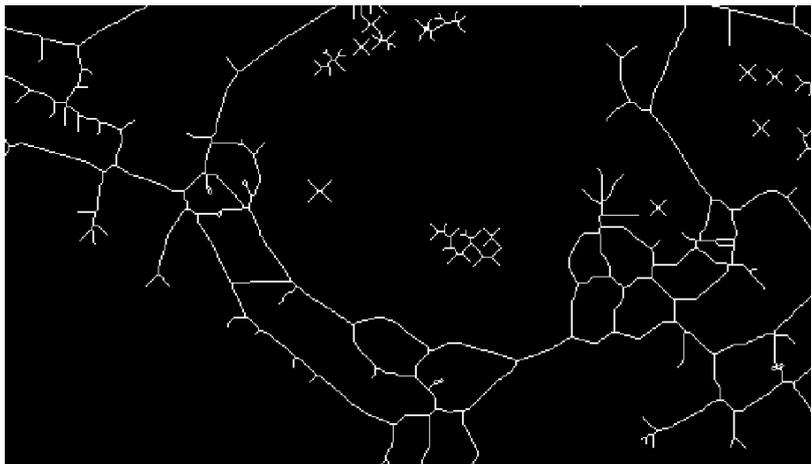


Figura 4.36: Resultado de la esqueletización con zoom, y señalización de objetos aislados.

Ahora, el problema principal que se presenta es la aparición de objetos aislados, que muy probablemente no pertenecen a carreteras, sino a píxeles aislados que con la dilatación y la esqueletización han derivado en dichos objetos. Para eliminarlos, se etiquetan los distintos objetos que componen la imagen con un valor diferente.

Para eliminar esos objetos no deseados, se ha calculado el tamaño de la etiqueta mayor, y todas aquellas que sean menores son eliminadas, ya que no corresponden a la red de carreteras que están interconectadas entre sí. Una vez realizado este proceso, tal y como se muestra en la figura a continuación, ya

han desaparecido los objetos aislados a los que se hacía referencia en la figura 4.36.

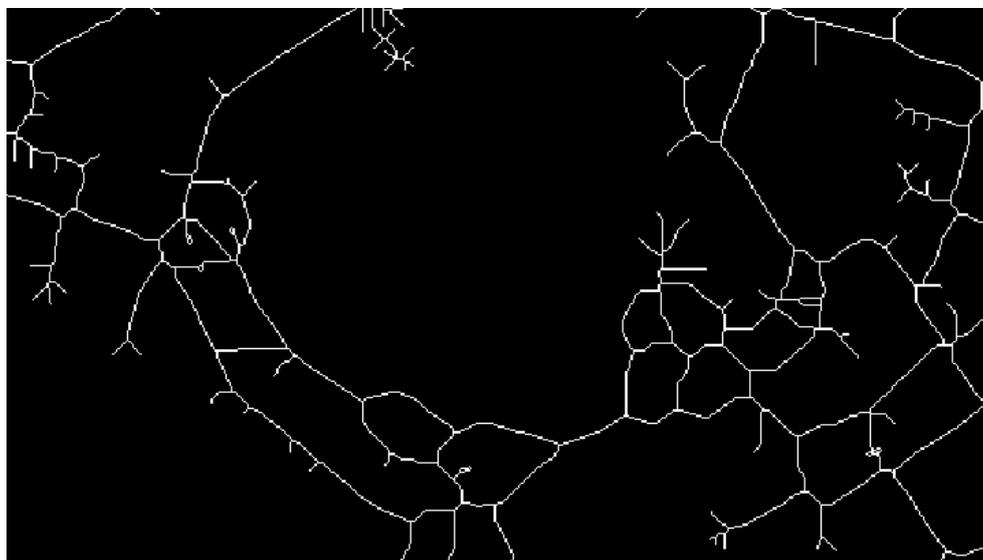


Figura 4.37: Resultado de la eliminación de los objetos aislados.

Cuando se ha llegado a este punto, hay que realizar una máscara con la superficie que queda encerrada por el perímetro, para que solo queden las carreteras dentro del mismo, quedando por tanto de esta forma:

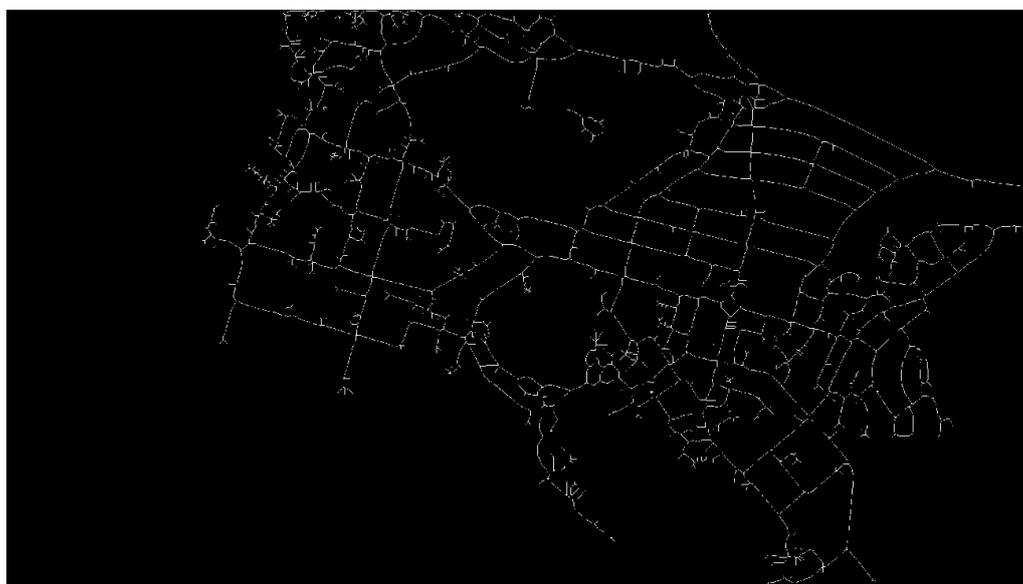


Figura 4.38: Carreteras en el interior del perímetro de Los Cristianos.

Ahora solamente queda contar el número de píxeles que componen las carreteras dentro del perímetro, y con la escala calcular la distancia en metros

de las carreteras de cada una de las ciudades. Para el caso de Los Cristianos esa distancia obtenida es de 61 kilómetros.

Área de construcción (B) y área del verde urbano (GU). El proceso de cálculo de estos dos parámetros es prácticamente idéntico, por lo que el esquema siguiente explica el proceso para la obtención de ambos:

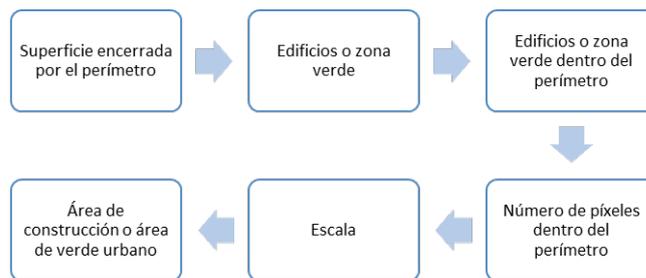


Figura 4.39: Proceso para determinar el área de construcción y el área de verde urbano.

En primer lugar, se carga la imagen correspondiente a la superficie encerrada por el perímetro, y a continuación, la imagen que corresponde a los edificios detectados previamente o las zonas verdes. Se hace una AND lógica entre la superficie y la imagen correspondiente obteniéndose solo los edificios o zonas verdes encerrados por el perímetro. Contando los píxeles resultantes y aplicando la escala ya se tiene la superficie definitiva del parámetro en cuestión. A continuación, se muestra la imagen generada a partir del cálculo de los dos parámetros:



Figura 4.40: Área de construcción en Los Cristianos.

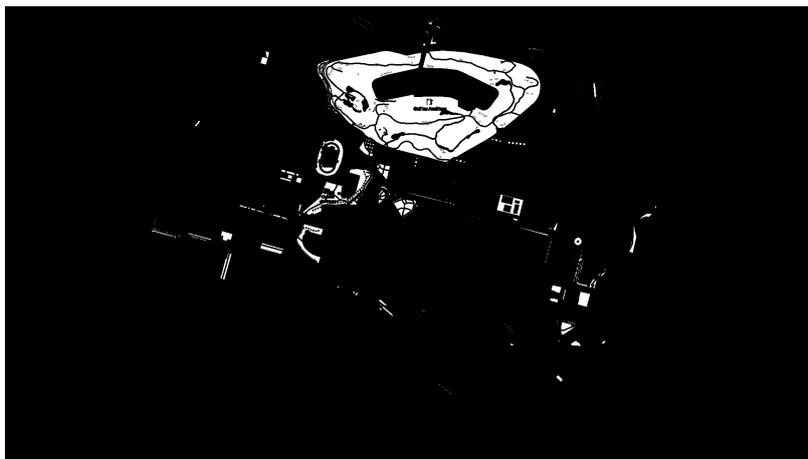


Figura 4.41: Área de verde urbano en Los Cristianos.

Como comentario, se puede apreciar las áreas verdes de los Cristianos con el campo de golf. Éstas áreas verdes si están dentro del perímetro a medir y suman el 20 % o más de la superficie total del verde urbano, no son consideradas ya que se consideran verdes no urbanos.

Detección de las zonas de interés en las imágenes de Ciudades Globales

Para el caso de las imágenes a gran escala el proceso es análogo, pero las zonas que se extraen son distintas que en las imágenes detalle. Las zonas a extraer en este caso son las indicadas en la tabla de componentes RGB para mapas de gran escala. El resultado de esa extracción es el que se muestra en las siguientes figuras, para el caso de Barcelona, siempre después de haber llevado a cabo el recorte correspondiente en cada una de las imágenes.



Figura 4.42: Imagen resultado de la detección de carreteras principales en Barcelona.



Figura 4.43: Imagen resultado de la detección de carreteras secundarias en Barcelona.



Figura 4.44: Imagen resultado de la detección de carreteras terciarias en Barcelona.



Figura 4.45: Imagen resultado de la detección de zonas verdes en Barcelona.

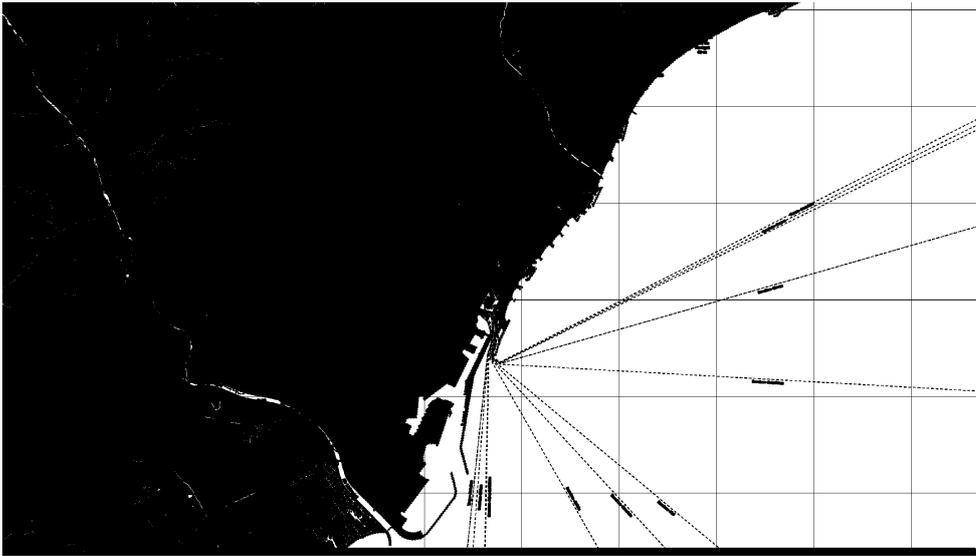


Figura 4.46: Imagen resultado de la detección de humedales en Barcelona.



Figura 4.47: Imagen resultado de la detección de invernaderos en Barcelona.

Imágenes a gran escala: Determinación de parámetros.

Perímetro. Al igual que en el caso de las imágenes detalle, el perímetro es el parámetro básico para determinar el resto de parámetros. Para obtener este parámetro los pasos a seguir son:

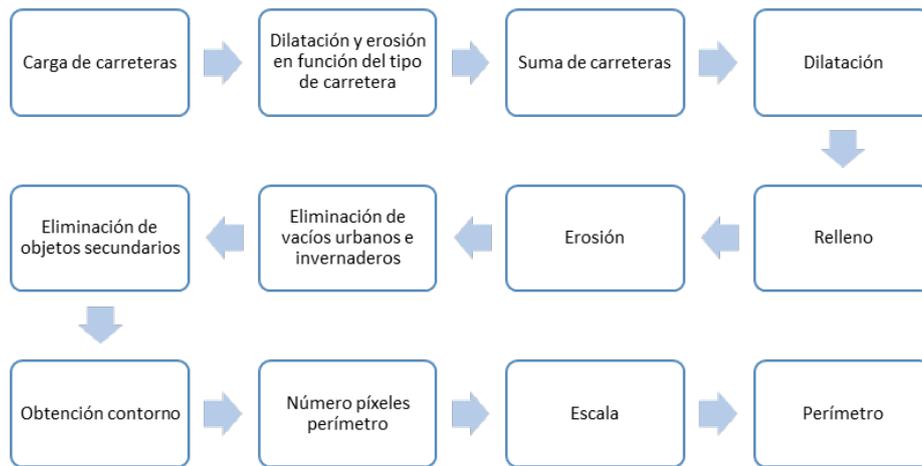


Figura 4.48: Esquema básico para la obtención del perímetro provisional en mapas a gran escala.

En primer lugar, se cargan las carreteras primarias, secundarias y terciarias, y se dilatan por separado en función del ancho de las mismas evitando así posibles pérdidas de información derivadas de la unión no deseada de carreteras. Posteriormente se suman y se realiza un proceso de dilatación, relleno y erosión, obteniendo lo siguiente:



Figura 4.49: Resultado de la dilatación, relleno y erosión de carreteras para Barcelona.

A continuación, se cargan las carreteras y se superponen a la imagen anterior, para así obtener los posibles vacíos urbanos. En ese punto se obtienen los 7 vacíos urbanos mayores y se determina su superficie. Si la suma de esas 7 superficies es mayor al 20% de la superficie total son excluidos para el cálculo

del perímetro. En caso contrario no se realiza ninguna acción.

El siguiente paso es cargar los invernaderos y restarlos junto a los vacíos urbanos (si procede) a la imagen de la figura anterior. Este proceso en el caso concreto de Barcelona no tiene un efecto considerable, pero en ciudades con grandes vacíos urbanos sí que puede afectar al cálculo. En este punto, se eliminan los objetos aislados, para quedarnos con la zona principal de la ciudad, eliminando zonas más pequeñas alejadas del núcleo y puntos derivados de errores en la detección.



Figura 4.50: Resultado de la eliminación de zonas aisladas para Barcelona.

Sobre esta última imagen se realiza una erosión, con un elemento de conectividad uno, para restarla con la obtenida anteriormente y obtener el borde que define el perímetro de la ciudad en cuestión con un grosor de exactamente un píxel.

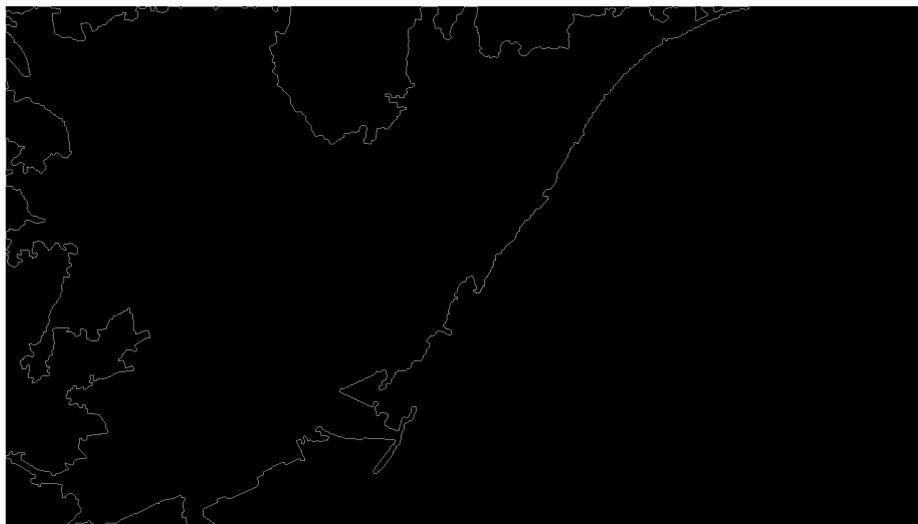


Figura 4.51: Contorno que define el perímetro para Barcelona.

Determinando el número de píxeles que forman el contorno se obtiene, a través de la escala, la longitud perimetral de la ciudad, que en el caso de Barcelona es de 185 kilómetros. El resultado de este para Barcelona es el que se muestra en la figura a continuación, donde el perímetro se delimita con una línea roja.

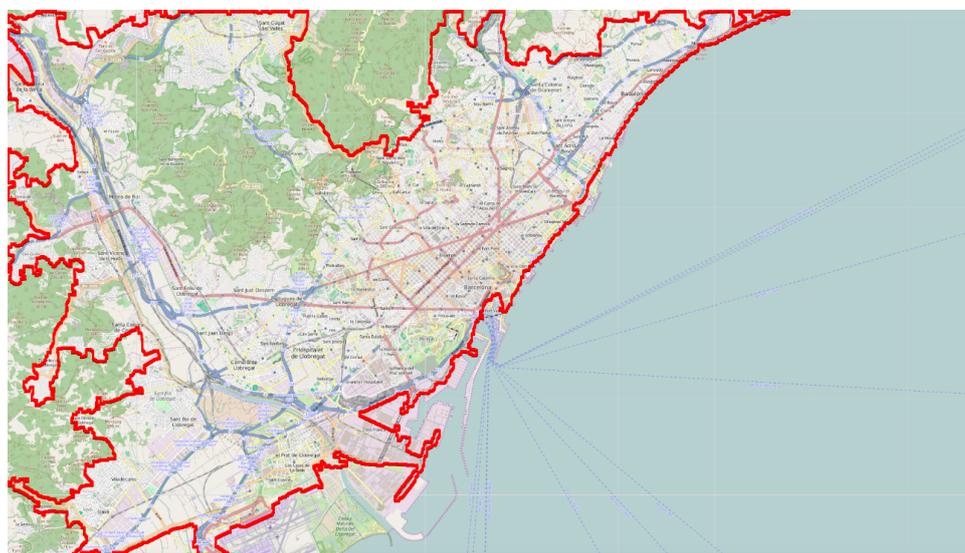


Figura 4.52: Contorno sobre imagen en color que define el perímetro para Barcelona.

Ocupación bruta (S) El proceso a seguir es el siguiente:

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

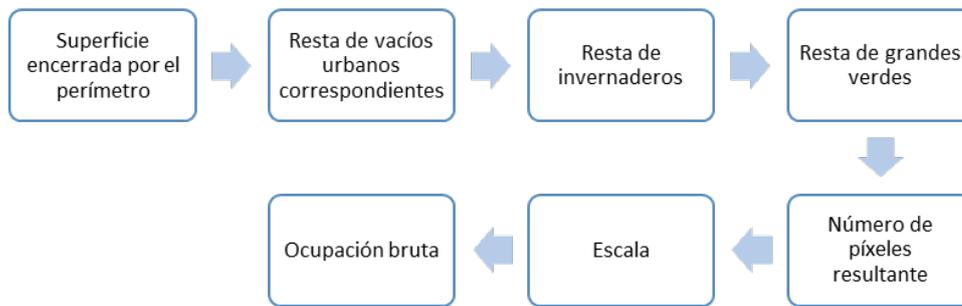


Figura 4.53: Proceso para la obtención de la ocupación bruta.

Para el cálculo de este parámetro se parte de la mancha que define el perímetro de la ciudad. A esa superficie se le restan:

- Los vacíos urbanos, en el caso de que los siete más grandes sumen más del 20 % de la superficie total de la ciudad
- Los invernaderos
- Los grandes verdes, que son aquellos en los que cinco de estos verdes suman más del 50 % de los verdes totales encerrados por el perímetro

Una vez restadas estas zonas, se determina el número de píxeles que quedan y aplicando la escala se tiene la ocupación bruta resultante. En Barcelona, se tiene que la ocupación bruta es de 273 kilómetros cuadrados.



Figura 4.54: Ocupación bruta para Barcelona.

Ocupación neta (O) En el caso de las imágenes a gran escala, la ocupación neta se calcula a partir de la ocupación bruta, como se muestra en el diagrama siguiente:

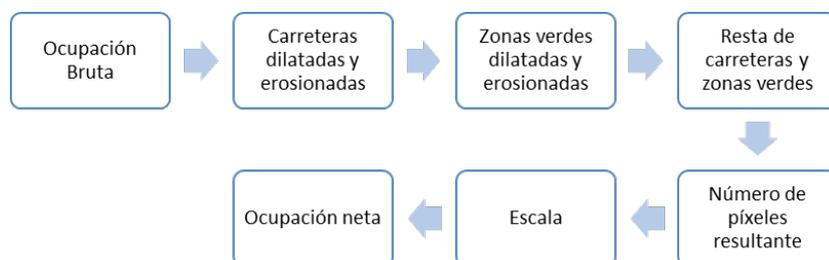


Figura 4.55: Proceso para la obtención de la ocupación neta.

En primer lugar, se carga la imagen correspondiente a la ocupación bruta. A continuación, se cargan las carreteras y se dilatan y erosionan en función del tipo de carretera y se erosionan de nuevo. El siguiente paso es cargar las zonas verdes, dilatarlas y erosionarlas para eliminar pequeños huecos que pueda haber en su interior y después se restan a la ocupación bruta las carreteras y las zonas verdes. El resultado del proceso es el que se muestra:



Figura 4.56: Ocupación neta de Barcelona.

Para el caso de Barcelona, la ocupación neta obtenida es de 178 kilómetros cuadrados, bastante menor que la ocupación bruta como es lógico.

Longitud de los contornos de la ocupación neta. Otro parámetro cuyo cálculo puede ser interesante para calcular posteriormente algunos índices es la longitud de los contornos que encierran la ocupación neta. Para dicho cálculo el proceso es el siguiente:

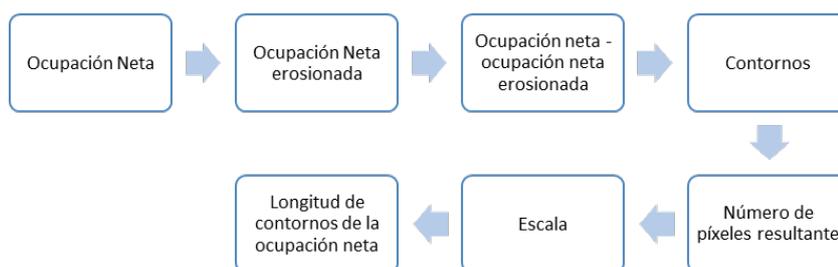


Figura 4.57: Esquema básico para la obtención de la longitud de los contornos de la ocupación neta en mapas a gran escala.

Primero carga la imagen correspondiente a la ocupación neta. Una vez se tiene, se erosiona con un elemento de conectividad uno y posteriormente se resta la imagen de ocupación neta con esa erosionada un solo píxel. Con esto se obtiene una imagen correspondiente a los distintos contornos y con exactamente un píxel de grosor.



Figura 4.58: Contornos que encierran a la ocupación neta en Barcelona.

Determinando el número de píxeles que conforman la figura anterior, simplemente utilizando la escala ya se tiene la longitud de dichos contornos. En el caso particular de Barcelona esa longitud es de 3.221 kilómetros.

Longitud de las carreteras El esquema a seguir es el siguiente:

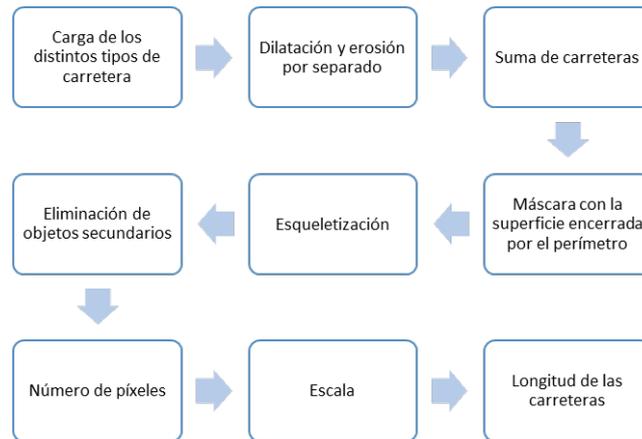


Figura 4.59: Esquema básico para la obtención de la longitud de las carreteras en mapas a gran escala.

Para el cálculo de este parámetro, el primer paso es utilizar las imágenes de carreteras primarias, secundarias y terciarias extraídas en la detección y dilatarlas y erosionarlas por separado, en función del tipo de carretera con la que se esté trabajando. El siguiente paso es superponerlas en una sola imagen, realizar una máscara para que solo queden las carreteras dentro del perímetro y posteriormente se realiza la esqueletización de las mismas. En la figura siguiente se muestra el resultado de este proceso para la ciudad de Barcelona.



Figura 4.60: Resultado de la esqueletización de carreteras para Barcelona.

A continuación, se eliminan los objetos aislados de la imagen, y de la imagen obtenida se calcula el número de píxeles.

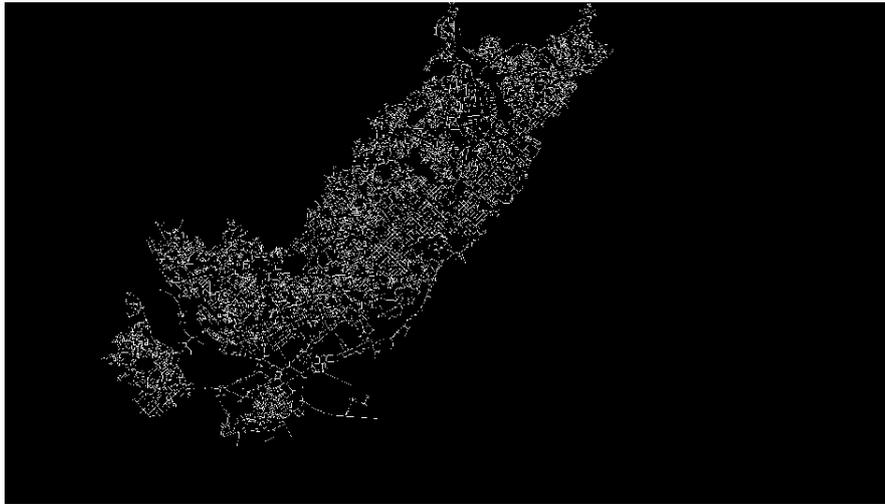


Figura 4.61: Carreteras a partir de las cuales se extrae la longitud total de las mismas para Barcelona.

Teniendo, los metros por píxel, y el número de píxeles se obtiene que para el caso de Barcelona la longitud de las carreteras es de 1182 kilómetros.

Área del verde urbano (GU) En este caso se va a diferenciar entre tres tipos de verde dentro del perímetro:

- Verde dentro del perímetro
- Grandes verdes (Aquellos cinco verdes de mayor superficie dentro del perímetro)
- Resto de zonas verdes

Para obtenerlos se sigue el siguiente esquema:



Figura 4.62: Proceso para la obtención del área de verde urbano (GU).

Se cargan las zonas verdes de la ciudad que se está tratando, se dilatan y erosionan y a continuación, se carga la imagen correspondiente a la superficie encerrada por el perímetro. Se realiza una AND lógica entre dicha superficie y las zonas verdes, quedando de esta forma solo los verdes interiores al perímetro:

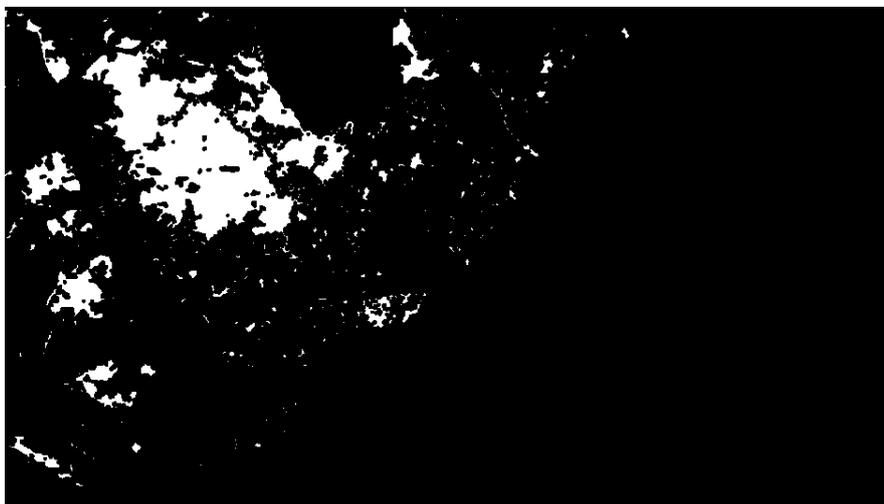


Figura 4.63: Zonas verdes dentro del perímetro.

La superficie de verde, de la imagen anterior, es a partir de la que se obtiene la superficie total del verde encerrado en el perímetro. A continuación, de estas zonas verdes interiores se extraen las 5 zonas mayores, y esas son las que se clasifican como grandes verdes para cada una de las ciudades.



Figura 4.64: Grandes verdes para Barcelona.

El verde restante es aquel compuesto por el resto de zonas verdes de la ciudad, que para Barcelona es:

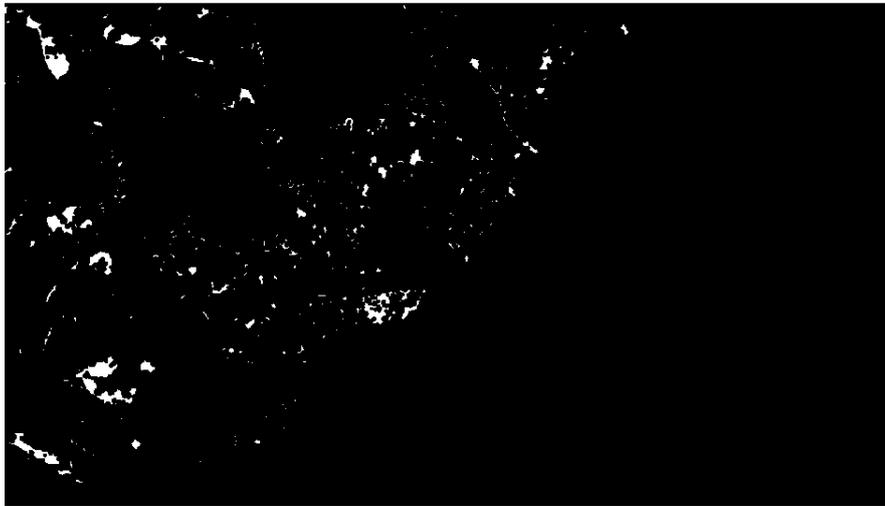


Figura 4.65: Resto de verdes para Barcelona.

Esta diferenciación de los tipos de verdes se realiza debido a un motivo principal, y es el cálculo de la ocupación bruta, donde si los grandes verdes son mayores del 50 % del total de verdes estos son eliminados de la ocupación bruta, para evitar de esta forma la inclusión de grandes montes en zonas periféricas incluidas por errores en la detección dentro del perímetro. Para el caso de Barcelona la superficie de verdes queda de la siguiente forma:

- Verde total encerrado por el perímetro: 49 kilómetros cuadrados

- Grandes verdes: 9 kilómetros cuadrados

- Resto de verdes: 40 kilómetros cuadrados

Como en este caso los grandes verdes no son el 50 % de 49 kilómetros cuadrados, no se restarían la hora de obtener la ocupación bruta de Barcelona.

Superficie de humedales (W) Para determinar el área ocupada por los humedales, se lleva a cabo un proceso similar al que se utiliza en el cálculo del área del total de verdes:

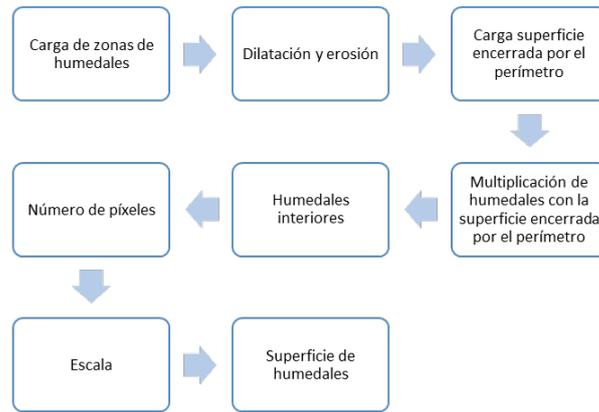


Figura 4.66: Proceso para la obtención de la superficie de humedales (W).

En primer lugar, se cargan las zonas de humedales y la superficie encerrada por el perímetro. Se dilatan y erosionan los humedales y se multiplican con la superficie cargada, quedando de esta forma solamente aquellos dentro del perímetro, como se muestra en la imagen.

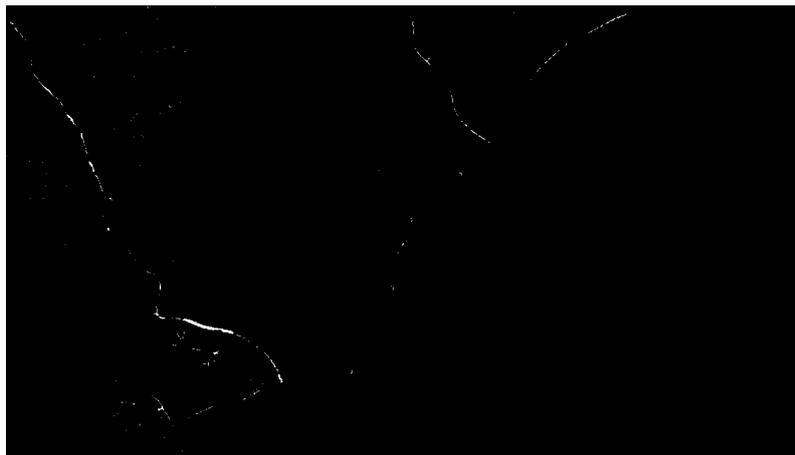


Figura 4.67: Zonas de humedales interiores al perímetro de Barcelona.

Con el número de píxeles blancos que componen la imagen anterior y la escala, ya se tiene la superficie de humedales de la ciudad, que en este caso es de aproximadamente 1 kilómetro cuadrado.

Capítulo 5

Desarrollo de los experimentos

En este capítulo se desarrollan cuatro experimentos en los que se aplica la metodología paramétrica y la automatización del procesado de imágenes.

En el experimento uno se aplica la metodología paramétrica a patrones abstractos de forma manual. En el experimento dos se aplica la metodología de forma manual y automática a urbanizaciones turísticas de Canarias. En el experimento tres se aplica la metodología paramétrica y automática más optimizada. En el experimento cuatro se aplica la misma metodología a ciudades globales.

5.1. Experimento 1. Estudio de patrones abstractos de forma de ciudades mediante la metodología paramétrica

En este capítulo se desarrolla la metodología de parametrización, descrita en el capítulo tres. Se construye el modelo que identifica la sostenibilidad de la forma urbana de la ciudad, de forma paramétrica. Se hará una aplicación sencilla y abstracta para conocer el alcance de la metodología.

Se ha creado una serie de patrones de ciudades distintas de forma abstracta. Cada uno de los patrones son distintos en apariencia visual, por tanto, cada uno puede ser definido por sus métricas.

En este experimento se desarrolla las diferencias entre los parámetros e indicadores y cómo interpretarlos de forma sencilla.

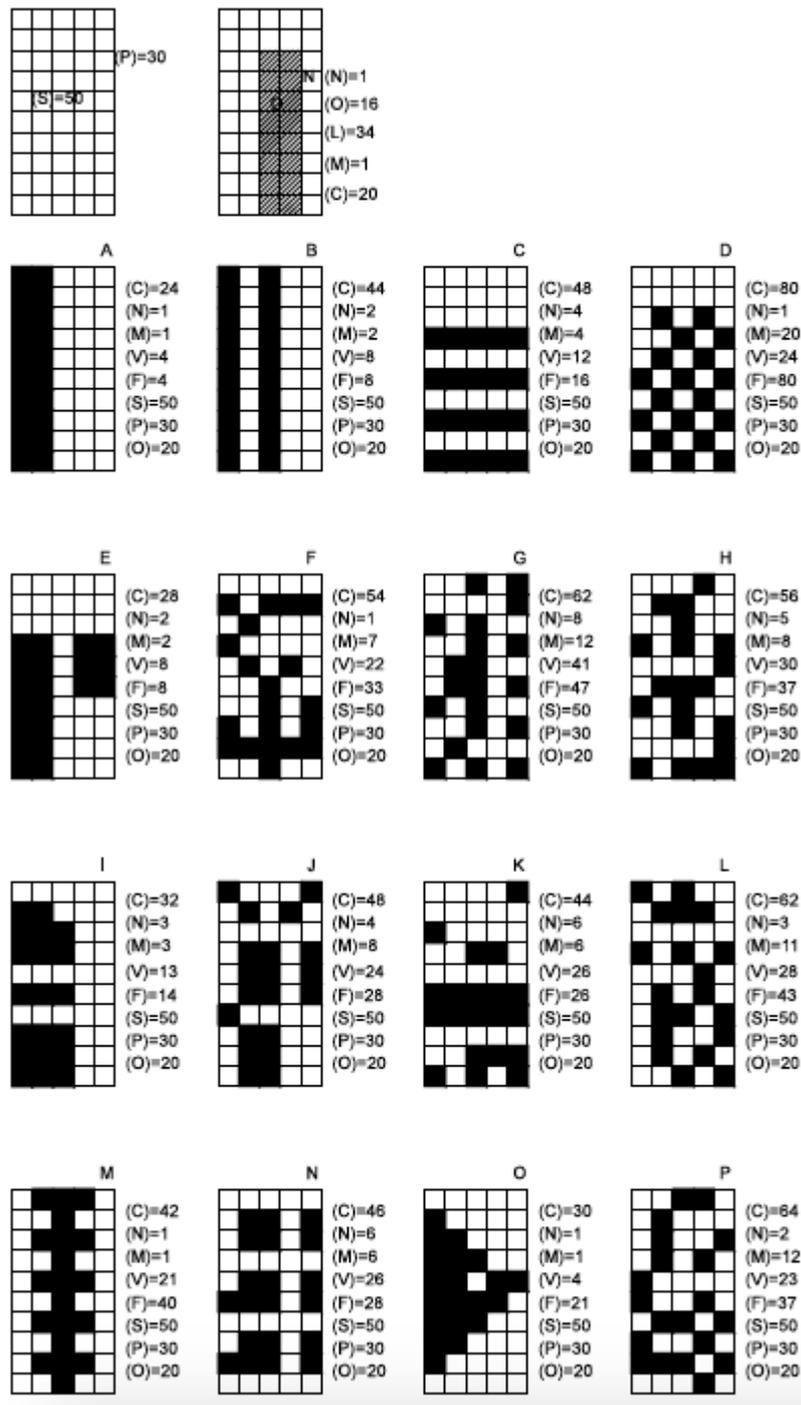


Figura 5.1: Las dos figuras superiores son patrones para conocer los parámetros que se están utilizando, las dieciséis figuras de abajo son patrones abstractos de urbanizaciones distintas

La figura anterior tiene dieciocho patrones. Las dieciséis de abajo representan patrones de distintas urbanizaciones, los dos patrones de arriba son explicativos para saber de dónde salen los parámetros que se van a extraer en cada patrón.

En este experimento se van a obtener los siguientes parámetros de los patrones:

- Superficie total (S)
- Ocupación por lo construido (O)
- Perímetro de la urbanización (P)
- Número de islas aisladas (N)
- Número de islas en continuidad (M)

Todos los patrones tienen un tamaño igual que corresponde con la misma S en cada patrón. Los patrones tienen también una ocupación (O) igual y un perímetro (P) igual.

Se ha optado por realizar este experimento con dieciséis patrones porque es una muestra suficiente para compararlos. Dados los parámetros diferentes que se van a estudiar (M, N, para un O, S, P, constante), se diferenciarán formas, más allá de la densidad, que es constante en este caso.

5.1.1. Descripción

En primer lugar, se extraen los parámetros identificativos de forma manual. Estos son los relativos a superficie, ocupación de lo construido, perímetro de urbanización, número de islas en continuidad con la urbanización y número de islas completamente aisladas.

- Superficie total (S)
- Ocupación por lo construido (O)
- Perímetro de la urbanización (P)
- Número de islas aisladas (N)
- Número de islas en continuidad (M)

Una vez obtenidos los datos, éstos se utilizan para calcular los indicadores.

5.1.2. Desarrollo

Se han obtenido los datos de forma manual. En la siguiente tabla se listan los patrones de la imagen anterior. La columna de la izquierda corresponde al nombre del patrón, la fila superior se refiere al parámetros que se mide.

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

Datos de los patrones

Para estos patrones, los datos de perímetro, superficie bruta y ocupación, son iguales.

PATRÓN	P	S	C	O	N	M	V	F
A	30	50	24	20	1	1	4	4
E	30	50	28	20	2	2	8	8
O	30	50	30	20	1	1	11	21
I	30	50	32	20	3	3	13	14
M	30	50	42	20	1	1	21	40
K	30	50	44	20	6	6	26	26
B	30	50	44	20	2	2	8	8
N	30	50	46	20	6	6	26	28
J	30	50	48	20	4	8	24	28
C	30	50	48	20	4	4	12	16
F	30	50	54	20	1	7	22	33
H	30	50	56	20	5	8	30	37
G	30	50	62	20	8	12	41	47
L	30	50	62	20	3	11	28	43
P	30	50	64	20	2	11	23	37
D	30	50	80	20	1	20	24	54
Promedio	30	50	48	20	3	6	20	28

Cuadro 5.1: Parámetros obtenidos de los patrones urbanos

Cabe destacar las diferencias por ejemplo con M de el patrón.

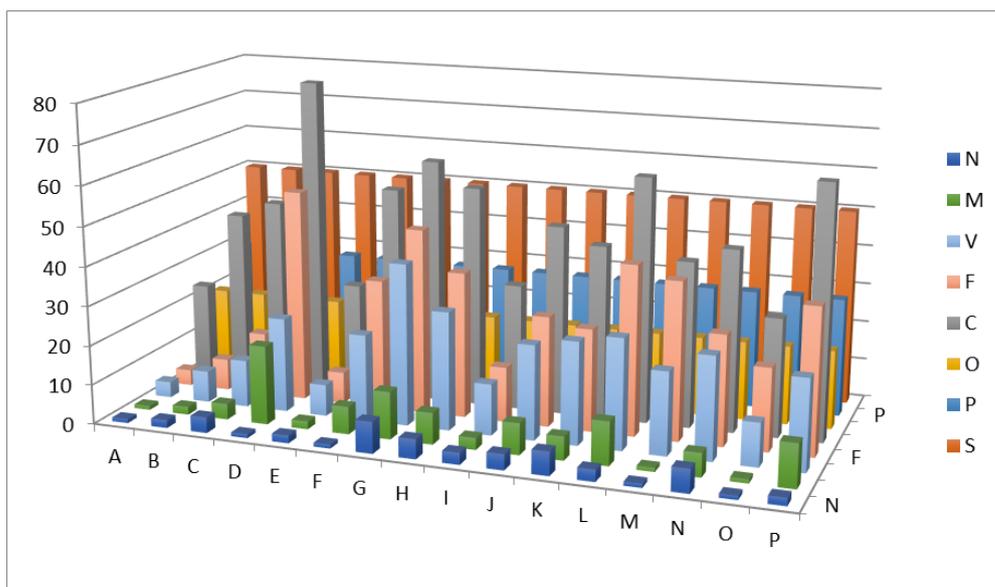


Figura 5.2: Matriz de parámetros utilizados en cada patrón

Ordenación de patrones según datos de los parámetros

Seguidamente, se presenta un análisis de los datos obtenidos de forma gráfica, ordenando del 1 al 16 los resultados obtenidos en cada parámetro e indicador.

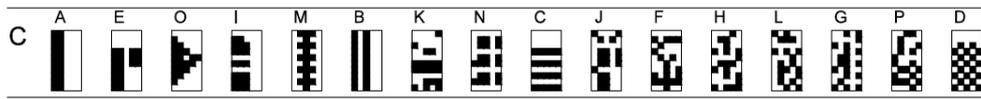


Figura 5.3: Ordenación del 1 al 16 según contorno interior (C).

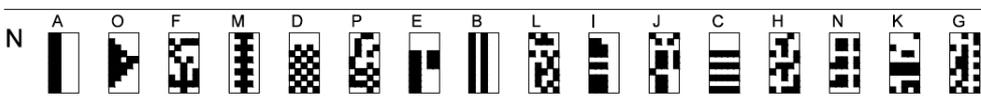


Figura 5.4: Ordenación del 1 al 16 según número de islas en continuidad (N).

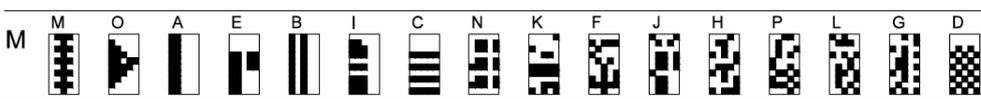


Figura 5.5: Ordenación del 1 al 16 según número de islas completamente aisladas (M).

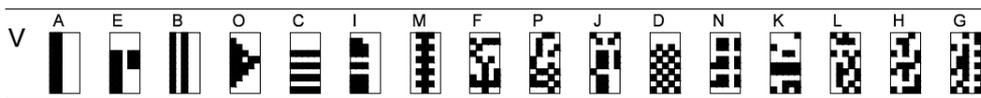


Figura 5.6: Ordenación del 1 al 16 según número e vértices hacia fuera (V).

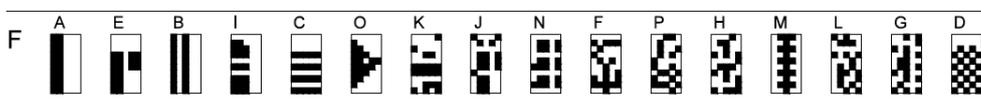


Figura 5.7: Ordenación del 1 al 16 según número de vértices totales (F).

Rango de posición de los patrones según sus parámetros

Para cada posición de los patrones, se ha dado un valor del 1 al 16 que se suman según las cinco posiciones distintas. Aquellas posiciones que coincidan, quiere decir que suman la misma unidad de posición. El resultado del orden es la suma de las posiciones, quedando, en la tabla, de la siguiente forma:

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N	M	O	P
N	1	2	4	1	2	1	7	5	3	4	6	3	6	1	1	2
C	1	6	9	16	2	11	13	12	4	10	7	14	8	5	3	15
M	1	2	4	10	2	6	9	7	3	7	5	8	5	1	1	8
V	1	2	4	9	2	7	13	12	5	9	10	11	10	6	3	8
F	1	2	4	13	2	8	12	9	3	7	6	11	7	10	5	9
T	5	14	25	49	10	33	54	45	18	37	34	47	36	23	13	42

Cuadro 5.2: Tabla con la ordenación de la posición según los parámetros de forma de los patrones.

La tabla anterior, está compuesta la primera fila por el nombre de los patrones de la A a la P, en la columna 1 el nombre de los parámetros, cuya última fila (T) corresponde al total de las posiciones tras ordenar los patrones.

A	E	O	B	I	M	C	F	K	N	J	P	H	L	D	G
5	10	13	14	18	23	25	33	34	36	37	42	45	47	49	54

Cuadro 5.3: Orden del 1 al 16 de la posición sumada de los parámetros de cada uno de los patrones

En esta tabla se han colocado los resultados de la suma de las posiciones de los patrones en las gráficas anteriores, del 1 al 16, y se han ordenado los patrones según la posición.

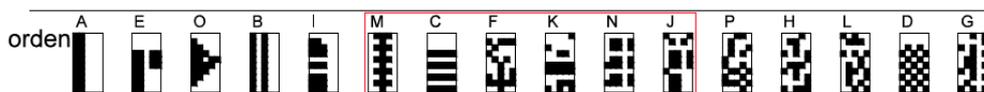


Figura 5.8: Ordenación gráfico del 1 al 16 según posiciones de los parámetros, de aquí se deduce que una posición adecuada es $I < x > P$.

En la figura anterior, están ordenados los parámetros según los datos obtenidos de la suma de las posiciones.

Se hace un análisis visual de la escala de patrones, se puede comprobar que la forma y geometría interna de los patrones con índice menor presenta figuras más simples que los patrones con índice superior. Estos parámetros describen situaciones cuantitativas que el ser humano es capaz de diferenciar sin ser consciente de ellos.

De estos resultados se puede deducir un orden morfológico que se traduce en realidades funcionales dentro de la ciudad. Las posiciones comprendidas entre I y P de la escala gráfica, correspondiente al 37%, se consideran de éxito. Coincide con aquellos baremos que están comprendidos entre 18 y 45.

5.1.3. Resultado

Con los parámetros obtenidos se calculan los indicadores de la forma urbana. Con estos indicadores se puede evaluar aspectos morfológicos de la ciudad como son la dispersión, continuidad, conectividad, la densidad, etc.

Resultado de los índices propios

Los índices propios han sido desarrollados en el capítulo dos de esta tesis. Para este experimento se han utilizado los índices que se pueden calcular con los parámetros que se tienen. De esta forma tanto el número de islas en continuidad como el número de islas en discontinuidad han ofrecido el indicador Índice de continuidad de infraestructuras (DMN) y el Índice de Dispersión Urbana, (DI).

El GSI o DS, que es la densidad de ocupación es constante ya que se han utilizado patrones con las misma cantidad de casillas llenas y vacías.

El Índice OFI o Índice de Optimización de la Forma Urbana se refiere a la forma exterior de la urbanización, ésta es constante ya que se ha partido de un rectángulo de 10 por 5 píxeles para todos los patrones utilizados.

PATRÓN	DS	DMN	CF	DI	OII	OFI	COI	UDS	UCI	SUI
A	40	100,00	24,00	4,17	1,25	1,67	83,33	1,5	50,00	14,14
B	40	100,00	22,00	4,55	0,68	1,67	45,45	1,5	27,27	19,15
C	40	100,00	48,00	2,08	0,63	1,67	41,67	1,5	25,00	20,00
D	40	100,00	26,67	3,75	0,38	1,67	25,00	1,5	15,00	25,82
E	40	100,00	28,00	3,57	1,07	1,67	71,43	1,5	42,86	15,28
F	40	100,00	9,00	11,11	0,56	1,67	37,04	1,5	22,22	21,21
G	40	100,00	31,00	3,23	0,48	1,67	32,26	1,5	19,35	22,73
H	40	100,00	9,33	10,71	0,54	1,67	35,71	1,5	21,43	21,60
I	40	50,00	8,00	12,50	0,94	1,67	62,50	1,5	37,50	16,33
J	40	100,00	12,00	8,33	0,63	1,67	41,67	1,5	25,00	20,00
K	40	14,29	44,00	2,27	0,68	1,67	45,45	1,5	27,27	19,15
L	40	62,50	12,40	8,06	0,48	1,67	32,26	1,5	19,35	22,73
M	40	66,67	5,25	19,05	0,71	1,67	47,62	1,5	28,57	18,71
N	40	27,27	15,33	6,52	0,65	1,67	43,48	1,5	26,09	19,58
O	40	18,18	15,00	6,67	1,00	1,67	66,67	1,5	40,00	15,81
P	40	5,00	64,00	1,56	0,47	1,67	31,25	1,5	18,75	23,09
Total	40,00	71,49	23,37	6,76	0,70	1,67	46,42	1,50	27,85	19,71

Cuadro 5.4: Tabla de resultado de los indicadores propios, calculados para cada patrón

Ordenando los patrones según la posición, de cada uno, en relación al rango del resultado de los indicadores, se puede analizar que aspectos valora cada indicador.

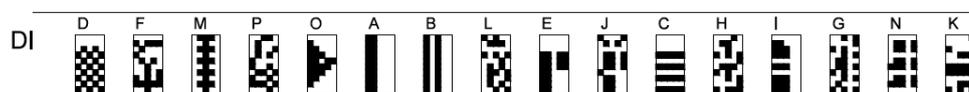


Figura 5.9: Ordenación de patrones según DI, Indicador de la Dispersión Urbana

El DI relaciona la medida de los contornos de las islas con el número de islas en continuidad o no con el resto de la ciudad. Aparentemente este parámetro no ordena la morfología de la ciudad pero sí que destaca un aspecto, no susceptible a simple vista, como es que la longitud de borde es mayor por cada isla. Describe una situación urbana que, a pesar de estar en conexión con el resto, no es de alta densidad pero que por otro lado, consume mucho recurso de infraestructuras ya que es necesario llegar a cada esquina.

Este parámetro será menor si las islas son óptimas en la longitud de su borde y no como una continua periferia. Es un indicador que a información sobre una forma no óptima de la urbanización cuando es un baremo bajo. Cuando es un rango alto indica la existencia de dispersión urbana. Según esta escala lo ideal será estar entre 3 y 13 correspondientes a los comprendidos entre O y H.

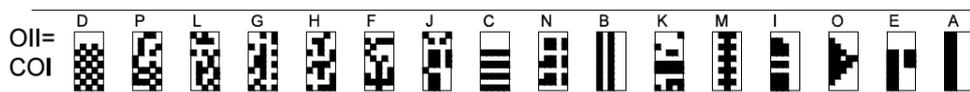


Figura 5.10: Ordenación de patrones según COI, Indicador de la Conectividad Urbana.

El indicador de la conectividad o COI y el indicador de la compacidad, OII o CO, coinciden en orden en este caso, debido a que la mala d la que se parte tiene la misma (P,S,O), tres parámetros utilizados en estas fórmulas. No obstante, la relación que establecen entre la longitud de los contornos y la superficie envolvente.

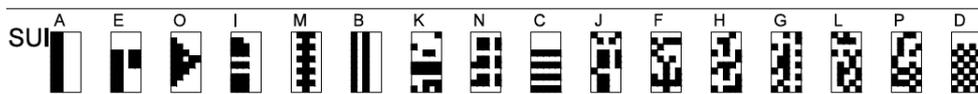


Figura 5.11: Ordenación de patrones según SUI, Shape Urban Index.

El índice de la forma urbana (SUI) establece la relación entre la raíz cuadrada de la superficie total y contorno con el perímetro y ocupación. El resultado es un rango que oscila entre el más pequeño, de 14 para el patrón (A) y de 25, el mayor, para el patrón (D). En este indicador el que el menor identifica a formas más compactas y el mayor a formas más dispersas en el territorio [McLaren, 1992], .

Resultado de los índices externos adaptados

Los siguientes resultados corresponden a los índices tomados de otros autores pero adaptados a las figuras con las que se está trabajando.

PATRÓN	SHAPE	FRACTAL	LSI	SHDI	LSI-2	N	b
A	1,51	2,12	84,9	95,34	134,16	0,78	16,22
B	2,78	2,53	155,6	113,53	245,97	1,18	10,72
C	3,03	2,58	169,7	116,14	268,33	1,26	10,04
D	5,05	2,93	282,8	131,46	447,21	1,9	6,66
E	1,77	2,22	99,0	99,97	156,52	0,86	14,71
F	3,41	2,66	190,9	119,67	301,87	1,38	9,17
G	3,91	2,76	219,2	123,81	346,59	1,54	8,21
H	3,53	2,69	198,0	120,76	313,05	1,42	8,91
I	2,02	2,31	113,1	103,97	178,89	0,94	13,46
J	3,03	2,58	169,7	116,14	268,33	1,26	10,04
K	2,78	2,53	155,6	113,53	245,97	1,18	10,72
L	3,91	2,76	219,2	123,81	346,59	1,54	8,21
M	2,65	2,50	148,5	112,13	234,79	1,14	11,10
N	2,90	2,56	162,6	114,86	257,15	1,22	10,37
O	1,89	2,27	106,1	102,04	167,71	0,9	14,05
P	4,04	2,78	226,3	124,77	357,77	1,58	8,01
Promedio	3,01	2,55	168,82	114,49	266,93	1,26	10,66

Cuadro 5.5: Resultados de los indicadores adaptados de otros autores

DS y UDS es 40 % para todos los patrones ya que el perímetro total, la superficie total, la superficie ocupada es la misma para todos.

PLAND y GSI es 40 % para todos los patrones ya que el perímetro total, la superficie total, la superficie ocupada es la misma para todos.

TARA es 60 % para todos los patrones ya que la superficie ocupada y la superficie total es la misma [Berghauser Pont and Haupt, 2010].

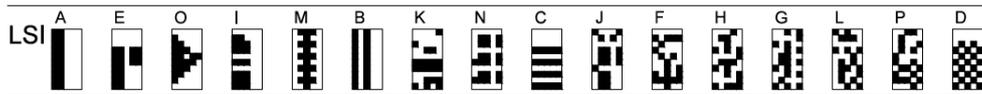


Figura 5.12: Ordenación de patrones según LSI, SHDI, SHAPE, FRACTAL, N, todos coinciden en el orden de figura

El Landscape Shape Index (LSI), o índice de la forma del paisaje, ha sido tomado de métricas de la gran escala [McGarigal and Marks, 1995] para adaptarlo en el ámbito urbano. En este modelo se ha relacionado la longitud del contorno construido con la raíz cuadrada de la superficie total del ámbito de la ciudad. El resultado muestra un orden que evidencia formas más compactas ante una mayor dispersión urbana. La optimización de la forma compacta es un objetivo clave para conseguir una mayor sostenibilidad. Al conseguir una compacidad hay que establecer un equilibrio con el paisaje y los recursos donde se inserta, Para este índice se considera que un buen margen de LSI es entre la M (148,5) y H (198).

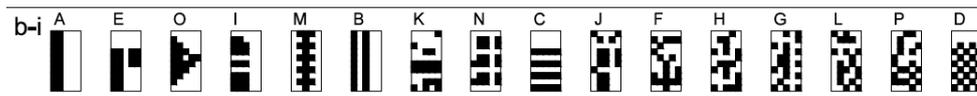


Figura 5.13: Ordenación de los patrones según el Inverso de b , coincidiendo, con los anteriores.

Es la relación entre la Tara urbana y la densidad de red. Invirtiendo el resultado coincide con las anteriores en cuanto al orden de forma se refiere [Pont and Haupt, 2007].

5.1.4. Conclusiones

Se han elaborado dieciséis patrones que son formas sintéticas que representan ciudades, sin una escala definida. Se han contabilizado los parámetros y se ha hecho una comparativa de los distintos patrones tras ser ordenados según los resultados. A los patrones se han aplicado los indicadores de relación propios e indicadores de otros autores.

Los resultados han validado el modelo. Estos muestran como una secuencia más óptima en términos de sostenibilidad SUI, es la ordenada como en la figura de SUI, para esta secuencia de patrones. Los indicadores LSI, PLAND, GSI, Network Density, coinciden con el resultado de nuestros indicadores.

Los modelos basados en autómatas celulares para el estudio del crecimiento y comportamiento de las ciudades han sido desarrollados por numerosos autores. Son válidos para sintetizar la transformación del uso del suelo en el territorio frente a los cambios en el tiempo [Batty and Xie, 1994]. Este modelo es aplicable al estudio de la sostenibilidad de los modelos dinámicos.

5.1.5. Matriz de sostenibilidad del experimento uno

En la siguiente matriz tridimensional, se muestran los patrones de ciudades abstractas, ubicados según la metodología paramétrica. En la matriz se puede observar cómo la densidad es una constante y el resto de variables sitúan a los patrones en el espacio hiperdimensional.

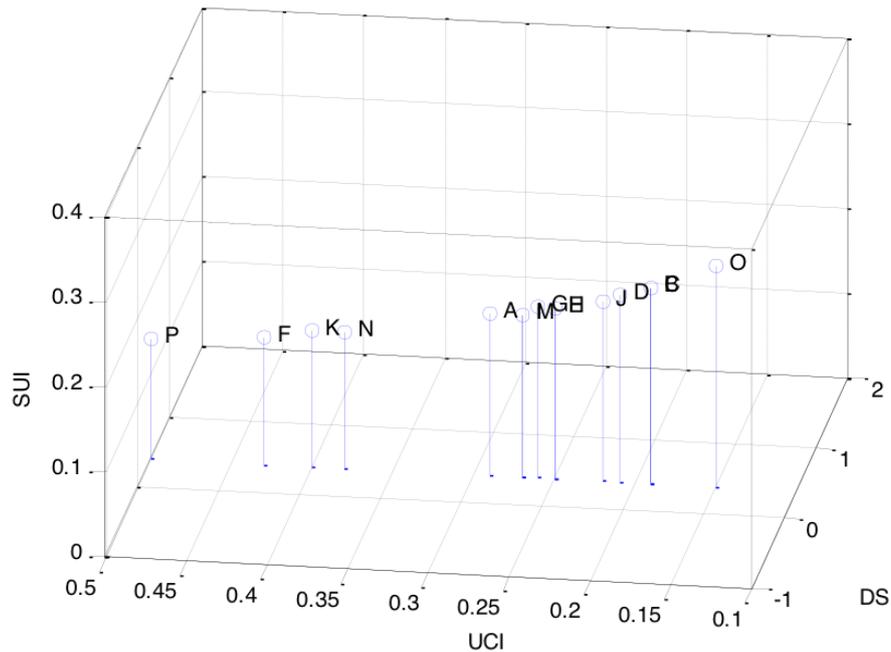


Figura 5.14: Matriz de sostenibilidad del experimento 1

5.2. Experimento 2. Estudio de urbanizaciones turísticas de Canarias

En este experimento se desarrolla la metodología paramétrica con ciudades reales. Se introduce la tecnología referente al reconocimiento de patrones para automatizar el complejo proceso de análisis y optimizar tanto resultados como el tiempo empleado.

Estudio de urbanizaciones turísticas de Canarias Tomando como base el periodo entre 1970 y 1999 se determina un significativo aumento del calentamiento global [NOAA, 2009]. En la isla de Tenerife es casi de una décima de grado por década, desde 1944 hasta la actualidad, con un incremento de hasta 0,17 °C por década desde 1970.

Controlar el progresivo aumento de temperaturas y consecuente cambio climático, es uno de los más importantes retos a los que se enfrenta actualmente

la humanidad. Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) generados por las actividades del hombre provocan el calentamiento global. Serán las naciones más pobres las que sufrirán sus efectos de forma más directa, en un futuro próximo.

Las islas Canarias tienen una responsabilidad importante ante el problema de la contaminación y estilo de vida sostenible. Por un lado, las islas Canarias son vulnerables a sufrir las graves consecuencias sobre su recurso natural más valioso, el paisaje, la biodiversidad, y su actividad económica principal, el turismo, que están amenazados. Por otro lado, el conocimiento acumulado, en las islas, y la capacidad de desarrollar técnicas y tecnologías que busquen un resultado de mayor sostenibilidad medioambiental, económica y social, llama a tener un mayor compromiso con los problemas creados.

Como nota para este tema, se puede destacar que las islas Canarias tienen una gran dependencia de las energías fósiles. Actualmente un 6% de la demanda energética de Canarias se ha cubierto con energías renovables. El Plan Canarias, aprobado por Consejo de Ministros del 9 de octubre de 2009, establece dos objetivos sectoriales principales:

- Potenciar fuentes energéticas autóctonas para que las energías renovables aporten en 2015, el 30% de la generación eléctrica, plazo y objetivo ya vencido.
- Reducir el grado de dependencia energética de Canarias un mínimo de cinco puntos para el año 2005.

Por otro lado, el Plan Energético 2015-2020, del ministerio de energía y turismo, prevé conseguir un 36% de energías renovables para Canarias en 2020 [Ministerio de Energía y Turismo, 2014].

En adicción, dentro de la Estrategia Canaria contra el cambio Climático, una de las líneas prioritarias de investigación, extraído del Plan Nacional de I+D+I, establece entre otros puntos:

- El desarrollo de Sistemas de indicadores sobre la relación Cambio Climático-turismo para su medición, detección y seguimiento.
- Investigación sobre la relación entre planificación turística y los recursos sensibles al Cambio Climático (agua, aire, microclima, biodiversidad, espacios naturales protegidos, paisaje, litoral) [Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible, 2009, página 88].

La forma urbana es un condicionante que hace que las ciudades sean más o menos sostenibles. La forma urbana está directamente relacionada con la densidad de ocupación del territorio, con la densidad de edificación, con la densidad de infraestructuras de transporte y comunicación, con la forma de ocupar el paisaje, con el consumo de recursos hidrológicos, energéticos, con la gestión de los residuos, con el mantenimiento de las infraestructuras, con el desplazamiento de los usuarios, y la forma de estos relacionarse con el resto de la urbanización o el medio, con la contaminación lumínica, con la biodiversidad que desplaza, con el nuevo sistema ecológico que genera.

El territorio canario ha tenido su mayor crecimiento urbano durante los últimos cincuenta años pasando de una población prácticamente rural, a una población concentrada en ciudades y periferia, en tan solo dos generaciones. Este crecimiento ha sido impulsado principalmente por el auge del trabajo en el sector de la construcción y el turístico. Muchas de estas urbanizaciones, las dedicadas al turismo, se han construido en periodos de quince a veinte años y con un fuerte impulso económico pero no siempre con una planificación favorable al medio ambiente, tampoco sostenible económicamente.

En este trabajo se ha hecho un análisis de la forma urbana de veinte de las principales urbanizaciones turísticas de Canarias. Se han cuantificado parámetros que las definen para ser comparadas objetivamente. Se han evaluado y clasificado en términos de sostenibilidad.

5.2.1. Metodología

Se han elegido veinte urbanizaciones turísticas de Canarias, de las que se han definido los patrones de la forma urbana.

Para ello se han tomado los datos de tres formas distintas. Una primera forma manual, en la que utilizando una herramienta CAD, se han medido los parámetros sobre los mapas de las urbanizaciones.

Una segunda forma automática, en la que se han medido los mapas turísticos obtenidos de la IDE Canarias, para lo cual se ha configurado un código.

Una tercera forma automática en la que se ha configurado un código para detectar automáticamente los parámetros necesarios a partir de mapas extraídos de la plataforma libre Open Street Maps (OSM). De esta forma se han identificado los parámetros relativos a:

- Superficie Bruta
- Superficie ocupada
- Superficie de vacíos urbanos

- Superficie de verdes diferenciando entre grandes verdes (campos de golf) y verdes urbanos.
- Superficie construida
- Perímetro de la urbanización
- Perímetro de lo construido
- Longitud de calles, diferenciando entre carreteras primarias (autovías y autopistas), carreteras secundarias y calles terciarias.

Con estos parámetros se han calculado los siguientes indicadores:

- Índice de ocupación del suelo (GSI)
- Índice del verde urbano (GUI)
- Índice de optimización de la forma (OFI)
- Índice de conectividad (COI)
- Índice de densidad de red (N)

De estos indicadores se han obtenido una serie indicadores que los sintetizan:

- Índice de utilización del verde (FGU)
- Índice de sostenibilidad (SUI)
- Índice de optimización de red (GSN)
- Índice de densidad de ocupación urbana (DS)
- Índice de verde urbano (GU)
- Índice de conectividad (COI)
- Índice de densidad de red (N)

Estos indicadores formarán la matriz de sostenibilidad donde se ubicará cada urbanización según su clasificación.

5.2.2. Desarrollo

Método manual

Para una primera aproximación se ha utilizado una imagen obtenida del Google Maps. Esta imagen se ha generado de forma manual para medirla mediante una herramienta CAD. Este es el procedimiento tradicional utilizado para digitalizar los metadatos de un Sistema de Información Geográfico (SIG), identificando polígonos y atributos de cada elemento.

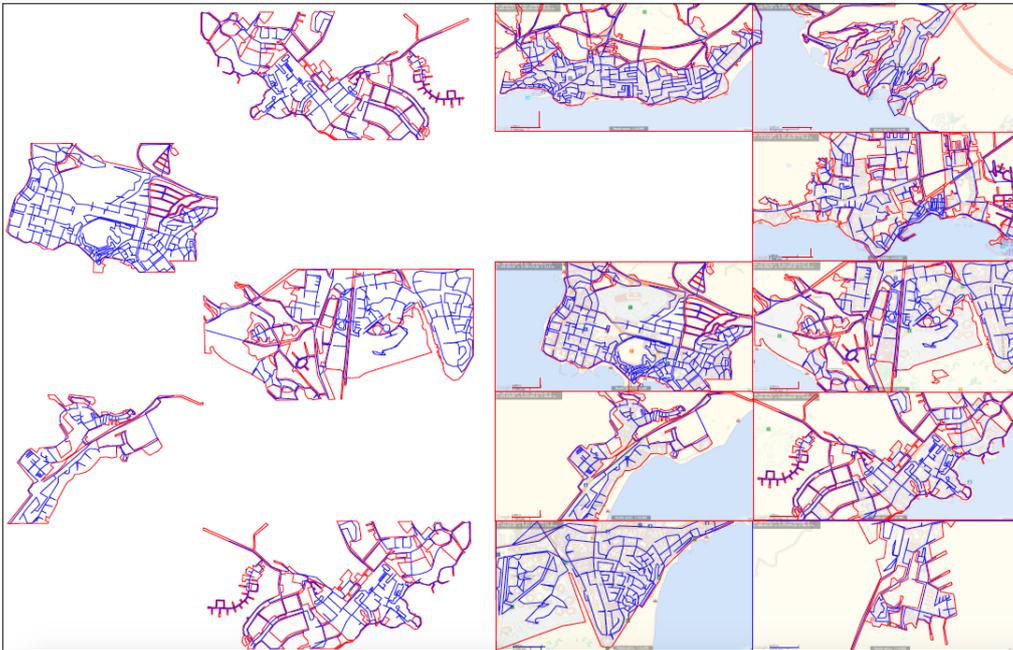


Figura 5.15: Mapas de urbanizaciones turísticas de Canarias calcadas para ser medidas en herramienta CAD.

Método automático

Se genera un algoritmo que extraiga los parámetros en cada una de las urbanizaciones utilizadas.

Se ha hecho primero con las imágenes obtenidas del Google Maps. Estas no han dado un buen resultado debido a la poca definición de las calles terciarias y debido a que las parcelas no tiene información de la superficie ocupada por la edificación. Por tanto se ha elegido otro tipo de imágenes sacadas del callejero turístico del IDECAN [IDE Canarias, 2014]. Estas imágenes tiene mayor detalle de las edificaciones, sin embargo hay que hacer un zoom mayor que acorta el ámbito de urbanización a estudiar.

Las calles siguen teniendo tres rangos distintos, los verdes son diferenciados entre grandes verdes si son campos de golf y pequeños verdes, los insertos en la

urbanización. Son considerados los grandes vacíos urbanos cuando éstos suman una superficie constante mayor al 20 % de la urbanización y corresponden a aquellos planes parciales de suelo urbanizable programado (SUP) o urbano no consolidado por la urbanización que serán eliminados de la ocupación bruta para obtener resultados más precisos.

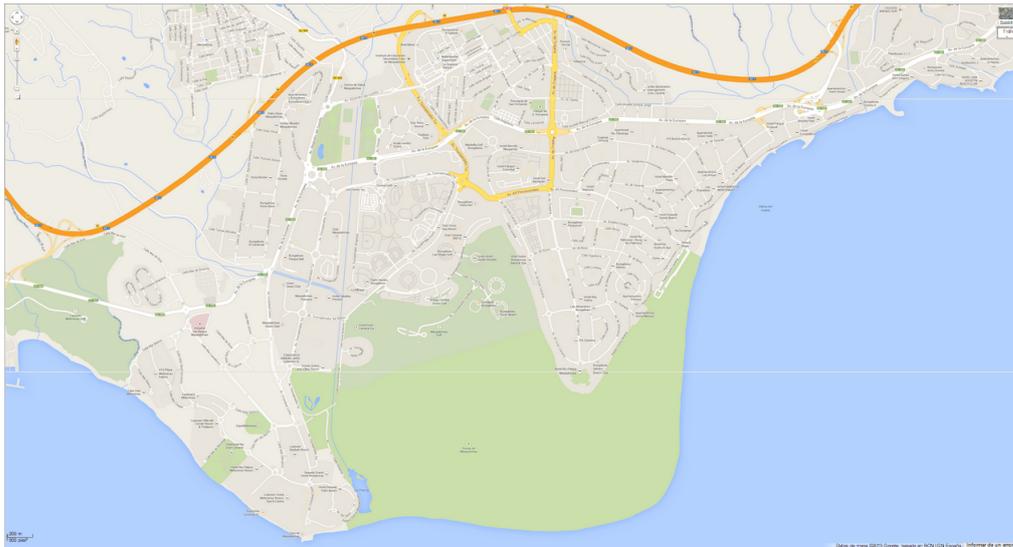


Figura 5.16: Mapa de Playa del Inglés, Meloneras y Maspalomas, extraído del Google Maps.



Figura 5.17: Selección en blanco y negro de la superficie neta, los grandes verdes urbanos (Golf de Maspalomas), y calles primarias y secundarias.



Figura 5.18: Superficie neta o de parcelas para obtener el perímetros.

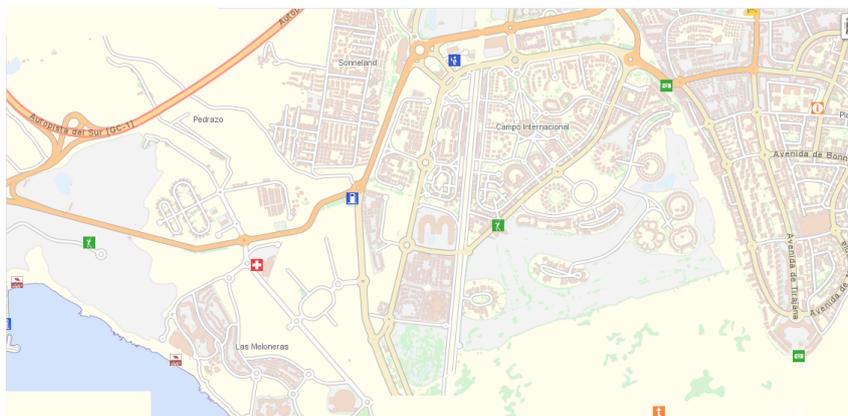


Figura 5.19: Imagen de Maspalomas, obtenida del callejero turístico del IDE-CAN.



Figura 5.20: BW imagen, en la que están seleccionados las carreteras, los verdes urbanos y los vacíos urbanos que serán clasificados por tamaño.

5.2.3. Resultados

A continuación, se detallan los parámetros obtenidos de forma manual, en metros. En la columna vertical izquierda las urbanizaciones turísticas medidas y en la fila superior el parámetro de cada urbanización. La última columna corresponde al tiempo empleado en segundos para la medición.

Método manual Zona turística	Perímetro (P, m.)	Área ocupada (O, m².)	Longitud calles (CL, m.)	Área construida (CO, m².)	Tiempo (t, seg.)
Maspalomas	83.779	6.058.608	86.727	1.273.484	7.120
Corralejo	30.610	1.103.863	27.957	264.947	5.400
Costa Calma	26.001	1.021.357	46.222	409.940	5.345
Costa Teguisse	55.708	2.829.390	67.388	730.639	5.698
Los Cristinos	59.984	3.610.012	76.679	769.900	7.640
Playa Blanca	63.088	2.389.184	50.943	466.104	5.820
Playa Del Inglés	65.922	3.811.536	67.218	582.005	6.580
Puerto del Carmen	52.072	3.452.064	100.322	964.545	6.360
Puerto Rico	35.856	2.135.601	52.523	719.527	4.320

Cuadro 5.6: Datos de los parámetros obtenidos de forma manual.

En la siguiente tabla se detallan los parámetros obtenidos de forma automática mediante el procesado de la imagen. La primera columna corresponde a la urbanización turística, la primera fila es el nombre del parámetro medido en metros y la última columna es el tiempo empleado en la medición en segundos.

Método automático Zona turística	Perímetro (P, m.)	Área ocupada (O, m².)	Longitud calles (CL, m.)	Área construida (CO, m².)	Tiempo (t, seg.)
Maspalomas	64.445	5.361.600	82.597	1.201.400	138
Corralejo	23.546	976.870	26.626	249.950	133
Costa Calma	24.763	880.480	43.206	457.670	134
Costa Teguisse	53.055	2.549.000	62.979	682.840	136
Los Cristinos	56.060	2.911.300	63.899	615.920	128
Playa Blanca	58.415	2.133.200	48.517	375.890	128
Playa del Inglés	53.595	3.529.200	46.357	554.290	126
Puerto del Carmen	47.338	3.082.200	81.563	853.580	132
Puerto Rico	34.149	1.825.300	42.357	614.980	129

Cuadro 5.7: Datos de los parámetros obtenidos de forma automática.

5.2.4. Análisis de las diferencias métricas entre el método manual y el automático

Tal y como se puede observar en la siguiente tabla, las mayores diferencias son las correspondientes a la medida del perímetro. La explicación de esto es que, medido de forma manual, el perímetro esto tomado con una geometría de mayores rectas, de forma automática, el perímetro mide cada extremo de la superficie encerrada, ya sean los bordes de carreteras incluidas, las curvas, el perímetro de los pequeños polígonos adyacentes, etc.

Zona turística	Dif. P (%)	Dif. S (%)	Dif. Cl (%)	Dif. Co (%)	Dif. t (horas)
Maspalomas	30 %	13 %	5 %	6 %	2,0 (horas)
Corralejo	30 %	13 %	5 %	6 %	1,5 (horas)
Costa Calma	5 %	16 %	7 %	-10 %	1,5 (horas)
Costa Teguisse	5 %	11 %	7 %	7 %	1,6 (horas)
Los Cristinos	7 %	24 %	20 %	25 %	2,1 (horas)
Playa Blanca	8 %	12 %	5 %	24 %	1,6 (horas)
Playa del Inglés	23 %	8 %	45 %	5 %	1,8 (horas)
Puerto del Carmen	10 %	12 %	23 %	13 %	1,2 (horas)
Puerto Rico	5 %	17 %	24 %	17 %	1,2 (horas)
Promedio	14 %	14 %	16 %	10 %	161 (horas)

Cuadro 5.8: Resultado de éxito, diferencia entre medirlo de forma manual y automática

También se puede observar que, de forma discordante, existe una diferencia en el cálculo de la superficie de Casta Calma, Playa Blanca, y Corralejo. Esto es debido a que en este caso no se han restado todos los vacíos urbanos de forma manual. La detección de éstos es necesario automatizarlo ya que hay que medir cada uno de ellos y calcular el paso relativo para restar los correspondientes al 20 % de la superficie.

5.2.5. Diferencias en tiempo empleado entre el método manual y el método automático.

El tiempo empleado en la metodología manual es de aproximadamente 2 horas por cada mapa de urbanización, mientras que el tiempo medio que tarda el método automático es de dos minutos. En la siguiente tabla, se especifica la diferencia entre ambos métodos, donde la columna de la derecha es la cifra de tiempo (T) por la que habría que multiplicar el tiempo empleado por el método automático para tardar igual que el método manual. También se puede ver al revés, por ejemplo Maspalomas es 52 veces más rápido de forma automática que de forma manual. De esta tabla se puede entender que existe una cierta complejidad geométrica, en aquellas urbanizaciones que tardan más tiempo en ser medidas. Se comprueba que coincide el orden por urbanización en las que existe una mayor diferencia de tiempo, con el orden de porcentaje de diferencia del perímetro. Esto explica que Mas palomas tiene un 30 % de diferencia en la medida del perímetro, mientras su diferencia de tiempo es de las mayores con 51,59 veces de más rápido del método automático frente al método manual.

Es evidente que con la utilización de un SIG *Geografic Information System*, se puede alcanzar una velocidad de medición más cercana al método automático, sin embargo habría que hacer un trabajo previo de edición de los metadatos que habría que sumar a ese tiempo. Con la utilización de un SIG además, se está condicionado al uso de herramientas que no son de fácil acceso y que requieren de cierta experiencia y conocimiento técnico para adaptar la herramienta a los estudios deseados.

5.3. Experimento 3. Estudio de las urbanizaciones turísticas de Canarias

En este tercer experimento se tomarán también imágenes de urbanizaciones turísticas de canarias mejorando la automatización. Para ello se han tomado imágenes del Open Street Maps (OSM), debido a que el mapa general ofrece información más detallada de los parámetros que se quieren medir.

5.3.1. Descripción

El ámbito de estudio se ha reducido para tener un mayor detalle de la urbanización hasta una resolución de 2,11 metros por píxel.

En el caso de Los Cristianos el área de construcción y el área de verde urbano son aproximadamente de 0,5 kilómetros cuadrados cada una.

5.3.2. Desarrollo

El procedimiento a seguir coincide con la parte automática del experimento 1.

Primero se crea la base de datos con mapas de las ciudades. En este caso se han tomado las imágenes del OSM, mapa estándar en una resolución de 2560×1440 píxeles. Estas imágenes se han cortado de forma automática para seleccionar el ámbito de estudio.

Se ha automatizado la lectura de la escala y el cálculo para homogeneizar los mapas. El código de lectura de la escala, ayuda prevenir diferencias en la presentación de los mapas por parte del servicio web.

Con la base de datos preparada se aplica el algoritmo que detecta y cuantifica los parámetros de cada ciudad, mediante el procesado de imágenes.

Los resultados de los parámetros se detallan a continuación:

Zona	P (km)	S (km ²)	LC (km)	O (km ²)	VU (km ²)	metros píxel	AC (km ²)	GU (km ²)
Alcala Fonsalia	11,95	0,72	12,55	0,11	0,61	2,08	0,29	0,41
Corralejo	14,18	2,85	47,05	1,04	1,81	2,11	0,33	0,06
Costa Adeje	15,99	4,83	64,45	1,81	3,02	2,11	0,49	0,45
Costa Calma	13,91	2,59	32,41	1,41	1,17	2,11	0,58	0,06
Costa Teguiise	23,11	2,88	34,27	0,63	2,24	2,11	0,39	0,02
Las Galletas	16,30	2,60	42,27	0,85	1,75	2,08	0,20	0,16
Los Abrigos	25,59	2,16	34,10	0,83	1,34	2,11	0,26	0,12
Los Cristianos	15,01	5,40	61,48	1,47	3,94	2,11	0,36	0,27
Meloneras - Maspalomas	21,14	3,58	42,59	0,91	2,67	2,11	0,15	0,18
Mogán - Taurito	13,75	0,67	15,72	0,09	0,58	2,11	0,18	0,05
Morrojable	21,36	0,77	15,22	0,09	0,68	2,08	0,33	0,30
Playa Blanca	24,72	6,93	65,44	1,58	5,35	2,11	0,25	0,24
Playa de las Américas	25,03	3,63	54,75	1,15	2,48	2,11	0,11	0,14
Playa del Inglés	15,83	4,49	59,01	1,56	2,93	2,11	0,13	0,11
Playa Paraíso	24,67	2,36	37,01	0,76	1,60	2,08	0,18	0,02
Playa San Juan	26,82	1,29	26,22	0,21	1,08	2,11	0,19	0,11
Puerto del Carmen	27,15	2,50	47,12	0,34	2,15	2,11	0,04	0,01
Puerto Rico	8,20	0,31	9,63	0,03	0,28	2,11	0,09	0,06
Puerto Santiago	24,85	1,90	33,32	0,61	1,29	2,11	0,06	0,12
San Agustín	23,35	1,24	26,98	0,21	1,03	2,11	0,02	0,00
Promedio	20	3	38	1	1,90	2,10	0,23	0,15

Cuadro 5.9: Datos de los parámetros de las veinte urbanizaciones turísticas de Canarias.

Los parámetros medidos son contrastables en el Anexo B (imágenes de las urbanizaciones turísticas de Canarias). La metodología empleada se ha descrito y explica, paso a paso, los criterios bajos los que se codificó la herramienta fabricada para calcular estos patrones. Los resultados son muy satisfactorios, por un lado, las imágenes obtenidas ofrecen una definición de información muy similar para cada una de las distintas urbanizaciones, por otro lado, se logra definir perímetros de trabajo de mayor precisión al incluir información de invernaderos, playas, y diferencias entre los distintos verdes urbanos y vacíos urbanos.

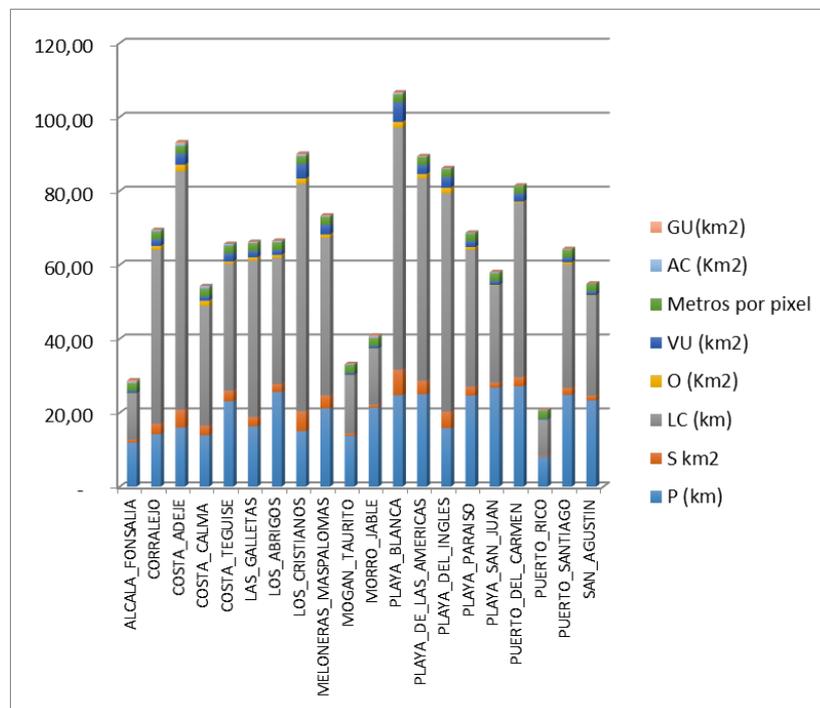


Figura 5.21: Parámetros de urbanizaciones turísticas de Canarias

5.3.3. Resultados

Con los parámetros obtenidos se calculan los indicadores, los cuales definen la sostenibilidad de la forma urbana de la ciudad.

En el siguiente cuadro se presentan los datos relativos a los indicadores estudiados de otros autores, adaptados a la escala de este experimento.

Zona	SHAPE	FRACTAL	LSI	SHDI	DS= PLAND =GSI	LSI-2	N	T	b
Alcala Fonsalia	1,02	6,15	351,2	29,64	44 %	948,46	25,60	45 %	5 %
Corralejo	3,52	7,03	210,0	37,60	70 %	1.153,03	19,01	52 %	9 %
Costa Adeje	4,55	7,68	181,9	44,31	86 %	1.197,54	15,00	52 %	12 %
Costa Calma	2,45	6,93	216,3	36,62	113 %	682,14	15,23	23 %	14 %
Costa Teguiuse	2,01	9,86	340,6	72,56	61 %	1.077,75	15,93	64 %	10 %
Las Galletas	2,95	7,79	252,8	45,48	53 %	1.145,40	19,41	59 %	8 %
Los Abrigos	1,90	10,51	434,9	82,97	65 %	936,88	21,67	50 %	7 %
Los Cristianos	4,48	7,34	161,4	40,66	63 %	1.268,36	12,76	66 %	12 %
Melonerías - Maspalomas	2,61	9,31	279,2	64,51	41 %	1.114,31	14,83	70 %	9 %
Mogán - Taurito	1,20	6,87	419,5	36,05	32 %	1.285,61	33,65	59 %	3 %
Morrojable	0,93	9,37	608,5	65,41	45 %	1.298,32	33,62	45 %	4 %
Playa Blanca	3,71	10,29	234,8	79,30	48 %	1.299,58	11,23	74 %	12 %
Playa de las Américas	3,09	10,37	328,2	80,58	43 %	1.274,69	18,51	65 %	7 %
Playa del Inglés	4,18	7,63	186,8	43,70	48 %	1.183,01	14,92	62 %	9 %
Playa Paraíso	2,10	10,28	401,2	79,10	50 %	1.059,88	20,87	60 %	7 %
Playa San Juan	1,43	10,82	589,3	88,20	35 %	1.417,35	30,62	69 %	4 %
Puerto del Carmen	2,55	10,90	429,6	89,64	18 %	2.012,18	24,31	85 %	3 %
Puerto Rico	0,95	4,43	367,1	17,24	18 %	1.418,43	44,06	63 %	2 %
Puerto Santiago	1,89	10,32	450,3	79,83	38 %	1.066,84	24,04	65 %	5 %
San Agustín	1,58	9,93	523,7	73,57	19 %	1.456,14	31,11	81 %	3 %
Promedio	2,46	8,69	348,36	59,35	49 %	1.214,79	22,32	61 %	7 %

Cuadro 5.10: Indicadores estudiados de otros autores, adaptados a la escala de este experimento

La fórmula de fractal ha sido adaptada de:

$$FRAC = \frac{2 \cdot \ln P_{ik}}{\ln 100 * P_{ik}} \quad [\text{McGarigal and Marks, 1995}] \quad (5.1)$$

La fórmula SHAPE se ha transformado a la fórmula Índice de Sostenibilidad Urbana (SUI) para adaptarla a ámbitos de escala urbana. Está compuesta por la raíz cuadrada del cociente entre OFI y COI. El Índice de Forma Urbana (OFI) establece una relación entre la superficie y la longitud del perímetro, ésta será 1 si es una circunferencia y será mayor de 4 para patrones muy alargados y por tanto con una forma urbana poco optimizada en infraestructuras. El Indicador de Conectividad Urbana (COI) establece la relación entre la ocupación y la longitud de calles, será menor cuanto más optimizada esté la red de infraestructuras.

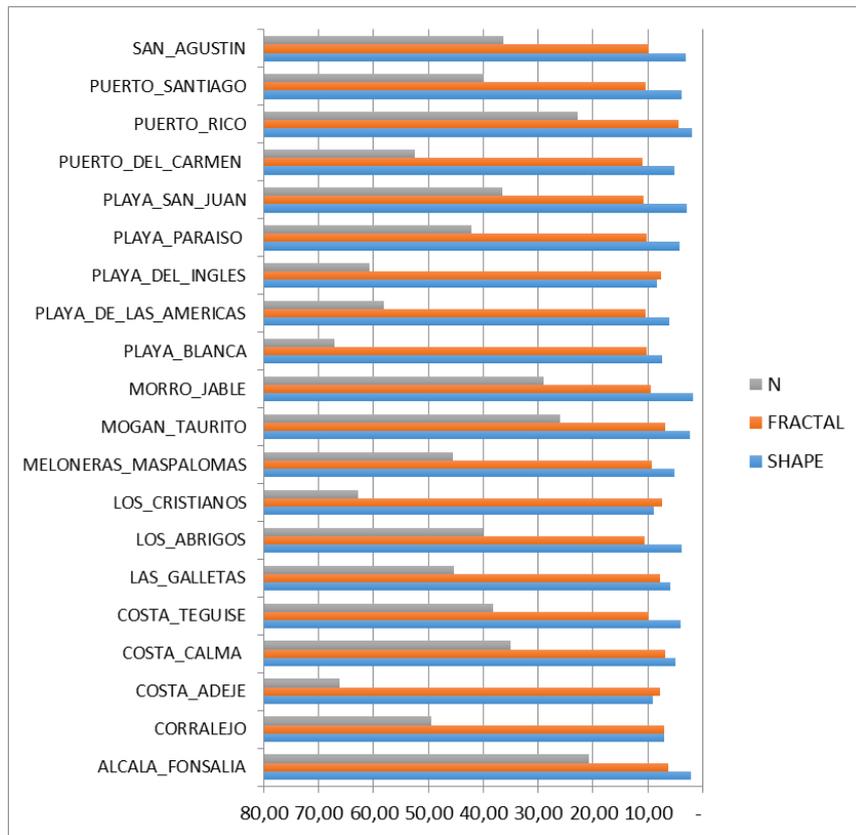


Figura 5.22: Gráfica de densidad de red forma y fractal de las urbanizaciones de Canarias.

Zona	GSI	OII	OFI	COI	UDS	UCI	SUI	GUI
Alcala Fonsalia	1,51	0,95	4,44	0,11	109,26	0,14	6,37	37,87
Corralejo	3,65	0,30	2,66	1,04	13,62	0,11	1,60	0,61
Costa Adeje	3,75	0,25	2,30	1,81	8,83	0,09	1,13	2,47
Costa Calma	5,46	0,43	2,74	1,41	9,86	0,23	1,39	0,41
Costa Teguiise	2,20	0,67	4,31	0,63	36,57	0,15	2,61	0,27
Las Galletas	3,28	0,39	3,20	0,85	19,14	0,13	1,94	1,85
Los Abrigos	3,83	0,75	5,50	0,83	30,91	0,29	2,58	1,48
Los Cristianos	2,72	0,24	2,04	1,47	10,22	0,07	1,18	1,83
Meloneras - Maspalomas	2,55	0,50	3,53	0,91	23,16	0,13	1,97	2,02
Mogán - Taurito	1,39	0,87	5,31	0,09	147,16	0,12	7,54	5,04
Morrojable	1,12	1,40	7,70	0,09	248,64	0,16	9,46	35,09
Playa Blanca	2,29	0,38	2,97	1,58	15,60	0,09	1,37	1,54
Playa de las Américas	3,17	0,46	4,15	1,15	21,70	0,15	1,90	1,23
Playa del Inglés	3,47	0,27	2,36	1,56	10,18	0,09	1,23	0,70
Playa Paraíso	3,22	0,67	5,07	0,76	32,38	0,21	2,58	0,28
Playa San Juan	1,65	1,02	7,45	0,21	125,37	0,17	5,90	5,10
Puerto del Carmen	1,37	0,58	5,43	0,34	79,21	0,08	3,98	0,44
Puerto Rico	0,92	0,85	4,64	0,03	284,40	0,08	12,69	22,32
Puerto Santiago	3,20	0,75	5,70	0,61	40,75	0,24	3,06	2,04
San Agustín	1,73	0,87	6,62	0,21	108,82	0,15	5,56	0,01
Promedio	2,62	0,63	4,41	0,79	68,79	0,14	3,80	6,13

Cuadro 5.11: Tabla de matriz de sostenibilidad

Destaca la OFI de Morrojable, Playa de San Juan y San Agustín. Este índice mide la relación entre la superficie y el perímetro, Cuanto mayor es el índice, la forma tiende a ser más alargada y por tanto es menos sostenible en términos de optimización de infraestructuras. El GSI es mucho mayor en Puerto Rico, en Tauro y en Morrojable, esto significa que la densidad de ocupación es alta, con

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

tendencia a 1, en estas urbanizaciones. El GUI indica la densidad del verde urbano, En este sentido cabe destacar Alcalá y Fonsalía que a pesar de no ser un verde diseñado para el suelo urbano, el área rural en el que se inserta tiene el potencial de serlo y convertirse así en el referente de esta urbanización. Morrojable está en la misma tesitura, la estructura alargada es y muy negativa para el índice de conectividad e infraestructuras, además cuenta con una alta densidad de ocupación del espacio urbano. En este caso la urbanización se ha concentrado a lo largo de la costa tal y como pasa con San Agustín y se puede apreciar en su alto Índice de forma Urbana (SUI). Morrojable tiene el potencial en el espacio verde lineal que conecte el conjunto en procurar cambiar el modelo de crecimiento lineal a uno que tienda a la cohesión.

5.3.4. Matriz de sostenibilidad de las urbanizaciones turísticas de Canarias

En la figura 5.25 y 5.26, están representadas las urbanizaciones turísticas de Canarias, según los indicadores de sostenibilidad representados. Los resultados describen los patrones de forma y sostenibilidad de estas urbanizaciones.

En el resultado destaca Puerto Rico, Morrojable, Alcalá y Fonsalía y Costa Calma, puesto que se salen de la media del resto de urbanizaciones. Fonsalía destaca debido a estar inserto en un medio rural, cosa que compensa el GUI del sistema y la beneficia, sin embargo todas ellas tienen una forma urbana que tiende a la dispersión. En el caso de Costa Calma, destaca la tendencia a la baja densidad, cosa que es contraria al objetivo de planificar urbanizaciones sostenibles.

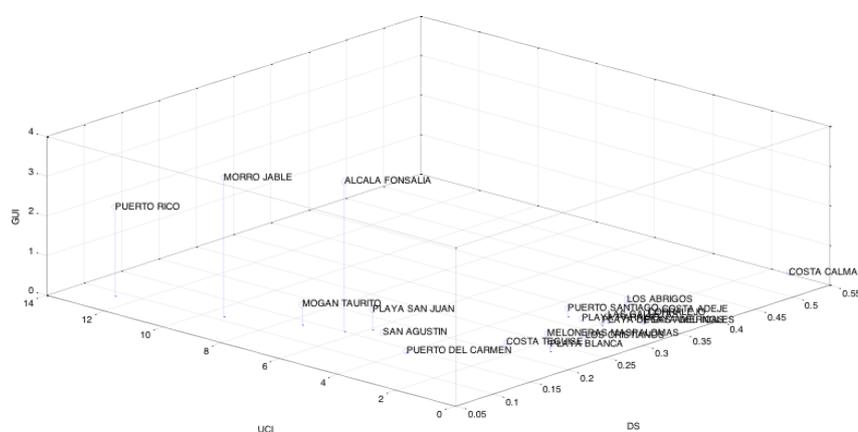


Figura 5.23: Matriz de sostenibilidad de GUI, GSI y SUI de las urbanizaciones de Canarias.

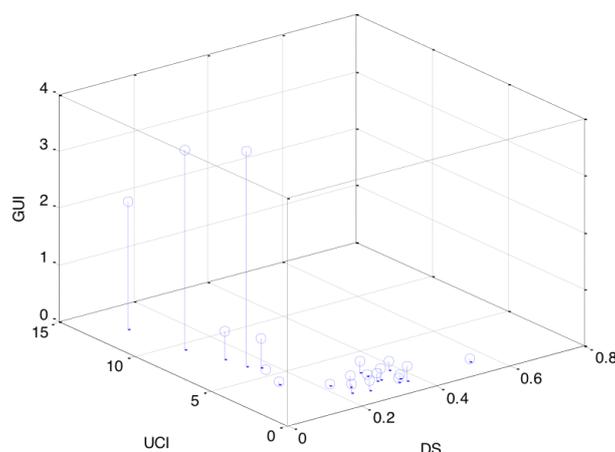


Figura 5.24: Matriz de sostenibilidad de GUI, GSI y SUI de las urbanizaciones de Canarias.

5.4. Experimento 4. Estudio de ciudades globales

Una vez puesta a prueba los parámetros para el ámbito de la escala local con el estudio de las urbanizaciones de Canarias, se comprobará en este apartado la validez de la metodología de parametrización y detección para una escala territorial de ciudades globales.

A nivel global existen anualmente rankings de ciudades en los que se comparan distintos parámetros de las ciudades. Habitualmente se utilizan valores demográficos, valores económicos, valores sociales y estadísticas varias para clasificar las ciudades en rankings.

*Cities in Motion*¹¹, Ciudades en Movimiento es una plataforma de investigación promovida por el Centro para la Globalización y Estrategia (CGS) y el departamento de estrategia de el IESE Business School. Anualmente publican un ranking de las ciudades inteligentes a escala global. Las métricas incluyen la innovación en la gobernanza, y un nuevo modelo urbano para el siglo veintiuno basado en cuatro factores principales: un ecosistema sostenible, innovación en actividades, igualdad entre los ciudadanos y un territorio bien comunicado [IESE, 2015].

En el presente apartado se ha hecho un estudio de las 147 ciudades que componen el ranking de *Cities in Motion, 2015*. En este estudio de ciudades se incluyen métricas que jamás se han utilizado, para estas escalas, en un número tan amplio de ciudades a la vez. Se han utilizado métricas de escala territorial que miden en píxeles de 50 metros por 50 metros el uso del suelo

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

[McGarigal and Marks, 1995]; [Riitters et al., 2000]; [Li and Reynolds, 1993]. Se han utilizado también métricas de escala de la manzana, y se han validado [Berghauser Pont and Haupt, 2010] nuevas fórmulas para la clasificación de los patrones de ciudades.

El estudio de la forma urbana ha estado siempre presente para debatir sobre la sostenibilidad del modelo de ciudad. La forma engloba estrategias de morfología con estrategias de infraestructuras que ordenan el espacio construido.

Para Haugton, la ciudad sostenible tiene tres alternativas. Una primera que es un gran centro concentrado con anillos circulares; una segunda que es desconcentrada pero compuesta por varios centros concentrados y compactos y unidos por una red de transporte público; una tercera que es dispersa e interconectada, pero cada núcleo es autosuficiente (modelo de villas rurales autosuficientes) [Haugton and Hunter, 1994].

La forma se puede clasificar según las características de sostenibilidad en *core city*.^o ciudad anillo, la "star city".^o ciudad estrella, la ciudad satélite, la ciudad galaxia, la ciudad lineal y la ciudad policéntrica o regional [Hildebrand, 1999].

Las ciudades pueden ser clasificadas y definidas por su densidad de concentración o por la estructura que la rige, por la densidad de red de transporte, por la altura media de construcción o por el verde estructurante entre otros factores. En este estudio, se presentan novedades como la inclusión del verde urbano con la medida del Índice de verde urbano (GUI), y el índice de forma urbana (SUI).

5.4.1. Descripción

Para realizar este experimento, lo primero es crear una base de datos con los mapas de las ciudades elegidas.

Previamente se hizo una comprobación con diferentes fuentes de imágenes aéreas y mapas de ciudades.

Los parámetros obtenidos están presentados en la siguiente tabla. Principalmente, en un principio, se intentó hacer el código con mapas del *Google Maps*, sin embargo, la mayor dificultad en éstas ha sido conseguir que todas tuvieran una misma escala o , al menos, una misma definición de las ciudades y mismos criterios.

Los parámetros obtenidos están presentados en la siguiente tabla. Finalmente se han tomado los mapas de las ciento cuarenta y siete ciudades del *Open Street Maps*. Tras varios ensayos se ha optado a una pantalla de una calidad de 2560×1440 píxeles de resolución.

Estas imágenes han sido tomadas como captura de pantalla, intentando siempre tener una misma escala, no obstante, existen diferencias de tamaño en la escala gráfica de los mapas, sobre todo en los mapas de las ciudades grandes ciudades.

5.4.2. Desarrollo

En el capítulo anterior, se ha descrito la metodología empleada para obtener los parámetros, el desarrollo se realiza aplicando el código de forma automática a todos los mapas.

Debido a las diferencias de las escalas, se ha optado por desarrollar un algoritmo que reconozca la escala para cada mapa. Este algoritmo se aplica al inicio del cálculo, la operación para tener la escala.

Se obtiene la imagen, se corta, se obtienen los parámetros en un espacio hiperdimensional, se obtiene la escala gráfica, se calculan los parámetros para cada mapa y se calculan los indicadores.

Se presentan los parámetros obtenidos, al aplicar el algoritmo a los mapas, en la siguiente tabla.

Ciudad	m/píxel	P	S-tot	S	O	LC	GU	SGU	GU	W	C
Abu Dhabi	17,5	208,9	325,7	325,7	200,5	1.163,5	1,0	1,6	2,7	4,0	2.472,5
Alexandria	16,4	203,8	199,6	124,9	75,6	527,0	1,3	0,1	1,4	14,1	930,1
Amsterdam	13,7	230,2	276,1	268,7	201,3	1.013,3	4,9	7,6	12,5	23,0	3.026,5
Ankara	17,2	217,5	570,8	561,5	344,0	2.790,9	8,6	4,7	13,3	1,1	5.008,6
Athens	15,2	184,2	445,6	443,5	213,3	3.729,1	10,3	7,1	17,3	1,4	3.884,8
Auckland	15,4	247,8	296,4	296,2	188,3	1.954,9	4,2	18,2	22,4	12,3	3.179,6
a Coruna	16,4	220,3	273,0	272,8	223,0	235,2	26,8	41,6	68,4	3,4	2.318,1
Bangalore	16,4	195,6	635,1	632,6	389,7	3.792,5	3,9	3,3	7,2	14,7	4.483,0
Bangkok	18,5	239,0	771,0	768,9	481,4	3.786,9	2,3	1,6	3,8	33,6	5.989,3
Barcelona	16,9	184,8	308,1	273,2	180,0	1.182,9	40,1	8,9	49,0	1,0	3.221,2
Basel	12,8	238,6	295,1	267,3	189,6	1.517,0	34,7	26,0	60,7	6,6	2.918,7
Beijing	14,7	200,5	515,2	515,2	377,5	2.261,0	5,5	10,7	16,2	5,8	4.205,2
Belohorizonte	16,4	236,1	442,6	442,6	256,2	3.270,7	3,0	4,7	7,7	3,4	4.753,2
Berlin	11,6	133,5	308,5	307,9	211,8	2.159,4	11,4	14,2	25,6	6,6	3.658,2
Bilbao	16,4	213,1	201,3	175,0	129,5	497,3	28,3	4,7	33,0	1,8	1.709,5
Birmingham	11,6	140,2	322,7	312,3	213,5	2.369,6	4,6	16,0	20,6	5,1	4.603,6
Bogota	18,9	331,8	461,8	436,2	202,2	2.984,5	26,2	8,3	34,5	6,8	2.910,2
Boston	16,7	178,7	408,2	408,2	257,3	2.322,3	4,7	11,7	16,4	13,4	4.835,8
Brasilia	12,2	221,1	110,3	79,7	57,0	221,3	1,8	1,9	3,6	0,4	1.016,1
Brussels	12,0	227,2	286,4	259,8	169,8	2.175,1	10,8	13,8	24,7	1,6	3.826,6
Buenos Aires	15,6	127,3	535,4	535,3	236,3	6.131,4	4,3	6,6	10,9	2,5	6.452,5
Bursa	14,5	163,2	333,8	331,8	226,8	1.904,1	2,1	0,6	2,7	2,3	2.511,7
Busan	15,6	230,8	367,2	324,6	201,5	1.553,4	45,8	13,4	59,2	23,3	2.276,4
Cairo	16,4	212,5	579,8	442,1	256,4	2.640,5	1,5	2,5	4,0	8,6	3.703,1
Calcutta	16,4	252,4	431,3	430,9	297,8	1.876,4	1,1	0,9	2,0	32,9	2.899,2
Cali	19,2	232,1	338,8	192,8	86,2	1.185,8	0,5	0,3	0,8	3,0	1.429,0
Cape Town	10,5	140,0	145,0	103,9	83,1	357,9	0,8	0,5	1,2	2,0	1.427,4
Caracas	16,4	182,8	238,8	235,7	122,4	1.234,0	3,9	2,0	5,9	0,2	1.722,6
Chicago	16,7	160,2	396,8	396,8	247,3	2.489,6	7,3	5,9	13,2	2,8	5.329,2
Chongqing	16,4	290,8	433,6	417,0	324,0	779,0	16,8	4,8	21,6	23,7	2.258,9
Cologne	12,0	216,9	316,1	288,2	190,2	1.977,5	15,9	24,4	40,3	7,3	3.733,7
Copenhaguen	10,8	116,3	242,2	240,0	172,4	2.072,5	8,8	13,7	22,5	9,7	3.523,6
Córdoba (Argentina)	16,4	197,0	478,2	475,2	298,8	2.929,5	1,7	1,2	2,9	1,9	3.652,5
Curitiba	17,2	205,2	669,4	669,4	442,9	3.902,1	15,9	22,0	37,9	15,2	5.410,6
Daegu	18,2	281,7	469,3	371,8	259,5	947,2	100,1	17,8	117,9	7,6	2.682,7
Daejeon	15,4	233,6	275,2	275,2	168,7	1.287,4	8,8	7,8	16,5	3,0	1.919,3
Dallas	16,1	185,6	634,6	634,6	402,5	4.413,8	20,6	18,0	38,7	11,8	6.896,1
Delhi	111,1	1.386,6	28.260,5	27.671,0	18.780,2	21.203,8	676,8	811,8	1.488,5	363,1	32.723,3
Doha	17,2	146,7	484,4	351,9	208,9	2.506,9	3,0	2,1	5,2	1,1	3.418,1

Cuadro 5.12 – Continuación de la página anterior

Ciudad	m/píxel	P	S-tot	S)	O	LC	GU	SGU	GU	W	C
Dubai	17,2	158,6	427,5	419,5	243,0	2.560,6	8,3	2,1	10,4	16,0	3.609,6
Dublin	11,4	148,8	258,3	251,4	172,2	1.674,9	10,7	11,0	21,7	2,9	3.692,9
Duisburg	11,9	155,3	330,1	307,1	211,9	2.047,6	13,0	16,9	29,9	13,7	3.880,3
Durban	16,7	227,9	482,0	480,3	314,1	2.905,9	1,9	1,4	3,3	6,3	4.547,5
Eindhoven	11,9	166,0	266,6	236,3	173,0	1.766,8	21,0	21,7	42,7	4,0	3.209,9
Florence	16,1	249,1	462,9	433,4	342,3	621,4	26,8	16,0	42,8	4,0	3.835,2
Fortaleza	19,2	205,5	510,7	503,5	271,2	3.283,1	8,0	0,4	8,4	13,1	3.596,5
Frankfurt	12,2	207,2	312,2	294,6	207,7	1.525,2	13,6	13,6	27,2	6,4	3.453,9
Geneva	15,6	354,6	364,5	325,9	259,9	424,5	20,3	28,3	48,6	3,1	3.500,1
Glasgow	16,4	247,7	623,2	588,2	356,3	3.836,2	7,9	36,4	44,3	11,3	6.144,9
Gothenburg	10,2	185,5	172,9	140,5	104,6	917,4	35,0	17,8	52,8	6,5	2.286,4
Guadalajara (México)	17,9	192,1	474,2	471,2	213,0	3.866,1	2,5	1,6	4,1	1,0	3.777,5
Guangzhou	11,8	189,7	276,5	274,1	231,7	752,6	10,2	9,7	19,9	13,1	2.354,4
Haifa	16,1	353,7	187,6	149,4	83,9	688,9	32,8	5,2	38,1	1,1	1.856,4
Hamburg	16,4	331,5	401,4	396,9	311,5	1.009,0	4,4	10,7	15,0	20,4	3.726,3
Harbin	16,4	218,9	455,2	441,3	349,9	1.020,6	2,8	2,4	5,3	7,0	2.214,4
Helsinki	18,9	250,4	453,7	433,6	357,3	306,7	54,9	58,5	113,5	31,4	2.662,5
Hong Kong	17,5	267,2	248,5	222,1	107,4	877,1	33,4	15,8	49,2	25,8	1.463,9
Houston	16,4	190,4	668,9	668,8	442,3	3.688,3	9,8	8,8	18,6	7,7	8.417,4
Istanbul	16,9	246,2	529,3	517,7	243,5	2.860,8	13,6	6,6	20,2	8,9	5.132,6
Jakarta	18,9	246,1	762,1	736,1	385,7	4.332,5	0,5	0,9	1,5	11,1	5.658,8
Jeddah	17,9	138,0	340,5	266,1	129,5	2.261,6	0,1	0,1	0,2	1,4	2.447,7
Jerusalem	16,1	226,7	328,6	212,0	123,8	880,4	40,6	12,8	53,4	0,6	2.307,2
Johannesburg	17,2	209,8	719,0	719,0	422,7	5.096,7	2,8	6,3	9,1	6,8	6.963,5
Kaohsiung	11,8	100,4	141,4	102,7	87,1	103,8	4,4	1,7	6,1	3,6	1.187,8
Kuala Lumpur	19,2	294,3	795,0	758,9	392,3	4.447,0	39,9	22,3	62,3	12,4	5.622,2
La Paz	16,4	202,6	307,7	306,3	157,8	2.246,5	1,6	0,2	1,8	2,5	1.949,7
Leeds	11,2	184,7	245,0	208,1	140,5	1.071,5	4,1	12,4	16,5	3,3	3.298,8
Lille	12,2	250,7	285,4	256,9	174,0	1.788,5	2,8	7,0	9,8	1,9	3.563,8
Lima	18,5	402,2	402,2	401,3	138,1	3.199,4	0,7	2,1	2,8	2,6	2.904,7
Linz	12,7	242,2	295,5	212,1	145,7	1.261,3	32,1	18,1	50,2	7,6	2.852,9
Lisboa	17,5	204,4	262,0	254,1	152,7	1.154,0	10,2	7,5	17,7	1,3	2.680,4
Liverpool	11,4	188,3	249,9	241,0	150,5	2.139,6	5,1	11,7	16,8	4,4	3.737,8
Ljubljana	13,3	183,3	295,1	211,0	159,1	1.067,9	77,5	21,8	99,3	4,3	2.166,5
London	11,9	134,9	354,1	354,1	207,4	3.526,3	7,2	17,0	24,2	9,8	5.326,0
Los Angeles	15,9	156,8	641,5	641,5	333,3	5.789,2	10,0	7,6	17,6	5,0	8.094,6
Lyon	13,3	207,7	393,7	380,6	259,2	2.386,0	10,6	19,4	30,1	6,4	4.368,8
Madrid	16,7	247,0	578,3	526,7	340,6	2.970,4	37,0	23,5	60,5	0,9	5.511,9
Malaga	18,2	233,5	204,5	166,5	102,2	748,9	1,0	0,9	1,9	1,3	1.707,9
Manchester	11,4	188,9	294,8	291,9	187,7	2.730,8	4,3	15,7	20,1	4,8	4.450,4
Manila	18,5	232,4	560,6	556,2	273,4	3.842,9	2,2	1,3	3,6	12,1	4.491,4
Marseille	13,9	201,1	297,9	251,3	144,0	1.542,1	50,1	9,5	59,6	2,4	2.705,2
Medellin	22,2	265,5	282,3	197,2	101,2	924,2	15,2	1,7	16,8	0,3	1.564,4
Melbourne	15,2	182,2	530,2	530,0	313,5	4.602,7	9,7	21,3	30,9	8,7	6.984,1
Mexico	18,2	199,5	748,5	748,5	306,1	5.861,9	6,1	8,1	14,2	6,5	5.475,0
Miami	20,4	207,9	605,9	605,8	371,9	3.221,4	2,2	2,7	4,9	46,4	6.390,6
Milan	16,4	316,3	546,0	509,3	390,5	1.680,7	5,8	14,0	19,9	5,8	5.123,6
Monterrey	17,2	275,8	605,9	591,6	268,7	4.146,3	14,4	2,7	17,0	1,8	4.228,7
Montevideo	15,6	207,9	328,8	327,6	216,0	2.437,1	1,3	0,3	1,6	4,3	3.693,1
Montreal	13,3	167,9	395,5	392,7	233,9	3.533,2	8,0	16,7	24,7	15,3	5.146,8
Moscow	12,7	289,1	179,8	179,0	156,6	99,5	7,6	13,6	21,2	3,5	1.471,0
Mumbai	16,4	245,7	199,9	193,1	109,3	787,3	7,3	1,1	8,4	8,5	1.801,2
Munich	15,2	253,7	439,6	398,7	296,6	1.672,7	34,5	22,7	57,2	2,7	4.830,0
Naples	14,5	177,4	356,5	351,5	239,5	2.111,0	4,9	2,7	7,6	0,7	3.507,4
New York	16,4	274,6	560,0	559,9	325,9	3.148,1	3,9	7,9	11,8	31,3	6.952,2
Nice	16,4	212,8	280,2	280,2	194,9	461,2	18,9	30,7	49,7	2,0	2.434,6
Nottingham	11,5	193,8	232,5	211,3	150,4	1.173,2	3,6	7,8	11,4	2,0	3.123,5
Osaka	15,6	168,3	511,0	493,6	225,2	4.592,0	24,9	5,7	30,6	29,0	5.109,5
Oslo	19,2	343,2	248,0	243,2	179,9	481,6	14,7	22,2	36,9	5,0	1.668,9
Ottawa	13,3	196,0	352,2	346,5	246,1	2.217,4	21,4	25,1	46,5	8,5	3.788,6
Paris	16,4	185,7	665,6	664,6	428,9	3.964,7	35,3	17,0	52,3	4,8	7.922,6
Philadelphia	17,2	281,1	700,8	699,6	458,8	3.137,8	6,7	20,2	26,9	19,6	7.920,6
Phoenix	18,5	232,7	790,5	775,5	524,6	3.383,0	5,3	6,4	11,6	6,3	9.201,8
Porto	16,4	201,7	478,4	456,1	335,3	2.070,4	22,2	4,2	26,4	2,9	4.349,6
Porto Alegre	16,7	149,9	408,7	391,6	268,0	2.244,4	21,2	13,0	34,3	6,3	3.580,2
Prague	12,2	218,9	294,2	274,2	184,7	1.840,2	9,7	21,8	31,5	7,1	3.447,7
Pretoria	17,2	277,7	611,3	607,7	416,4	3.433,7	1,3	0,8	2,1	2,2	5.292,3
Quito	19,2	272,4	443,7	352,1	188,2	2.205,6	7,7	4,0	11,7	8,8	3.119,7
Recife	18,9	217,5	442,8	322,9	174,6	2.008,1	26,6	8,6	35,2	11,0	2.556,7
Riga	12,3	237,4	190,8	175,5	147,7	110,5	17,9	12,4	30,3	2,5	1.848,9
Rio De Janeiro	16,4	257,0	355,9	355,9	182,7	2.902,5	11,2	8,5	19,7	6,5	3.575,1
Riyadh	17,2	227,9	704,7	703,7	352,4	5.571,2	1,5	2,3	3,8	0,5	6.094,7
Roma	16,9	214,3	578,4	563,2	418,4	2.128,0	10,3	19,2	29,5	1,5	5.395,5
Rosario	16,1	243,4	243,0	228,5	106,3	2.076,5	3,2	2,4	5,6	1,2	2.714,5
Saint Petersburg	12,8	181,0	273,1	137,3	114,9	200,1	55,3	15,1	70,3	50,3	1.319,4
Salvador	16,4	115,6	264,0	264,0	167,7	1.510,0	5,4	6,4	11,8	5,7	2.011,3
Santiago	15,9	190,7	532,7	524,1	233,7	4.267,7	7,8	7,2	15,0	1,4	4.591,9
Santo Domingo	16,4	169,6	404,8	399,9	228,0	2.549,4	5,1	1,4	6,6	5,3	2.996,8
San Francisco	17,9	184,0	266,7	266,7	148,3	1.086,9	4,8	5,9	10,7	8,0	3.240,6
Sao Paulo	17,5	195,1	768,8	768,8	320,6	7.291,2	5,9	11,6	17,5	2,1	7.434,7

Cuadro 5.12 – Continuación de la página anterior

Ciudad	m/píxel	P	S-tot	S)	O	LC	GU	SGU	GU	W	C
Sarajevo	13,7	219,4	229,9	162,4	118,3	725,4	46,5	10,5	56,9	1,4	1.728,0
Seoul	17,9	332,9	676,3	674,2	467,9	2.141,3	26,8	35,2	62,0	32,0	4.521,1
Sevilla	17,9	274,3	480,0	333,6	227,5	1.008,1	2,7	5,2	8,0	4,9	3.036,0
Shanghai	16,4	211,2	652,0	652,0	444,8	2.842,4	1,6	3,6	5,2	26,7	5.089,5
Shenyang	16,4	212,5	548,5	548,5	445,8	1.291,2	2,9	3,9	6,7	22,3	2.791,9
Shenzhen	11,8	132,1	199,9	176,6	133,0	724,7	25,9	10,3	36,2	13,2	1.648,5
Singapore	19,2	229,2	527,9	527,6	328,7	2.147,3	36,1	30,8	66,9	27,0	3.176,2
Sofia	14,1	213,0	292,9	292,9	198,2	1.753,7	8,5	6,7	15,2	4,0	2.810,6
Stockholm	19,6	382,5	338,6	336,2	279,9	268,8	25,0	55,5	80,6	19,7	1.987,8
Stuttgart	12,7	196,3	338,7	276,9	193,0	1.752,4	55,4	17,0	72,4	3,6	3.458,8
Suzhou	16,4	216,6	578,3	565,7	448,9	1.416,9	12,8	1,4	14,1	40,2	2.962,3
Sydney	15,9	205,6	503,6	503,6	301,8	3.848,2	6,0	20,8	26,8	25,1	5.875,1
Taichung	17,5	208,0	583,5	524,1	364,3	2.577,3	24,3	3,7	27,9	17,4	4.847,4
Tainan	17,5	243,5	444,4	401,7	300,5	1.550,1	13,1	13,9	27,0	7,5	3.331,3
Taipei	17,2	269,9	603,1	501,7	334,8	2.074,7	112,3	77,0	189,3	18,2	4.183,5
Tel Aviv	16,1	241,7	434,3	361,2	210,4	2.182,1	10,2	11,8	22,0	2,9	3.649,0
Tianjin	16,4	260,9	508,0	506,6	389,1	1.161,1	1,3	0,6	1,9	9,7	2.875,3
Tokio	18,5	190,7	781,3	779,9	355,9	6.565,2	2,6	7,7	10,3	18,3	8.098,3
Toronto	13,9	125,2	394,1	394,1	236,8	3.477,2	8,9	25,5	34,4	6,3	5.277,8
Turin	15,9	305,9	359,2	300,4	216,6	1.239,1	31,6	7,7	39,3	2,8	3.678,5
Valencia	17,2	169,3	347,5	343,2	245,8	1.313,7	1,6	1,9	3,5	1,9	3.129,3
Vancouver	12,5	155,5	271,0	269,8	179,0	2.283,2	10,9	15,4	26,3	21,9	3.620,4
Viena	15,2	283,1	335,8	305,1	211,5	1.647,9	5,7	9,7	15,4	6,2	3.896,4
Warsaw	11,5	104,7	88,4	82,1	69,8	202,5	5,6	5,3	10,9	1,8	781,4
Washington	17,5	294,8	695,4	695,4	486,9	2.824,6	14,6	45,7	60,3	9,4	7.669,4
Wroclaw	12,0	220,4	271,8	246,0	183,9	1.103,1	5,2	9,8	14,9	11,7	2.604,5
Wuhan	16,4	260,0	553,0	552,9	418,9	1.488,9	5,1	7,0	12,1	61,1	2.840,0
Zurich	13,0	196,0	352,7	335,7	244,5	1.828,9	31,8	42,9	74,6	12,2	3.238,7

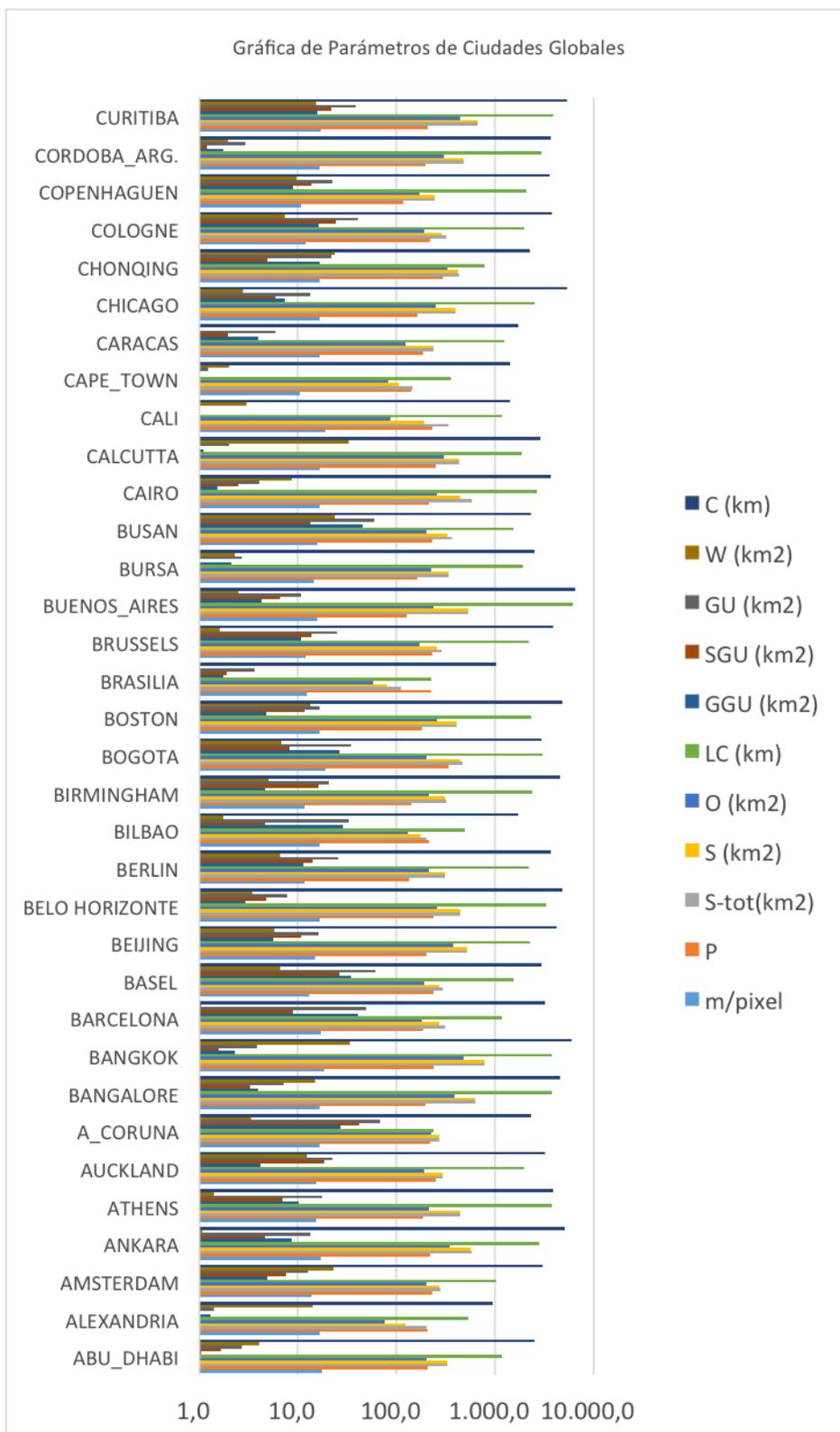


Figura 5.25: Gráfica de resultados de parámetros globales de otros autores 1 de 3

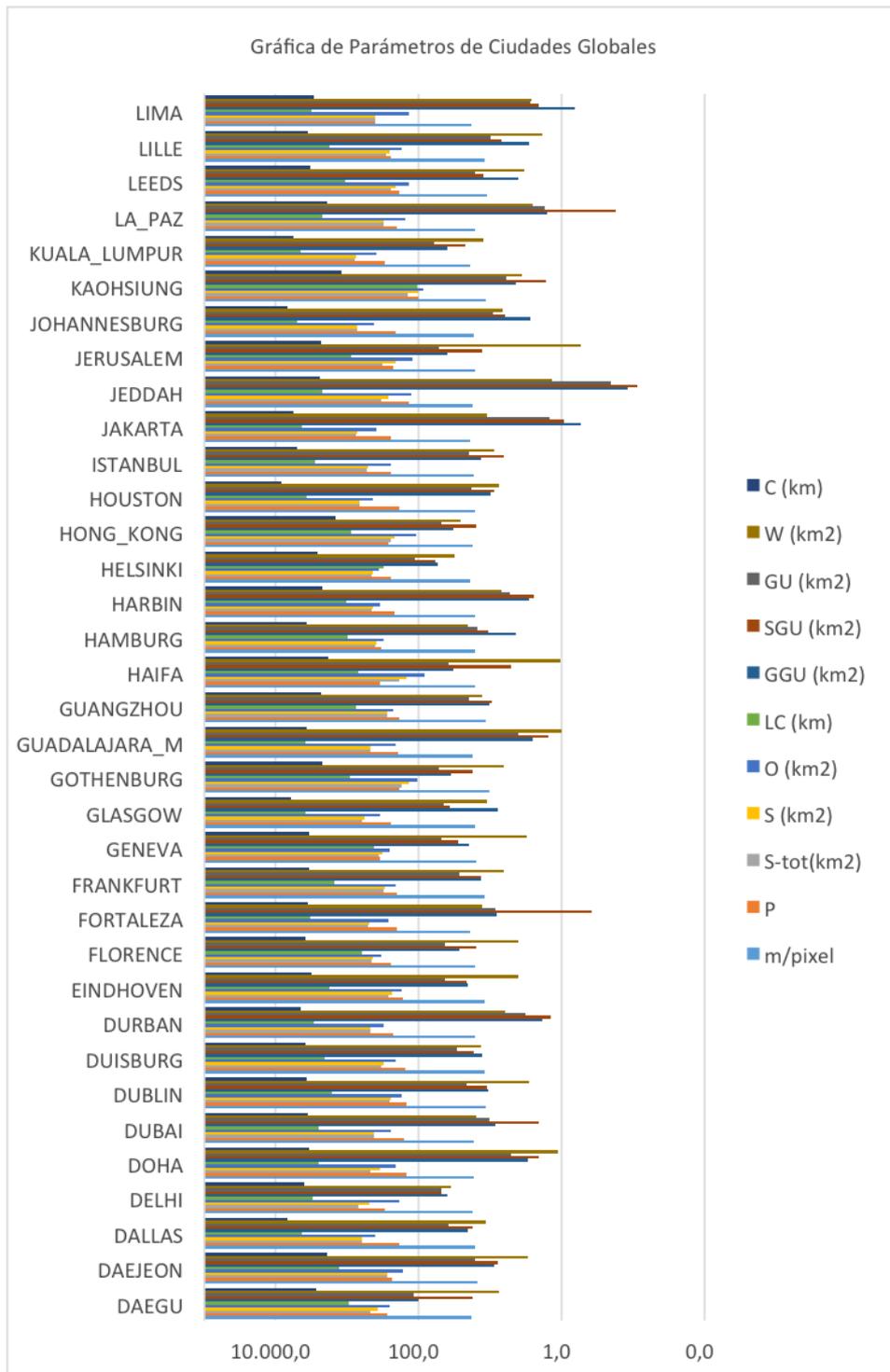


Figura 5.26: Gráfica de resultados de parámetros globales de otros autores 2 de 3

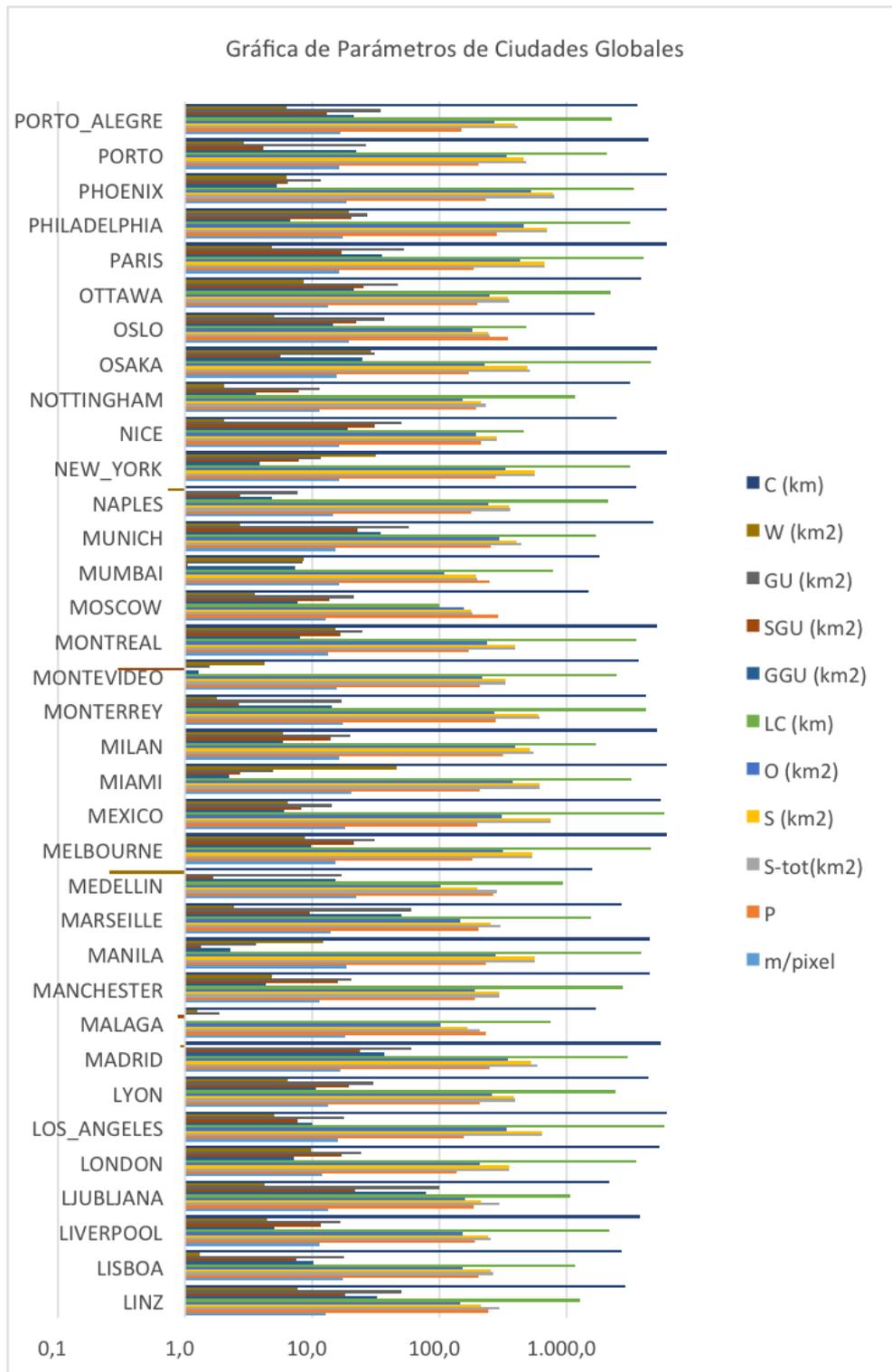


Figura 5.27: Gráfica de resultados de parámetros globales de otros autores 3 de 3

Ciudad	SHAPE	FRACTAL	LSI	SHDI	DS=PLAND=GSI	LSI-2	N	T	b
Abu Dhabi	4,1	2,93	289,4	1.115,99	62%	289,41	3,9	38%	6%
Alexandria	4,0	2,57	360,7	1.083,80	61%	455,90	3,2	39%	7%
Amsterdam	4,3	2,95	346,4	1.252,26	75%	351,15	4,1	25%	3%
Ankara	4,2	3,17	227,6	1.170,41	61%	229,44	5,1	39%	4%
Athens	3,8	3,17	218,2	960,87	48%	218,68	8,6	52%	4%
Auckland	4,4	2,93	359,8	1.366,13	64%	359,99	7,0	36%	3%
a Coruna	4,2	2,87	333,4	1.188,59	82%	333,50	1,3	18%	8%
Bangalore	3,9	3,19	194,1	1.032,30	62%	194,47	6,1	38%	4%
Bangkok	4,4	3,18	215,2	1.308,87	63%	215,48	5,1	37%	4%
Barcelona	3,8	3,10	263,2	964,50	66%	279,50	4,1	34%	5%
Basel	4,4	2,91	347,3	1.306,47	71%	364,92	5,5	29%	3%
Beijing	4,0	3,15	220,8	1.062,63	73%	220,80	4,6	27%	3%
Belohorizonte	4,3	3,10	280,6	1.290,20	58%	280,58	7,7	42%	3%
Berlin	3,3	3,35	190,0	653,50	69%	190,25	7,2	31%	2%
Bilbao	4,1	2,78	375,4	1.142,37	74%	402,64	3,0	26%	5%
Birmingham	3,3	3,41	195,1	693,00	68%	198,34	7,6	32%	2%
Bogota	5,1	2,75	386,0	1.925,89	46%	397,16	6,8	54%	5%
Boston	3,8	3,27	221,1	926,48	63%	221,09	5,9	37%	3%
Brasilia	4,2	2,56	526,4	1.193,70	72%	619,13	3,0	28%	5%
Brussels	4,3	3,04	335,7	1.233,01	65%	352,49	8,0	35%	2%
Buenos Aires	3,2	3,62	137,6	617,22	44%	137,60	11,6	56%	3%
Bursa	3,6	3,07	223,3	831,61	68%	223,99	5,9	32%	3%
Busan	4,3	2,84	301,0	1.255,59	62%	320,18	4,5	38%	5%
Cairo	4,1	3,07	220,6	1.138,86	58%	252,67	4,7	42%	5%
Calcutta	4,5	2,88	303,8	1.396,07	69%	303,98	4,6	31%	4%
Cali	4,3	2,67	315,3	1.264,51	45%	417,93	3,8	55%	9%
Cape Town	3,3	2,94	290,6	691,58	80%	343,21	3,0	20%	4%
Caracas	3,8	2,86	295,8	952,38	52%	297,76	5,6	48%	5%
Chicago	3,6	3,38	201,0	813,14	62%	201,03	6,5	38%	3%
Chonqing	4,8	2,72	349,1	1.649,33	78%	355,96	2,1	22%	6%
Cologne	4,2	3,06	305,1	1.167,05	66%	319,48	6,6	34%	3%
Copenhague	3,0	3,43	186,8	552,90	72%	187,63	8,8	28%	2%
Cordoba Arg.	4,0	3,11	225,3	1.041,00	63%	225,97	6,3	37%	3%
Curitiba	4,0	3,23	198,3	1.092,53	66%	198,28	6,0	34%	3%
Daegu	4,7	2,80	325,1	1.588,84	70%	365,20	2,3	30%	7%
Daejeon	4,3	2,77	352,1	1.274,16	61%	352,08	5,1	39%	4%
Dallas	3,8	3,38	184,2	969,38	63%	184,18	7,1	37%	3%
Delhi	10,5	2,87	206,2	10.031,14	68%	208,38	0,8	32%	23%
Doha	3,4	3,26	166,6	731,63	59%	195,46	5,3	41%	4%
Dubai	3,6	3,23	191,8	803,55	58%	193,59	6,2	42%	4%
Dublin	3,4	3,28	231,5	744,50	68%	234,63	6,8	32%	3%
Duisburg	3,5	3,28	213,6	783,24	69%	221,48	6,4	31%	3%
Durban	4,3	3,10	259,5	1.237,25	65%	259,99	6,3	35%	3%
Eindhoven	3,6	3,16	254,1	848,37	73%	269,89	6,9	27%	2%
Florence	4,5	2,99	289,4	1.374,37	79%	299,10	1,6	21%	7%
Fortaleza	4,0	3,07	227,4	1.094,50	54%	228,97	6,6	46%	4%
Frankfurt	4,1	3,06	293,2	1.105,03	71%	301,77	5,2	29%	3%
Geneva	5,3	2,78	464,3	2.082,02	80%	491,06	1,7	20%	6%
Glasgow	4,4	3,17	248,0	1.365,28	61%	255,32	6,4	39%	3%
Gothenburg	3,8	2,96	352,6	968,75	74%	391,25	5,8	26%	2%
Guadalajara M.	3,9	3,13	220,5	1.010,00	45%	221,24	8,4	55%	4%
Guangzhou	3,9	2,96	285,1	994,80	85%	286,40	3,1	15%	3%
Haifa	5,3	2,56	645,7	2.075,96	56%	723,62	4,6	44%	5%
Hamburg	5,1	2,83	413,6	1.923,71	78%	415,97	2,9	22%	4%
Harbin	4,2	2,86	256,5	1.179,49	79%	260,49	2,5	21%	4%
Helsinki	4,5	2,86	293,9	1.382,83	82%	300,60	1,0	18%	10%
Hong Kong	4,6	2,61	423,7	1.493,07	48%	448,19	4,1	52%	7%
Houston	3,9	3,44	184,0	999,45	66%	184,06	5,7	34%	3%
Istanbul	4,4	3,10	267,5	1.355,41	47%	270,49	5,6	53%	6%
Jakarta	4,4	3,14	222,9	1.355,17	52%	226,80	5,8	48%	5%
Jeddah	3,3	3,17	187,0	679,96	49%	211,48	6,8	51%	4%
Jerusalem	4,2	2,86	312,7	1.229,81	58%	389,30	3,0	42%	8%
Johannesburg	4,1	3,31	195,6	1.121,80	59%	195,63	7,2	41%	3%
Kaohsiung	2,8	3,07	211,0	462,56	85%	247,65	1,1	15%	7%
Kuala Lumpur	4,8	3,04	260,9	1.672,77	52%	267,05	5,8	48%	5%
La Paz	4,0	2,85	288,8	1.076,24	52%	289,46	7,6	48%	4%
Leeds	3,8	3,10	295,0	963,81	68%	320,08	4,8	32%	4%
Lille	4,5	2,96	371,1	1.385,14	68%	391,05	6,7	32%	3%
Lima	5,7	2,66	501,3	2.411,87	34%	501,90	8,5	66%	5%
Linz	4,4	2,90	352,3	1.329,72	69%	415,79	4,7	31%	4%
Lisboa	4,0	2,97	315,8	1.087,67	60%	320,63	4,8	40%	5%
Liverpool	3,9	3,14	297,7	986,15	62%	303,19	8,9	38%	2%
Ljubljana	3,8	2,95	266,8	955,32	75%	315,53	3,9	25%	3%
London	3,3	3,50	179,3	661,86	59%	179,26	10,1	41%	2%
Los Angeles	3,5	3,56	154,8	792,58	52%	154,77	9,1	48%	3%
Lyon	4,1	3,14	261,7	1.108,43	68%	266,20	6,3	32%	3%
Madrid	4,4	3,13	256,8	1.360,71	65%	269,04	5,3	35%	4%
Malaga	4,3	2,73	408,1	1.273,02	61%	452,34	4,2	39%	5%
Manchester	3,9	3,21	275,1	990,12	64%	276,43	9,6	36%	2%
Manila	4,3	3,09	245,4	1.266,03	49%	246,33	7,1	51%	4%

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

Cuadro 5.13 – Continuación de la página anterior

Ciudad	SHAPE	FRACTAL	LSI	SHDI	DS=PLAND=GSI	LSI-2	N	T	b
Marseille	4,0	2,98	291,3	1.066,49	57 %	317,09	5,5	43 %	4 %
Medellin	4,6	2,64	395,0	1.481,85	51 %	472,64	3,7	49 %	8 %
Melbourne	3,8	3,40	197,8	948,45	59 %	197,88	8,9	41 %	3 %
Mexico	4,0	3,25	182,3	1.056,57	41 %	182,31	8,0	59 %	5 %
Miami	4,1	3,28	211,1	1.109,30	61 %	211,12	5,5	39 %	4 %
Milan	5,0	2,97	338,4	1.821,02	77 %	350,42	3,4	23 %	4 %
Monterrey	4,7	2,97	280,2	1.550,20	45 %	283,52	7,1	55 %	5 %
Montevideo	4,1	3,08	286,6	1.109,32	66 %	287,09	7,7	34 %	2 %
Montreal	3,7	3,34	211,1	860,34	60 %	211,83	9,1	40 %	2 %
Moscow	4,8	2,57	539,1	1.638,53	87 %	540,22	1,4	13 %	5 %
Mumbai	4,4	2,72	434,6	1.352,59	57 %	442,14	4,6	43 %	5 %
Munich	4,5	3,06	302,6	1.404,70	74 %	317,67	4,1	26 %	3 %
Naples	3,8	3,15	234,9	918,60	68 %	236,53	6,2	32 %	3 %
New York	4,7	3,15	290,1	1.542,17	58 %	290,15	5,9	42 %	4 %
Nice	4,1	2,91	317,8	1.140,60	70 %	317,82	2,0	30 %	8 %
Nottingham	3,9	3,06	317,8	1.020,88	71 %	333,39	5,5	29 %	3 %
Osaka	3,7	3,33	186,2	862,84	46 %	189,41	9,2	54 %	4 %
Oslo	5,2	2,54	544,7	2.003,39	74 %	550,08	2,6	26 %	5 %
Ottawa	3,9	3,12	261,1	1.034,68	71 %	263,28	6,6	29 %	2 %
Paris	3,8	3,44	179,9	970,01	65 %	180,07	6,1	35 %	3 %
Philadelphia	4,7	3,18	265,5	1.585,06	66 %	265,69	4,7	34 %	4 %
Phoenix	4,3	3,35	206,9	1.267,94	68 %	208,88	4,4	32 %	4 %
Porto	4,0	3,16	230,5	1.070,14	74 %	236,06	4,5	26 %	3 %
Porto Alegre	3,5	3,27	185,3	750,79	68 %	189,33	5,7	32 %	3 %
Prague	4,2	3,02	319,0	1.179,35	67 %	330,46	6,6	33 %	3 %
Pretoria	4,7	3,05	280,8	1.562,31	69 %	281,61	5,8	31 %	3 %
Quito	4,7	2,87	323,4	1.527,70	53 %	362,98	5,3	47 %	5 %
Recife	4,2	2,92	258,3	1.170,33	54 %	302,54	4,8	46 %	6 %
Riga	4,3	2,75	429,7	1.298,81	84 %	448,10	1,2	16 %	7 %
Rio De Janeiro	4,5	2,95	340,5	1.425,87	51 %	340,52	8,5	49 %	3 %
Riyadh	4,3	3,21	214,6	1.237,34	50 %	214,79	8,1	50 %	4 %
Roma	4,1	3,20	222,7	1.150,05	74 %	225,73	3,9	26 %	4 %
Rosario	4,4	2,88	390,4	1.337,33	47 %	402,53	9,0	53 %	4 %
Saint Petersb.	3,8	2,76	273,8	940,93	84 %	386,12	1,1	16 %	8 %
Salvador	3,0	3,20	177,9	549,39	64 %	177,94	5,9	36 %	3 %
Santiago	3,9	3,21	206,6	1.001,30	45 %	208,25	8,2	55 %	4 %
Santo Domingo	3,7	3,12	210,7	870,45	57 %	212,00	6,5	43 %	4 %
San Francisco	3,8	3,10	281,6	959,33	56 %	281,62	4,4	44 %	6 %
Sao Paulo	3,9	3,38	175,9	1.028,57	42 %	175,86	9,6	58 %	4 %
Sarajevo	4,2	2,77	361,7	1.182,57	73 %	430,31	3,6	27 %	4 %
Seoul	5,1	2,90	320,0	1.933,38	69 %	320,50	3,4	31 %	5 %
Sevilla	4,7	2,86	313,0	1.540,12	68 %	375,46	2,4	32 %	7 %
Shanghai	4,1	3,19	206,8	1.130,60	68 %	206,79	4,5	32 %	4 %
Shenyang	4,1	2,96	226,8	1.138,65	81 %	226,81	2,5	19 %	4 %
Shenzhen	3,2	3,03	233,6	645,36	75 %	248,61	4,0	25 %	3 %
Singapore	4,3	2,97	249,4	1.245,44	62 %	249,44	4,3	38 %	5 %
Sofia	4,1	2,96	311,1	1.141,69	68 %	311,09	6,3	32 %	3 %
Stockholm	5,5	2,55	519,6	2.274,28	83 %	521,44	1,4	17 %	6 %
Stuttgart	4,0	3,09	266,6	1.036,34	70 %	294,89	5,5	30 %	3 %
Suzhou	4,2	2,97	225,1	1.164,64	79 %	227,63	2,6	21 %	4 %
Sydney	4,0	3,26	229,0	1.095,03	60 %	229,05	7,8	40 %	3 %
Taichung	4,1	3,18	215,2	1.109,99	70 %	227,10	4,6	30 %	4 %
Tainan	4,4	2,95	288,7	1.338,00	75 %	303,72	3,8	25 %	4 %
Taipei	4,6	2,98	274,7	1.510,66	67 %	301,19	3,7	33 %	5 %
Tel Aviv	4,4	2,99	289,9	1.326,23	58 %	317,89	5,3	42 %	4 %
Tianjin	4,6	2,86	289,5	1.451,98	77 %	289,85	2,5	23 %	5 %
Tokio	3,9	3,43	170,6	1.001,56	46 %	170,76	8,5	54 %	4 %
Toronto	3,2	3,55	157,6	604,59	60 %	157,64	9,0	40 %	3 %
Turín	4,9	2,87	403,6	1.750,99	72 %	441,31	3,9	28 %	4 %
Valencia	3,7	3,14	227,0	868,75	72 %	228,45	4,0	28 %	4 %
Vancouver	3,5	3,25	236,1	784,53	66 %	236,63	8,7	34 %	2 %
Viena	4,7	2,93	386,3	1.598,37	69 %	405,20	5,3	31 %	3 %
Warsaw	2,9	2,86	278,4	486,91	85 %	288,90	2,9	15 %	3 %
Washington	4,8	3,15	279,5	1.676,25	70 %	279,47	4,3	30 %	4 %
Wroclaw	4,2	2,92	334,2	1.189,29	75 %	351,34	4,5	25 %	3 %
Wuhan	4,5	2,86	276,4	1.445,74	76 %	276,43	2,9	24 %	4 %
Zurich	3,9	3,06	261,0	1.034,76	73 %	267,48	5,5	27 %	3 %
Total	4,18	3,04	281,49	1.241,05	65 %	295,07	5,35	35 %	4 %

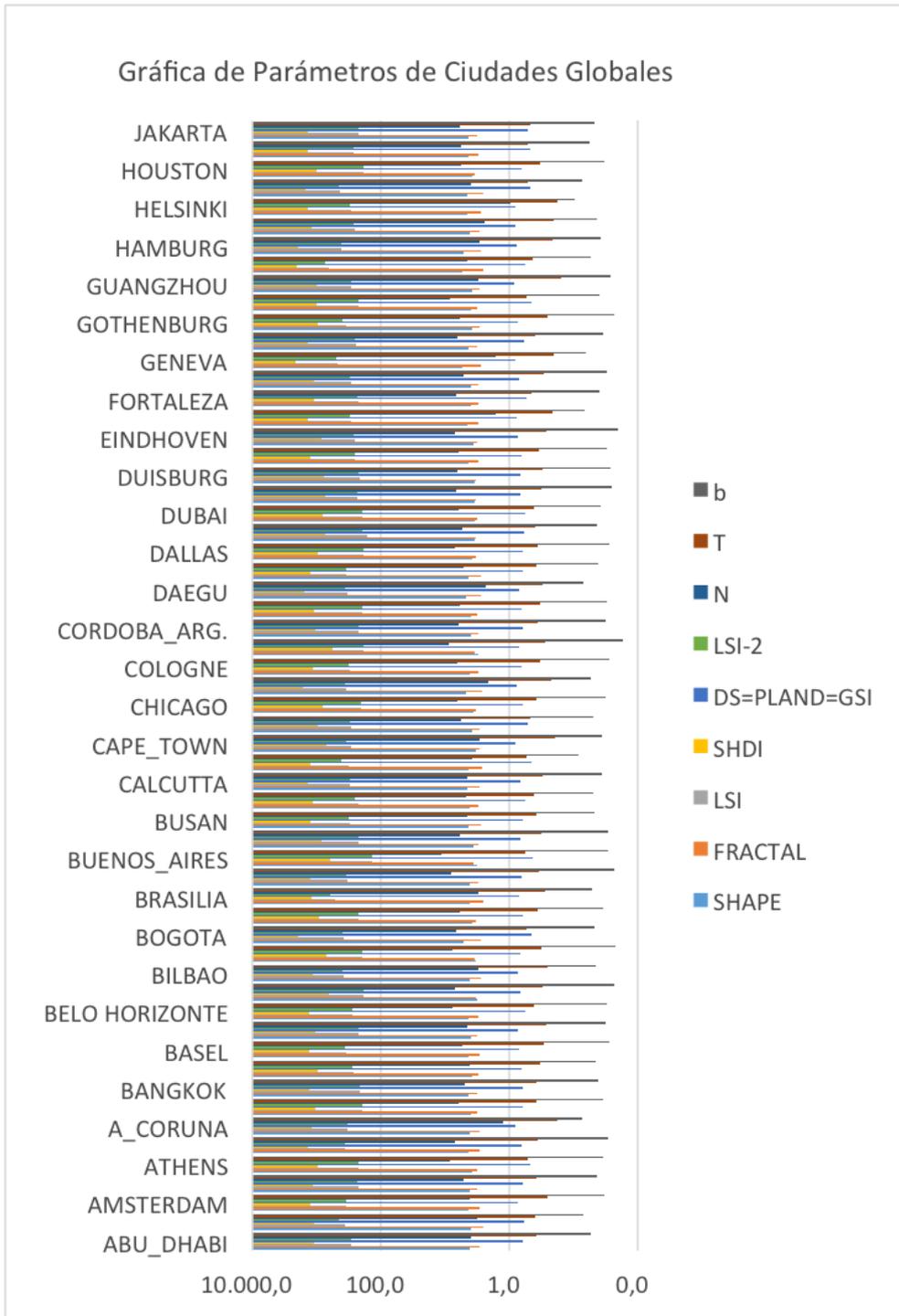


Figura 5.28: Gráfica de resultados de indicadores globales 1 de 3

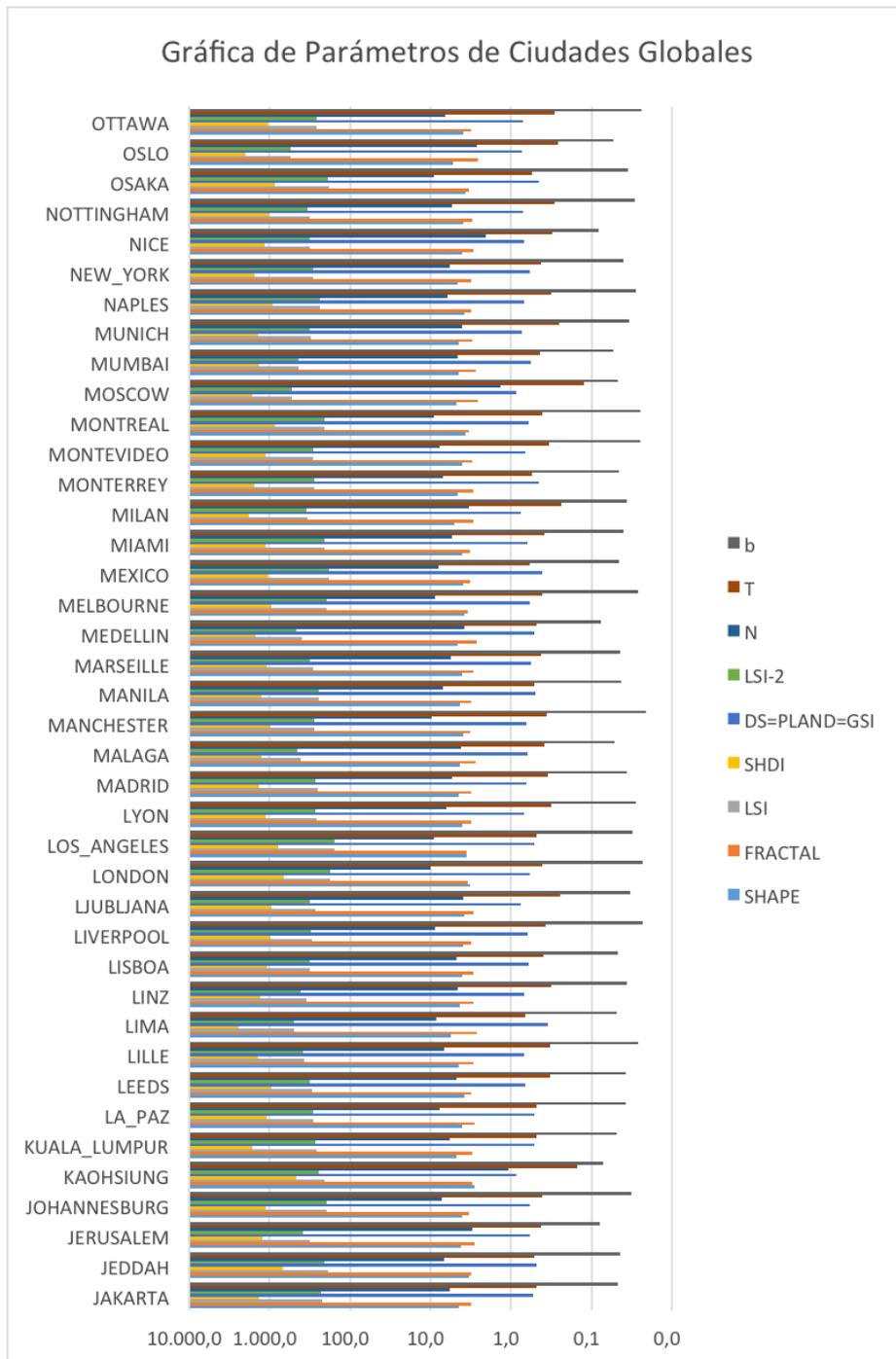


Figura 5.29: Gráfica de resultados de indicadores globales 2 de 3

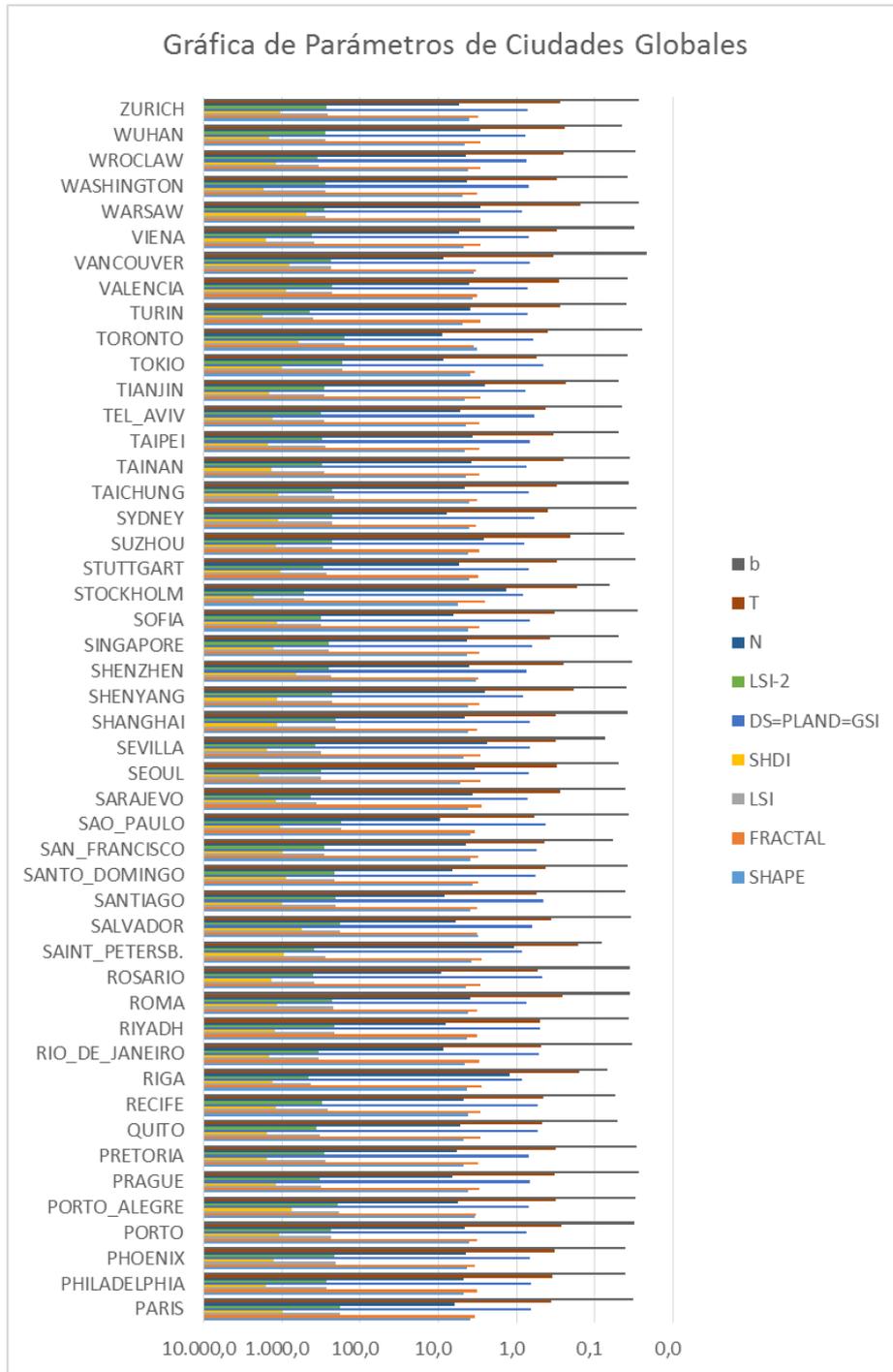


Figura 5.30: Gráfica de resultados de indicadores globales 3 de 3

5.4.3. Resultados

Los resultados son representados en valores en las siguientes tablas y en gráficas donde se podrá observar cada una de las ciudades.

Los parámetros e indicadores que identifican los patrones de forma de las ciudades estudiadas. Estos resultados han sido analizados en el capítulo de la discusión.

5.4.4. Matriz de sostenibilidad de ciudades globales

En la matriz de sostenibilidad están representados los indicadores mas significativos propuestos en la metodología paramétrica.

Estos indicadores ubican las ciudades en la matriz según las características de su patrón. En el capítulo de discusión se analizarán los resultados.

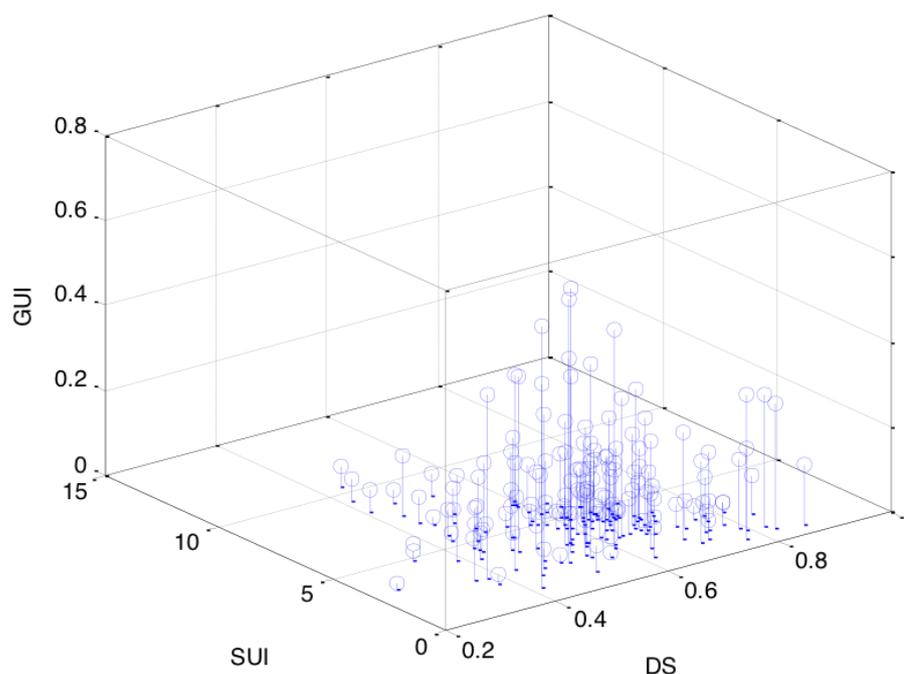


Figura 5.31: Matriz de sostenibilidad de de las ciudades globales

Capítulo 6

Discusión

6.1. Introducción

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos por la metodología paramétrica y el procesado automático de imagen. En una primera parte se citarán los planteamientos de la metodología paramétrica y del sistema automático. En una segunda parte se analizarán los resultados obtenidos de las ciudades globales y las ciudades Canarias.

6.2. La metodología paramétrica y automática propuesta

6.2.1. Propuesta de nuevos parámetros

La metodología paramétrica propuesta en esta tesis permite el estudio de la sostenibilidad de las ciudades con métricas que están al alcance de todos por Internet. Las principales características de este sistema son:

Repercusión

La metodología propuesta es una forma de cuantificar los problemas potenciales y reales de las ciudades. Los análisis derivados de la metodología pueden ayudar a que el planeta sea más sostenible, a que las sociedades sean más equilibradas, a que los gobiernos y empresas opten por direcciones adecuadas.

Globalidad

Este método es global, permite soluciones para todos los patrones de ciudades. Con el método paramétrico se puede analizar problemas de las ciudades sea cual sea la cultura, clima, ubicación o economía de las ciudades. Otros parámetros describen variables que tienen que ver con la cultura, el clima o la topografía, por ejemplo carriles bici, forma de construir avenidas, relación calle boulevard, calle cerrada.

Utilidad

Es importante identificar los problemas de infraestructura de las ciudades, para saber dónde mejorarlas y para orientarse en el modelo de ciudad deseado.

6.3. Sistema identificación automático

Innovación

De la misma forma, Shanghai y Nueva York, a pesar de tener densidades parecidas, los climas son diferentes y por tanto el uso del espacio público es de otra intensidad durante todo el año. Climas más cálidos permiten utilizar el espacio público durante más horas del año. Un ejemplo es la ciudad de Toronto, cuya vida social y comercial se hace bajo tierra, en la mayor ciudad subterránea del mundo, debido a las bajas temperaturas del invierno. Si se compara Toronto con la Habana, existen parámetros de clima y sociales que enfrentan, a forma de usar el espacio público.

Utilidad

El sistema de automatización permite realizar procesos, que serían impensables de forma manual, y aplicarlos a decenas de ciudades al mismo tiempo. Optimiza los tiempo, y elimina las subjetividades en los análisis.

Operatividad

El sistema automático tiene la capacidad de realizar varios procedimientos, en un mismo proceso. Puede hacerlo con varios mapas a la vez y además, hacerlo sin equivocarse.

6.4. Comparativa frente a los sistemas actuales

Rapidez

Los métodos que se podrían utilizar hoy en día son SIG o métodos manuales. Para hacer el mismo experimento con un GIS se precisa tener los metadatos de las 167 ciudades, algo difícil. Estos metadatos deben estar disponibles y homogeneizados. La información ofrecida por la plataforma OSM es la mejor para desarrollar este método. No obstante, las herramientas disponibles hasta el momento están limitadas a su accesibilidad.

Simplicidad

Han sido mapas obtenidos de capturas de pantalla, los que se han analizado. Esto simplifica mucho el proceso y hace posible que no sean expertos los que

lo realice, sí los que interpretan los resultados.

Otros métodos manuales tardarían mucho tiempo en hacer lo mismo y estarían expuestos a errores de interpretación.

Accesibilidad

Frente a la accesibilidad que ofrece un SIG o los métodos manuales, el sistema automático permite utilizar bases de datos obtenidas de forma libre y sin software especialmente caros y complicados.

6.5. Comparativa de ciudades

En esta sección se van a analizar los datos obtenidos por los experimentos de las urbanizaciones turísticas de Canarias y la ciudades globales.

6.5.1. Metodología utilizada para la comparación

Se han cogido los resultados obtenidos en la matriz de sostenibilidad. Estos datos son el SUI, el GUI y el DS o GSI.

Los datos han sido ordenados de mayor a menor para cada una de las ciudades. Se han numerado cada una de las ciudades, según su ordenen en cada uno de los parámetros. En las ciudades de Canarias, de la uno a la veinte. En los mapas de las ciudades globales de la uno a la ciento cuarenta y siete. Los valores del resultado de ordenar las ciudades con cada uno de los tres parámetros han sido sumados. Las ciudades han sido ordenadas según la suma de su ordenación.

6.5.2. Desarrollo

En la siguiente tabla, se sitúan en la primera columna representa las ciudades. En la segunda, el índice de ocupación urbana, en la tercera, el índice de forma urbana, y en la cuarta, el índice de verde urbana. La quinta columna, describe el orden desde la primera posición hasta la veinteava, de menor a mayor DS. La sexta columna, describe el orden de menor a mayor SUI. La séptima, es GUI ordenado de mayor a menor. La octava columna es la suma de las posiciones de $DS + SUI + GUI$.

La novena columna es el orden final según la matriz de sostenibilidad.

Cuadro 6.1: Tabla de resultados de las urbanizaciones canarias para obtener la matriz de sostenibilidad.

Ciudad	DS	SUI	GUI	Orden DS	Orden SUI	Orden GUI	Total Sostenibilidad	Orden según sostenibilidad
Costa Teguise	0,22	2,61	0,03	8,00	12,00	2,00	22,00	1,00
Puerto Del Carmen	0,14	3,98	0,04	3,00	14,00	5,00	22,00	2,00

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

Cuadro 6.1 – Continuación de la página anterior

Ciudad	DS	SUI	GUI	Orden DS	Orden SUI	Orden GUI	Total Sostenibilidad	Orden según sostenibilidad
San Agustín	0,17	5,56	0,00	7,00	15,00	1,00	23,00	3,00
Playa Blanca	0,23	1,37	0,15	9,00	4,00	10,00	23,00	4,00
Los Cristianos	0,27	1,18	0,18	11,00	2,00	11,00	24,00	5,00
Playa Del Inglés	0,35	1,23	0,07	16,00	3,00	7,00	26,00	6,00
Playa De Las Américas	0,32	1,90	0,12	12,00	7,00	8,00	27,00	7,00
Playa Paraíso	0,32	2,58	0,03	14,00	11,00	3,00	28,00	8,00
Costa Calma	0,55	1,39	0,04	20,00	5,00	4,00	29,00	9,00
Corralejo	0,37	1,60	0,06	17,00	6,00	6,00	29,00	10,00
Meloneras Maspalomas	0,25	1,97	0,20	10,00	9,00	13,00	32,00	11,00
Costa Adeje	0,37	1,13	0,25	18,00	1,00	15,00	34,00	12,00
Las Galletas	0,33	1,94	0,18	15,00	8,00	12,00	35,00	13,00
Los Abrigos	0,38	2,58	0,15	19,00	10,00	9,00	38,00	14,00
Mogán - Taurito	0,14	7,54	0,50	4,00	18,00	16,00	38,00	15,00
Playa San Juan	0,17	5,90	0,51	6,00	16,00	17,00	39,00	16,00
Puerto Rico	0,09	12,69	2,23	1,00	20,00	18,00	39,00	17,00
Puerto Santiago	0,32	3,06	0,20	13,00	13,00	14,00	40,00	18,00
Morrojable	0,11	9,46	3,51	2,00	19,00	19,00	40,00	19,00
Alcalá Fonsalía	0,15	6,37	3,79	5,00	17,00	20,00	42,00	20,00

6.5.3. Resultados de Urbanizaciones turísticas de Canarias

Las ciudades que ocupan menor puesto tienen tres características principales: son dispersas, tienen poca densidad de ocupación, tienen poco verde urbano la forma no tiende a ser estrellada. Estas ciudades son poco sostenibles desde el punto de vista de la forma urbana.

En el caso de las urbanizaciones turísticas de Canarias y de peor a mejor:

1. Costa Tegui
2. Puerto del Carmen
3. San Agustín
4. Playa Blanca
5. Los Cristianos
6. Playa del Inglés

Analizando un ejemplo. El SUI de Alcalá y Fonsalía comparada con Corralejo. La forma de Corralejo tiende a ser más redondeada, la forma de Alcalá y Fonsalía tiende a ser estirada, por tanto es menos sostenible en términos de infraestructuras por kilómetro de servicios.

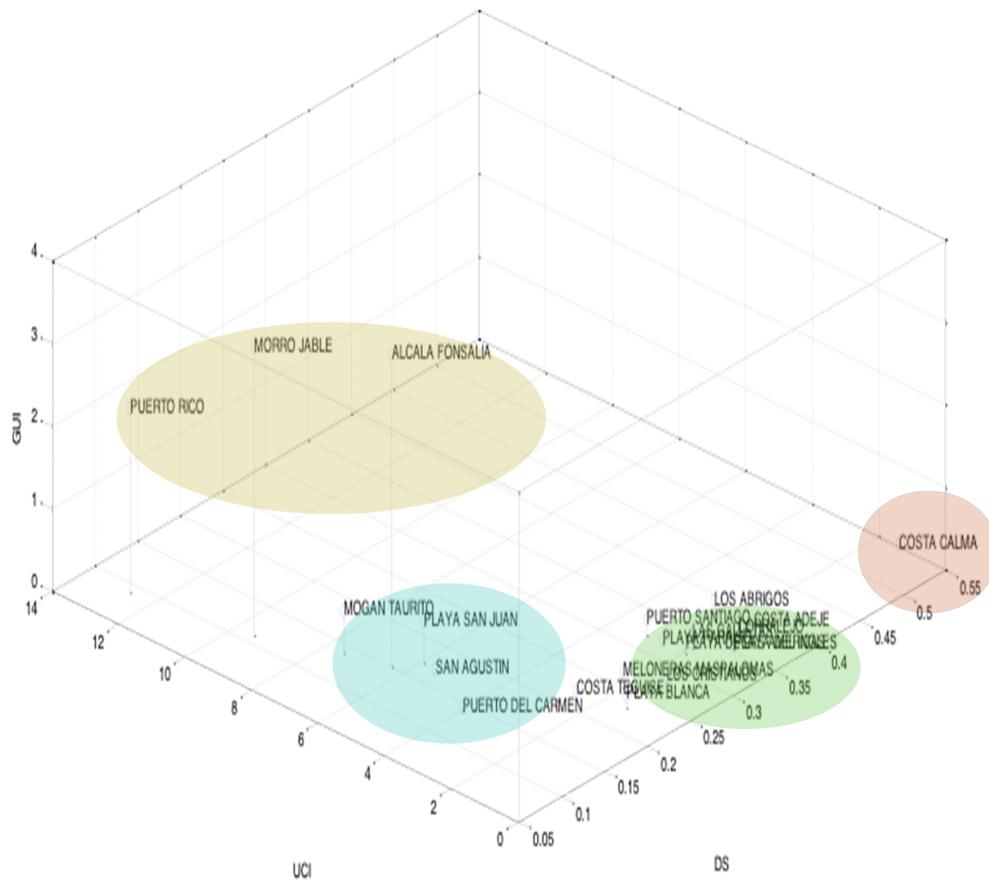


Figura 6.1: Matriz de sostenibilidad analizada, de las urbanizaciones turísticas de Canarias

Las urbanizaciones Alcalá, Morrojable, Puerto Santiago, Puerto Rico, presentan una alta densidad, una mayor presencia de suelo verde por kilómetro y una relación de suelo ocupado, con un perímetro mayor.

Las urbanizaciones que se ubican en la zona central de la gráfica son Playa del Inglés, Meloneras, Playa las Américas, Playa Paraíso, presentan datos equilibrados de espacios verdes y compacidad urbana.

6.5.4. Resultados de las Ciudades Globales

Las ciudades de Sant Petersburgo, Alejandría, Brasilia, Haifa, Jerusalem, Medellín, Sevilla, presentan las posiciones más bajas de la lista. Posiciones más bajas no significan que sean las peores ciudades, pero sí que están descompensadas en la suma de las posiciones de los parámetros que pueden ser: Una baja densidad de espacio verde, un perímetro excesivo, un espacio urbano no desarrollado para una amplia red de carreteras. etc.

Cuadro 6.2: Tabla de resultados globales para obtener la matriz de sostenibilidad.

Ciudad	DS	SUI	GUI	Orden DS	Orden SUI	Orden GUI	Total Sostenibilidad	Orden según sostenibilidad
Saint Petersb.	0,42	1,15	0,61	10	6	6	22	1
Alexandria	0,38	2,07	0,02	5	19	19	43	2
Brasilia	0,52	1,18	0,06	39	7	7	53	3
Haifa	0,45	1,86	0,45	21	17	17	55	4
Jerusalem	0,38	2,58	0,43	4	31	31	66	5
Medellin	0,36	2,61	0,17	3	33	33	69	6
Sevilla	0,47	2,32	0,04	25	24	24	73	7
Malaga	0,50	2,29	0,02	32	23	23	78	8
Sarajevo	0,51	2,13	0,48	38	20	20	78	9
Hong Kong	0,43	2,61	0,46	13	34	34	81	10
Cape Town	0,57	1,79	0,01	52	15	15	82	11
Kaohsiung	0,62	1,10	0,07	76	4	4	84	12
Daegu	0,55	2,19	0,45	45	22	22	89	13
Mumbai	0,55	2,38	0,08	43	26	26	95	14
Linz	0,49	2,75	0,34	30	39	39	108	15
Bilbao	0,64	1,78	0,25	91	13	13	117	16
Cali	0,25	3,38	0,01	1	59	59	119	17
Turin	0,60	2,37	0,18	69	25	25	119	18
Ljubljana	0,54	2,78	0,62	42	40	40	122	19
Gothenburg	0,61	2,58	0,50	70	30	30	130	20
Riga	0,77	0,74	0,21	138	2	2	142	21
Leeds	0,57	2,93	0,12	53	45	45	143	22
Geneva	0,71	1,23	0,19	127	9	9	145	23
Nice	0,70	1,77	0,25	121	12	12	145	24
Moscow	0,87	0,63	0,14	147	1	1	149	25
Oslo	0,73	1,38	0,20	130	10	10	150	26
Stockholm	0,83	0,92	0,29	145	3	3	151	27
A coruna	0,82	1,14	0,31	144	5	5	154	28
San Francisco	0,56	3,26	0,07	47	55	55	157	29
Helsinki	0,79	1,22	0,32	141	8	8	157	30
Lisboa	0,58	3,07	0,12	56	51	51	158	31
Busan	0,55	3,29	0,29	44	58	58	160	32
Quito	0,42	3,89	0,06	11	75	75	161	33
Florence	0,74	1,78	0,13	133	14	14	161	34
Barcelona	0,58	3,12	0,27	57	52	52	161	35
Marseille	0,48	3,66	0,41	27	68	68	163	36
Warsaw	0,79	1,51	0,16	142	11	11	164	37
Chongqing	0,75	1,86	0,07	134	16	16	166	38
Taipei	0,56	3,39	0,57	46	60	60	166	39
Caracas	0,51	3,61	0,05	35	66	66	167	40
Viena	0,63	2,90	0,07	83	42	42	167	41
Daejeon	0,61	3,00	0,10	72	48	48	168	42
Abu Dhabi	0,62	3,01	0,00	75	49	49	173	43
Recife	0,39	4,13	0,20	7	83	83	173	44
Hamburg	0,78	1,97	0,05	139	18	18	175	45
Wroclaw	0,68	2,59	0,08	112	32	32	176	46
Shenzhen	0,67	2,70	0,27	106	36	36	178	47
Stuttgart	0,57	3,58	0,38	50	64	64	178	48
Lille	0,61	3,25	0,06	71	54	54	179	49
Nottingham	0,65	2,92	0,08	93	43	43	179	50
Tel Aviv	0,48	3,94	0,10	28	77	77	182	51
Basel	0,64	2,99	0,32	90	47	47	184	52
Amsterdam	0,73	2,42	0,06	131	28	28	187	53
Guangzhou	0,84	2,17	0,09	146	21	21	188	54
Tianjin	0,77	2,41	0,00	136	27	27	190	55
Rosario	0,44	4,28	0,05	14	89	89	192	56
Harbin	0,77	2,43	0,02	137	29	29	195	57
Milan	0,72	2,63	0,05	128	35	35	198	58
Tainan	0,68	2,92	0,09	111	44	44	199	59
Bogota	0,44	4,41	0,17	15	92	92	199	60
Munich	0,67	2,98	0,19	110	46	46	202	61

Cuadro 6.2 – Continuación de la página anterior

Ciudad	DS	SUI	GUI	Orden DS	Orden SUI	Orden GUI	Total Sostenibilidad	Orden según sostenibilidad
Cologne	0,60	3,72	0,21	66	70	70	206	62
Prague	0,63	3,53	0,17	82	63	63	208	63
Brussels	0,59	3,83	0,15	63	73	73	209	64
Wuhan	0,76	2,75	0,03	135	38	38	211	65
Auckland	0,64	3,52	0,12	87	62	62	211	66
Frankfurt	0,67	3,23	0,13	107	53	53	213	67
Lima	0,34	4,81	0,02	2	107	107	216	68
Shenyang	0,81	2,73	0,02	143	37	37	217	69
Cairo	0,44	4,63	0,02	19	99	99	217	70
Seoul	0,69	3,04	0,13	119	50	50	219	71
Suzhou	0,78	2,87	0,03	140	41	41	222	72
Singapore	0,62	3,88	0,20	77	74	74	225	73
Calcutta	0,69	3,28	0,01	118	56	56	230	74
Sofia	0,68	3,49	0,08	113	61	61	235	75
La Paz	0,51	4,64	0,01	36	101	101	238	76
Eindhoven	0,65	3,81	0,25	94	72	72	238	77
Valencia	0,71	3,29	0,01	125	57	57	239	78
Madrid	0,59	4,31	0,18	60	90	90	240	79
New York	0,58	4,44	0,04	55	94	94	243	80
Rio de Janeiro	0,51	4,69	0,11	37	103	103	243	81
Liverpool	0,60	4,27	0,11	67	88	88	243	82
Istanbul	0,46	4,97	0,08	24	111	111	246	83
Zurich	0,69	3,58	0,31	120	65	65	250	84
Taichung	0,62	4,22	0,08	79	86	86	251	85
Doha	0,43	5,37	0,02	12	121	121	254	86
Philadelphia	0,65	4,13	0,06	96	81	81	258	87
Lyon	0,66	4,11	0,12	99	80	80	259	88
Washington	0,70	3,70	0,12	123	69	69	261	89
Roma	0,72	3,66	0,07	129	67	67	263	90
Ankara	0,60	4,58	0,04	68	98	98	264	91
Porto	0,70	3,74	0,08	124	71	71	266	92
Dublin	0,67	4,05	0,13	108	79	79	266	93
Jeddah	0,38	5,80	0,00	6	131	131	268	94
Montevideo	0,66	4,22	0,01	98	85	85	268	95
Duisburg	0,64	4,37	0,14	89	91	91	271	96
Belohorizonte	0,58	4,89	0,03	54	110	110	274	97
Kuala Lumpur	0,49	5,41	0,16	31	122	122	275	98
Monterrey	0,44	5,75	0,06	20	128	128	276	99
Naples	0,67	4,18	0,03	109	84	84	277	100
Bursa	0,68	4,13	0,01	114	82	82	278	101
Boston	0,63	4,54	0,06	84	97	97	278	102
Salvador	0,64	4,53	0,07	86	96	96	278	103
Ottawa	0,70	3,99	0,19	122	78	78	278	104
Durban	0,65	4,42	0,01	95	93	93	281	105
Santo Domingo	0,56	5,13	0,03	48	118	118	284	106
Beijing	0,73	3,92	0,04	132	76	76	284	107
Glasgow	0,57	5,06	0,12	51	117	117	285	108
Dubai	0,57	5,28	0,04	49	119	119	287	109
Pretoria	0,68	4,25	0,01	115	87	87	289	110
Manila	0,49	5,80	0,01	29	130	130	289	111
Fortaleza	0,53	5,45	0,03	41	124	124	289	112
Jakarta	0,51	5,80	0,00	34	129	129	292	113
Guadalajara (Mex.)	0,45	6,67	0,02	22	137	137	296	114
Mexico	0,41	8,48	0,05	8	144	144	296	115
Athens	0,48	6,49	0,08	26	135	135	296	116
Santiago	0,44	7,08	0,06	16	141	141	298	117
Manchester	0,64	4,74	0,11	88	105	105	298	118
Cordoba (Arg.)	0,62	4,86	0,01	81	109	109	299	119
Sao Paulo	0,42	9,47	0,05	9	146	146	301	120
Porto Alegre	0,66	4,68	0,13	97	102	102	301	121
Osaka	0,44	7,73	0,14	17	142	142	301	122
Miami	0,61	5,02	0,01	74	115	115	304	123
Phoenix	0,66	4,64	0,02	104	100	100	304	124
Shanghai	0,68	4,44	0,01	116	95	95	306	125
Chicago	0,62	4,99	0,05	78	114	114	306	126
Vancouver	0,66	4,70	0,15	100	104	104	308	127
Bangkok	0,62	5,03	0,01	80	116	116	312	128
Buenos Aires	0,44	10,44	0,05	18	147	147	312	129
Riyadh	0,50	6,99	0,01	33	140	140	313	130
Tokio	0,46	8,68	0,03	23	145	145	313	131
Sydney	0,60	5,59	0,09	64	125	125	314	132
Delhi	0,66	4,75	0,08	105	106	106	317	133
Bangalore	0,61	5,61	0,02	73	126	126	325	134
Los Angeles	0,52	8,43	0,05	40	143	143	326	135
Montreal	0,59	5,94	0,11	62	132	132	326	136
Johannesburg	0,59	6,43	0,02	59	134	134	327	137
Birmingham	0,66	4,97	0,10	103	112	112	327	138
Melbourne	0,59	6,53	0,10	61	136	136	333	139

Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

Cuadro 6.2 – Continuación de la página anterior

Ciudad	DS	SUI	GUI	Orden DS	Orden SUI	Orden GUI	Total Sostenibilidad	Orden según sostenibilidad
Berlin	0,69	4,85	0,12	117	108	108	333	140
London	0,59	6,68	0,12	58	138	138	334	141
Curitiba	0,66	5,36	0,09	102	120	120	342	142
Toronto	0,60	6,80	0,15	65	139	139	343	143
Paris	0,64	5,75	0,12	92	127	127	346	144
Houston	0,66	5,41	0,04	101	123	123	347	145
Dallas	0,63	6,12	0,10	85	133	133	351	146
Copenhaguen	0,71	4,98	0,13	126	113	113	352	147

En la zona negra las ciudades menos sostenibles.

Las ciudades que presentan una posición más alta en el Ranking son:

1. Copenhaguen
2. Dallas
3. Houston
4. París
5. Toronto
6. Curitiba
7. Londres
8. Berlín
9. Melbourne
10. Birmigan
11. Johanesburgo
12. Montreal
13. Los Ángeles

En las ciudades Españolas está Madrid con la posición setenta y nueve y le sigue Valencia.

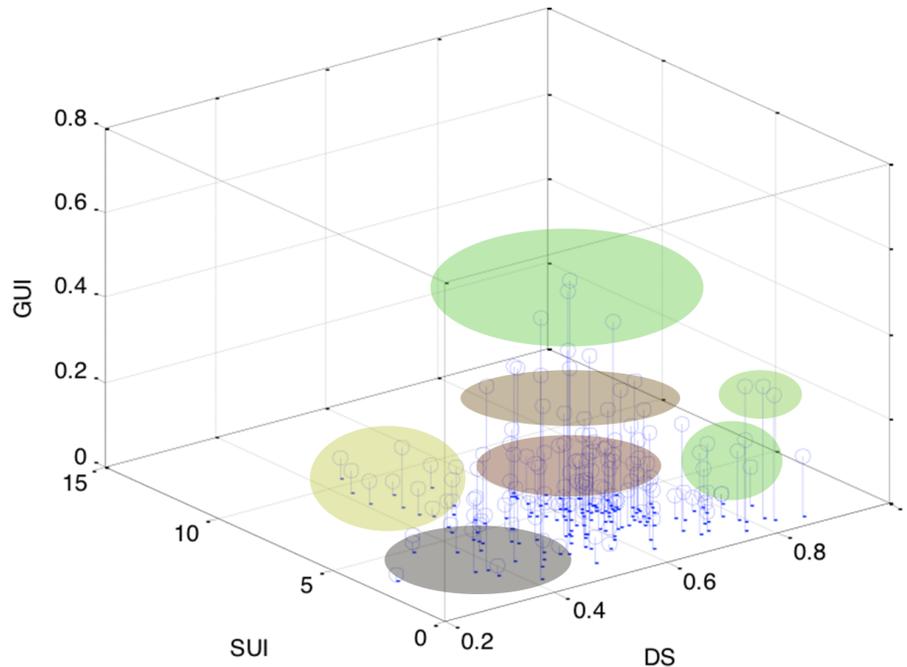


Figura 6.2: Matriz de sostenibilidad analizada, de las ciudades globales

6.6. Análisis de los resultados obtenidos

A continuación, se describen brevemente los indicadores representados en la matriz de sostenibilidad relacionados con compactación, espacios libres, densidad y dispersión.

6.6.1. Índice de la forma urbana (UCI o SUI)

El SUI muestra la relación de forma con superficie. Una superficie muy grande con un perímetro menor corresponde a una urbanización compacta, por el contrario, perímetros muy grandes para superficies menores corresponde a urbanizaciones dispersas o poco óptimas.

Un SUI mayor indica que la urbanización está muy optimizada y la trama de carreteras llega a todas las zonas construidas con un menor consumo de

infraestructuras y menor consumo energético. En un caso extremo, significa que no existe suficiente red de transporte para llegar a todas las partes construidas.

El índice menor corresponde a patrones urbanos poco óptimos en su funcionamiento y a patrones de dispersión.

6.6.2. Índice del verde urbano (GUI)

Un índice mayor significa que existe más espacio verde por superficie ocupada y por tanto una mayor calidad ambiental y calidad de vida, o al menos potencialmente.

6.6.3. Índice de densidad de Ocupación (DS o GSI)

Un índice mayor corresponde a ciudades muy compactas, por tanto, lo contrario corresponde a ciudades dispersas.

Los principales partidarios de la ciudad compacta, [Jacobs, 1961], [Newman and Kenworthy, 1989], [Elkin et al., 1991], [Sherlock, 1991], [Engwicht, 1992], [McLaren, 1992], [Owens and Rickaby, 1992], sostienen que la Ciudad Compacta tiene ventajas ambientales, de energía y beneficios sociales, [Thomas and Cousins, 1996].

Las características destacables de las ciudades compactas son resumidas a continuación:

Un alto grado de contención del desarrollo urbano; reutilización de la infraestructura y del territorio ya utilizado; la reconversión de las zonas urbanas, y en consecuencia, la rehabilitación de las ciudades existentes. La de la contención edificatoria y la alta densidad da una forma de ciudad compacta y beneficia a la conservación del espacio natural.

Hay un potencial mayor de diversidad social y la posibilidad de crear distintos tipos de viviendas en los mismos barrios.

Como resultado de las altas densidades existe una mayor viabilidad de usos mixtos. Se reduce las distancias de viaje al haber más usos mixtos y más población. Hay menor dependencia del coche y la posibilidad del uso de la bicicleta como una forma eficiente de transporte a nivel local.

Transporte público asequible, satisfaciendo las necesidades diarias de los que peatones, la mayoría de los usuarios de la trama urbana. Como resultado, e hay un aumento de la accesibilidad general y la movilidad.

Un ambiente más saludable, como consecuencia de la reducción del transporte privado, menor consumo de combustibles fósiles y mejor salud.

Con el uso del transporte público se reduce el volumen de tráfico rodado, la contaminación y el riesgo de accidentes. En consecuencia, los gastos de transporte son más bajos, lo cual lleva a disminuir la contaminación. Las retenciones de tráfico están repartidas por más carreteras y por períodos más cortos de tiempo.

Hay mayor desarrollo de los barrios, como consecuencia se genera negocio local, existe una mayor seguridad, y mejora la calidad de vida.

Capítulo 7

Conclusiones y Líneas futuras

En este capítulo se exponen conclusiones y líneas futuras de trabajo generadas a partir del análisis y desarrollo de esta tesis.

7.1. Introducción

Se ha logrado el objetivo y se ha demostrado el teorema ó hipótesis planteado:

" A partir de la información dada por puntos de control, extraídos de un mapa, que definen los parámetros de ciudades cualesquiera, se plantea su procesamiento pasando a un espacio hiperdimensional y produciendo entonces, una herramienta eficiente para la identificación automática de formas de ciudad y la identificación de la sostenibilidad".

A raíz de los resultados obtenidos y analizados en el capítulo 6, se puede decir que se ha logrado satisfacer dicha hipótesis, así como los objetivos planteados para demostrar la hipótesis de esta tesis.

El análisis de la forma urbana y la definición de los patrones urbanos es un área de investigación que se ha estudiado desde diferentes vértices.

Por un lado el estudio del crecimiento de las ciudades y usos del suelo, a través de modelos dinámicos, como por ejemplo, los desarrollados con autómatas celulares en los modelos de [White and Engelen, 1993] [Batty and Xie, 1994], [Tobler, 1970]. Por otro lado, desde el estudio de la forma estática y a través de métricas y geometrías, y usos del suelo [Haughton and Hunter, 1994], [Breheny et al., 1992], [Muth, 1969]. Otros investigadores se han centrado en el estudio de la forma urbana como herramienta de planeamiento y de estudio urbano [Howard, 1989], [Burgess, 1925], [Hoyt, 1939], [Harris and Ullman, 1945], [Portugali, 2000]).

De forma tradicional, el estudio de las ciudades se ha realizado de forma manual o mediante plataformas potentes de gestión de datos georreferenciados como un Sistema de Información Geográfico (SIG). Estos sistemas de por sí no sirven si no se conocen los metadatos.

Los metadatos, para escala de la ciudad, son introducidos de forma manual. Se realizan mapas o planimetrías a través de vuelos a distintas alturas y se calcan las imágenes para hacer los mapas.

En la era de la revolución del conocimiento actual, es posible obtener información, desde casa, lo cual, hace pocos años era inimaginable, por tanto, estructuras antes consolidadas deben adaptarse.

7.2. Conclusiones

En la presente tesis se ha descrito un modelo para definición de los patrones de la forma urbana de las ciudades, de manera automática y validando el proceso mediante su comparación con el método manual.

Las innovaciones que presenta esta tesis pertenecen por un lado, al campo de la urbanística, en concreto a un nuevo campo que es el urbanismo paramétrico, por otro lado, al campo de las aplicaciones del procesado de imágenes.

A continuación, se describirán las principales aportaciones de esta investigación:

1. Se ha desarrollado un sencillo modelo paramétrico, que mide las ciudades con un mismo criterio urbanístico y las compara.
2. Con los parámetros obtenidos se calculan indicadores con cuyos rangos se puede determinar la sostenibilidad del modelo de ciudad.
3. Se ha automatizado el proceso para estudiar tantas ciudades como mapas de los que se disponga, hacienda en veinte minutos, un trabajo que de forma convencional demoraría meses y ofreciendo una credibilidad bastante alta. El modelo es cincuenta veces más rápido que métodos tradicionales, y no requiere de la disponibilidad de metadatos difíciles de obtener.
4. Se han probado y puesto a prueba nuevos indicadores que definen la sostenibilidad de las ciudades desde la forma urbana. Se han sintetizado en una matriz de sostenibilidad donde se pueden comparar las ciudades.
5. Se han utilizado técnicas de procesado de imagen creando un algoritmo con el que se detectan los parámetros necesarios para medir la forma urbana.
6. Se han estudiado los modelos para veinte de las urbanizaciones turísticas más importantes de Canarias, abriendo la posibilidad de identificar en qué aspecto pueden ser mejoradas o cual debe de ser la línea de trabajo para conseguir un mayor grado de sostenibilidad en cada una de ellas.

7. Se ha aplicado el método a ciento cuarenta y siete ciudades del planeta, de distintos tamaños, cuya lista se obtuvo del ranking de ciudades inteligentes, *Cities in Motion 2015*. Con estos parámetros se calcula la sostenibilidad de la forma urbana y quedan definidos los modelos de ciudad actuales, mediante la metodología propuesta.
8. Se ha hecho la comparativa morfológica de ciudades del mundo más completa que se conoce, ya que los modelos de estudio de ciudades revisadas, no van más allá de veinte ciudades [Godfrey and Zhou, 1999].
9. Se ha creado una metodología con la que obtener una base de datos apta para diferentes estudios urbanos, sin tener previamente metadatos ni herramientas complejas y caras como los GIS.

Las bases de datos más populares Spacematrix (2010), coleccionan datos métricas de urbanizaciones a escala de la manzana, la mayor dificultad en éstas es que la edición es manual y se presta a interpretaciones subjetivas en la clasificación de la información. En esta tesis, al automatizar el procesado, no caben interpretaciones de la información, los datos son objetivos.

Otros software desarrollados que trabajan con procesado de imágenes, lo hacen a una escala de paisaje. En el software FRANSAT, por ejemplo, cada píxel tiene unos 50×50 metros [FRANSAT, 2002]. En nuestro modelo se han automatizado los procesos con imágenes de $2,1 \times 2,1$ metros, en las urbanizaciones turísticas de Canarias, y de 16×16 metros en las ciudades globales.

7.3. Líneas futuras

Los trabajos que se exponen en este documento son solo una ventana abierta a varios campos de investigación y constituyen un primer paso. La investigación en esta materia está abierta en muchos frentes y este modelo puede aportar el impulso necesario para su desarrollo.

Las líneas futuras se van a plantear en dos bloques principales. Un primer bloque del urbanismo paramétrico y un segundo bloque de la automatización y el procesado de imágenes para el urbanismo.

7.3.1. Líneas futuras en el urbanismo paramétrico

1. Considerar el urbanismo paramétrico como una forma efectiva de identificar las acciones y las decisiones en la planificación cuantificada y objetiva.
2. **Utilización en el planeamiento urbanístico.** Considerar el urbanismo paramétrico como una forma efectiva de identificar las acciones y las decisiones en la planificación cuantificada y objetiva.

3. **Incluir nuevos parámetros.** Incluir aspectos cualitativos a los aspectos cuantitativos ya presentados en el capítulo dos, éstos pueden ser por ejemplo: nuevos parámetros referentes valores naturales, históricos, patrimoniales, que hacen a cada ciudad singular. Los parámetros anteriores en referencia a la forma urbana.
4. En otra dimensión, incluir los aspectos o parámetros presentados en capítulo tres de esta tesis en la **evaluación del urbanismo ecológico** u otros sistemas de auditorías de urbanismo, para evaluar la sostenibilidad en forma de las ciudades.

7.3.2. Aplicación para la definición del modelo de ciudad

1. Definir el modelo de ciudad, a renovar, reconstruir, reinterpretar, en base a la interpretación paramétrica de la forma. La metodología paramétrica utilizada sirve de orientación para mejorar las ciudades existentes
2. Definir el modelo de ciudad, a proyectar, en base a la interpretación paramétrica de la forma, ya que son parámetros que condicionan extremadamente el éxito de las futuras intervenciones de crecimiento
3. Definir el modelo de ciudad, a proyectar, en base a la interpretación paramétrica de la forma, ya que son parámetros que condicionan extremadamente el éxito de las futuras intervenciones de crecimiento
4. **Explorar en los datos aportados de las veinte urbanizaciones turísticas de Canarias y de las ciento cuarenta y siete ciudades globales.** Estudiar a fondo los datos aportados por esta investigación para proponer posibles soluciones urbanísticas en cada caso. En concreto, en las urbanizaciones turísticas de Canarias, donde se hace constancia de las diferencias métricas de cada una y de las morfologías adoptadas. El objetivo de alcanzar una mayor sostenibilidad en la planificación turística, necesita de esta tipo herramientas. Esta metodología permite para interpretar, de forma objetiva, las directrices de crecimiento y la efectividad en el tiempo.

7.3.3. Otras aplicaciones del procesado de imagen en el urbanismo

El procesado de imagen ha tenido un fuerte auge en el campo de la biométrica con el desarrollo de tecnologías de procesado en tiempo real. El procesado de imagen hace capaz la identificación de objetos, personas, cosas, etc., de una forma más rápida que el ojo humano es capaz de hacer. La aplicación a la identificación del territorio abre un campo extenso de posibilidades.

1. **Parametrizar el impacto paisajístico con técnicas de procesado de imagen** El impacto paisajístico es difícilmente medible bajo parámetros estándares y con métodos tradicionales. Un modo útil de parametrizar el impacto paisajístico es hacer estos estudios respecto a imágenes que reproduzcan la percepción de los usuarios o la percepción desde diferentes puntos de vista
2. **Aplicar el método de estudio a urbanizaciones que no sean turísticas** Tal y como se ha demostrado en los experimentos presentados en esta tesis, la metodología presentada, puede ser aplicada a diferentes escalas de la ciudad, desde la manzana a la urbanización o a la globalidad de la ciudad
3. **Herramienta para editar los límites de los asentamientos.** Definir los límites de los asentamientos ha sido siempre algo muy controvertido y difícil, en algunos casos. La utilización de estas técnicas evita utilizar la propiedad del suelo como límite. Para definir los asentamientos urbanos. Esta herramienta, desarrollada, es capaz de definir los límites de los asentamientos, las categorías de suelo o capacidad de carga de cada lugar, de forma automática
4. Es una potente herramienta para los gobiernos evaluar sus urbanizaciones, para **planificar los nuevos desarrollos** en compactación o continuidad con los desarrollos ya en funcionamiento.
5. **Utilización en la fotogrametría.** Desarrollo del código de procesado de imágenes para detectar automáticamente sobre **fotogrametría**. En este sentido existen desarrollos en imágenes de satélite a gran escala. Entrar en detalle de escalas menores implica incluir parámetros de definiciones geométricas y continuidad sobre la colorimetría. Si el ojo humano puede diferenciarlo y clasificarlo como construido o carretera, por qué no una máquina.
6. Realizar estudios *online* en **tiempo real**. Desarrollo de la herramienta para hacer estudios urbanísticos online sobre mapas de Google Maps o de OSM. El conocimiento de los parámetros, mostrados en esta tesis, ofrece criterios objetivos para la concienciación en la definición de los modelos de ciudad deseados.
7. Utilizar el código para realizar **estudios dinámicos de crecimiento de las ciudades** y la vulnerabilidad del paisaje. El estudio de la dinámica del crecimiento permitiría definir nuevos parámetros a conservar y áreas de protección para mantener el modelo deseado.

Bibliografía

- [Alexander, 1964] Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*, volume 5. Harvard University Press.
- [Alexander et al., 1977] Alexander, C., Ishikawa, S., and Silverstein, M. (1977). Pattern languages. *Center for Environmental Structure*, 2.
- [Alonso et al., 1964] Alonso, W. et al. (1964). Location and land use. toward a general theory of land rent. *Location and land use. Toward a general theory of land rent*.
- [Athó, 2006] Athó, F. C. (2006). Tópicos especiales en procesamiento gráfico. esqueletización.
- [Bak et al., 1987] Bak, P., Tang, C., and Wiesenfeld, K. (1987). Self-organized criticality: An explanation of the $1/f$ noise. *Physical review letters*, 59(4):381.
- [Baker and Steemers, 2003] Baker, N. and Steemers, K. (2003). *Energy and environment in architecture: a technical design guide*. Taylor & Francis.
- [Batty, 2009] Batty, M. (2009). Defining density. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(4):571–572.
- [Batty et al., 2012] Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., and Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1):481–518.
- [Batty and Xie, 1994] Batty, M. and Xie, Y. (1994). From cells to cities. *Environment and planning B*, 21:s31–s31.
- [Beirão et al., 2011] Beirão, J. N., Nourian Ghadi Kolae, P., and Mashhoo-di, B. (2011). Parametric urban design: An interactive sketching system for shaping neighborhoods. In *eCAADe 2011: Proceedings of the 29th conference on education and research in computer aided architectural design in Europe Respecting Fragile Places", Ljubljana, Slovenia, 21-24 September 2011*. eCAADe, Faculty of Architecture, University of Ljubljana.
- [Berghauser Pont and Haupt, 2010] Berghauser Pont, M. and Haupt, P. (2010). Spacematrix: Space, density and urban form. *Rotterdam: Nai Publishers*.
- [Breheny et al., 1992] Breheny, M. J., Association, R. S., et al. (1992). *Sustainable development and urban form*, volume 2. Pion London.

- [Brundtland et al., 1987] Brundtland, G., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., Chidzero, B., Fadika, L., Hauff, V., Lang, I., Shijun, M., de Botero, M. M., et al. (1987). Our common future (\'brundtland report\').
- [Burgess, 1925] Burgess, E. (1925). The growth of the city. v: Park, r., burgess, e.
- [Burton et al., 2003] Burton, E., Jenks, M., and Williams, K. (2003). *The compact city: a sustainable urban form?* Routledge.
- [Cáceres, 2007] Cáceres, E. (2007). *Estudio de las condiciones y características de la Planta Alojativa Turística en Playa del Inglés (Gran Canaria). Patronato de Turismo de Gran Canaria.* Patronato de turismo de Gran Canaria.
- [Cao et al., 2010] Cao, X., Onishi, A., Chen, J., and Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using aster and ikonos data. *Landscape and Urban Planning*, 96(4):224–231.
- [Castells, 2004] Castells, M. (2004). *La era de la información: economía, sociedad y cultura*, volume 3. siglo XXI.
- [Castells and Andrade, 2010] Castells, M. and Andrade, J. A. (2010). La sociedad red: una visión global. *Enl@ ce*, 7(1).
- [Coast et al., 2007] Coast, S. et al. (2007). Openstreetmap. In *Workshop on Volunteered Geographic Information*.
- [Committee et al., 1918] Committee, T. W. et al. (1918). Report of the committee to consider questions of building construction in connection with the provision of dwellings for the working classes in england and wales, and scotland (cd 9191).
- [Corbusier, 1931] Corbusier, L. (1931). *Towards a new architecture*. Courier Corporation.
- [Davies and Bishop, 2013] Davies, T. P. and Bishop, S. R. (2013). Modelling patterns of burglary on street networks. *Crime Science*, 2(1):1–14.
- [de Canarias, 2015] de Canarias, G. (2015). Idecán, infraestructura de datos espaciales de canarias.
- [Duany et al., 2007] Duany, A., Wright, W., and Sorlien, S. (2007). Smart code, version 9.0. *The Town Paper*.
- [Elkin et al., 1991] Elkin, T., McLaren, D., and Hillman, M. (1991). *Reviving the City: towards sustainable urban development*. Friends of the Earth London.
- [Engwicht, 1992] Engwicht, D. (1992). *Towards an eco-city: calming the traffic*.

- [Falcon et al., 2005] Falcon, N., Travieso, C. M., Alonso, J. B., and Ferrer, M. A. (2005). Image processing techniques for braille writing recognition. In *Computer Aided Systems Theory—EUROCAST 2005*, pages 379–385. Springer.
- [Farr, 2011] Farr, D. (2011). *Sustainable urbanism: urban design with nature*. John Wiley & Sons.
- [Faundez-Zanuy et al., 2007] Faundez-Zanuy, M., Elizondo, D. A., Ferrer-Ballester, M.-Á., and Travieso-González, C. M. (2007). Authentication of individuals using hand geometry biometrics: A neural network approach. *Neural Processing Letters*, 26(3):201–216.
- [Feng, 2013] Feng, H. (2013). Interactive design computation—a case study on quantum design paradigm. *Frontiers of Architectural Research*, 2(2):252–262.
- [Francisco, 2015] Francisco, P. (2015). Laudato si. *Sobre el cuidado de la Casa Común (Encíclica)*.
- [Giffinger et al., 2007] Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., and Meijers, E. (2007). Smart cities-ranking of european medium-sized cities. Technical report, Vienna University of Technology.
- [Gleick, 1997] Gleick, J. (1997). *Chaos: Making a new science*. Random House.
- [GMBH, 2015] GMBH, S. (2015). Statista gmbh.
- [Godfrey and Zhou, 1999] Godfrey, B. J. and Zhou, Y. (1999). Ranking world cities: multinational corporations and the global urban hierarchy. *Urban Geography*, 20(3):268–281.
- [Gonzalez and Woods, 2002] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002). Digital image processing.
- [Goodchild, 2007] Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4):211–221.
- [Haklay and Weber, 2008] Haklay, M. and Weber, P. (2008). Openstreetmap: User-generated street maps. *Pervasive Computing, IEEE*, 7(4):12–18.
- [Harris and Ullman, 1945] Harris, C. D. and Ullman, E. L. (1945). The nature of cities. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, pages 7–17.
- [Haughton and Hunter, 1994] Haughton, G. and Hunter, C. (1994). Sustainable cities, regional policy and development series 7. *Regional Studies Association. London and Bristol, Pennsylvania*.

- [Hildebrand, 1999] Hildebrand, F. (1999). Designing the city: Towards a more sustainable urban form. *E & FN Spon, London*.
- [Houghton et al., 2014] Houghton, K., Miller, E., and Foth, M. (2014). Integrating ict into the planning process: impacts, opportunities and challenges. *Australian Planner*, 51(1):24–33.
- [Howard, 1989] Howard, E. (1989). originally published 1898 as tomorrow, a peaceful path to real reform. reissued as garden cities of tomorrow blith wells.
- [Hoyt, 1939] Hoyt, H. (1939). The structure and growth of residential neighborhoods in american cities.
- [IESE, 2015] IESE (2015). Cities in motion index 2014.business scholl, university of navarra, spain.
- [INNE, 2015] INNE, I. N. d. E. (2015). Cities in motion index 2014.business scholl, university of navarra, spain.
- [Jacobs, 1961] Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. Vintage.
- [Katz et al., 1994] Katz, P., Scully, V. J., and Bressi, T. W. (1994). *The new urbanism: Toward an architecture of community*, volume 10. McGraw-Hill New York.
- [Kauffman and Johnsen, 1991] Kauffman, S. A. and Johnsen, S. (1991). Coevolution to the edge of chaos: Coupled fitness landscapes, poised states, and coevolutionary avalanches. *Journal of theoretical biology*, 149(4):467–505.
- [Li and Reynolds, 1993] Li, H. and Reynolds, J. F. (1993). A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape ecology*, 8(3):155–162.
- [Lye and Gang, 2010] Lye, L. F. and Gang, C. (2010). *Towards a liveable and sustainable urban environment: Eco-Cities in East Asia*. World Scientific.
- [McGarigal, 2002] McGarigal, K. (2002). Landscape pattern metrics. *Encyclopedia of environmetrics*.
- [McGarigal et al., 2002] McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., and Ene, E. (2002). Fragstats: spatial pattern analysis program for categorical maps.
- [McGarigal and Marks, 1995] McGarigal, K. and Marks, B. J. (1995). Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station*.

- [McHarg and Mumford, 1969] McHarg, I. L. and Mumford, L. (1969). *Design with nature*. American Museum of Natural History New York.
- [McLaren, 1992] McLaren, D. (1992). Compact or dispersed? dilution is no solution. *Built Environment (1978-)*, pages 268–284.
- [Montenegro and Duarte, 2008] Montenegro, N. C. and Duarte, J. P. (2008). Towards a computational description of urban patterns. In *Architecture in Computro-26th eCAADe Conference Proceedings, Antwerpen*, pages 239–248.
- [Muth, 1969] Muth, R. F. (1969). Cities and housing; the spatial pattern of urban residential land use.
- [Naredo, 2010] Naredo, J. M. (2010). El modelo inmobiliario español y sus consecuencias. *Boletín CF+ S*, (44).
- [Newman and Kenworthy, 1989] Newman, P. W. and Kenworthy, J. R. (1989). Gasoline consumption and cities: a comparison of us cities with a global survey. *Journal of the american planning association*, 55(1):24–37.
- [Norman et al., 2006] Norman, J., MacLean, H. L., and Kennedy, C. A. (2006). Comparing high and low residential density: life-cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions. *Journal of urban planning and development*, 132(1):10–21.
- [OConnor and McDermott, 1998] OConnor, J. and McDermott, I. (1998). Introducción al pensamiento sistémico. *Barcelona: Editorial Urano*.
- [ONU, 1972] ONU (1972). *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, Estocolmo*. Organización de las Naciones Unidas.
- [ONU, 1992] ONU (1992). Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo.
- [ONU, 2001] ONU, D. o. E. (2001). *World Urbanization Prospects: The 1999 Revision*, volume 194. United Nations Publications.
- [Owens and Rickaby, 1992] Owens, S. E. and Rickaby, P. A. (1992). Settlements and energy revisited. *Built Environment*, 18(4).
- [Patton, 1975] Patton, D. R. (1975). A diversity index for quantifying habitat. *Wildlife Society Bulletin*, pages 171–173.
- [Pickett et al., 2008] Pickett, S. T., Cadenasso, M., Grove, J., Nilon, C., Pouyat, R., Zipperer, W., and Costanza, R. (2008). Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. In *Urban Ecology*, pages 99–122. Springer.

- [Pont and Haupt, 2007] Pont, M. B. and Haupt, P. (2007). The relation between urban form and density. *Urban morphology*, 11(1):62.
- [Portugali, 2000] Portugali, J. (2000). Self-organizing cities. In *Self-Organization and the City*, pages 49–72. Springer.
- [Purdom et al., 1921] Purdom, C. B., Lethaby, W. R., and Pepler, G. L. (1921). *Town Theory and Practice*. Benn Brothers.
- [Quevedo, 2013] Quevedo, I. (2013). Collaborative urban system for the knowledge society in the global city and a new urban planner profile.
- [Quevedo, 2015] Quevedo, I. (2015). *Proyecto de hoteles emblemáticos, de diseño paramétrico y Sostenible, Gran Canaria*. Montebalito S.A.
- [Quevedo et al., 2009] Quevedo, I., Galán, M., and Rubio, E. (2009). Planificación del desarrollo urbanístico sostenible mediante parámetros.
- [Quevedo et al., 2011] Quevedo, I., Galán Moreno, M. J., and Rubio Royo, E. (2011). Bim for urban scale and civic participation: how we have to adapt urban planning for a bottom up citizen participation system in the ict age. In *International Conference Virtual City and Territory (7è: 2011: Lisboa)*. Department of Civil Engineering of the University of Coimbra and e-GEO, Research Center in Geography and Regional Planning of the Faculty of Social Sciences and Humanities of the Nova University of Lisbon.
- [Quevedo et al., 2007] Quevedo, I., Prof. Cáceres, E., and Prof. Palop, J. (2007). Reconversión de los centros turísticos : Mapup 2005-2007 : regeneración del campo internacional de maspalomas [san bartolomé de tirajana][gran canaria] : alternativa de turismo sostenible en un entorno natural reciclado : Ecotur maspalomas [proyecto fin de carrera].
- [Quevedo et al., 2005] Quevedo, I., Prof. Burnay, and Prof. Lopez, J. (2005). Proyecto de centro cico fox de arelho, caldas da rainha, portugal. proyecto de quinto curso durante estudios en la universidad técnica de lisboa.
- [Quevedo et al., 2006] Quevedo, I., Prof. Cáceres, E., and Prof. Palop, J. (2006). Mapup. regeneración del campo internacional de maspalomas, entorno natural reciclado. proyecto de máster.
- [Quevedo, 2010] Quevedo, I. and Galán, M. R. E. (2010). Del k-tourist a la k-tourist-city. planificación urbana para la ciudad turística en la era del conocimiento.
- [Quine, 1980] Quine, W. V. O. (1980). *From a logical point of view: 9 logico-philosophical essays*, volume 9. Harvard University Press.

- [Rambaldi et al., 2006] Rambaldi, G., Kyem, P. A. K., McCall, M., and Weiner, D. (2006). Participatory spatial information management and communication in developing countries. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 25.
- [Restrepo, 2015] Restrepo, H. D. B. (2015). Procesamiento digital de imágenes.
- [Riitters et al., 2000] Riitters, K., Wickham, J., Vogelmann, J., and Jones, K. (2000). National land cover pattern data (ecology 81: 604). *Ecological Archives E*, 81.
- [Rubio Royo, 2009] Rubio Royo, E. (2009). Nuevo “rol” y paradigmas del aprendizaje, en una sociedad global en red y compleja: la era del conocimiento y el aprendizaje. *Arbor*, 185(Extra):41–62.
- [Rueda, 2012a] Rueda, S. (2012a). *El urbanismo ecológico: su aplicación en el diseño de un ecobarrio en Figueres*. Agencia de Ecología Urbana de Barcelona.
- [Rueda, 2012b] Rueda, S. (2012b). Guía metodológica para los sistemas de auditoría, certificación o acreditación de la calidad y sostenibilidad en el medio urbano. *Madrid: Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica. Ministerio de Fomento*.
- [Sassen, 1999] Sassen, S. (1999). *Ciudad Global, La*. Eudeba Buenos Aires.
- [Sherlock, 1991] Sherlock, H. (1991). *Cities are good for us*.
- [Su et al., 2011] Su, K., Li, J., and Fu, H. (2011). Smart city and the applications. In *Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference on*, pages 1028–1031. IEEE.
- [Telefónica, 2015] Telefónica, F. (2015). *La Sociedad de la Información en España 2014*. Grupo Planeta Spain.
- [The Mathworks, 2015] The Mathworks, I. (2015). Matlab 2015.
- [Thomas and Cousins, 1996] Thomas, L. and Cousins, W. (1996). The compact city: A successful, desirable and achievable urban form. *The compact city: A sustainable urban form*, pages 53–65.
- [Tobler, 1970] Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the detroit region. *Economic geography*, pages 234–240.
- [Torres,] Torres, A. D. Procesamiento digital de imágenes.
- [Turner, 2006] Turner, A. (2006). *Introduction to neogeography*. "Reilly Media, Inc."

- [Unwin and Mellanby, 1912] Unwin, W. C. and Mellanby, A. L. (1912). *The elements of machine design*, volume 1. Longmans, Green.
- [Vegara et al., 2004] Vegara, A., Gómez, A., and de las Rivas, J. (2004). *Territorios inteligentes: nuevos horizontes del urbanismo*. Nuevos horizontes del urbanismo. Fundación Metrópoli.
- [White and Engelen, 1993] White, R. and Engelen, G. (1993). Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and planning A*, 25(8):1175–1199.
- [Williams et al., 2000] Williams, K., Jenks, M., and Burton, E. (2000). *Achieving sustainable urban form*. Taylor & Francis.
- [Yeang, 2001] Yeang, K. (2001). *El rascacielos ecológico*. Editorial Gustavo Gili.
- [Ziegler, 2009] Ziegler, E. H. (2009). The case for megapolitan growth management in the twenty-first century: Regional urban planning and sustainable development in the usa. *International Journal of Law in the Built Environment*, 1(2):105–129.

Anexos

Anexo A

A.1. Proposal

In this thesis, a parametric methodology that serves as a support for planning is being proposed objectively and with sustainability criteria for the development of cities. This process is done automatically with image processing.

The parametric methodology is useful for the participants of urban planning. Parametric methodologies accomplish evaluating and planning objectively in means of sustainable urban development from the urban form of the city.

A parametric model of urban planning has been developed using parameters and indicators. This model identifies patterns of urban form of cities, for which it quantifies and calculates the sustainability indicators. Maps of Open Street Maps have been used by means of image processing methodologies in RGB matrix.

This process has been automated to develop an algorithm that reads the maps and classifies the patterns of cities according to their sustainability. With this process, studying all the urbanizations that are wanted at a speed of more than two thousand times greater than the traditional methods and with fewer people is achieved.

Four experiments have been performed in this document. The first two experiments tested the proposed parametric methodology, while the second two the proposed image processing with the parametric methodology.

One of the experiments, that is of great importance, is the study of twenty of the most important tourist resorts of the Canary Islands, while the other one is the study of 147 cities of the planet that were taken from the ranking of smart cities Cities in Motion 2015, IESE.

Mainly, this document wants to achieve the following:

- Define the parameters of urban sustainability of certain urbanization suitable for comparing various urban operations.

- Create a tool capable of identifying, capturing, measuring, calculating, combining and classifying parameters to automatically identify cities according to the degree of sustainability of urbanization.
- Propose one of the indicators of urban sustainability based on the metrics of urban form.

A.2. Objective

The objective of this thesis is to suggest a proper system of parametric evaluation of the sustainable urban planning through the use of urban pattern recognition obtained from maps and its automation through the image processing techniques.

The objectives of this thesis are framed in the urban planning and the automatic image processing:

On the one hand, by suggesting a system of automatic and parametric evaluation and planning from sustainable urban planning through the use of pattern recognition on images taken from air, maps and their validation through methodology based on the image processing.

On another hand, by innovating the applications for the image processing for the urban planning using automatic pattern recognition.

A.2.1. Approach of the hypothesis

This chapter shows how to apply the hypothesis of the doctoral thesis:

From the information given by checkpoints extracted from a map that define parameters of any city, its processing is raised leading to a hyper dimensional space and therefore producing an efficient tool for the automatic identification of the forms of city and the identification of sustainability.

A.3. Document structure

This document is divided into six chapters, references, the list of acronyms and three appendices, where the first of them contains the main parts of the thesis in English.

In the first chapter, the reader is being introduced to the actual and potential problem of the sustainability of the cities in the 21st century. The hypothesis is raised and a brief outline of the state of art is made.

The state of the art is described in chapter two. In this chapter, the quantitative methods for evaluating and planning the sustainability of the cities are described and the importance of urban form and the potential of the definition of the city as patterns is analysed.

Chapter three describes the parametric methodology and explains the indicators proposed on the basis of the parameters. The implication of each parameter and indicator is analysed and an exposition of the valid indicators, both its own and external, is done for this model.

In chapter four, the algorithm for the automatization of image processing that defines the patterns is worked out. This chapter describes step by step the process for obtaining the parameters automatically. Firstly the detection and later the calculation for both large and small scale images. The methodology is used with the city of Barcelona and the tourist urbanization of the Christians, Tenerife.

In chapter five, the experimental part is put into practice in four experiments. In experiment one, abstract patterns of possible urbanizations have been taken. In this part, the parametric methodology raised in the hypothesis and developed in the chapter two is applied. In this chapter, the methodology proposed for the evaluation of the sustainability of urban form is put to test. Through the recognition of patterns, the parameters, indices and used indicators are applied manually.

Continuing in chapter five, a second experiment is developed. In the experiment, the validated parametric methodology is developed to the field of twenty tourist urbanizations of the Canary Islands.

In the fourth experiment of this chapter, the parametric methodology and the recognition of patterns, previously developed and optimized to 147 cities of the world, obtaining quantitative data located to the cities according to the three-dimensional matrix that classifies the cities according to the types based on three indicators of sustainability, is applied. These images are extracted from ranking of IESE, Cities in Motion 2015.

In chapter six, the obtained results are discussed, in combination with the methodology of parametric patterns and the automatic recognition of patterns for the evaluation the sustainability of cities. This chapter describes the conclusions and future developments.

Appendix A is a document translated into English as a requirement for the European reference. This document comprises chapters one and six with the discussion, conclusions and results.

Appendix B is the collection of images obtained from the processing of the tourist urbanizations of the Canary Islands.

Appendix C shows seven of the images obtained from the processing of maps relating to global cities for each city.

A.4. Discussion

A.4.1. Introduction

This chapter discusses the results obtained by the parametric methodology and the automatic image processing. In the first part, the approaches of the parametric methodology and of the automatic system are mentioned. In the second part, the results obtained from the global cities and the cities of the Canary Islands are analysed.

A.4.2. Suggested parametric and automatic methodology

Proposal of new parameters

The parametric methodology suggested in this thesis enables the study of the sustainability of the cities with metrics that are available on the Internet and within everyone's reach. The main features of this system are:

Impact The proposed methodology is a way of measuring the potential and real problems of the cities. The analysis derived from the methodology can make the planet more sustainable, contribute to a more balanced society and help governments and companies make appropriate decisions.

Global scale This method is global and provides solutions for all the patterns of cities. With this parametric method, a great number of specific infrastructural issues of the cities can be analysed, whatever cultural, social, geographical differences may exist. Other parameters describe variables related to culture, climate or the topography, for example, cycle paths, the ways the avenues are built, street - boulevard relation and so on.

Utility It is of great importance to identify the infrastructural problems of the cities in order to know how to solve them and to approach a sustainable city model.

System of automation

Innovation When comparing Shanghai and New York, two cities of similar densities, their climates are different and therefore the use of the public space varies throughout the year. For instance, warmer climates permit the people to spend more hours outside, using the public space. An example is the city of Toronto, the largest underground city in the world, whose social and commercial life is built underground due to low winter temperatures. When comparing Toronto with Havana, there are certain climatic and social parameters that they both face on how to use the public space.

Utility The system of automation allows implementing processes, which would not be possible to be completed manually, and applies them to dozens of cities at the same time. It also optimizes the time and eliminates the subjectivities in the analysis.

Operation The automatic system has the ability to perform various procedures in the same process. This can be done with different maps at the same time and besides, without any mistakes.

Comparison to current systems

Speed Methods that could be used nowadays are SIG or manual methods. In order to do the same experiment with a GIS, having the metadata of 167 cities is required, which is rather difficult. These metadata should be available and homogenized. The information offered by the OSM platform is the best for developing this method. However, the tools available until now are limited to their accessibility.

Simplicity Maps have been obtained from screenshots and analysed. This analysis simplifies the process a lot and makes it possible even for non-experts to perform it and interpret the results.

Other manual methods would take long time to do the same process and would be exposed to errors of interpretation.

Accessibility Beside the accessibility offered by a SIG or manual methods, the automatic system allows the use of databases obtained from free and not necessarily expensive and complicated software.

A.4.3. Comparison of cities

This section will analyse the data obtained by the experiments of the tourist urbanizations of the Canary Islands and the global cities.

Methodology used for the comparison The results obtained from the sustainability matrix have been taken. These data are the SUI, GUI and DS or GSI. These data have been sorted from highest to lowest number for each of the cities. A numbering has been given to each of the cities, according to their order in each of the parameters. In relation to the cities of the Canary Islands, the numbering was from one to twenty. On the maps of the global cities, it was from 1 to 147. The values of the final order of the cities with each of the three parameters have been summarized. The cities have been sorted according to the sum of their sequences.

Results Cities that occupy a smaller area have three main characteristics: They are scattered and occupied with low densities and are barely green in an urban form that does not tend to be disrupted. These cities are little sustainable from the urban form point of view. In this case, the following examples are found: In the case of the tourist urbanizations of the Canary Islands, these are sorted from worst to best:

- Costa Teguisse
- Puerto del Carmen
- San Agustín
- Playa Blanca
- Los Cristianos
- Playa del Inglés

Considering an example of the SUI of Alcalá and Fonsalía compared to Corralejo: The form of Corralejo tends to be more rounded, while the form of Alcalá and Fonsalía tends to be stretched. For this reason, it is less sustainable in terms of infrastructure by a kilometre of services.

The urbanizations of Alcalá, Morrojable, Puerto Santiago and Puerto Rico are of a high density with a greater presence of green space per kilometre and a relationship of occupied land with greater perimeter.

The urbanizations that are located in the central graphical area are Playa del Inglés, Meloneras, Playa las Américas, Playa Paraíso and present balanced data of green spaces and urban compactness.

Global cities The cities of St. Petersburg, Alejandria, Brasilia, Haifa, Jerusalem, Medillin and Sevilla occupy lower positions in the list. Lower positions do not mean that the cities are the worst, but that they are disbalanced in the sum of the positions of the parameters such as: A low density of green space, an excessive perimeter, an urban area that is not developed to an extensive network of roads, etc.

The less sustainable cities can be found in the black area.

Cities that occupy the top positions in the Ranking are:

- Copenhagen
- Dallas

- Houston
- Paris
- Toronto
- Curitiba
- London
- Berlin
- Melbourne
- Birmingham
- Johannesburg
- Montreal
- Los Angeles

From the Spanish cities, Madrid is on the 79th position that is followed by Valencia.

A.5. Conclusions and future development

A.5.1. Conclusions

In this chapter, the conclusions and the future research of this work are explained based on the analysis and development of this thesis.

Introduction

The objective has been achieved and the theorem or suggested hypothesis has been proved:

"From the information given by control points and the map extracts that define the parameters of any city, its processing is being raised to a hyper dimensional space and therefore producing an efficient tool for automatic identification of city forms the identification of the sustainability".

As a result of the results obtained and analysed in the chapter 6, it can be said that it has managed to satisfy this hypothesis as well as the objectives raised to demonstrate the hypothesis of this thesis.

The analysis of the urban form and the definition of the urban patterns are an area of research that has been studied from different perspectives.

There has been done a lot of research on the urban growth and land use through dynamic models, such as the developed cellular automata models [White and Engelen, 1993] [Batty and Xie, 1994], [Tobler, 1970]. Later, the research moved from the study of the statics and went through the metrics and geometries towards the uses of land [Muth, 1969], [Haughton and Hunter, 1994], [Breheny et al., 1992]. Other researchers have focused on the study of urban form as a tool for planning and urban study [Howard, 1989], [Burgess, 1925], [Hoyt, 1939], [Harris and Ullman, 1945], [Portugali, 2000].

Traditionally, the study of cities has been performed manually or using powerful georeferenced data management platforms known as the Geographic Information System (GIS). These systems do not work if the metadata is not known.

The metadata for the scale of the city are introduced manually. Taking pictures from different heights are used to trace images for the maps or floor plans.

In the era of the evolution of knowledge that we are experiencing today, it is possible to obtain information at home, which was unimaginable a few years ago. For this reason, previously consolidated structures must be adapted.

In this thesis, the algorithm for defining patterns of urban form of cities is working automatically by image processing.

The contribution of this thesis consists basically of the field of urbanism, in particular a new field that is the parametric urbanism, and on the other hand, of the field of image processing applications.

The main contributions of this research are described below:

1. A simple parametric model has been developed. The model measures cities with the same urban criteria and compares them.
2. The indicators are calculated with the obtained parameters. With ranks of the indicators, it is possible to determine the sustainability of the city model.
3. New indicators, that define the sustainability of cities from the urban form, have been developed and tested. The developed indicators, which are described in Chapter 3 as the OII, UDS, COI, DMN and SUI, are synthesized in a matrix of sustainability with GUI, DS and SUI, where the cities can be compared.
4. Image processing techniques have been used, creating a methodology to detect the necessary parameters to define the urban form of cities. The automatically process is 50 times faster than traditional ways.
5. The image processing is made from maps freely obtained from the platform Open Street Maps. The fact of using OSM images unifies criteria and gives a universal access to necessary information.
6. The process of studying many cities that are available as maps has been automated and offers extraordinarily high credibility. Work, that would normally take months, is done in twenty minutes.
7. The models of the twenty most important tourist resorts of the Canary Islands have been studied, opening the possibility to identify in which aspect they can be improved or what should the range of work be in order to achieve greater degree of sustainability in each of the resorts.
8. The method has been applied to 147 cities of different sizes in the world. The list of the cities was obtained from the ranking of cities: Cities in Motion 2015. With these parameters, the sustainability of urban form is calculated and the models of actual city are defined using the proposed methodology.
9. The morphological comparison of cities in the world has been done. It is more complete than the known one and the study models of cities do not go beyond twenty cities [Godfrey and Zhou, 1999].

10. A methodology has been created in order to obtain a base of data suitable for different urban studies without the necessity of having metadata or complex and expensive tools such as GIS in advance.

The databases of the most popular Spacematrix (2010) collect metric data of urbanizations in a scale of an apple. The major difficulty is the manual editing that leads to a subjective interpretation for the classification of information. In this thesis, by automating the processing, interpretations of the information are not valid, since the data are objective.

Other developed software, which works with image processing, makes a landscape scale. In FRANSAT software, for example, each pixel is about 50 x 50 m [FRANSAT, 2002]. In our model, we have automated processes with images of 2.1 x 2.1 meters in the tourist resorts of the Canary Islands, and of 16 x 16 meters in global cities.

A.5.2. Future developments

The work presented in this paper is only an open window into several areas of research and constitutes the first step. Research in this area is open to many fronts and this model can provide the necessary impulse for its development. It is like the seed of a possible tree whose trunk represents sustainable, parameterized and automated planning.

The future developments will come in two main blocks. The first block will describe parametric urbanism while the second one the automation and urban image processing.

Future developments in parametric urbanism

Considering the parametric urbanism as an effective way to identify the actions and the decisions in quantified and objective planning.

Use in urban planning.

Including these tools and methodology in the assessment, analysis, monitoring and planning of general management plans into municipal scale.

Including new parameters. Including qualitative, and the quantitative aspects already presented in chapter two that can be for example new parameters relating natural, historical or heritage values that make each city unique. The above mentioned parameters will be with reference to the urban form.

In another dimension, including aspects or parameters presented in chapter two of this thesis in the evaluation of ecological planning or other auditory planning systems to assess the sustainability in the form of cities.

Including the three dimensional space in the parameters. This will allow extending the density of the improved and moreover include topographic conditions.

For the definition of the city model. Defining the city model, renovating, reconstructing and reinterpreting, based on parametric interpretation of the urban form. The used parametric methodology provides guidance to improve existing cities.

Defining the city model to project, based on the parametric interpretation of the urban form, since the parameters determine the success of future growth interventions to great extend.

Exploring the data provided by the 20 tourist resorts of the Canary Islands and the 147 global cities. Studying the data provided by this research thoroughly to propose possible urban solutions in each case. Specifically, in the tourist resorts of the Canary Islands, where the evidence of the metric differences and adopted morphologies is made. The objective of achieving greater sustainability in tourism planning needs this type of tools. This methodology allows interpreting the guidelines for growth and effectiveness objectively over time.

Other applications of urban image processing. Image processing has experienced a great growth in the field of biometrics with the development of real-time processing technologies. The image processing is capable of identifying objects, people, things, etc. faster than a human eye. The application opens a wide range of possibilities to the identification of the territory.

Configuring the landscape impact with the image processing techniques. The landscape impact is difficult to measure using standard parameters and traditional methods. A useful way to parameterize the landscape impact is to make these studies with regard to images that reproduce the user perception or to perception from different points of view.

Applying the method of study to non-tourism related urbanizations. As it has been shown in the experiments presented in this thesis, the presented methodology can be applied to different scales of the city, from an apple to the urbanization or to the city as a whole.

Tool to edit the boundaries of settlements. Defining the boundaries of settlements has always been very controversial and difficult in some cases. The use of these techniques avoids using land ownership as a boundary in order to define urban settlements.

This developed tool is capable of defining the boundaries of the settlements, the categories of land or the load capacity of each site automatically.

It is a powerful tool for governments to assess their urbanizations, to plan new developments in compaction or continuity with the already functioning developments.

Use in photogrammetry The development of image processing code can be applied to detect automatically on image of aerial photos. In this sense, there are satellite image developments on a large scale. Entering details of minor scales involves including parameters of geometric definitions and continuity on the colorimetric. If a human eye can distinguish and classify a road building, why shouldn't a machine be capable of doing it.

Conducting studies online in real time. A tool can be developed for an online urban study on Google Maps or OSM maps. The knowledge of the parameters, shown in this thesis, provides objective criteria for the definition of awareness in the desired city models.

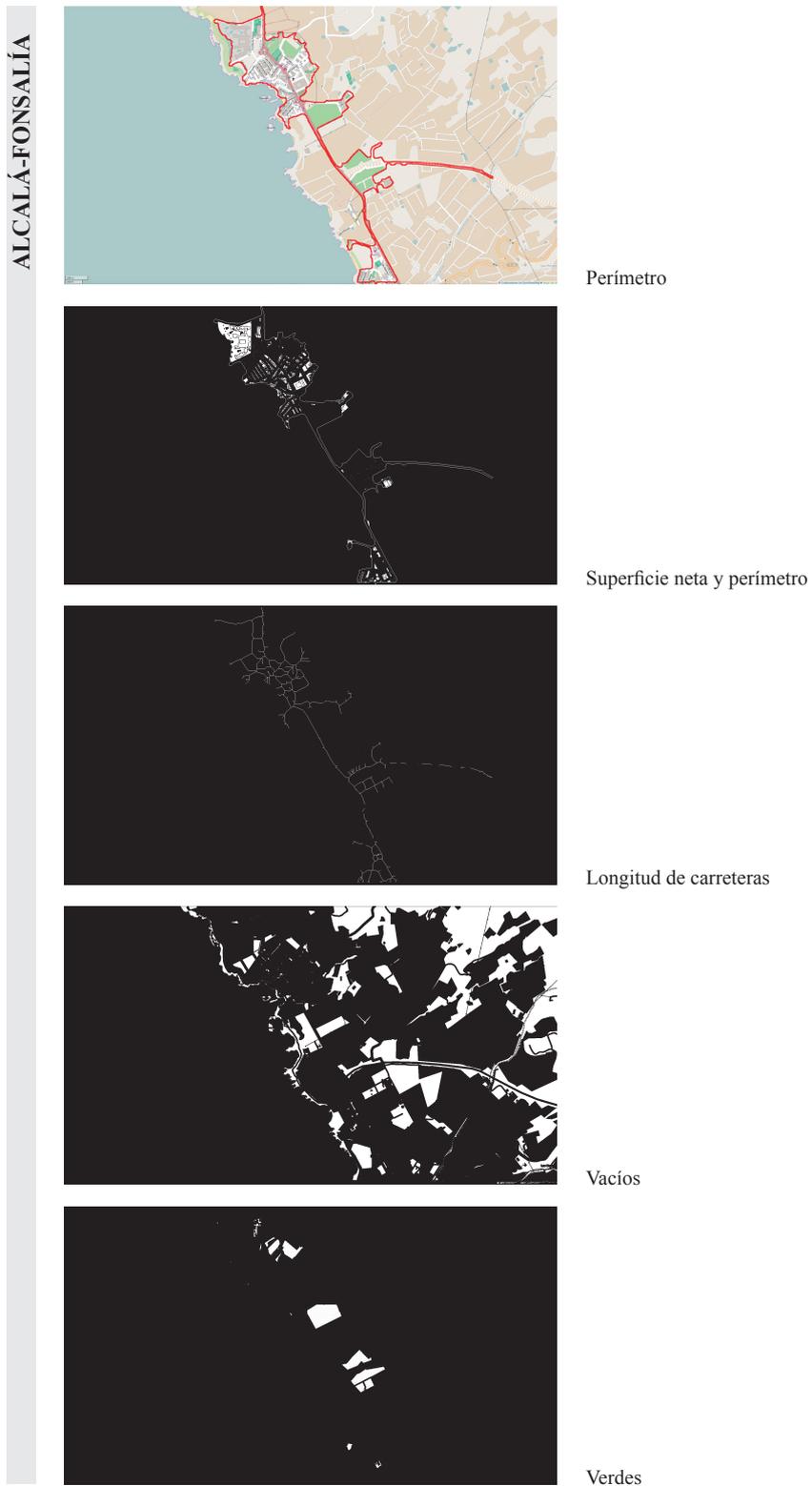
Using the code to achieve dynamic studies of urban growth and landscape vulnerability. The study of the dynamics of growth would allow defining new parameters to preserve protected areas and to maintain the desired model.

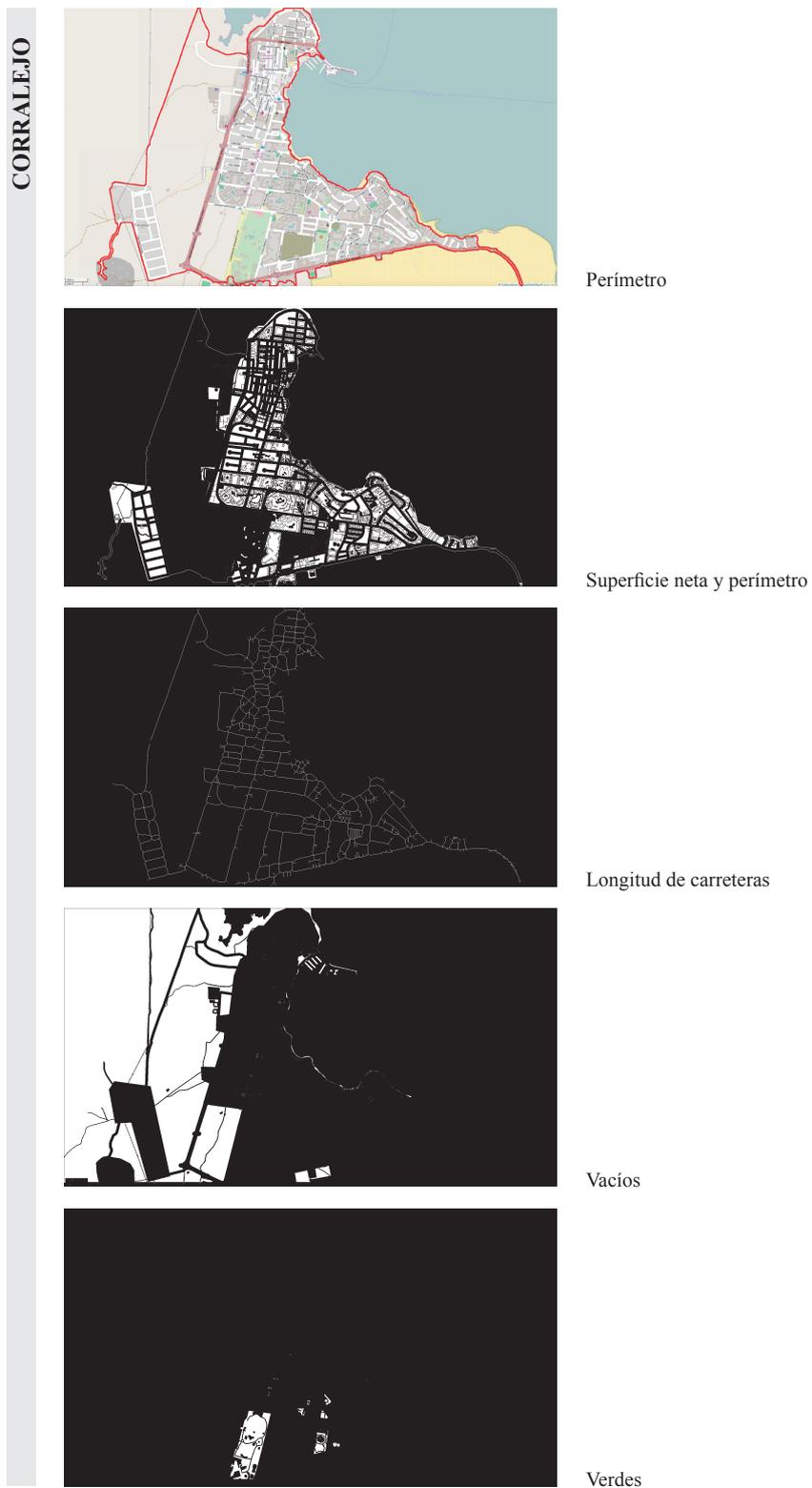
Anexo B

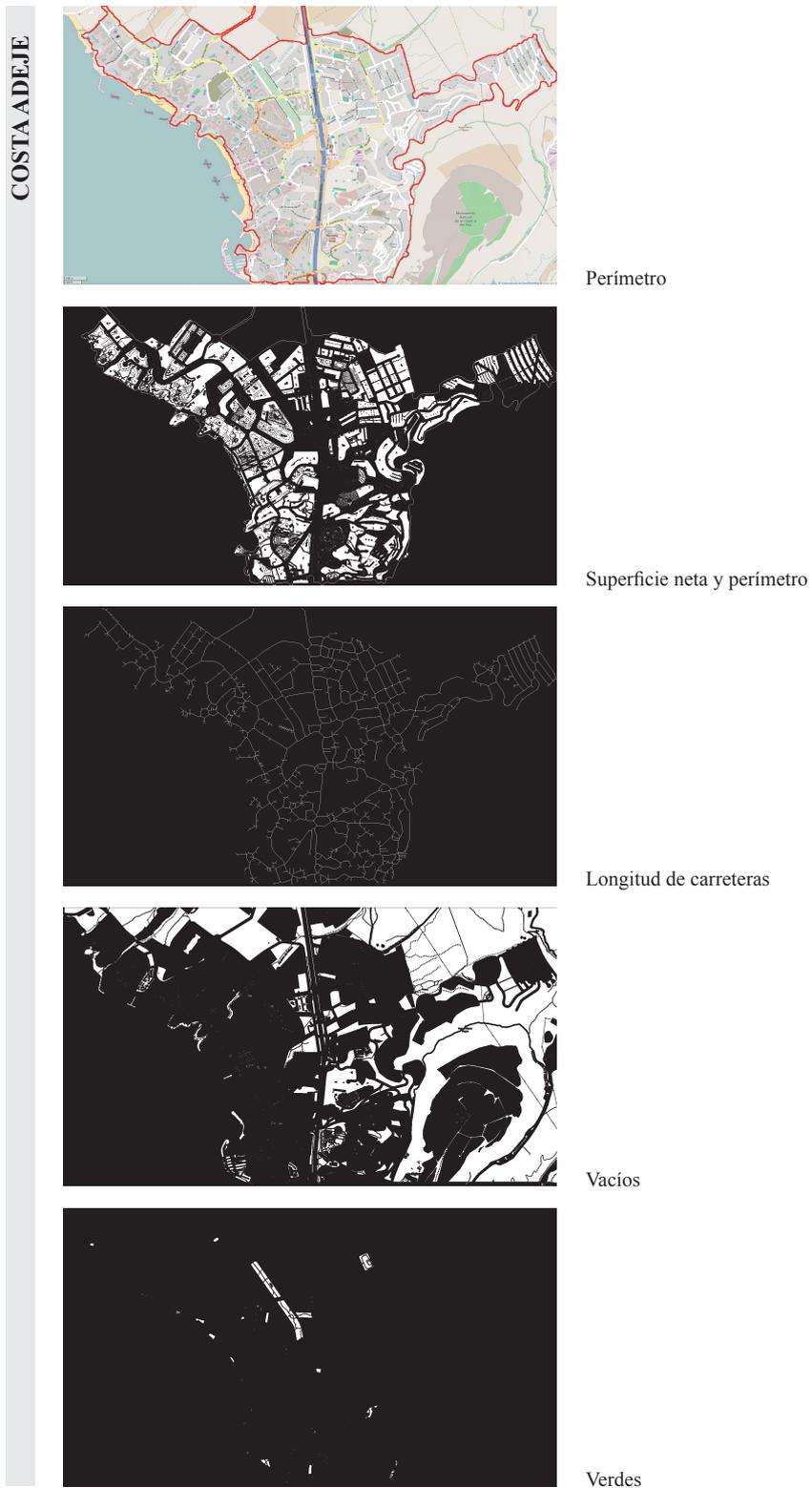
B.1. Resultados para zonas turísticas de Canarias

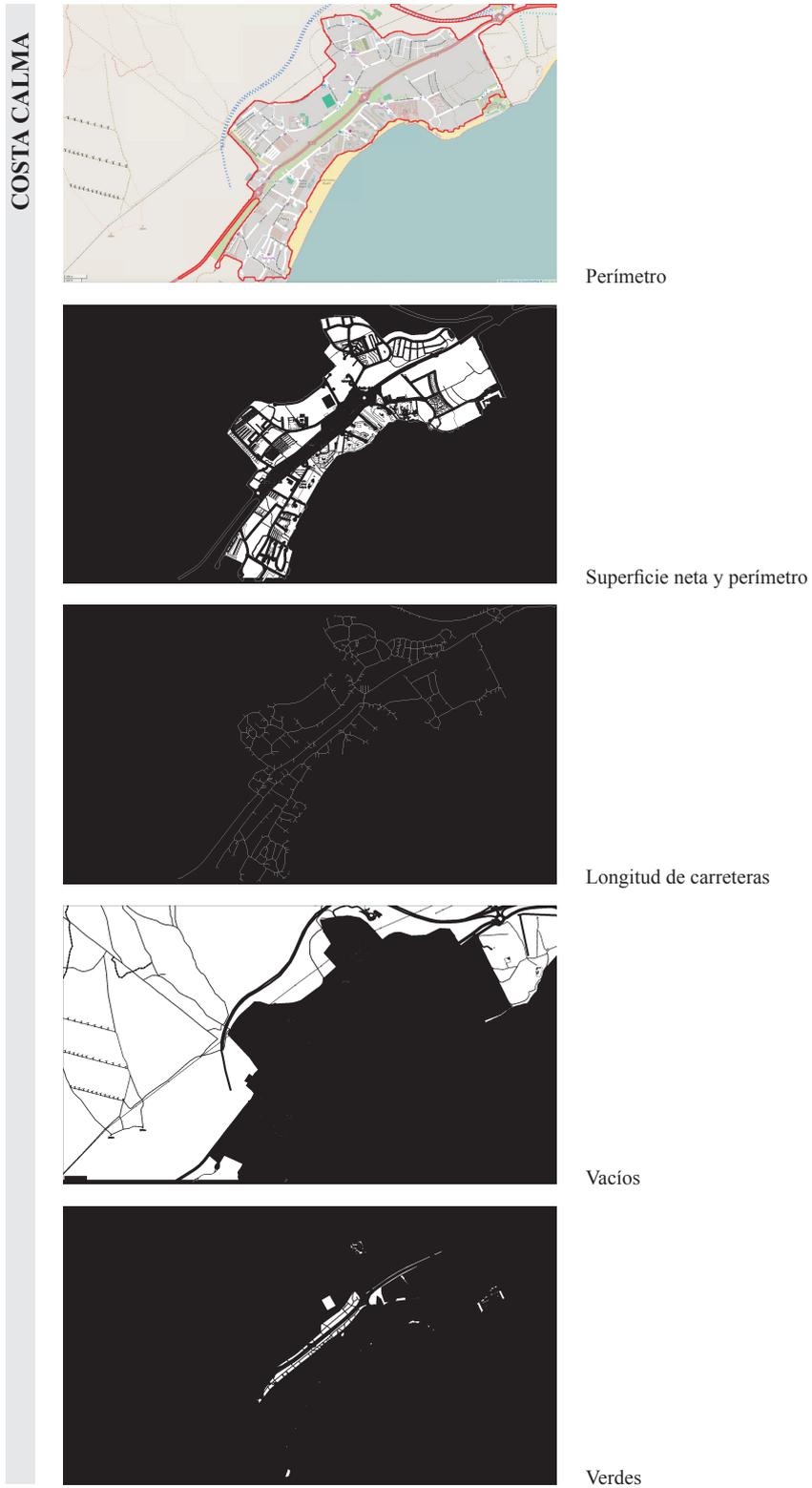
En este anexo se incluyen imágenes de todas las urbanizaciones turísticas de Canarias que se han estudiado mediante la metodología paramétrica y procesado automático de imágenes.

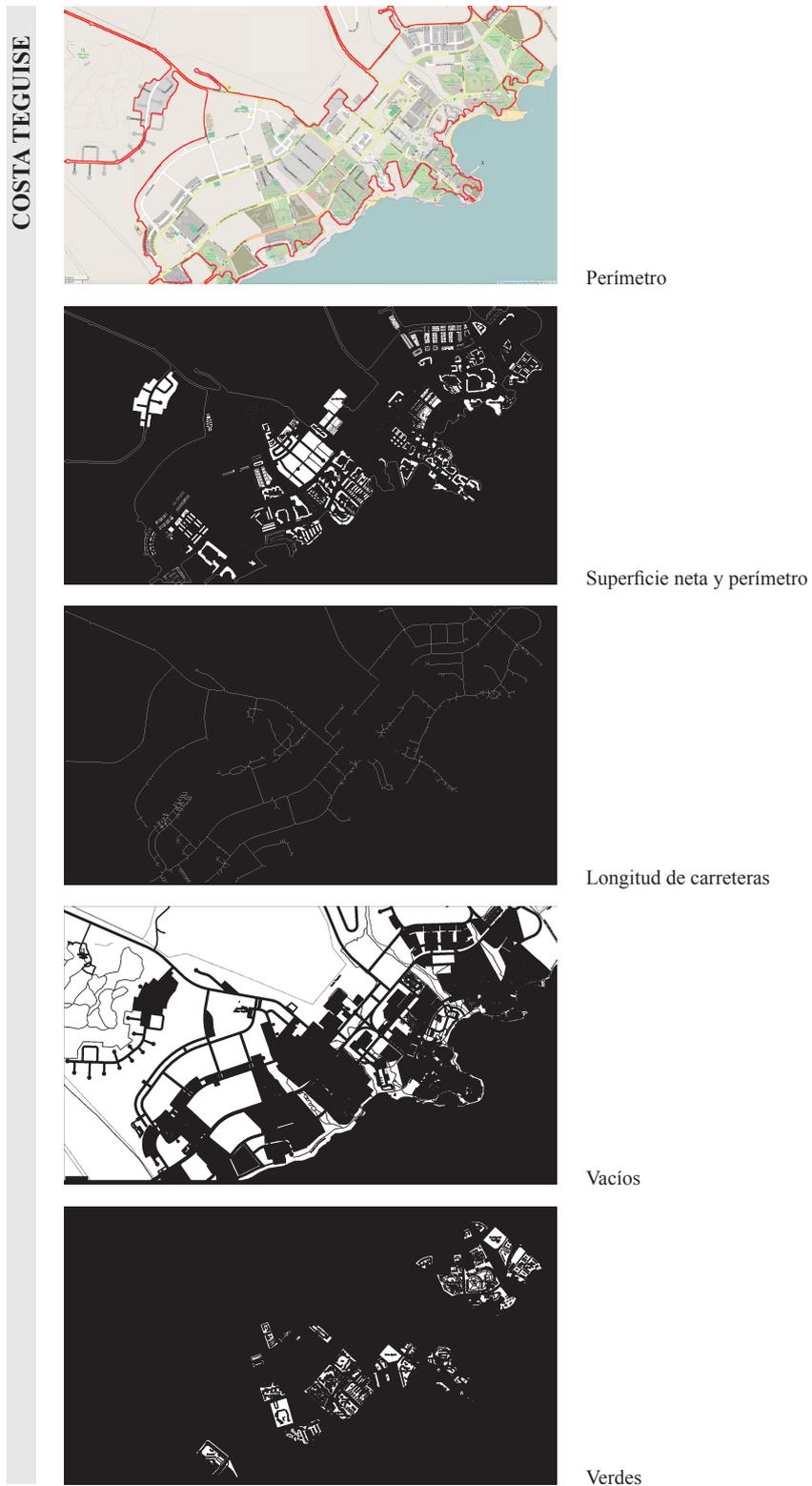
En cada una de las urbanizaciones se exponen 5 de las matrices espaciales que forman parte de los datos que se han utilizado.

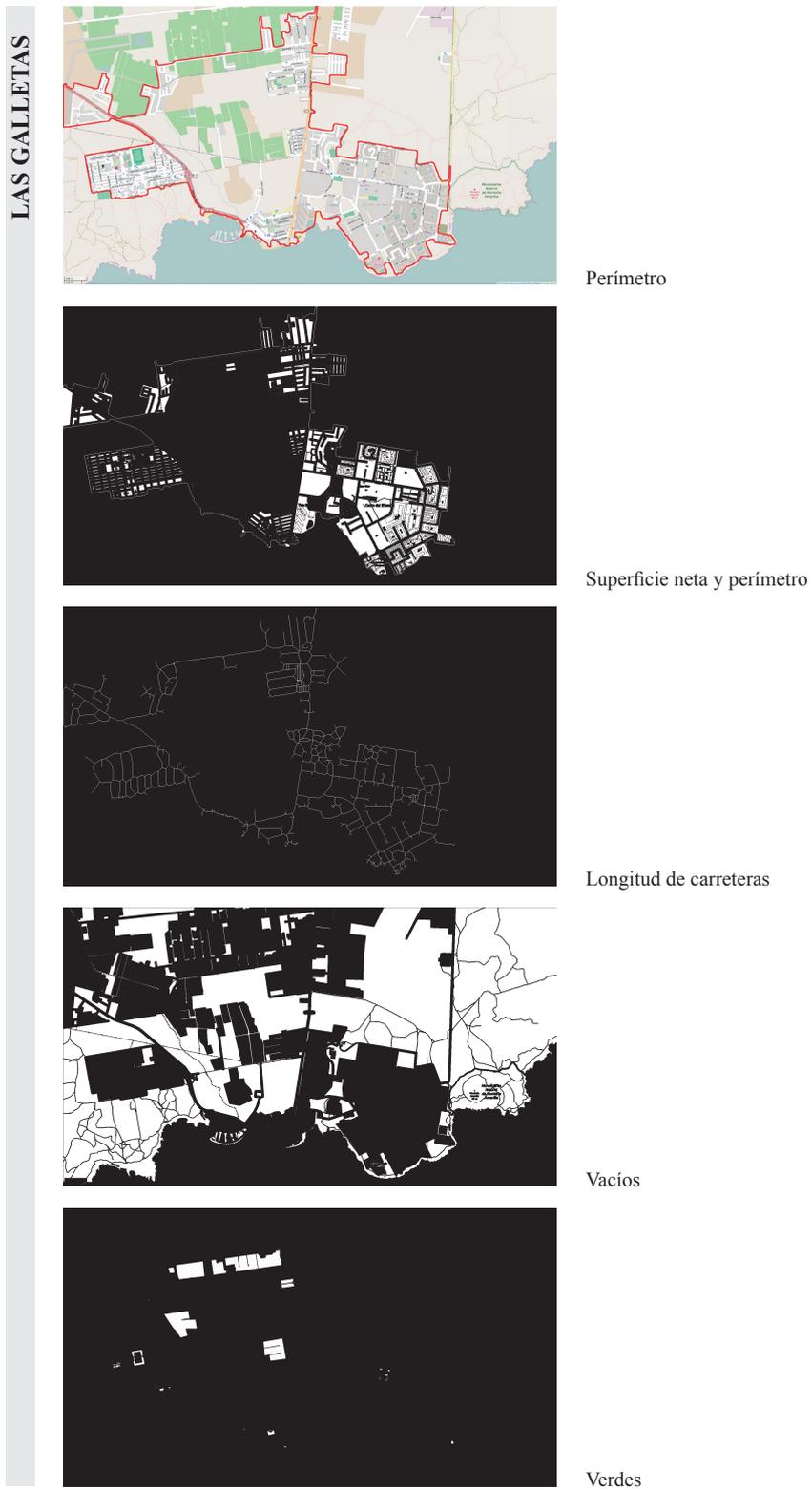












LOS ABRIGOS



Perímetro



Superficie neta y perímetro



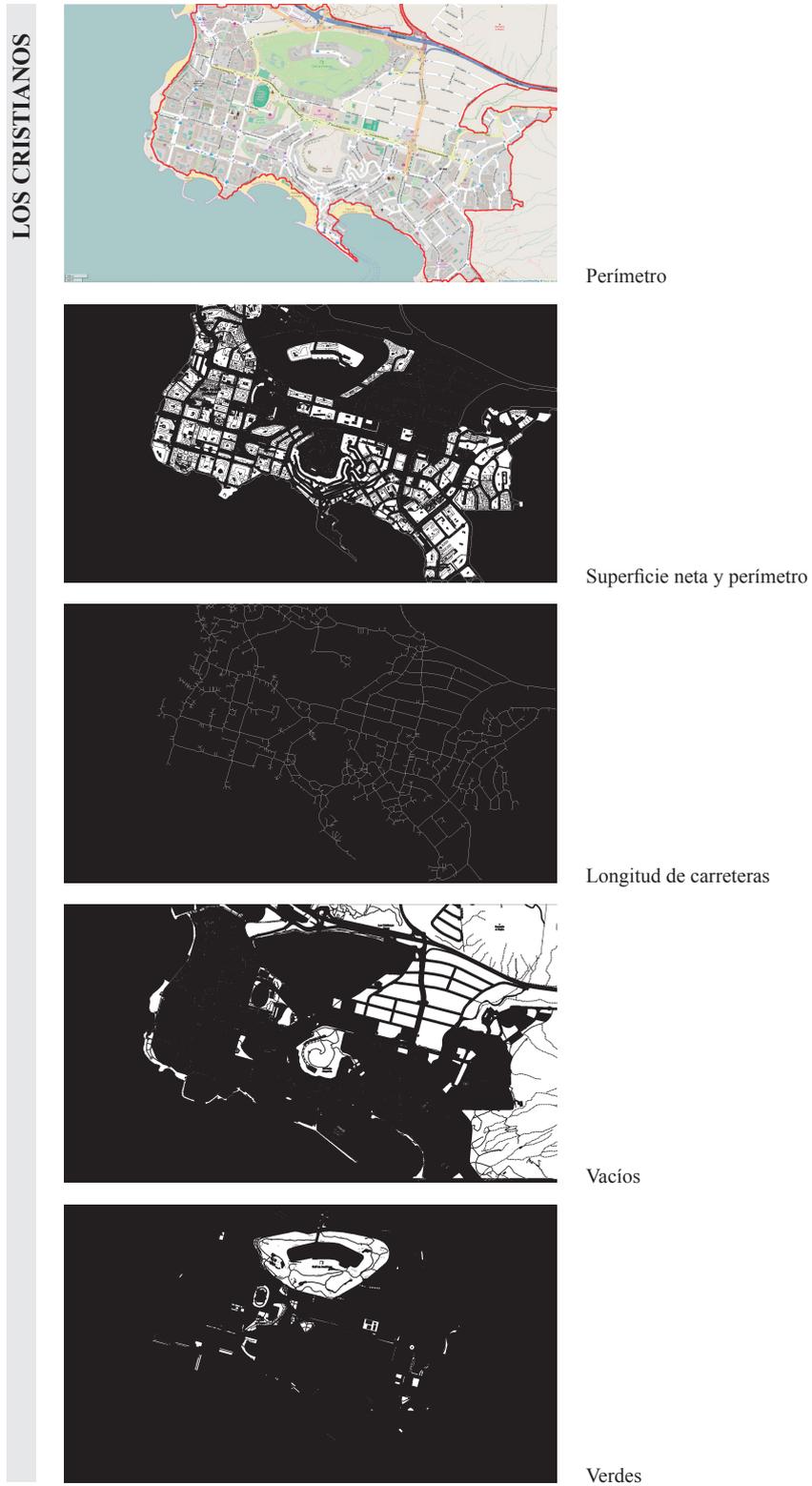
Longitud de carreteras

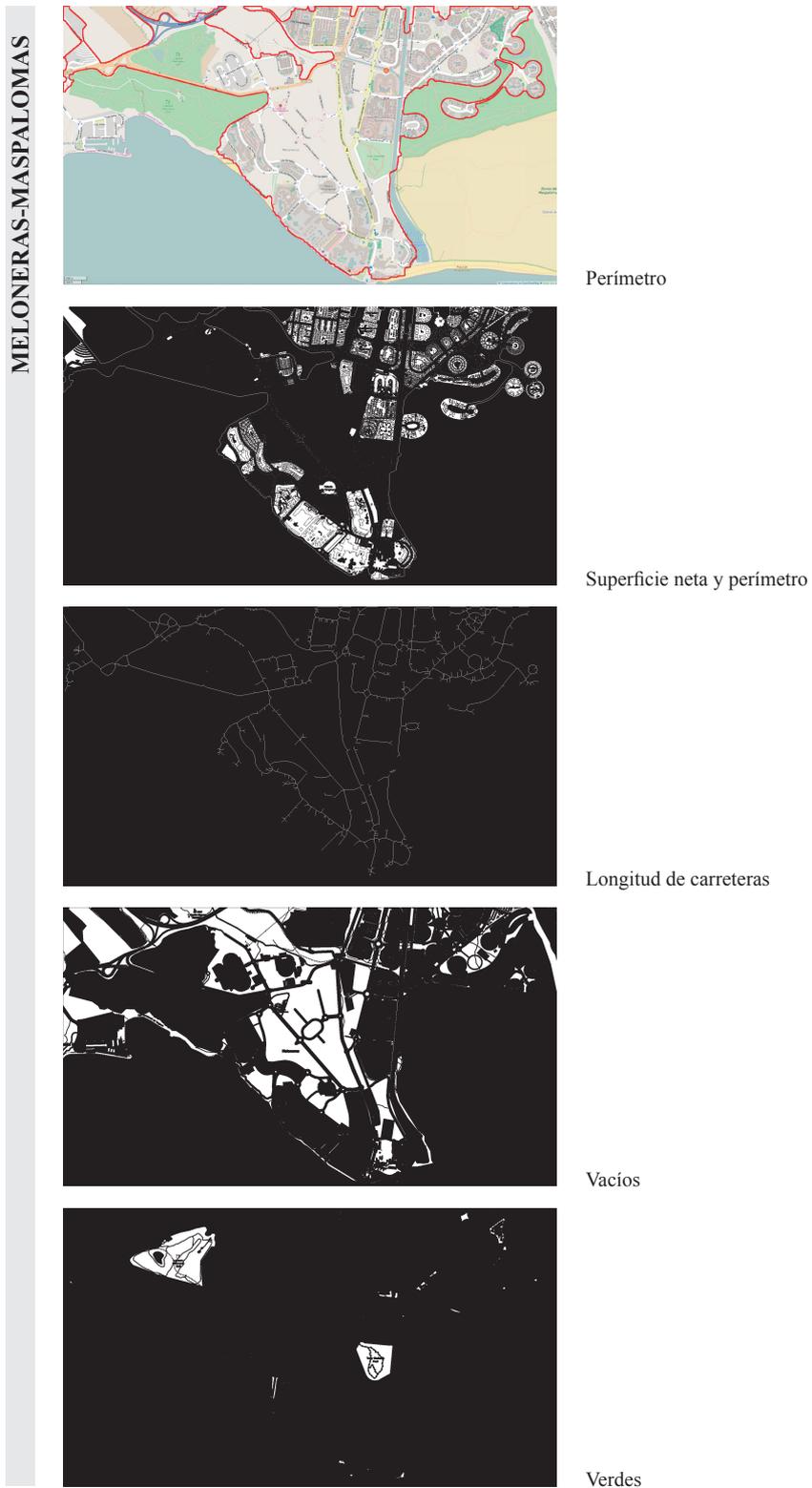


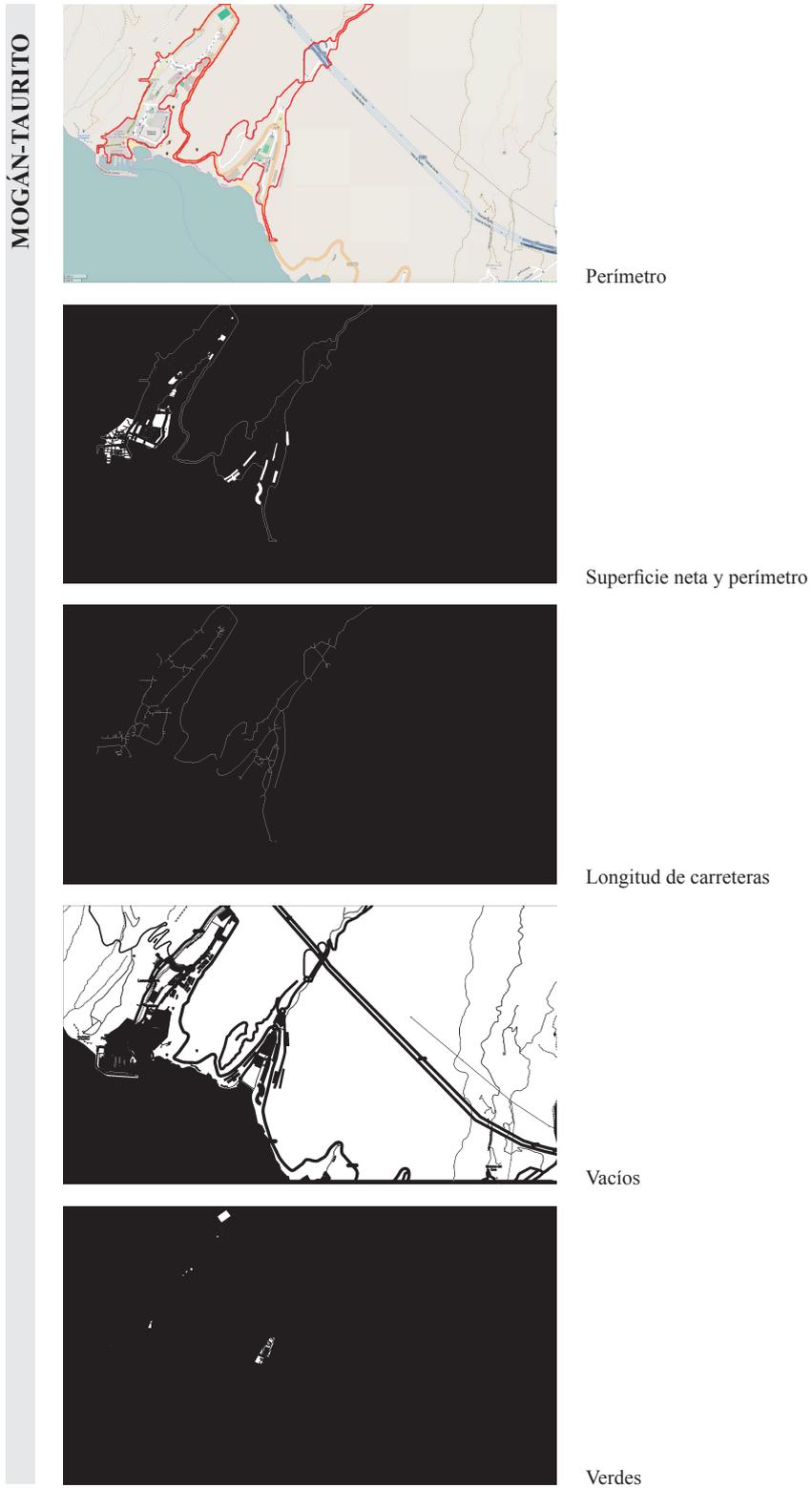
Vacíos

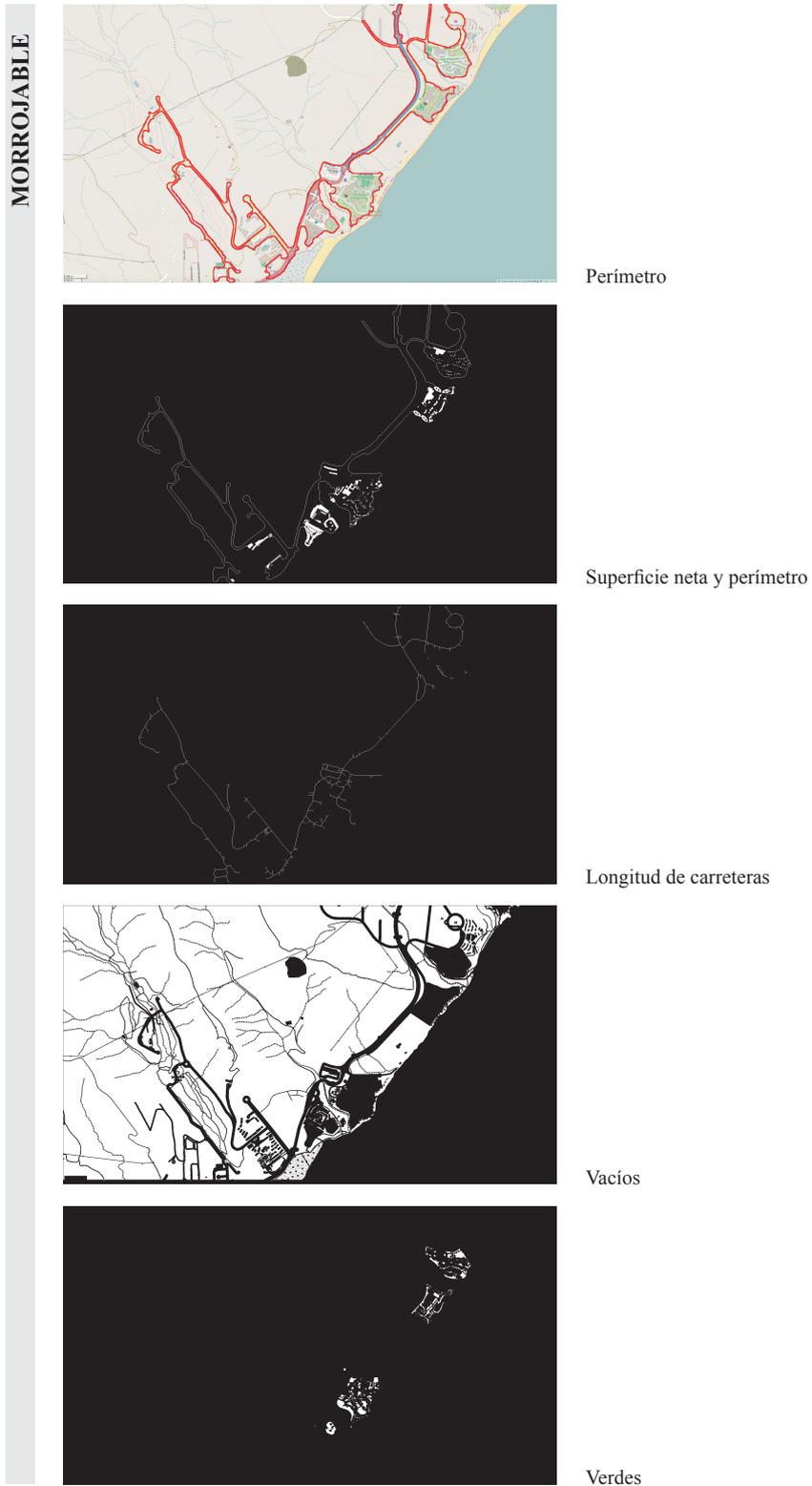


Verdes

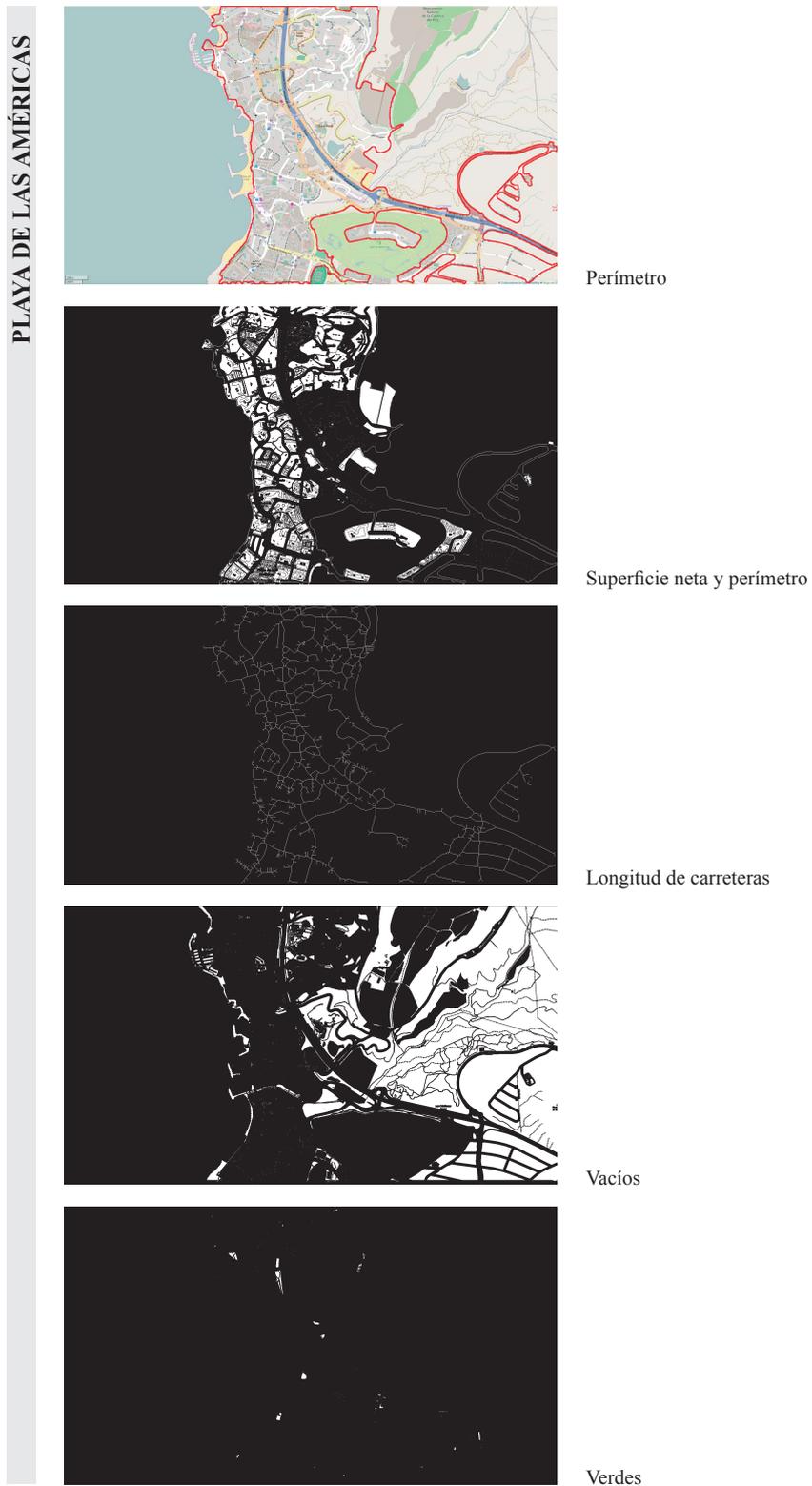








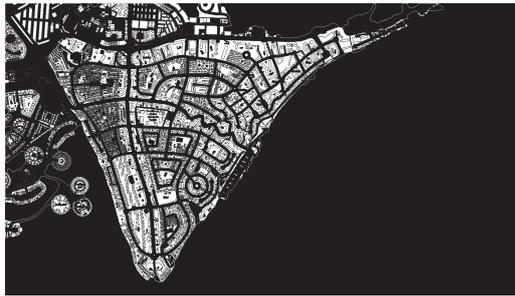




PLAYA DEL INGLÉS



Perímetro



Superficie neta y perímetro



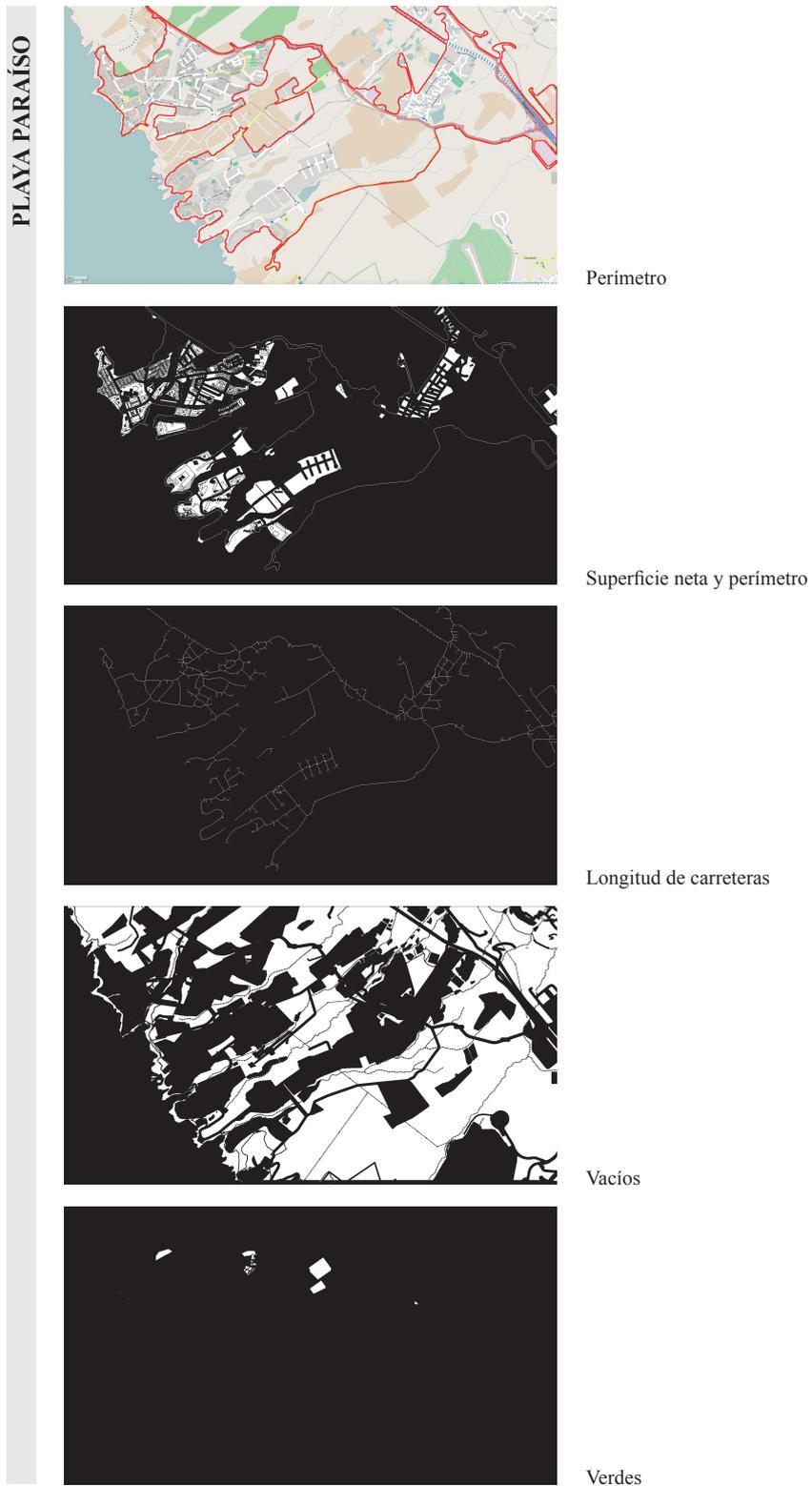
Longitud de carreteras

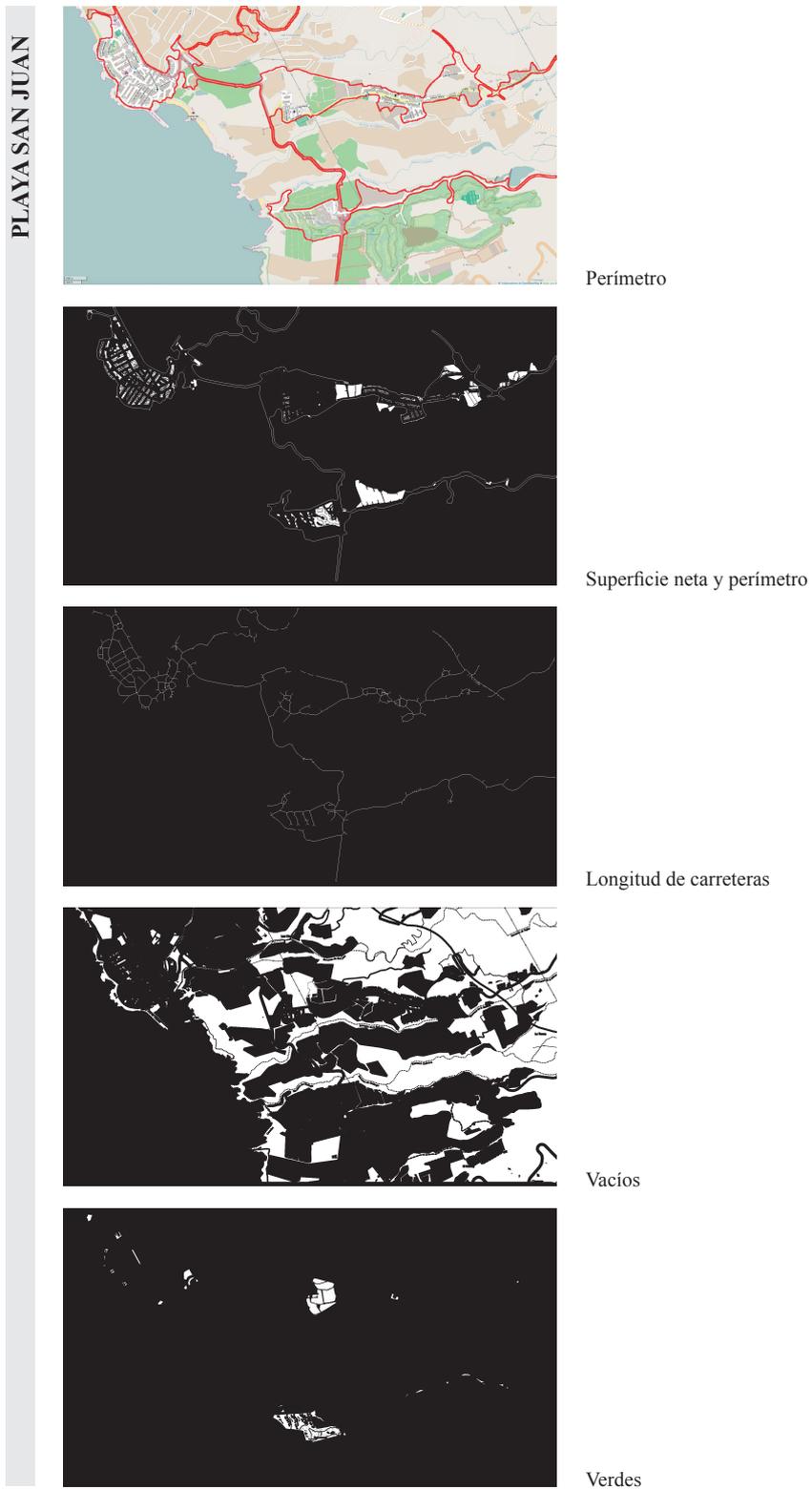


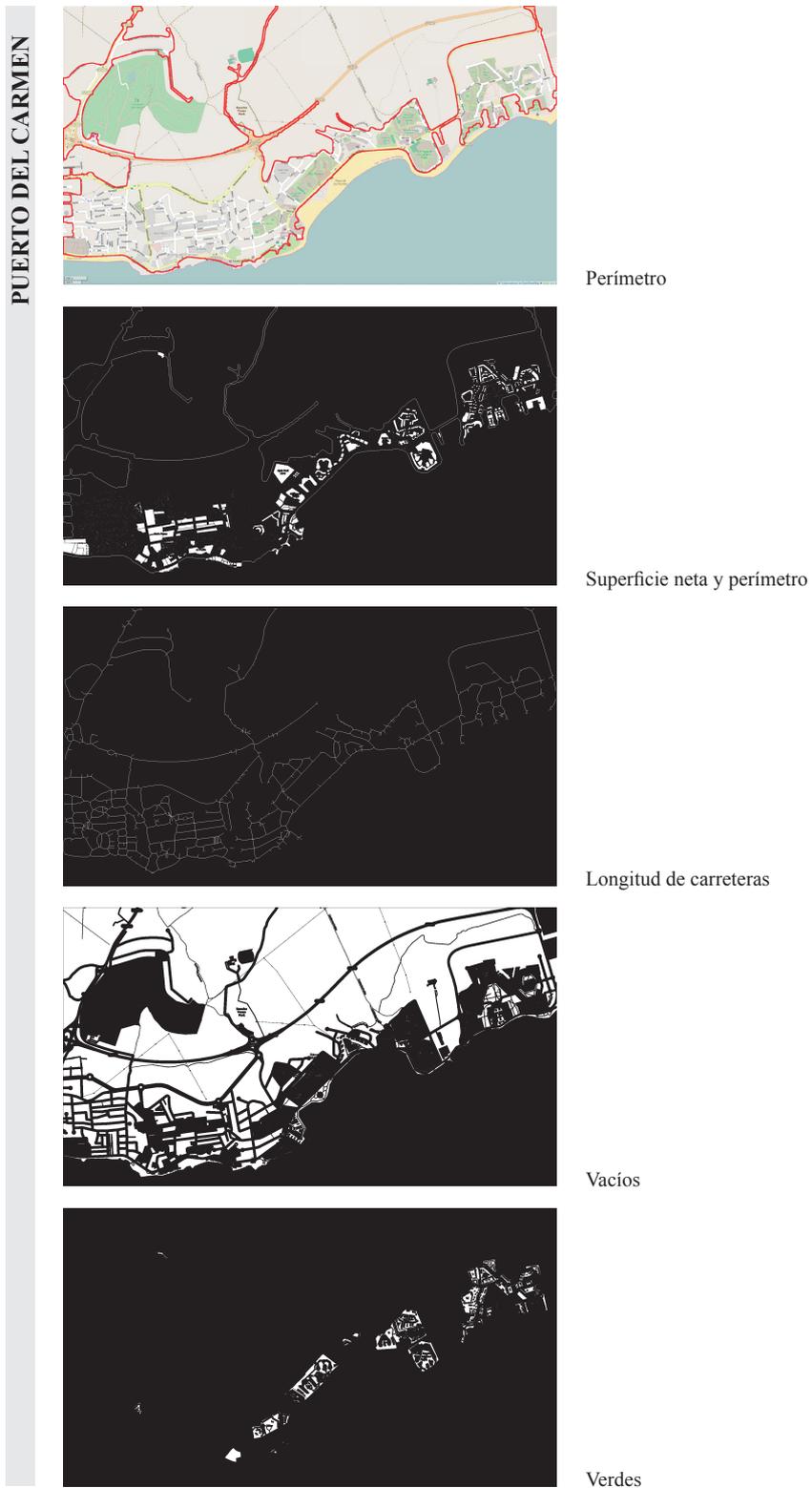
Vacíos

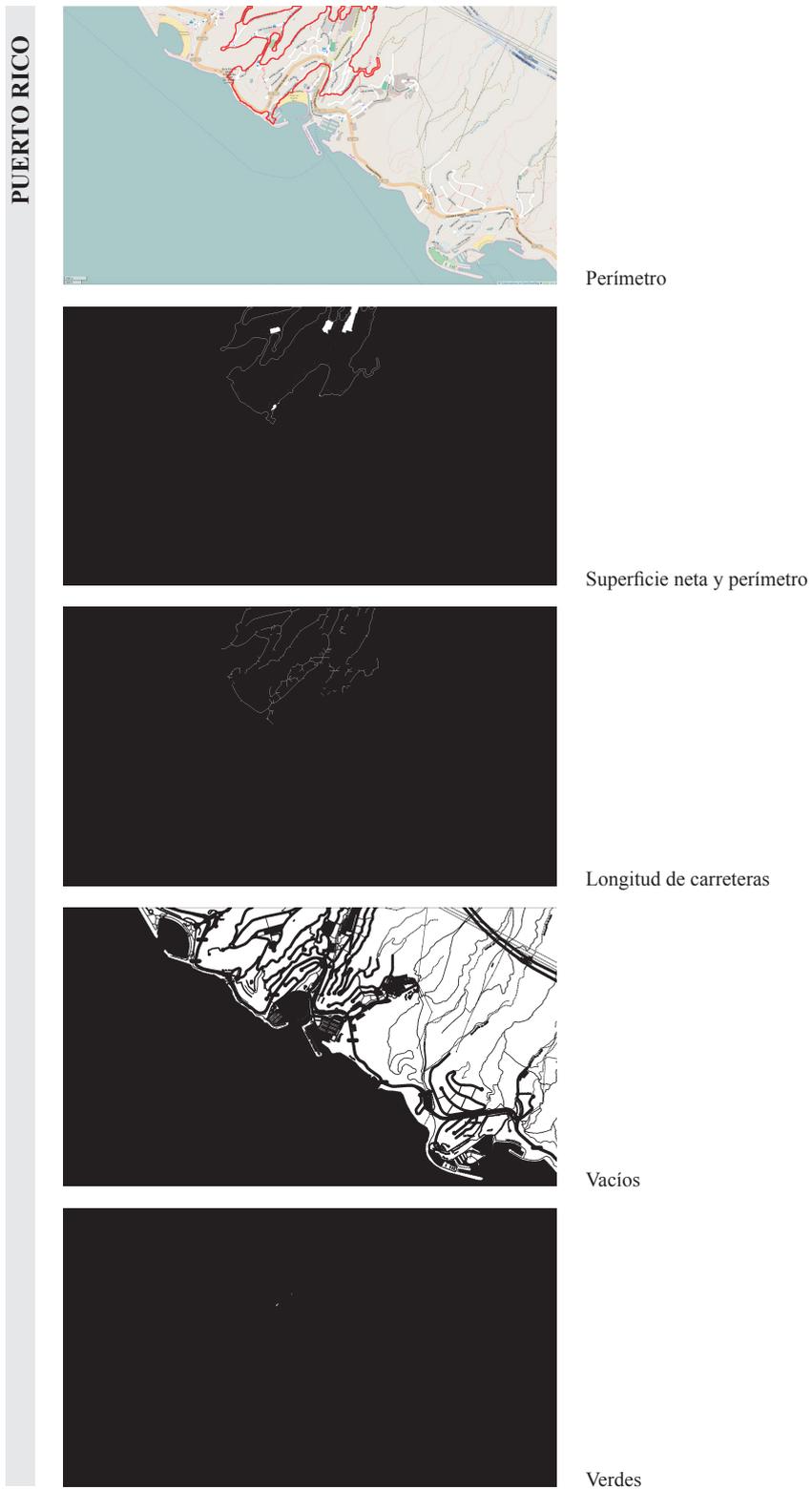


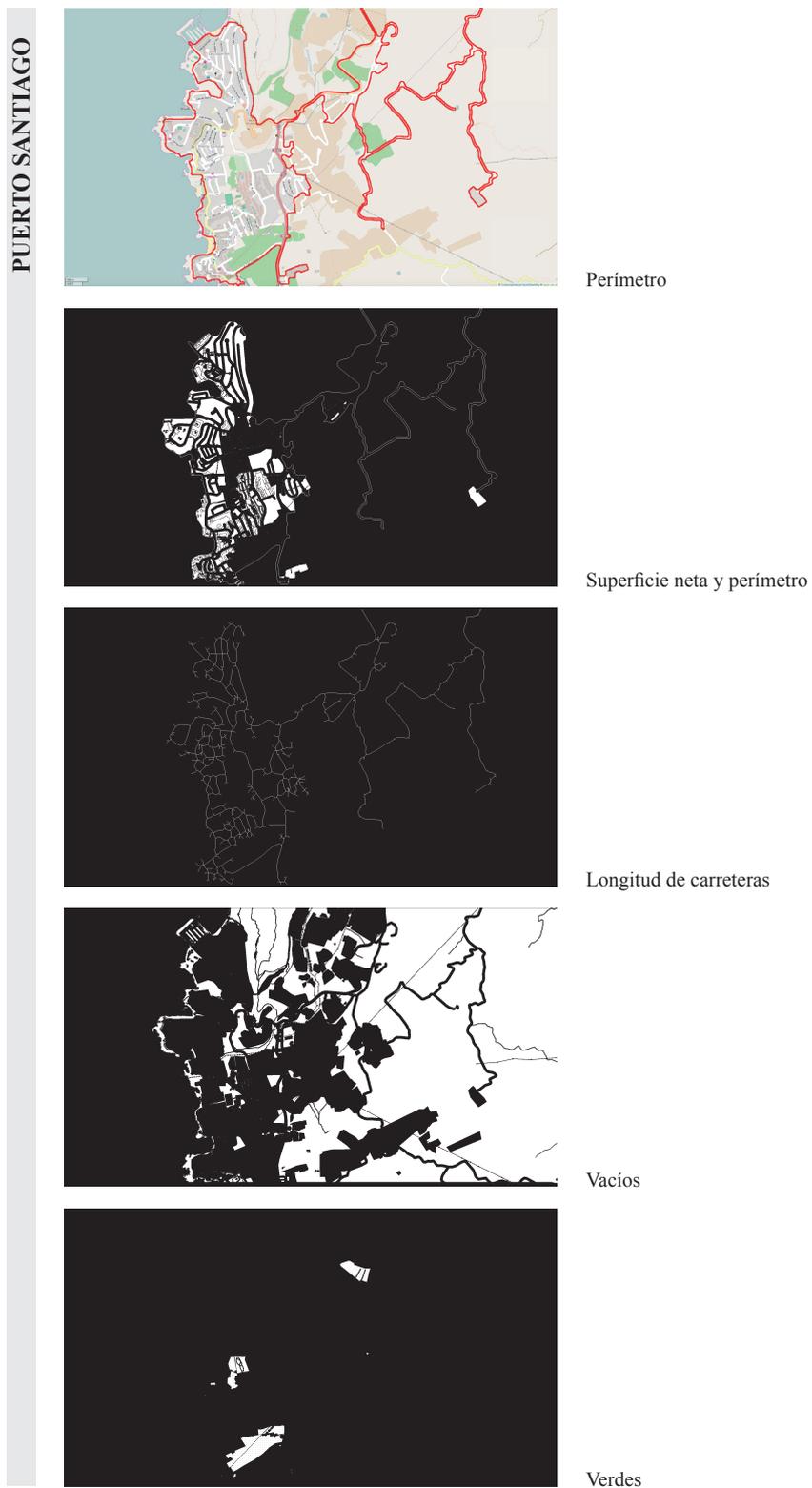
Verdes

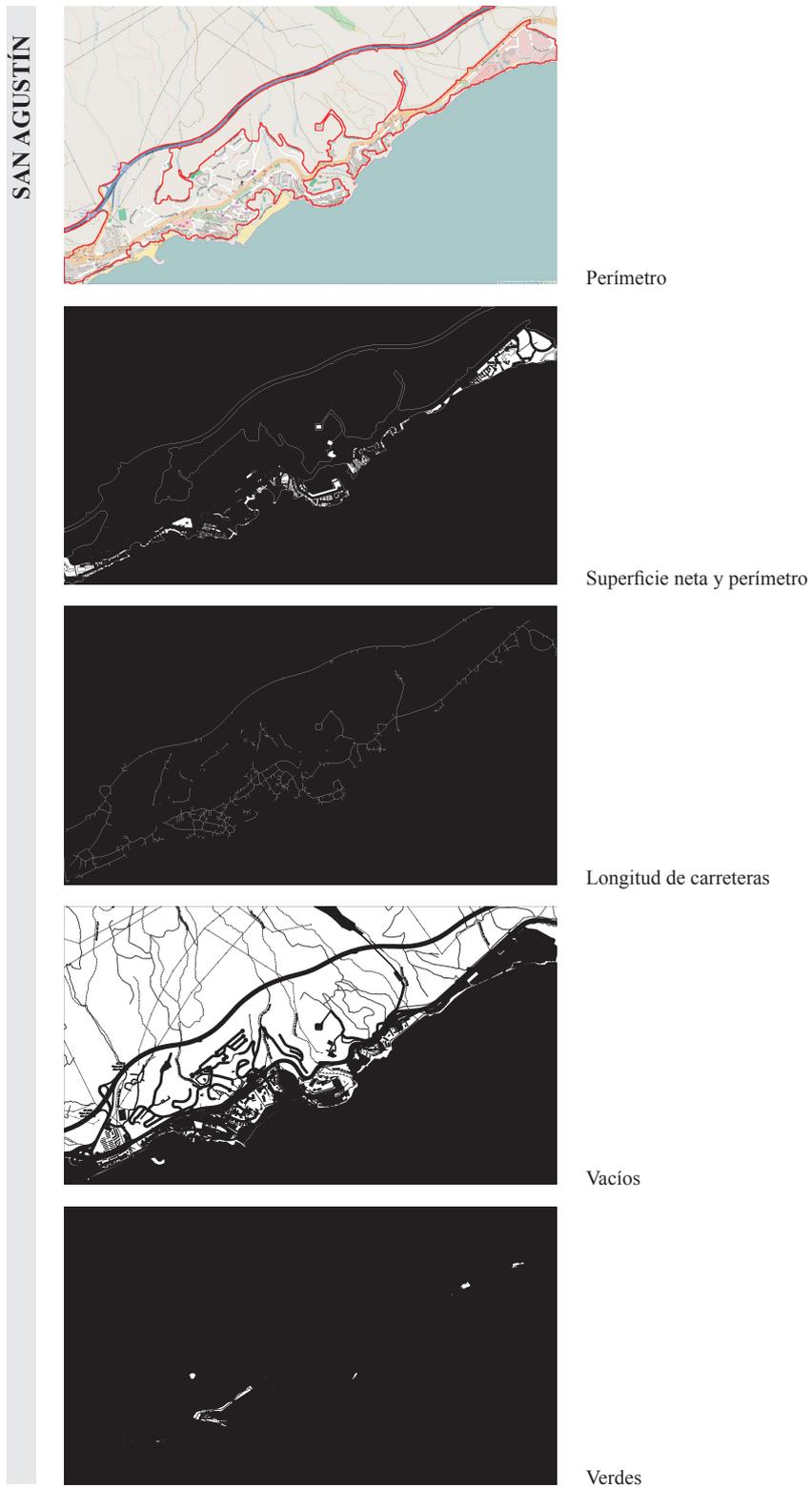










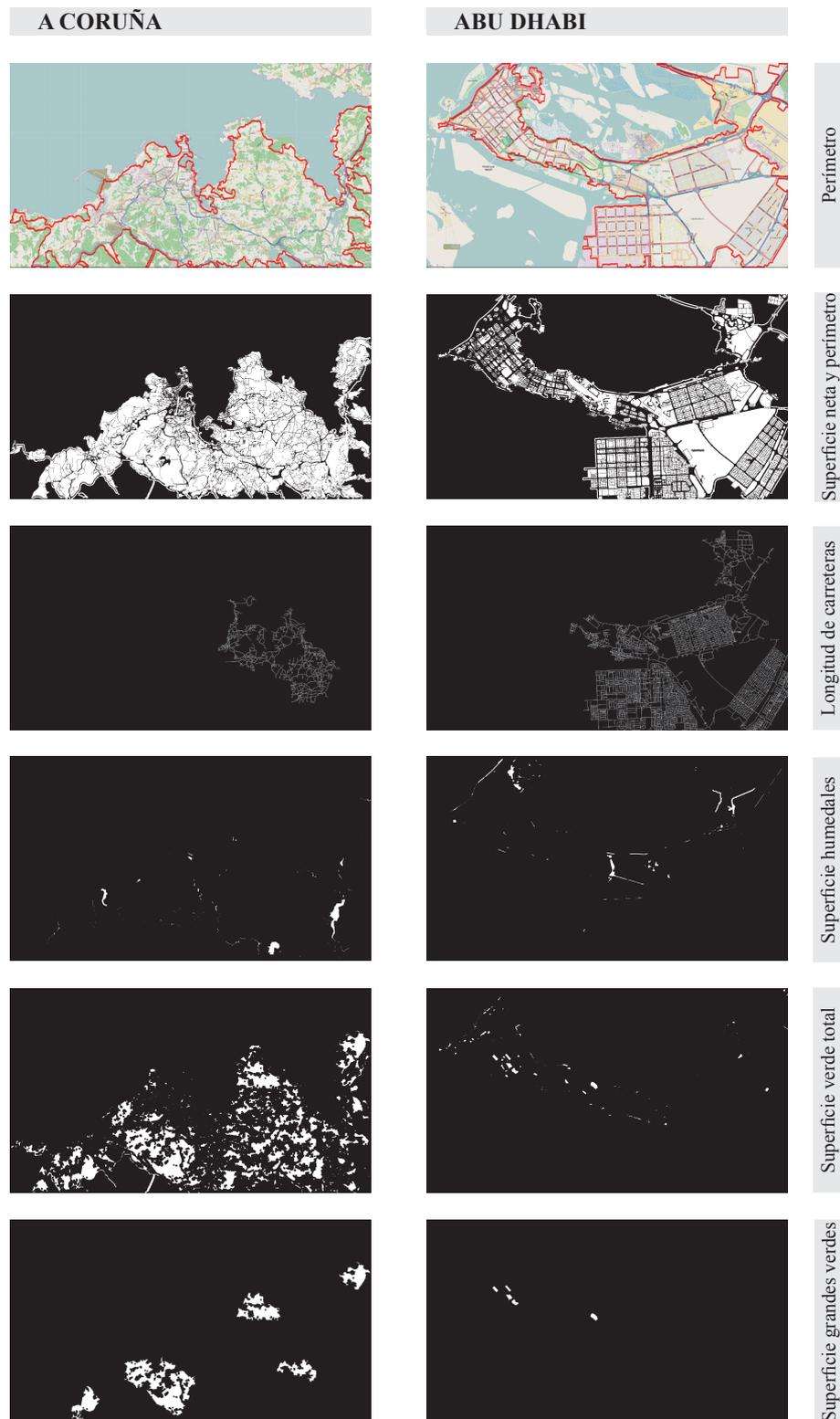


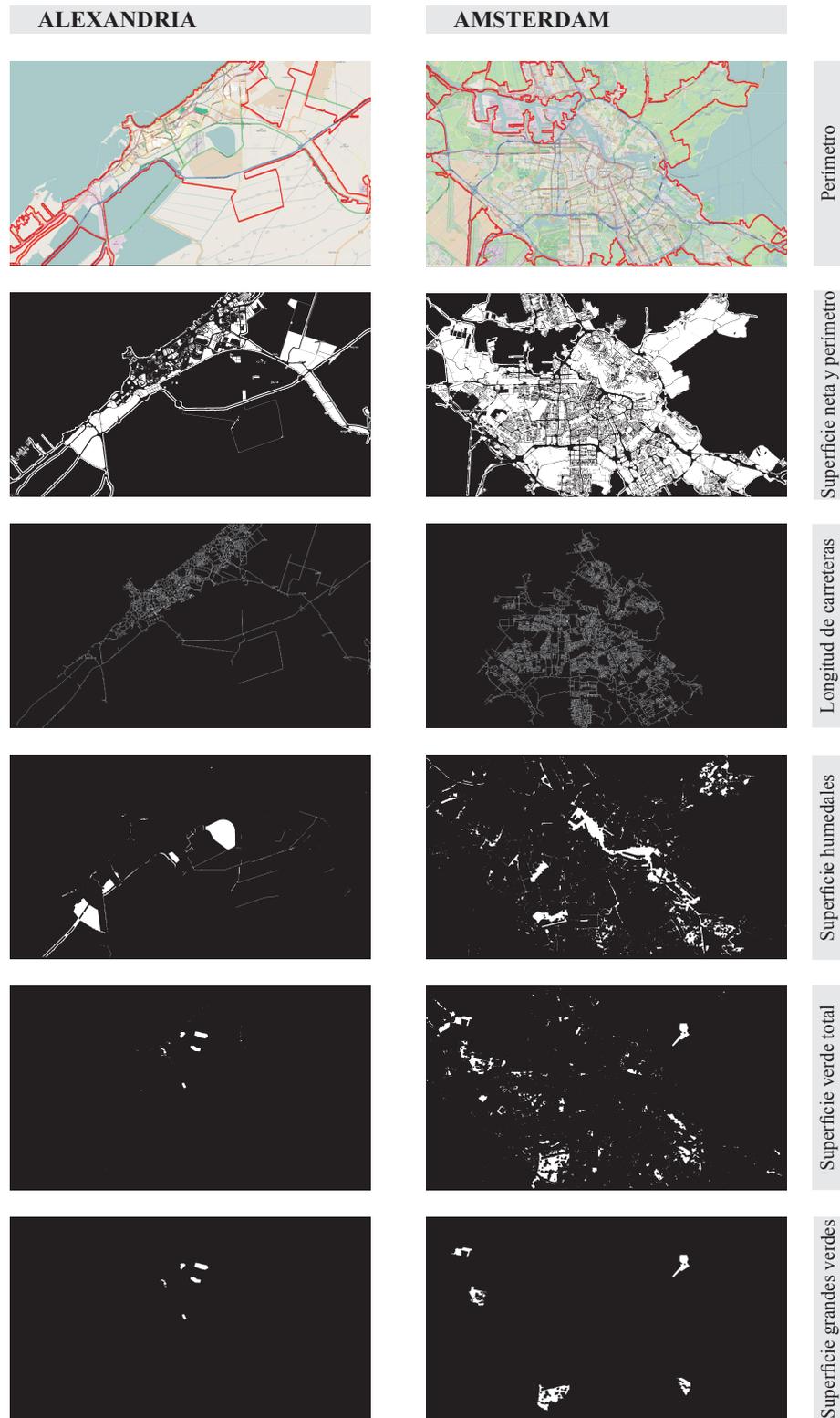
Anexo C

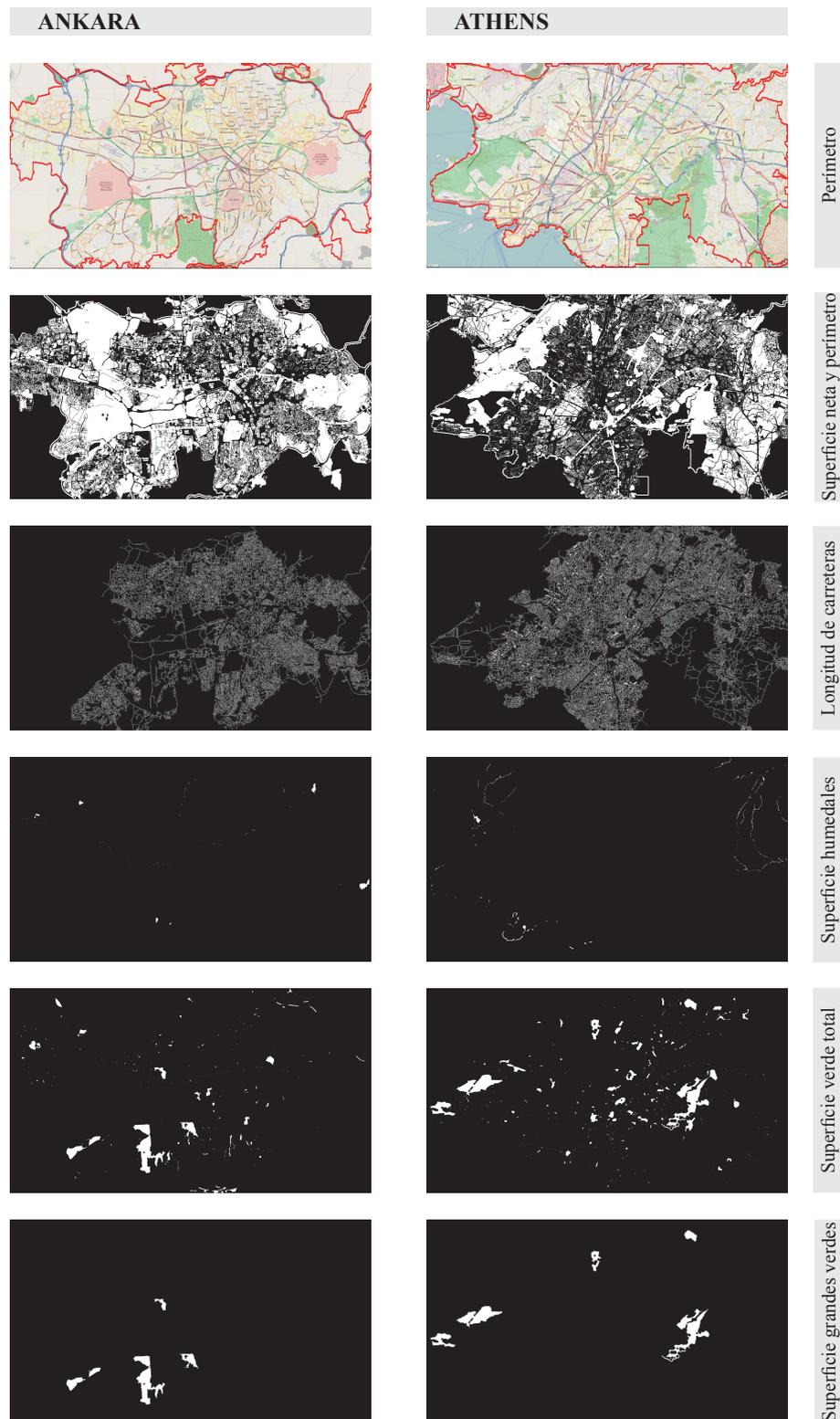
C.1. Resultados para las ciudades globales

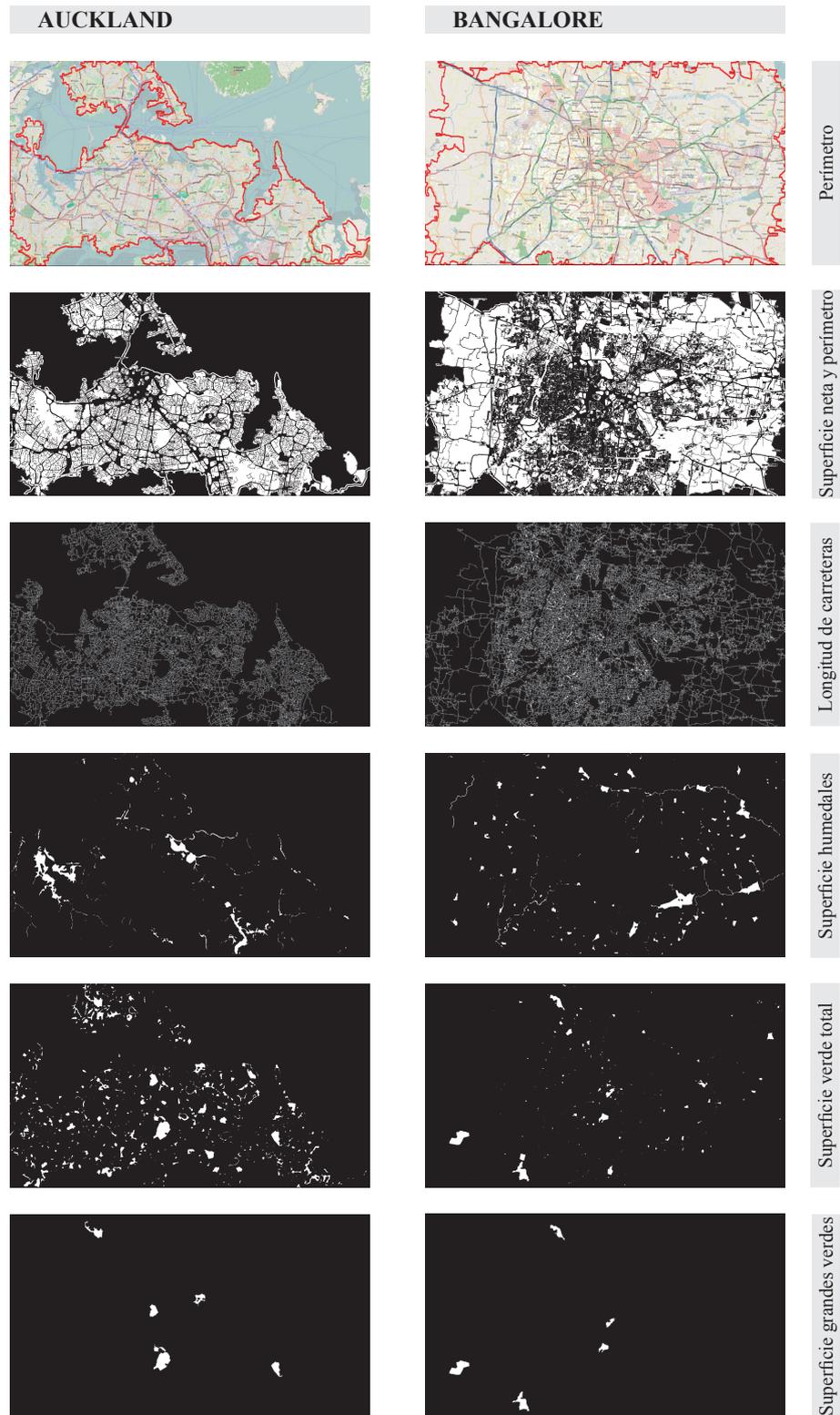
En este anexo se incluyen las imágenes de las 147 ciudades globales estudiadas en esta tesis.

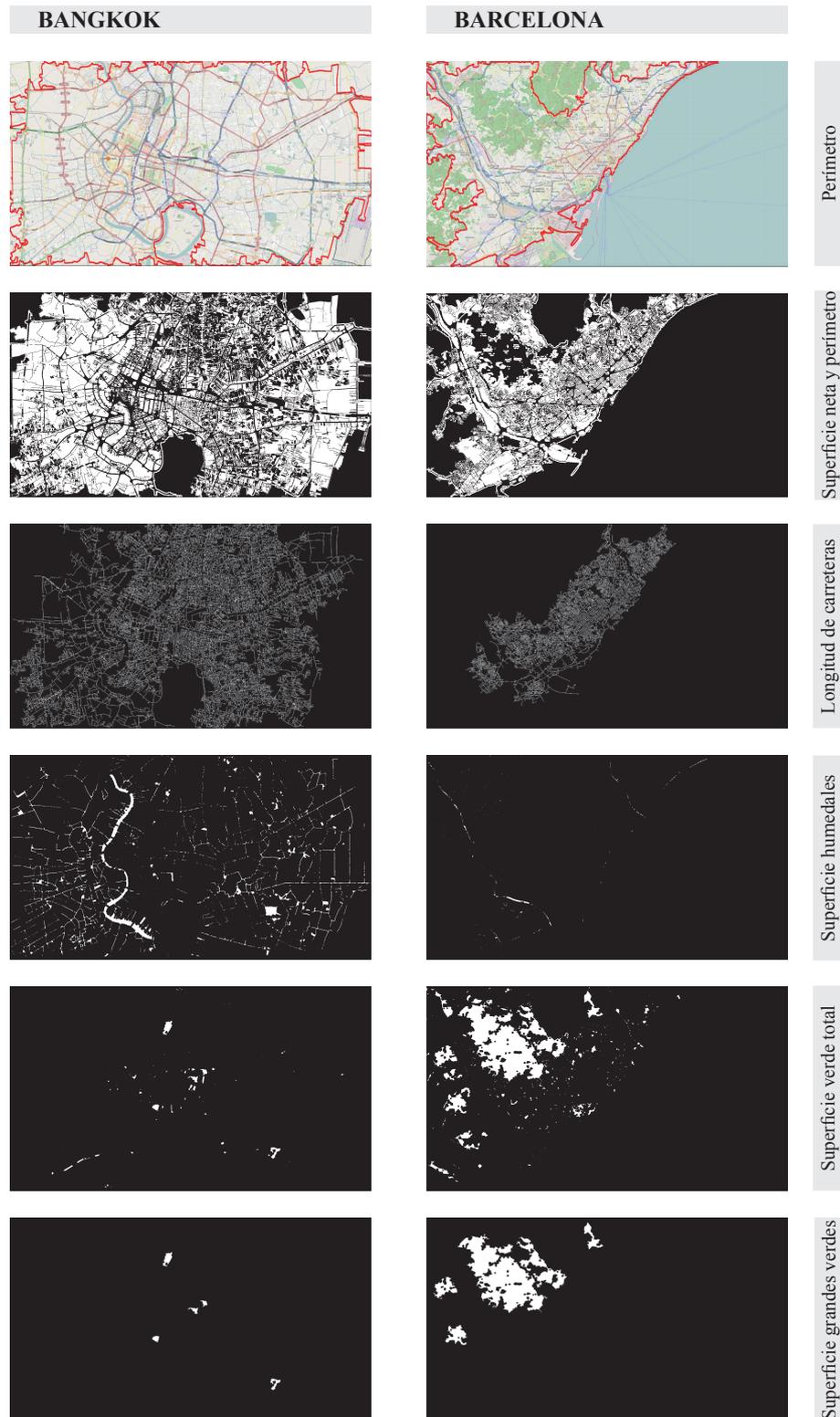
Para cada una de ellas se exponen seis imágenes que forman parte del patrón de las ciudades.

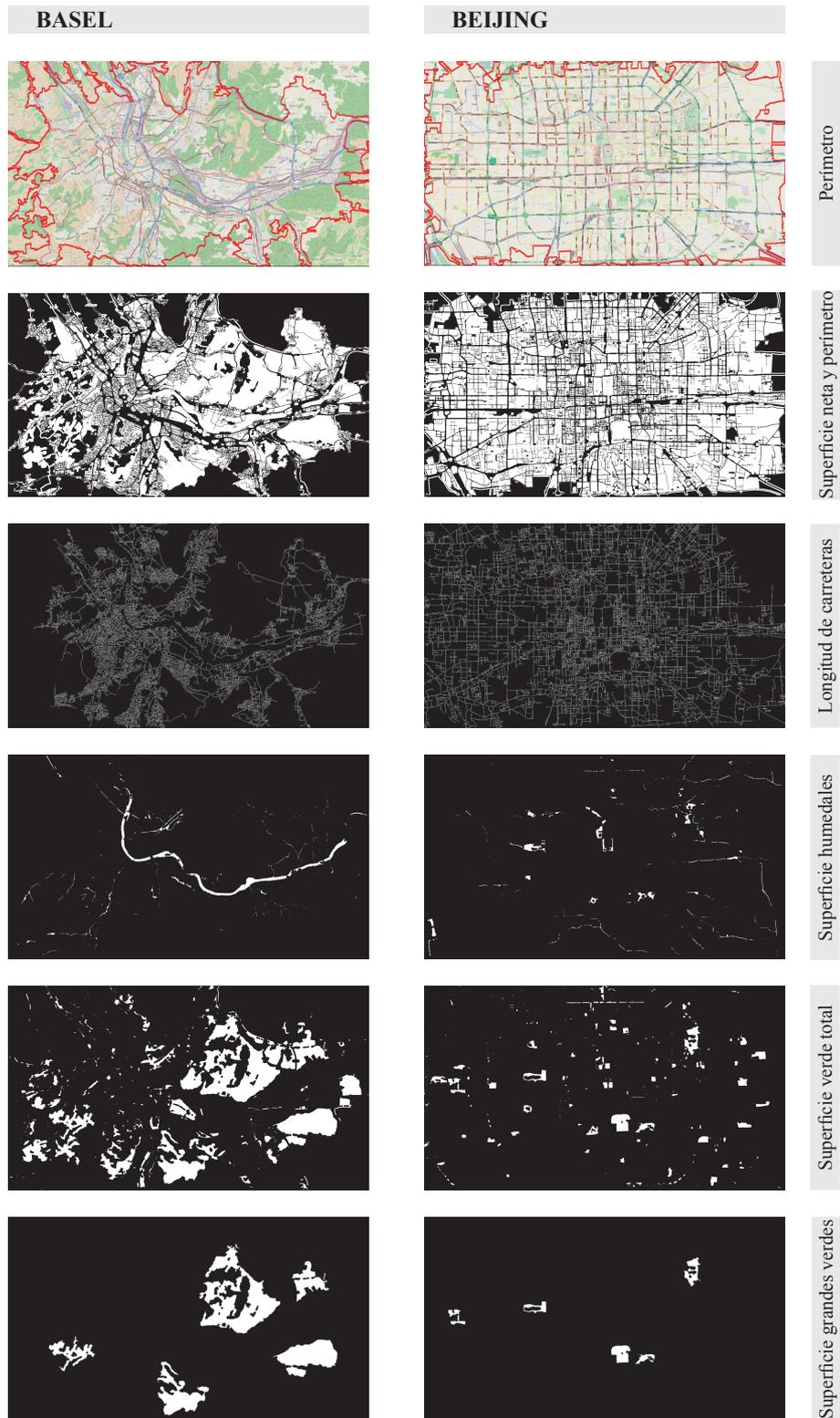


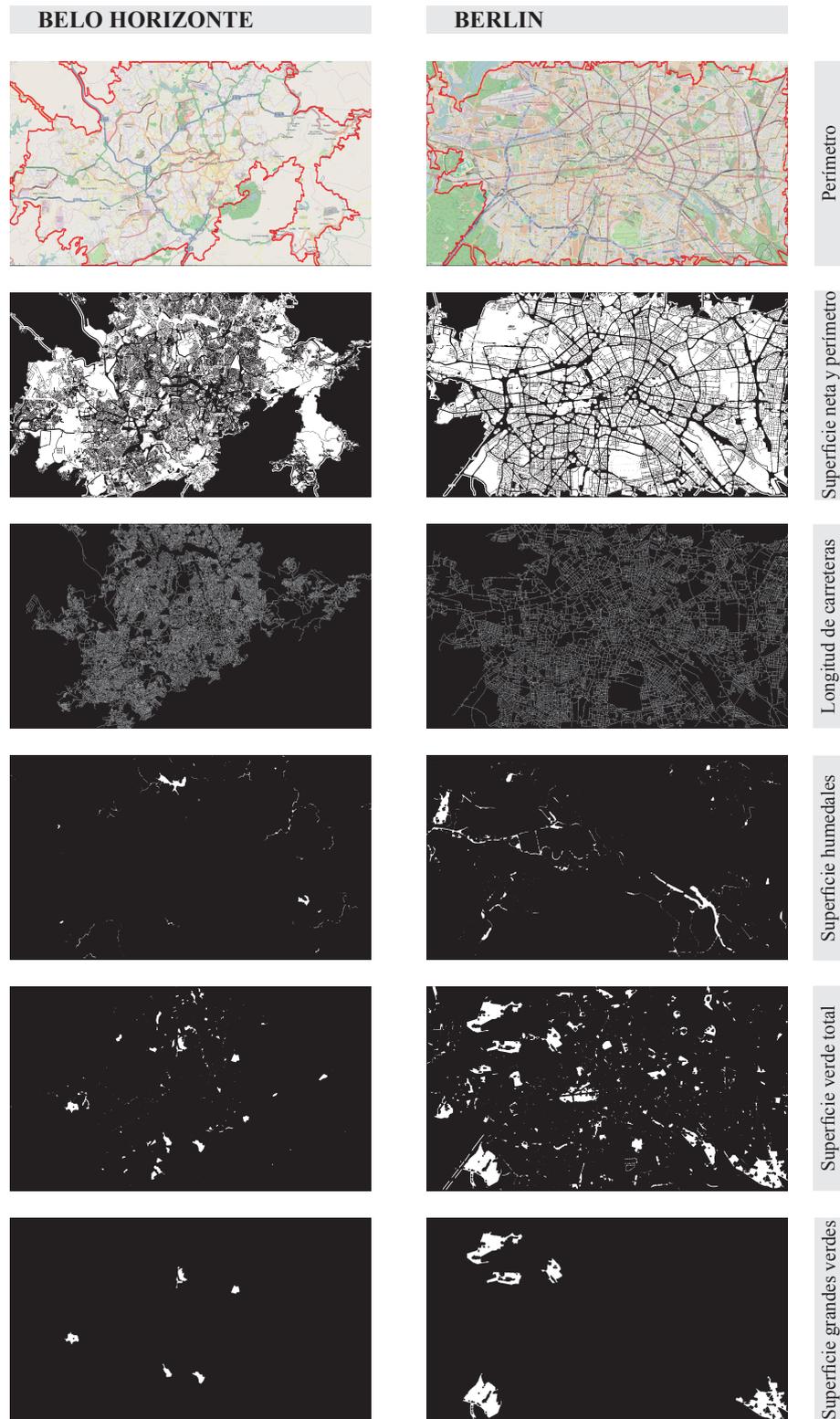


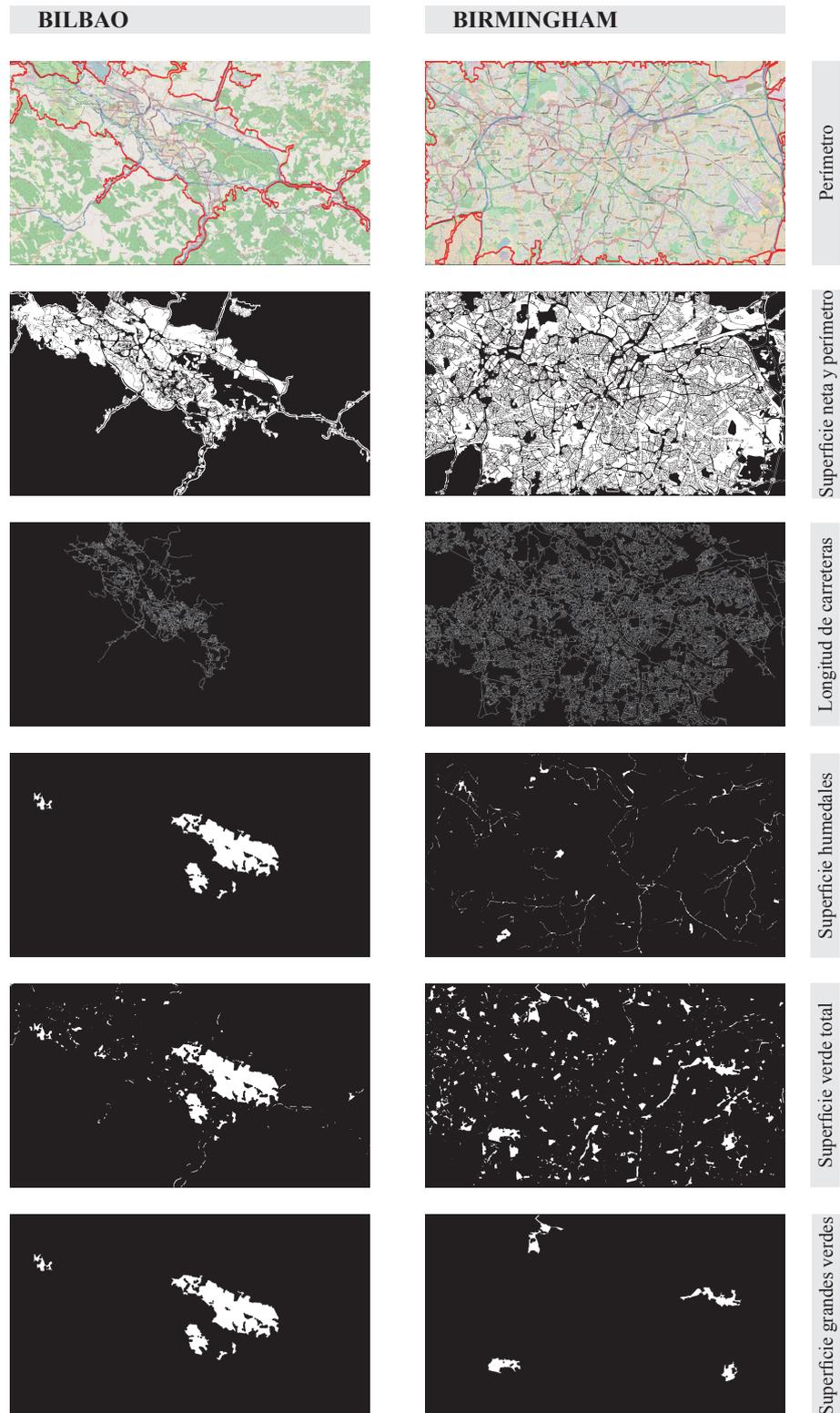


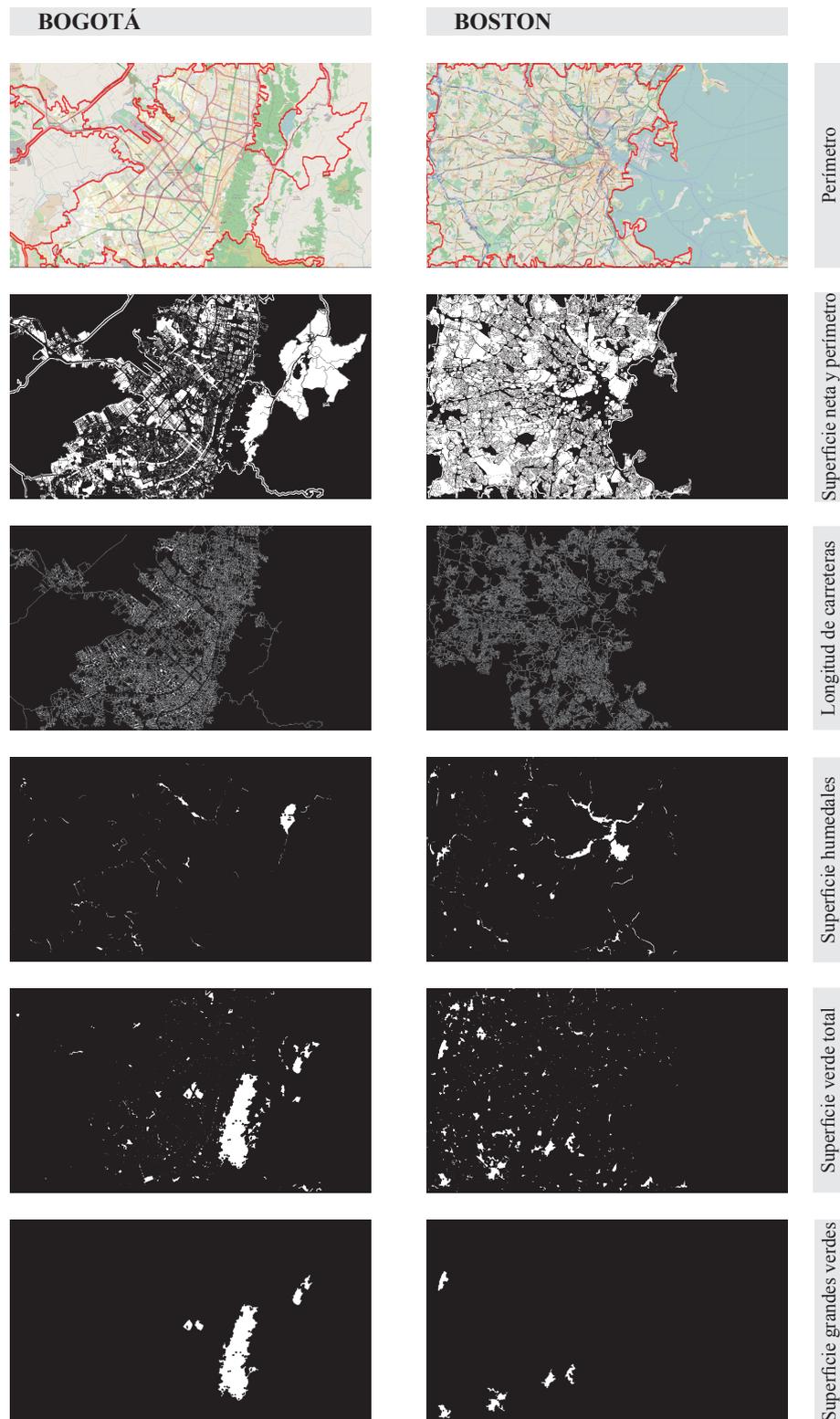


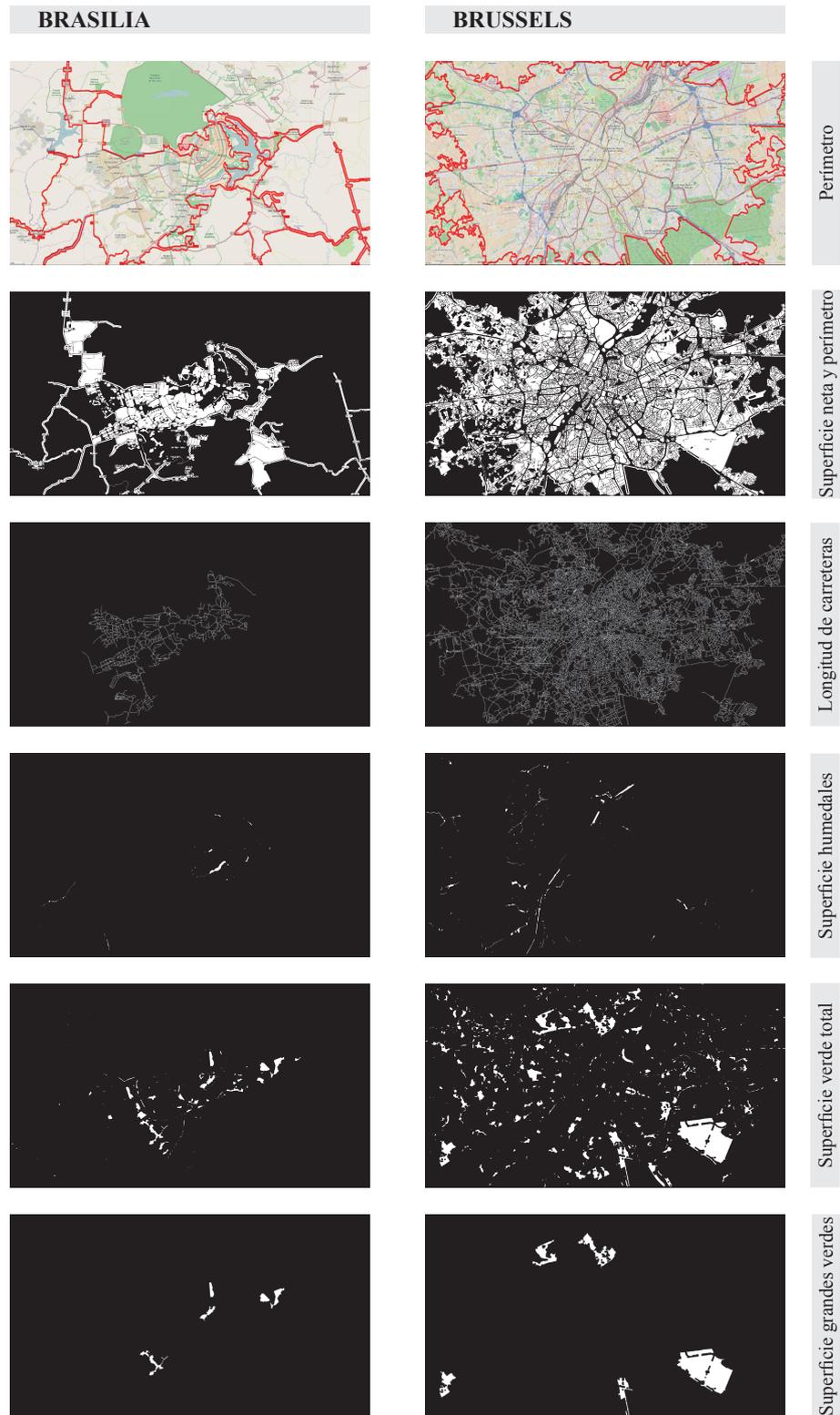


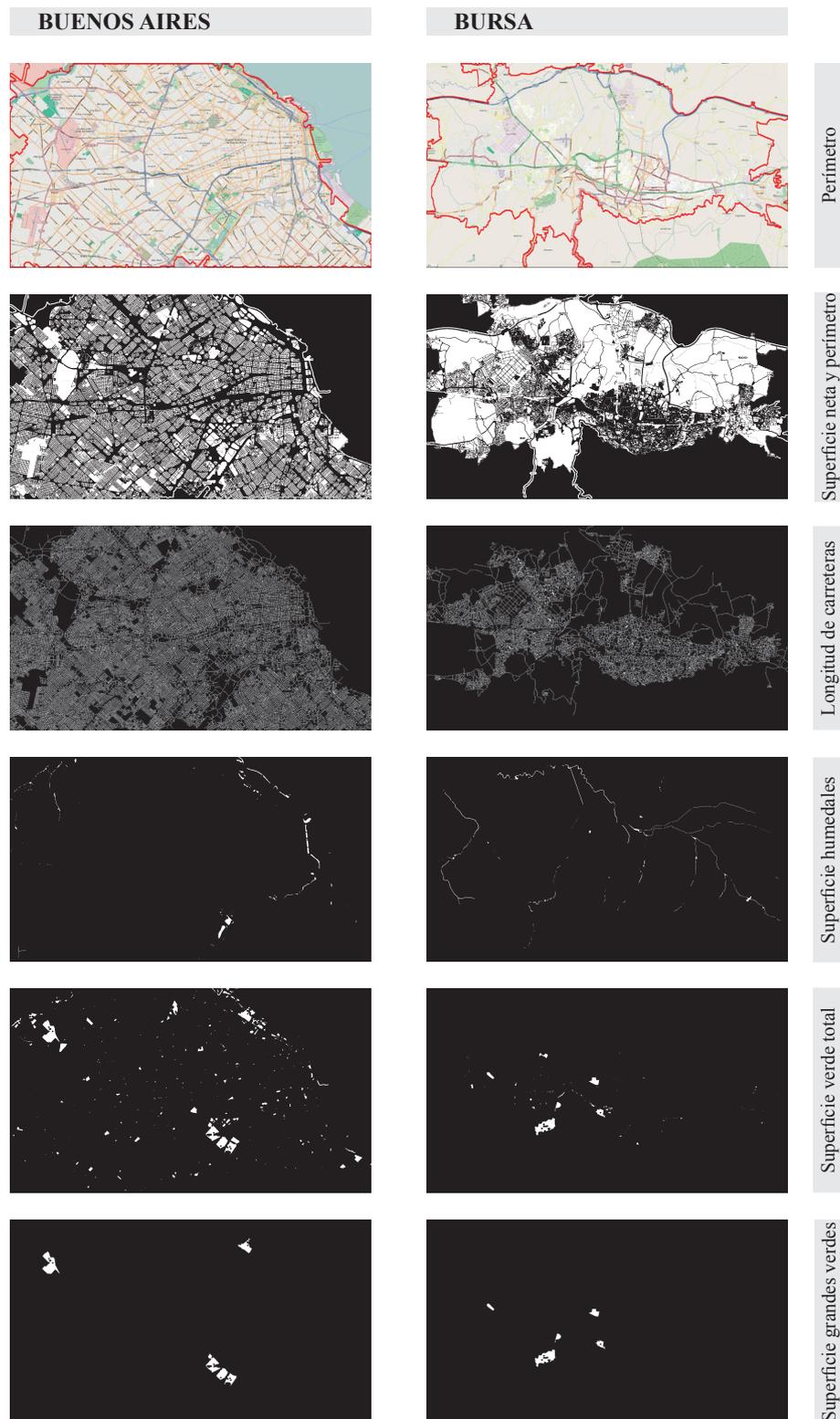


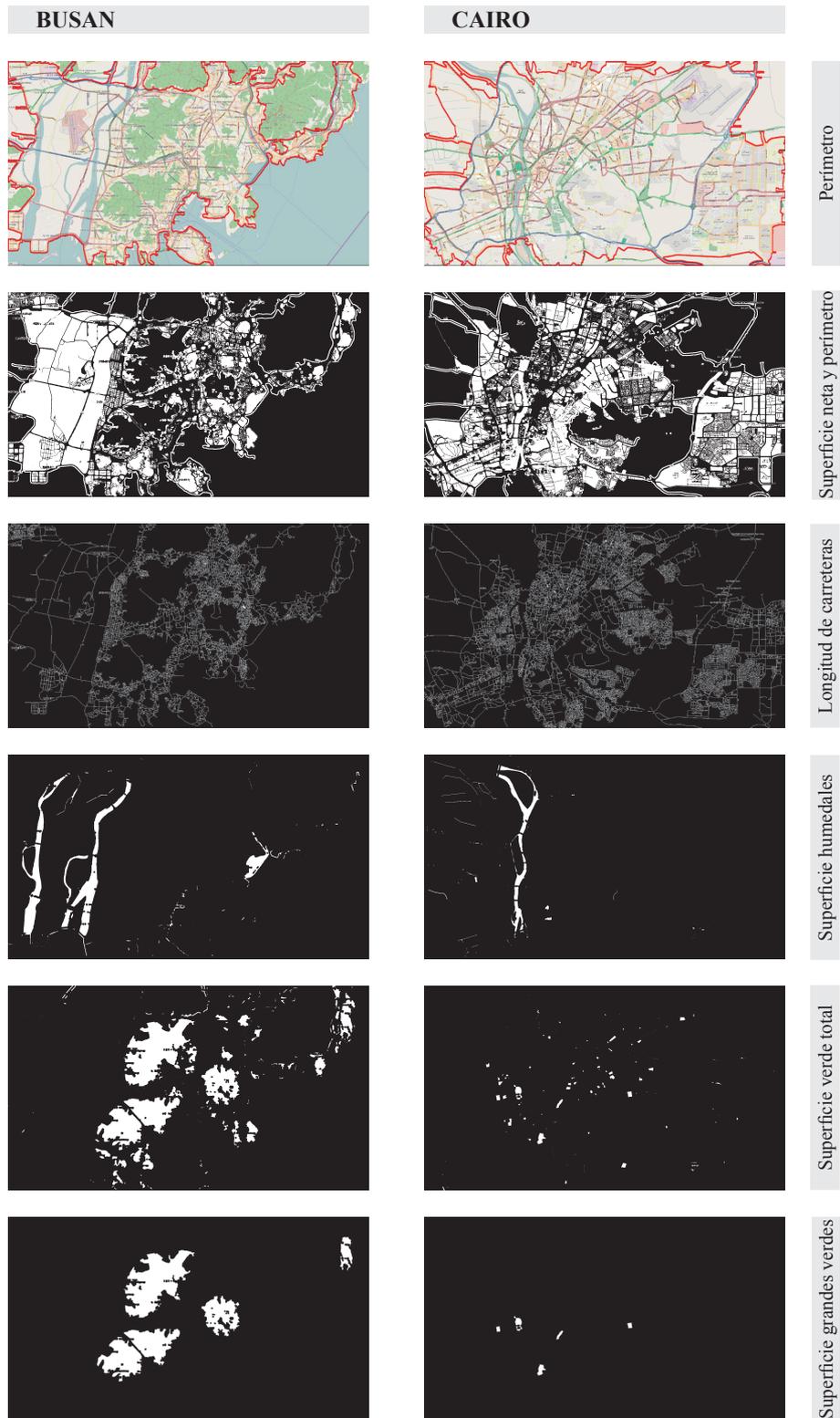


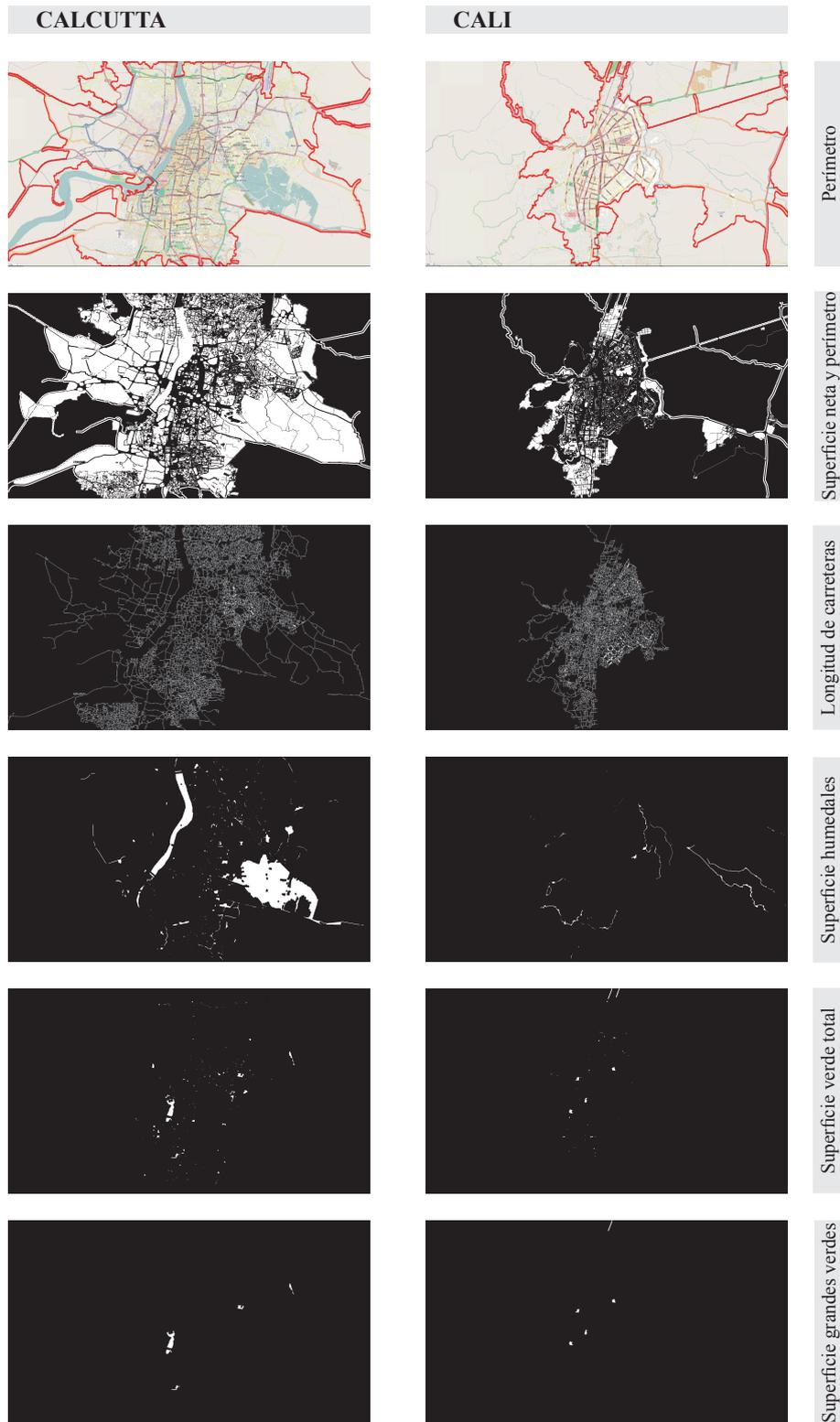


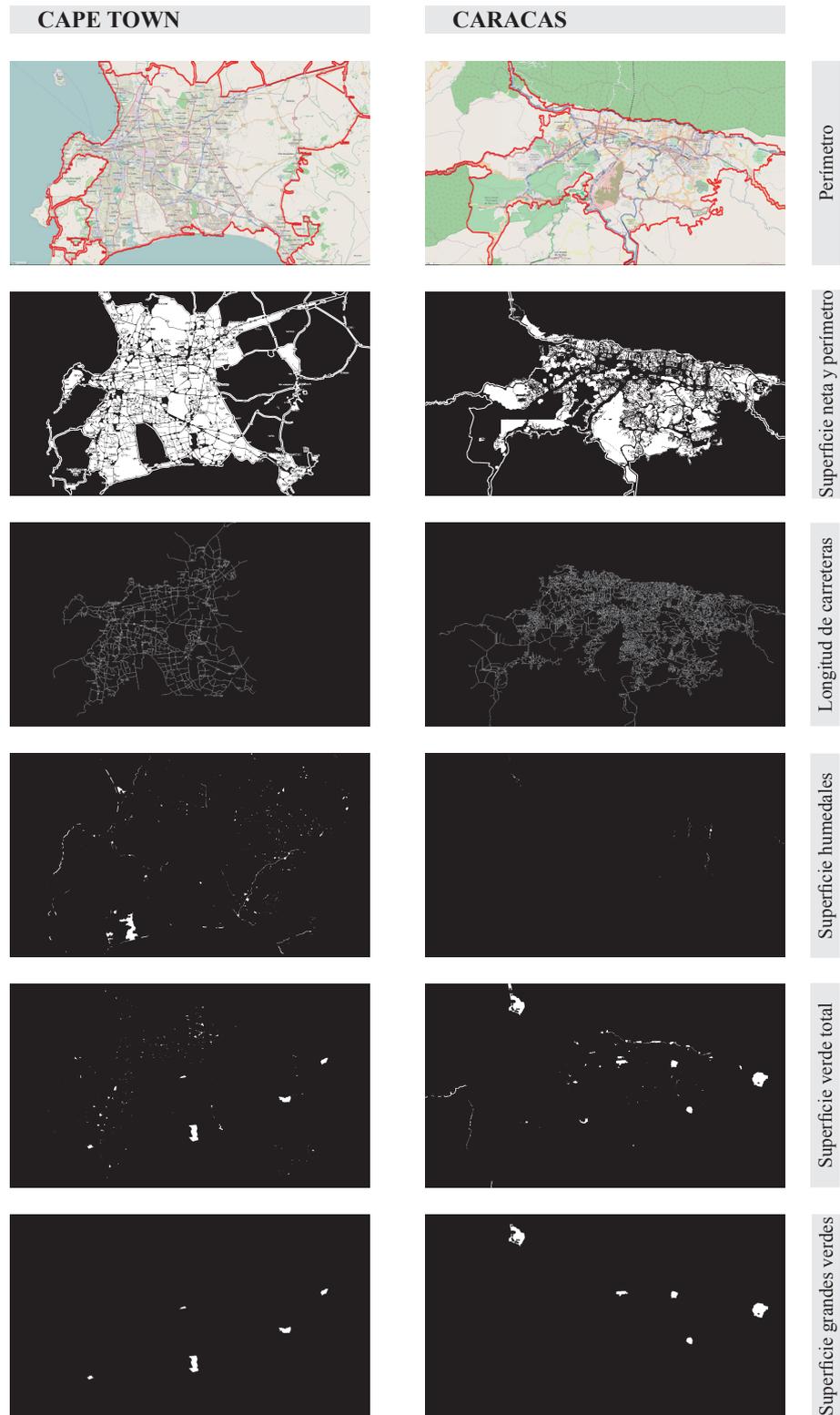


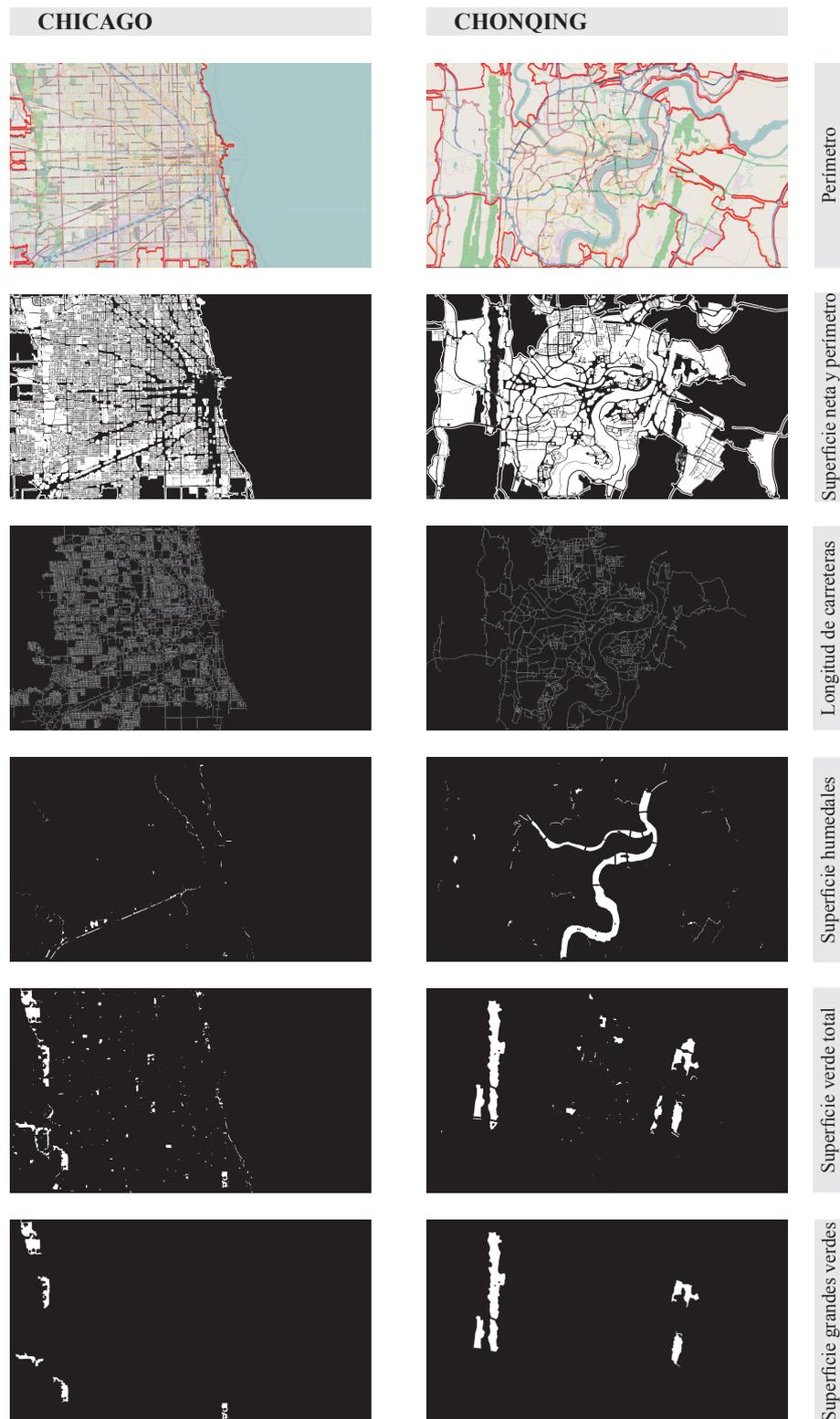




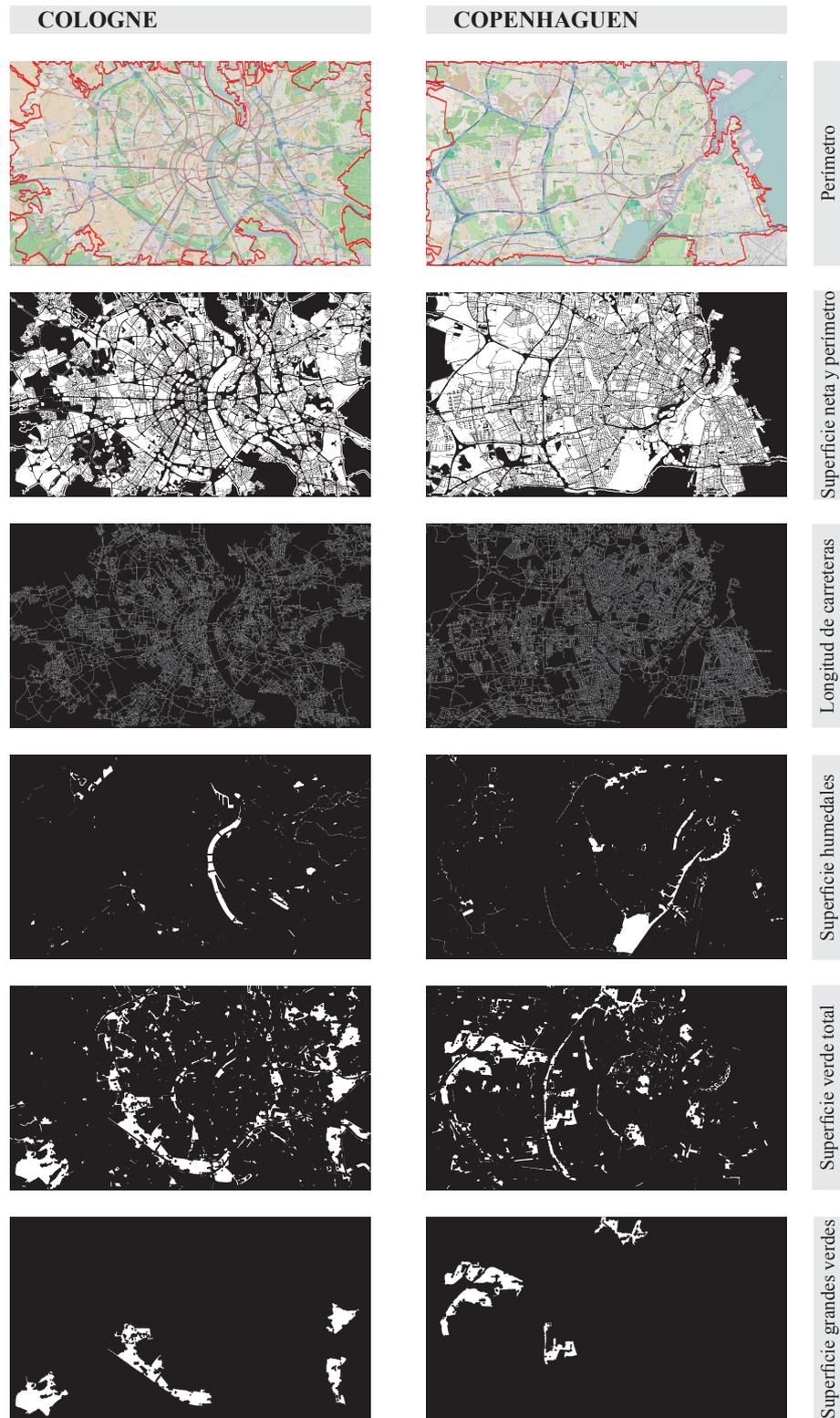


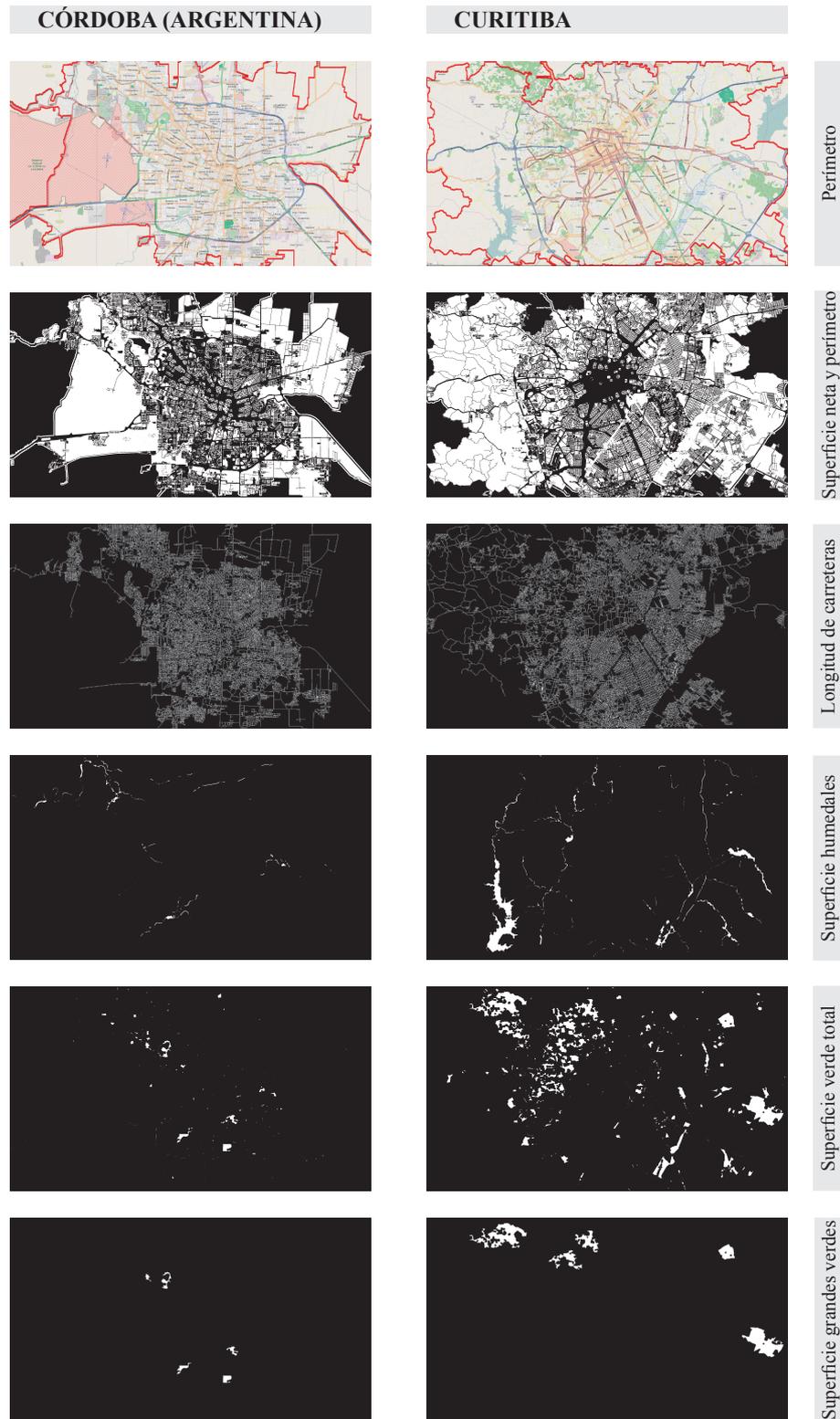


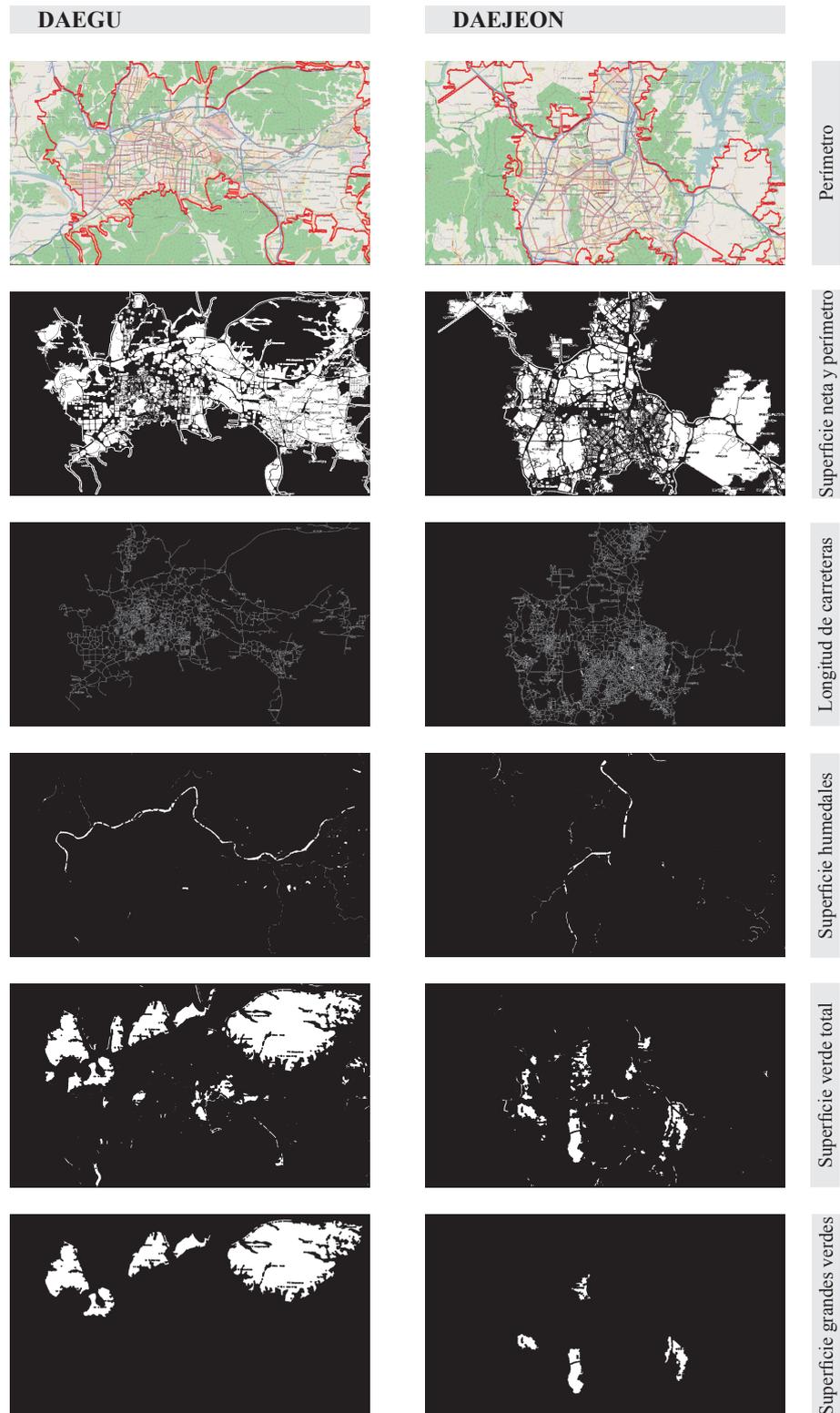


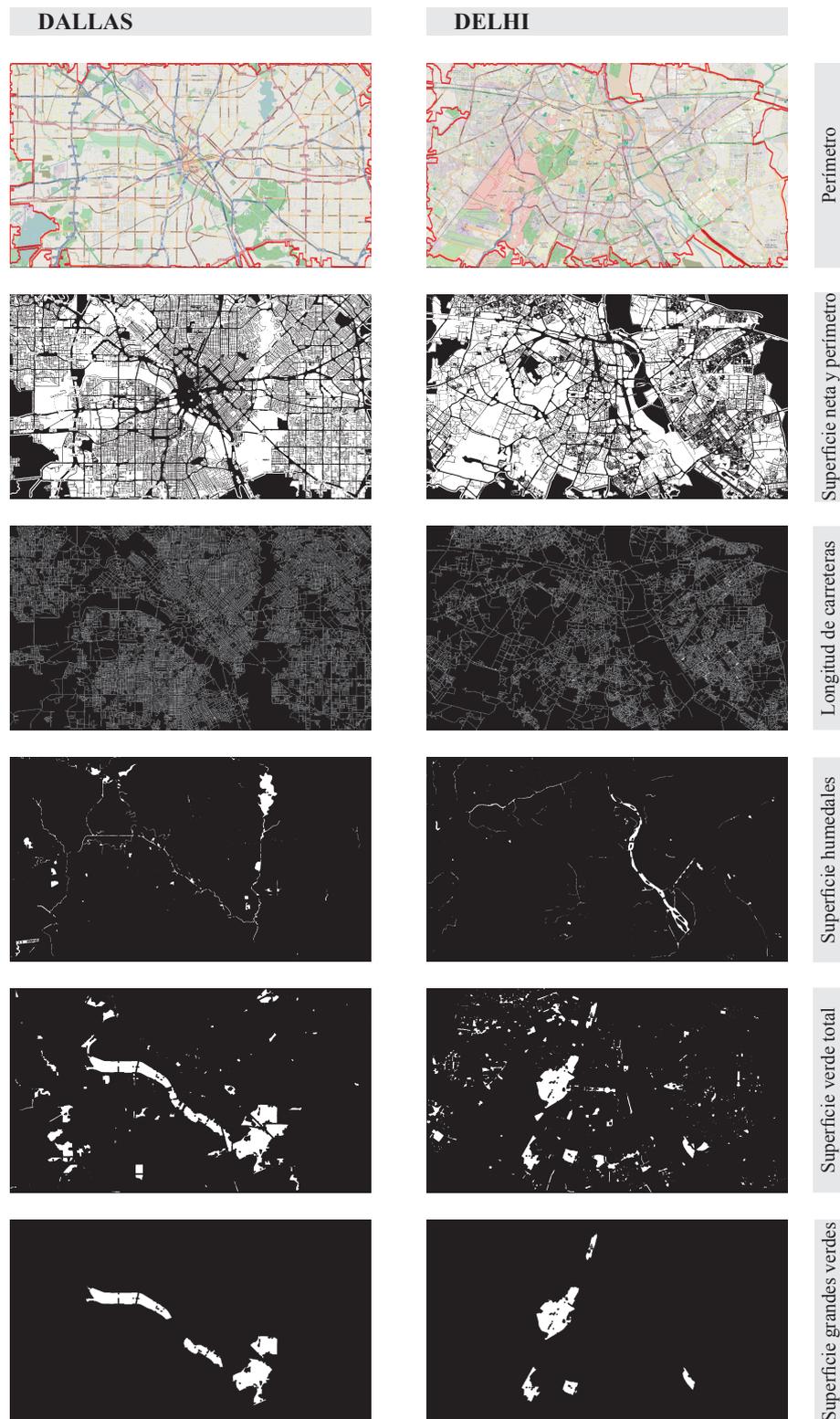


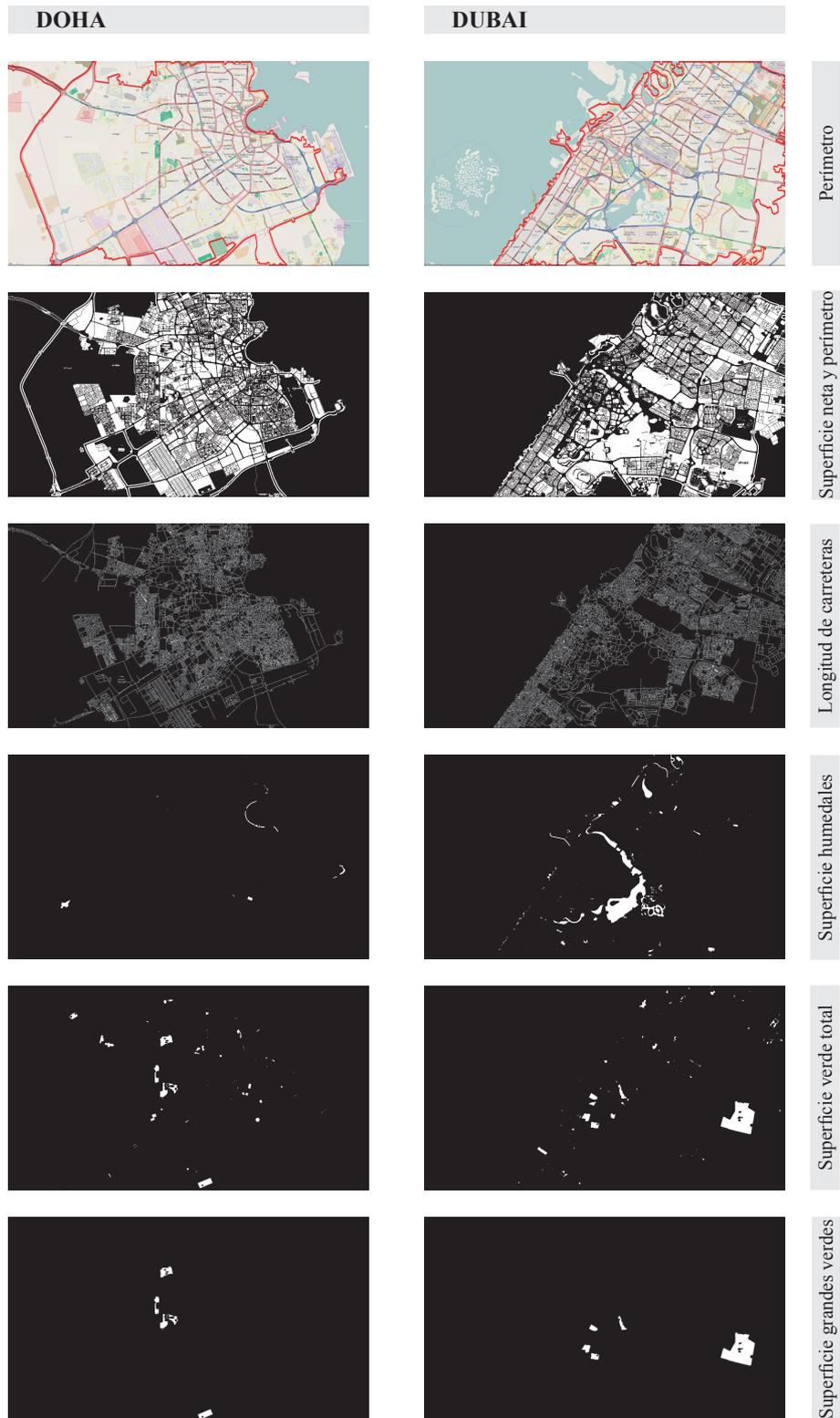
Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

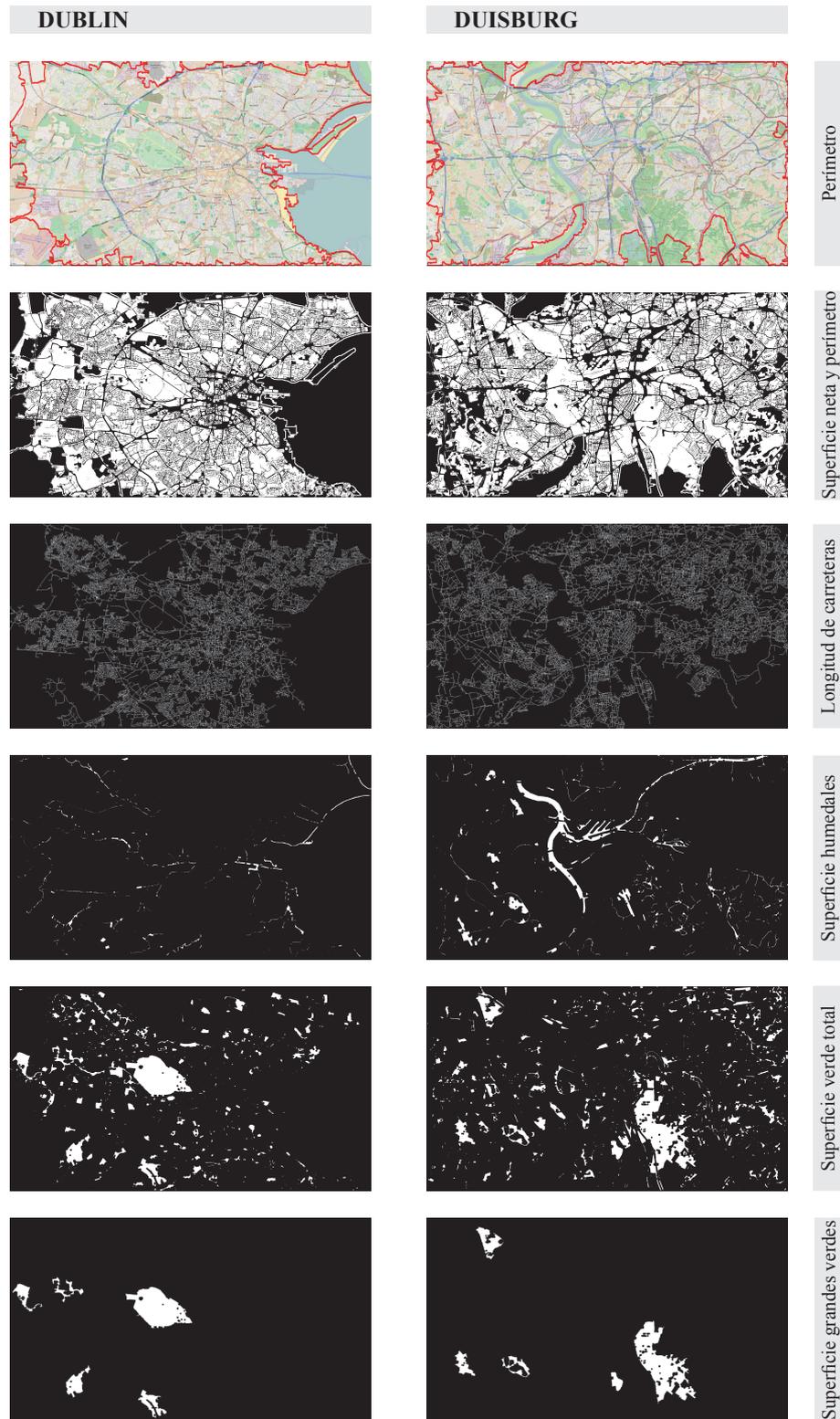


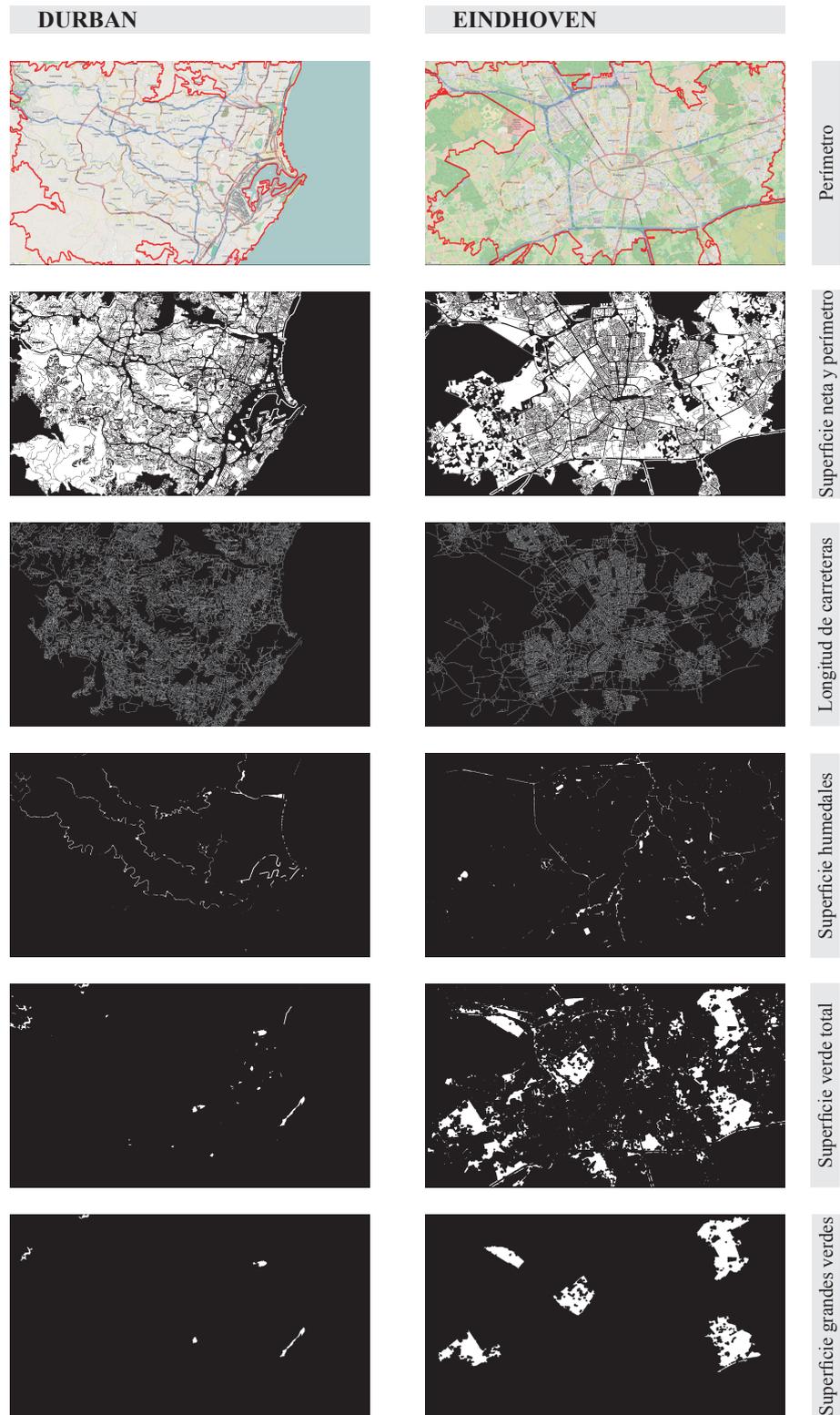


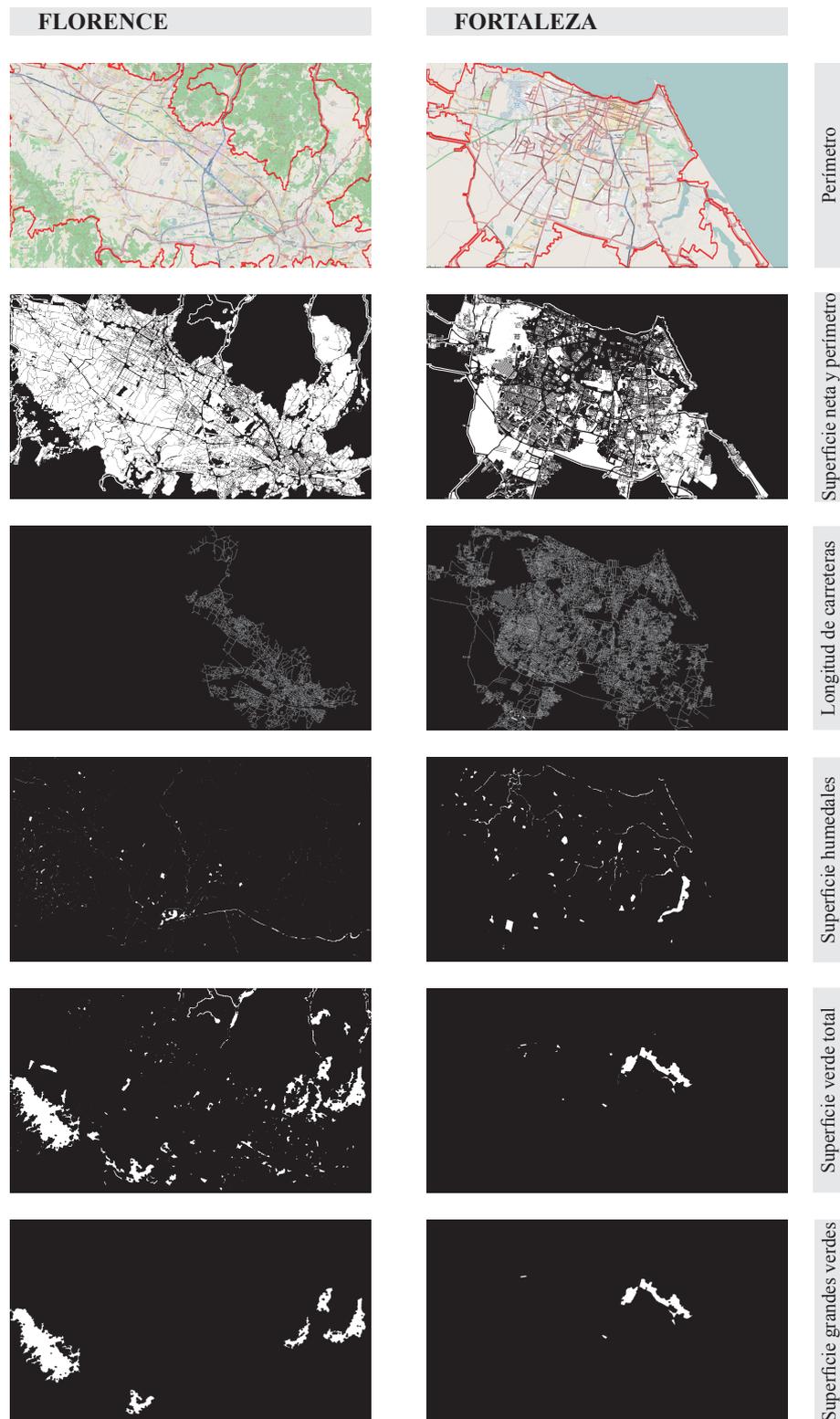


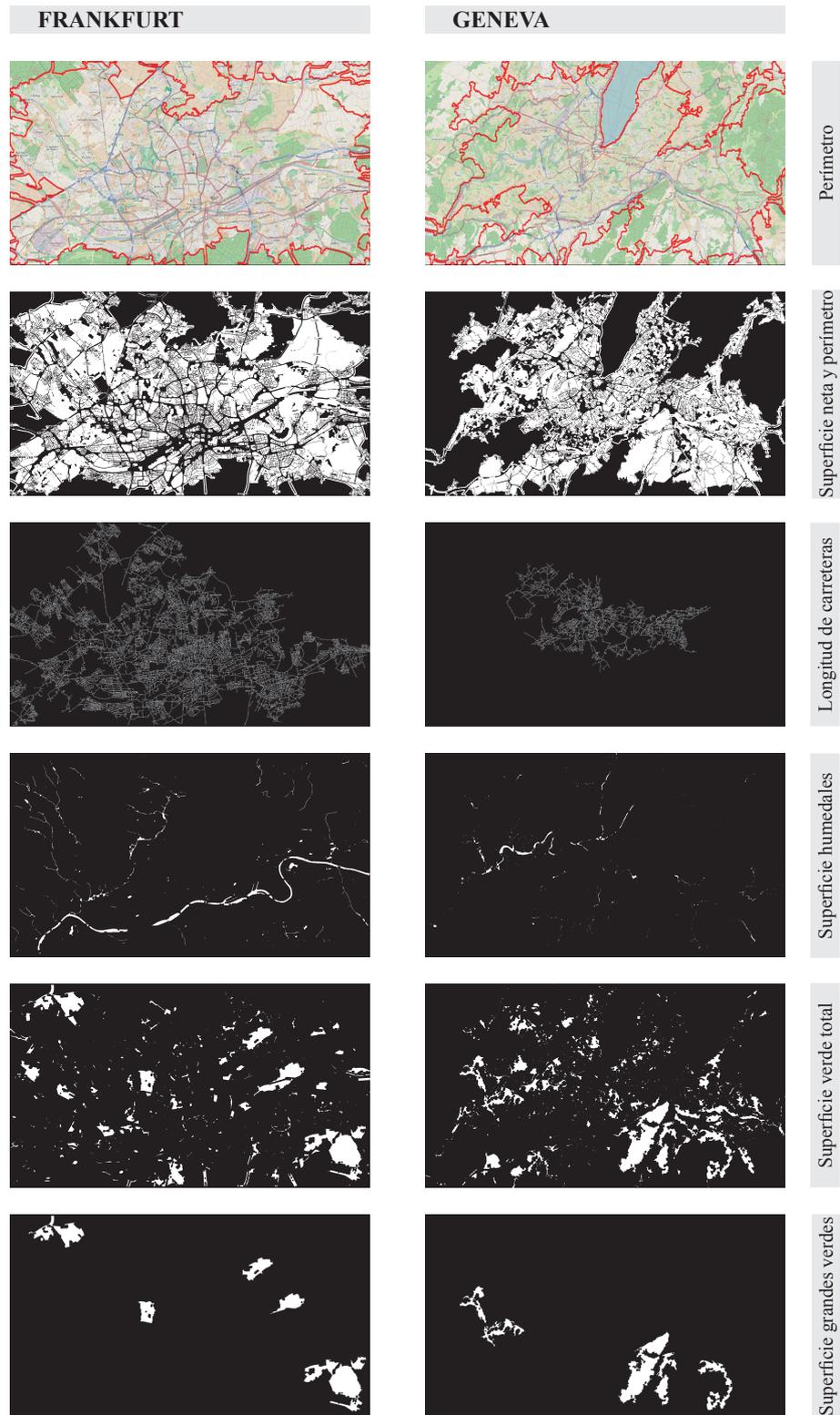


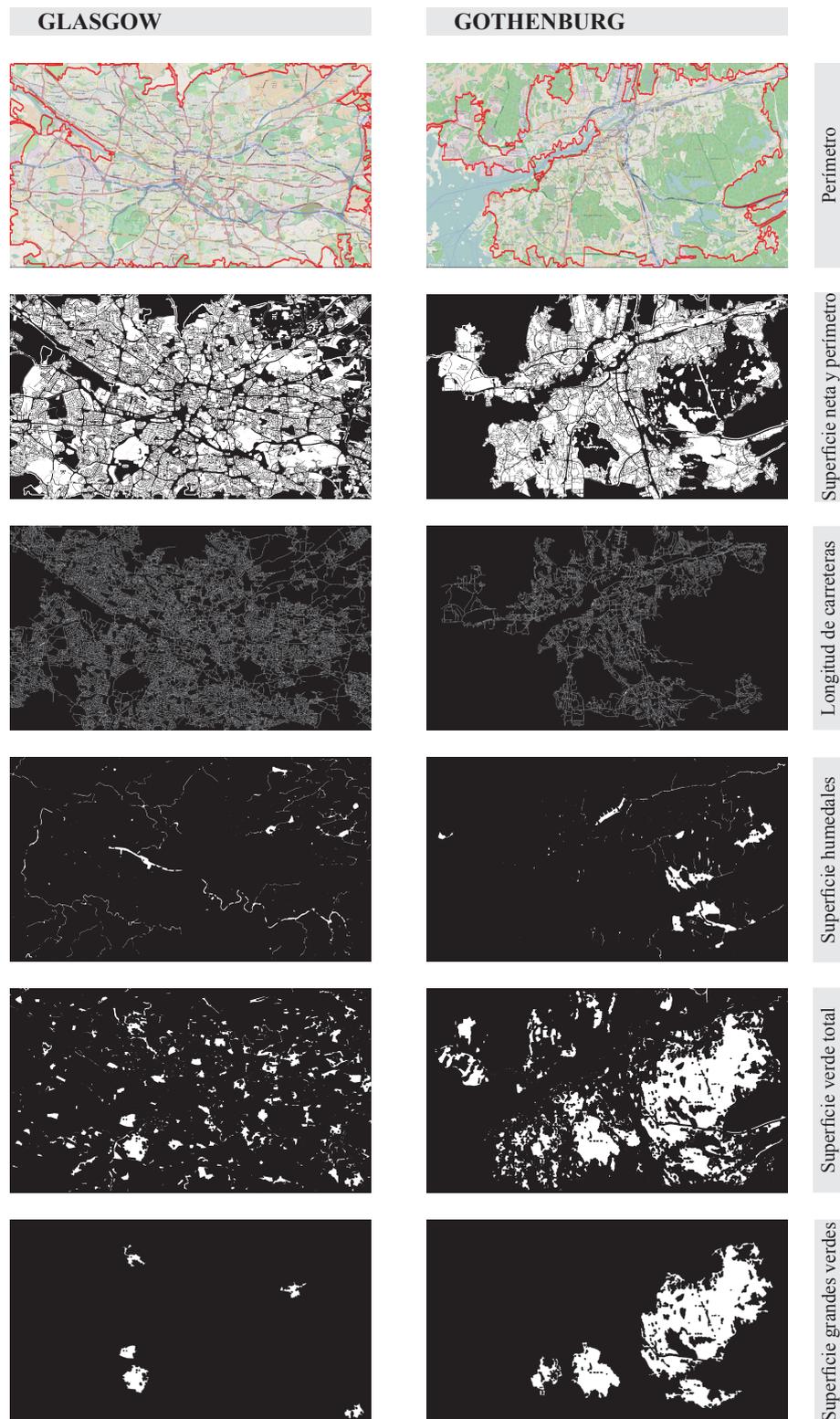


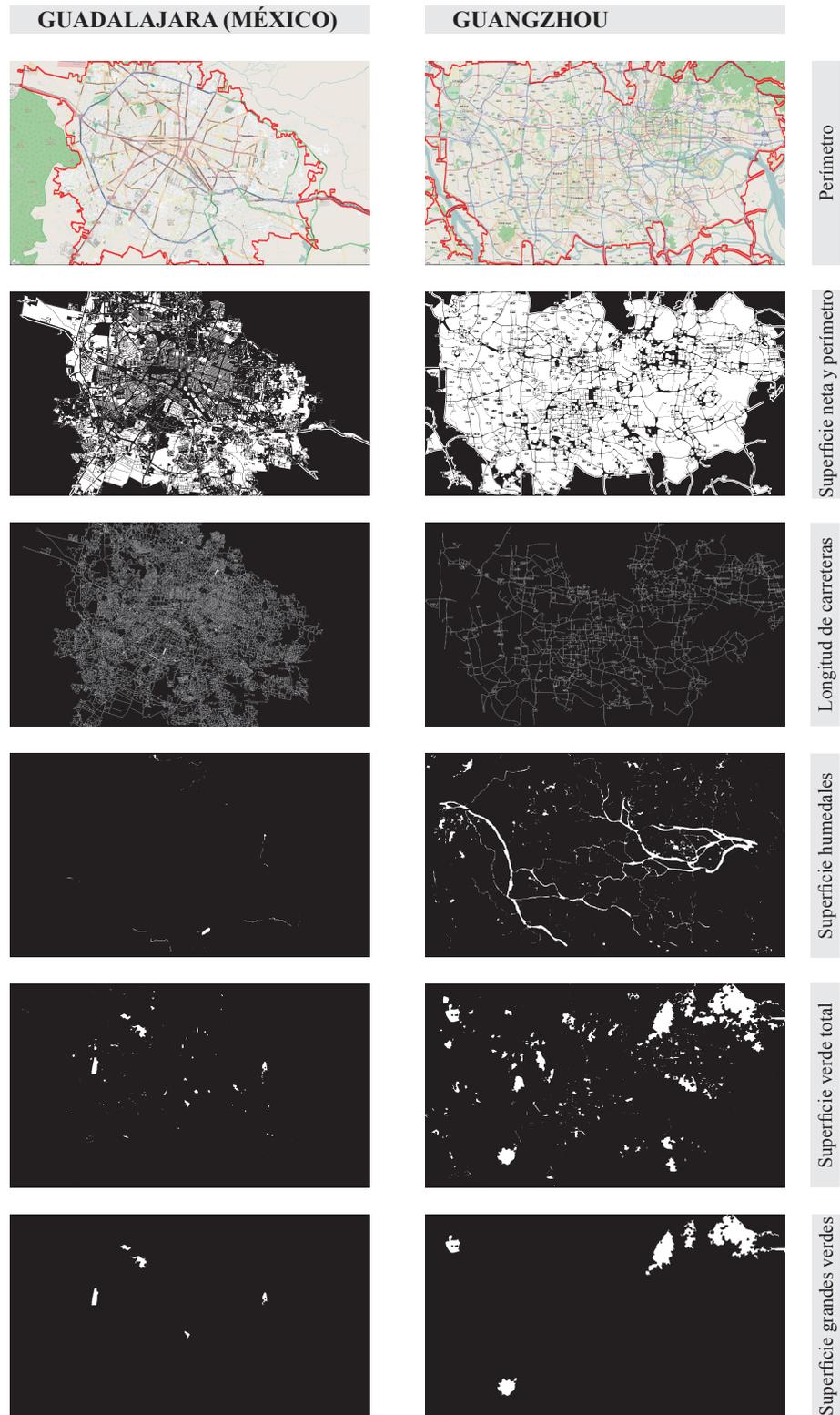


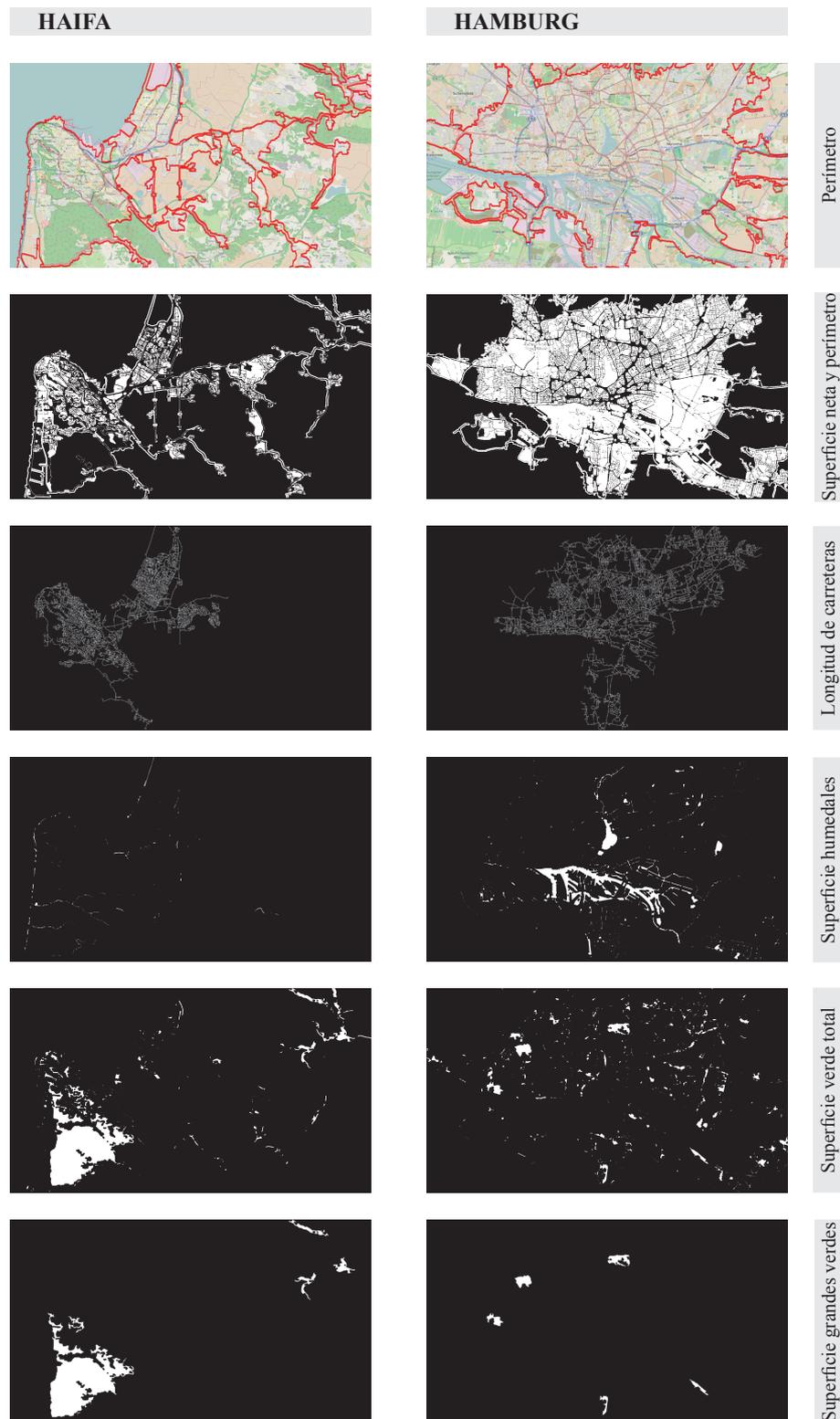


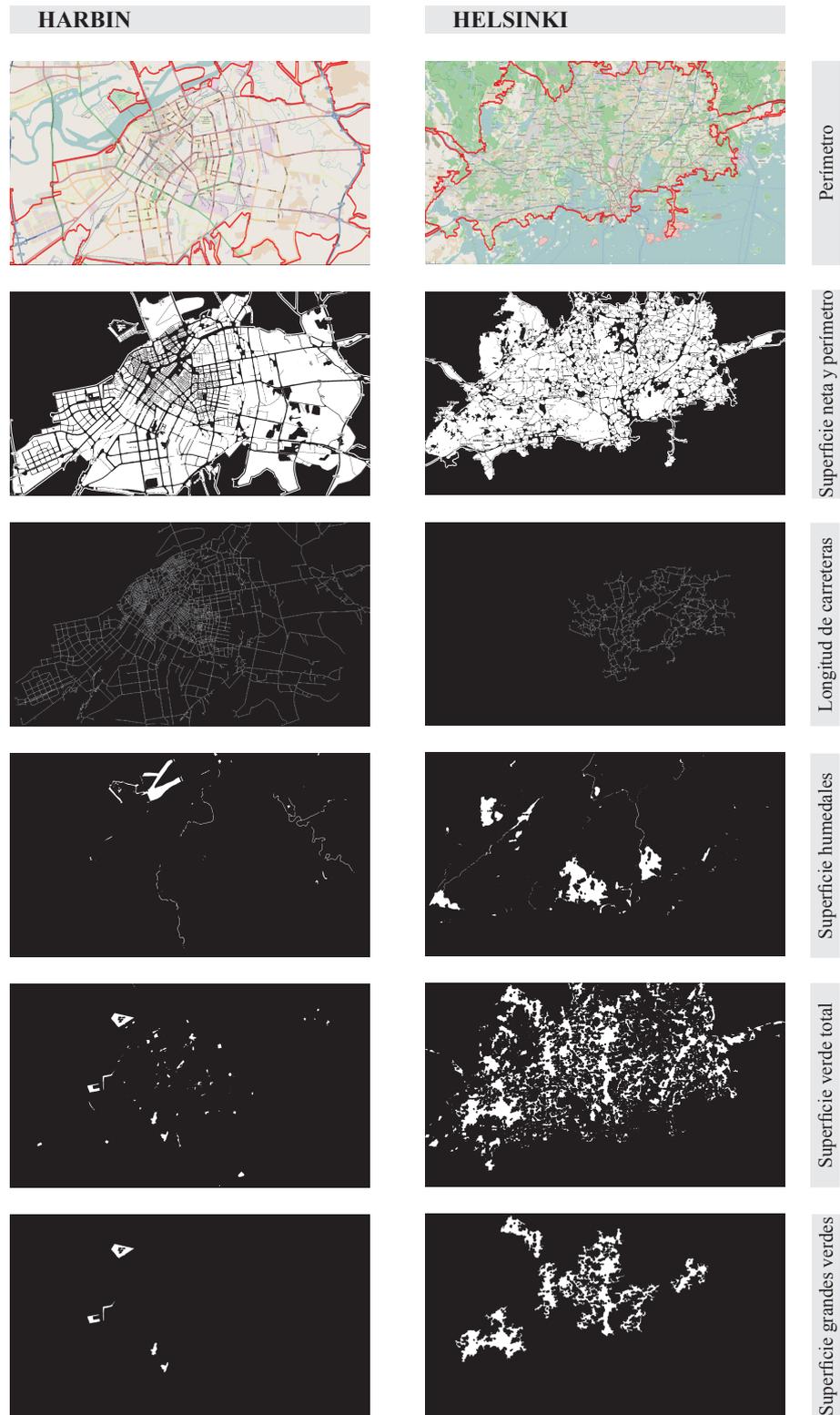


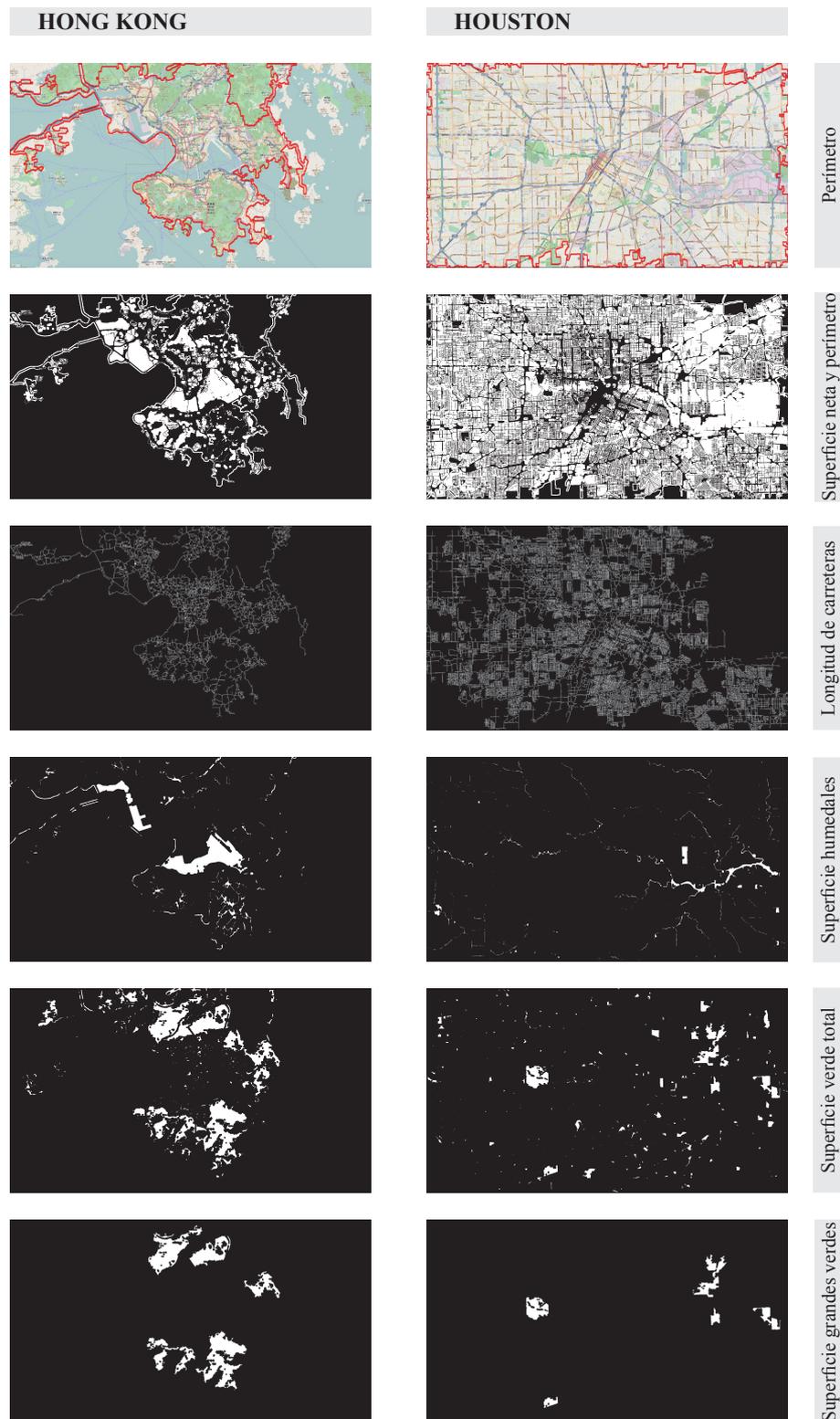


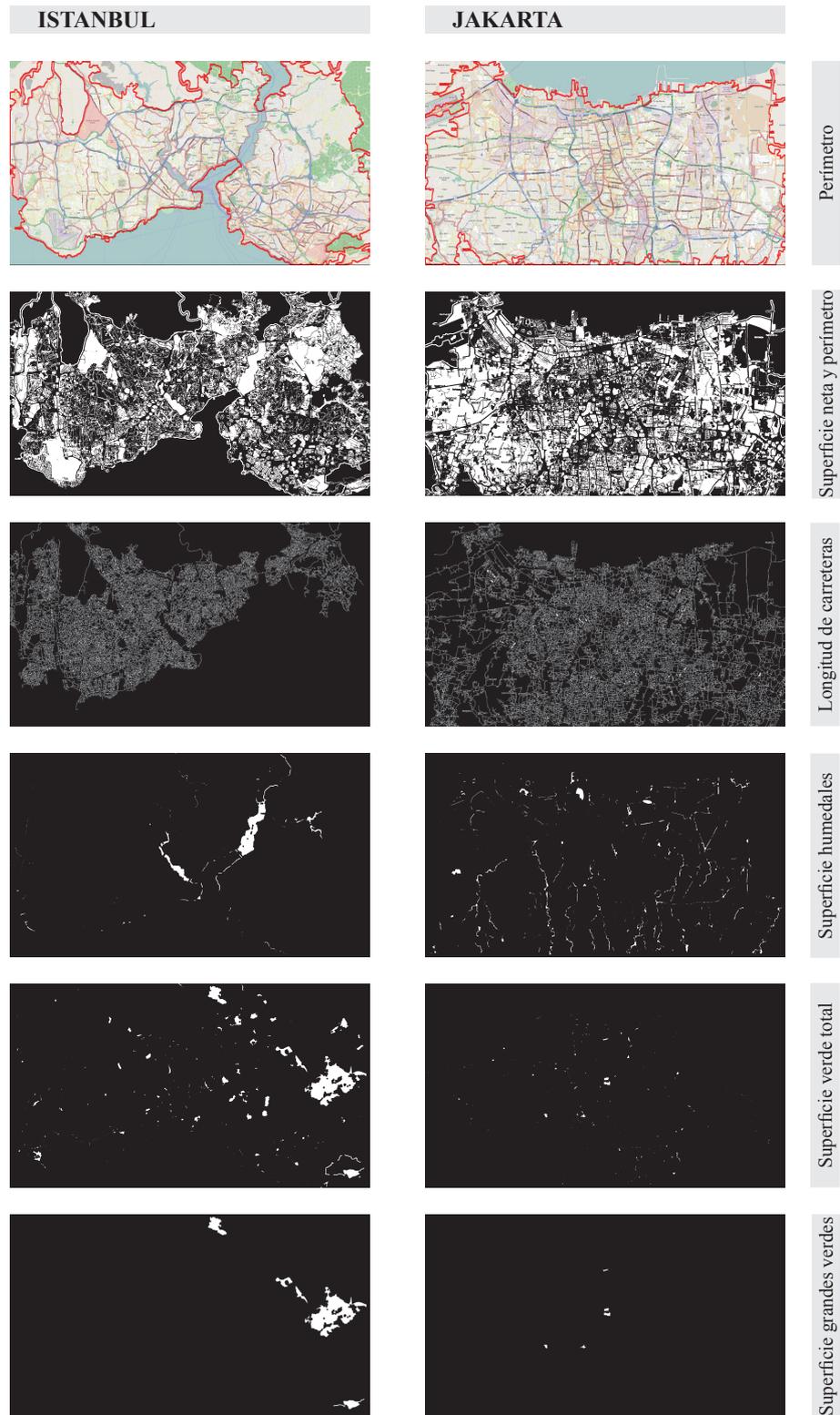


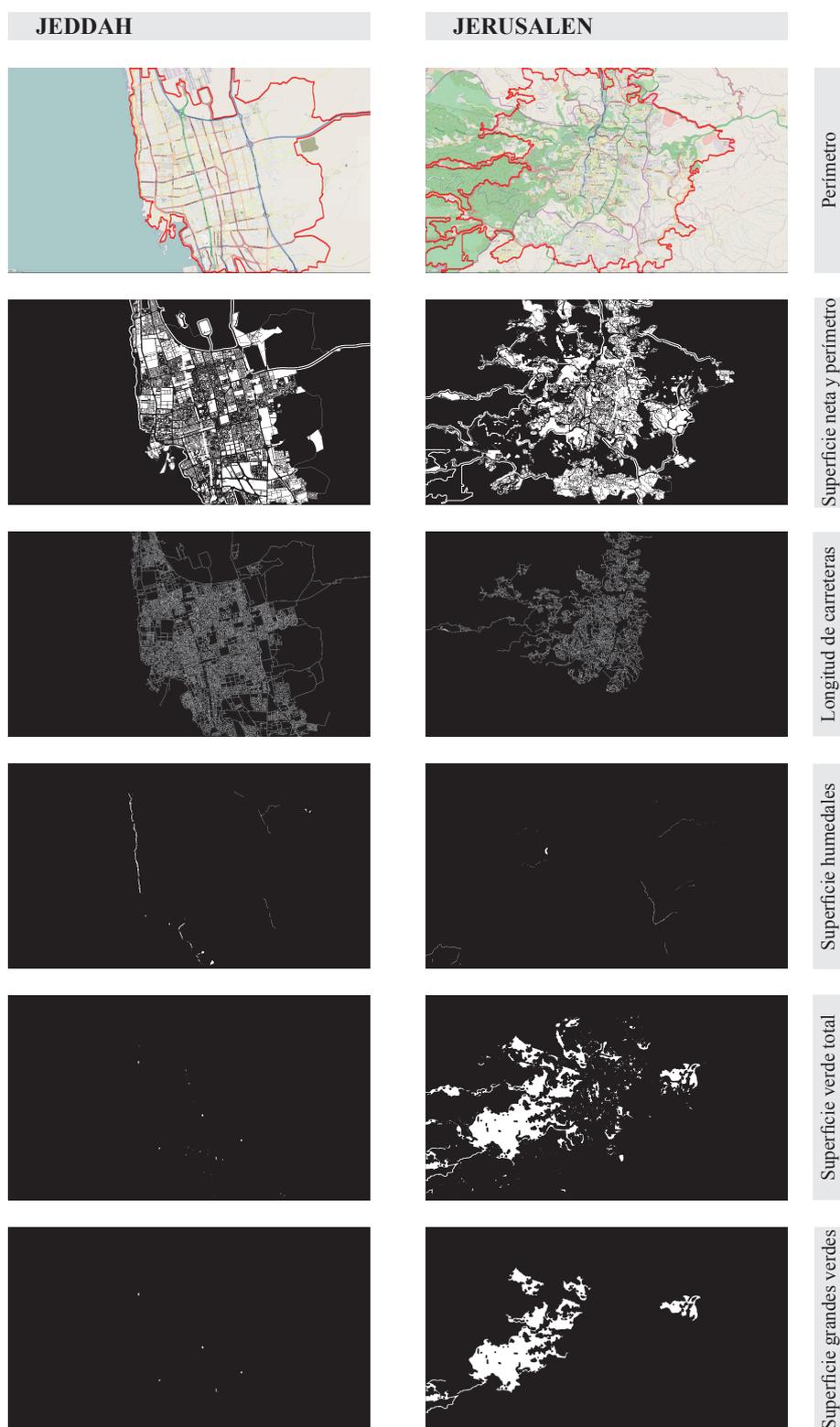


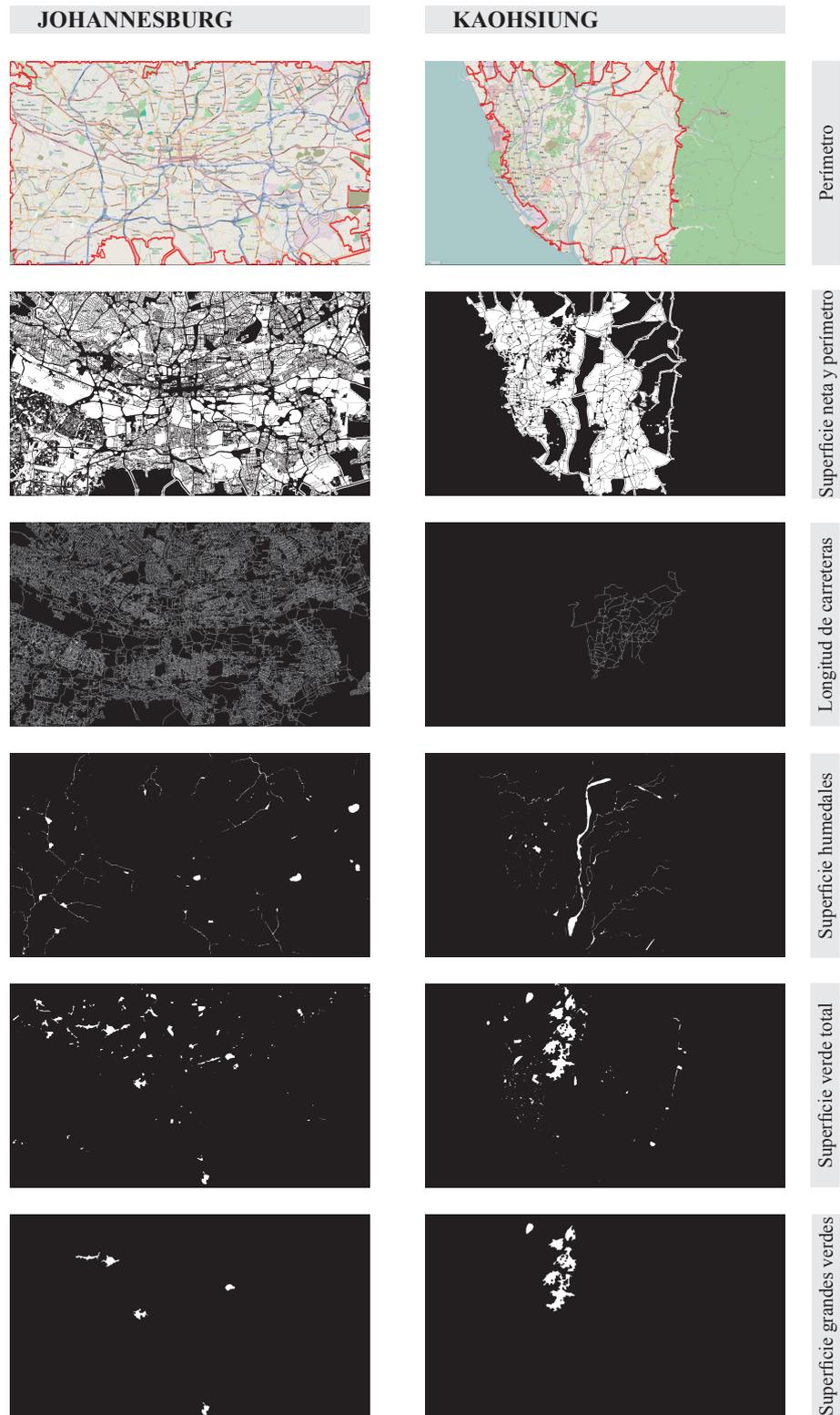


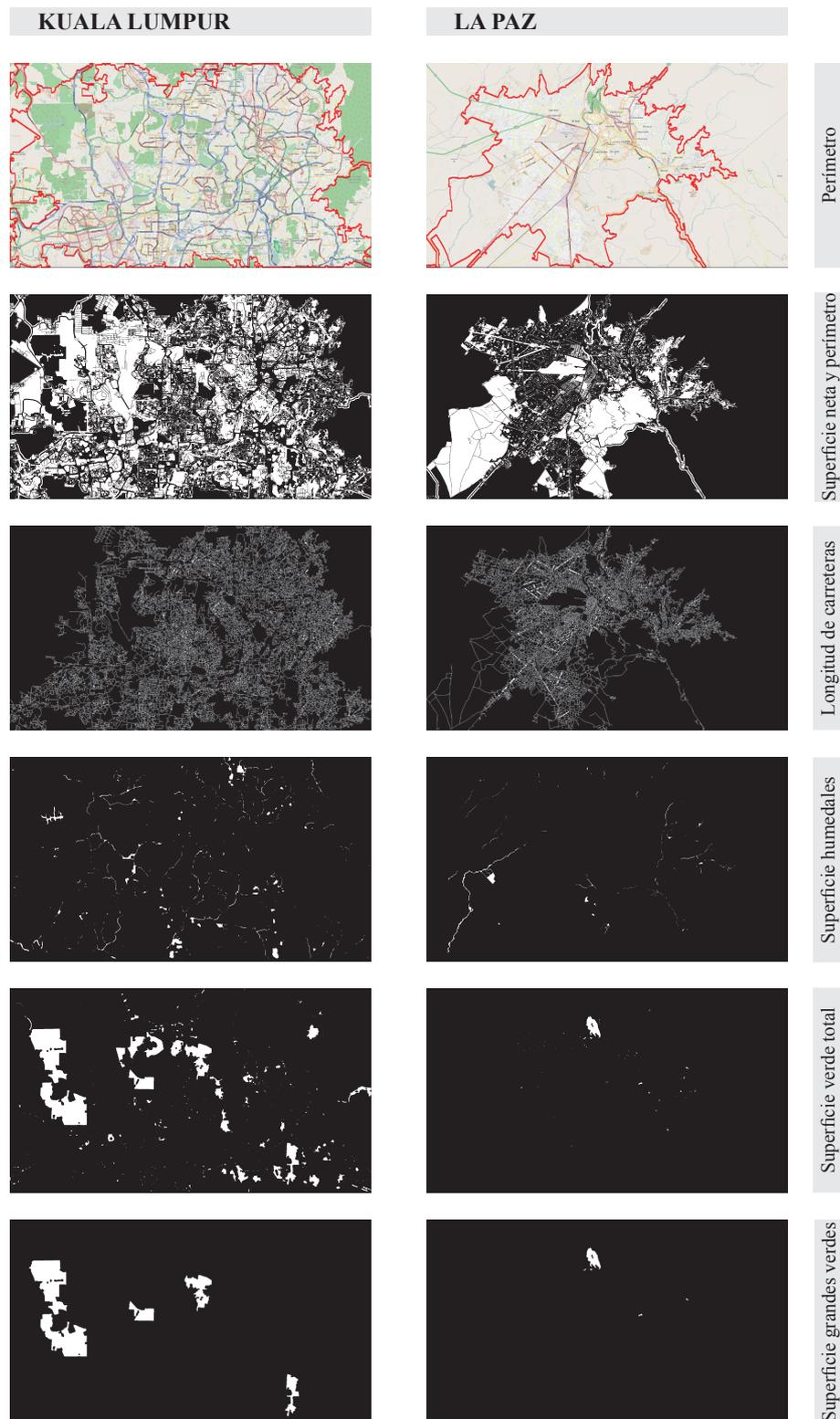


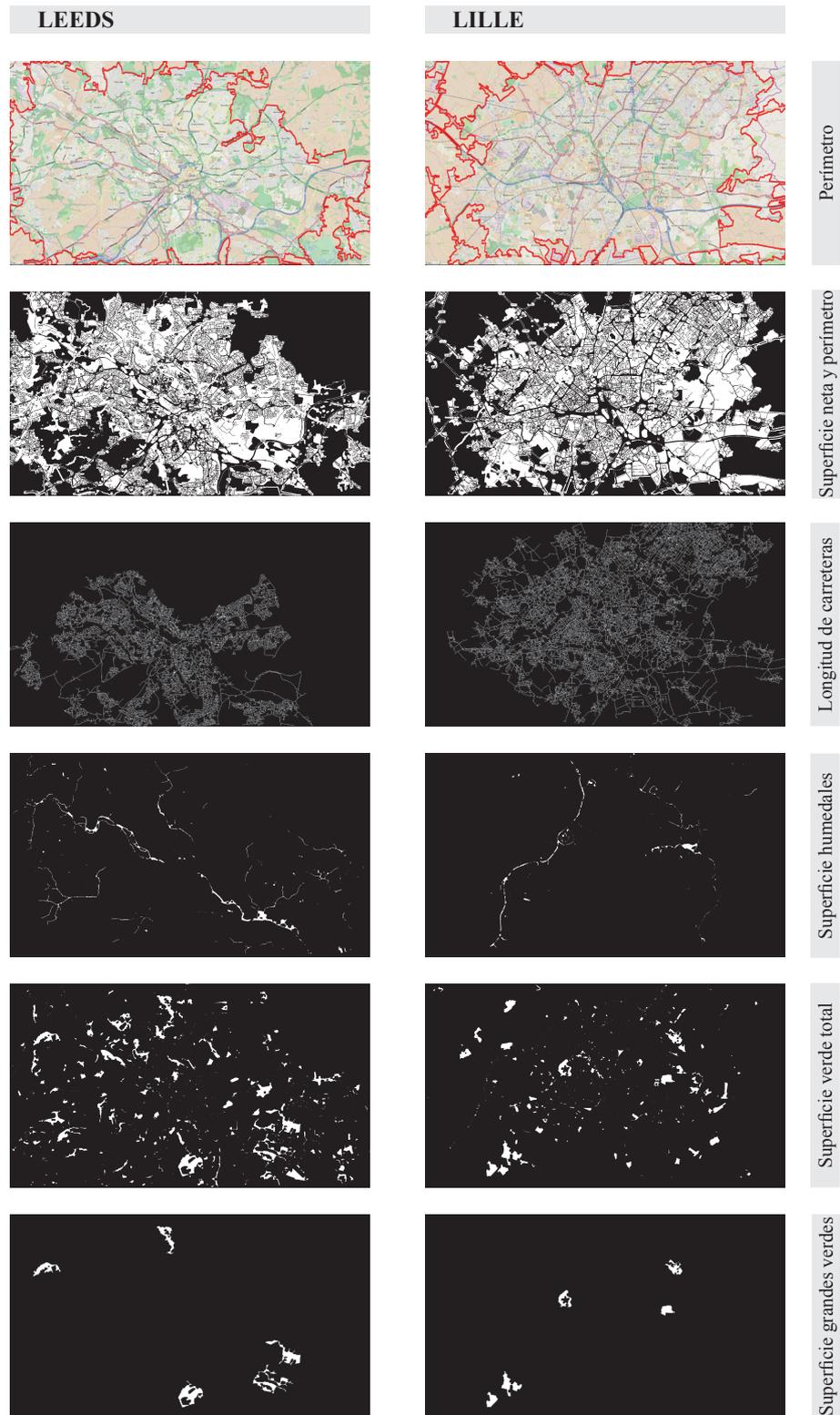


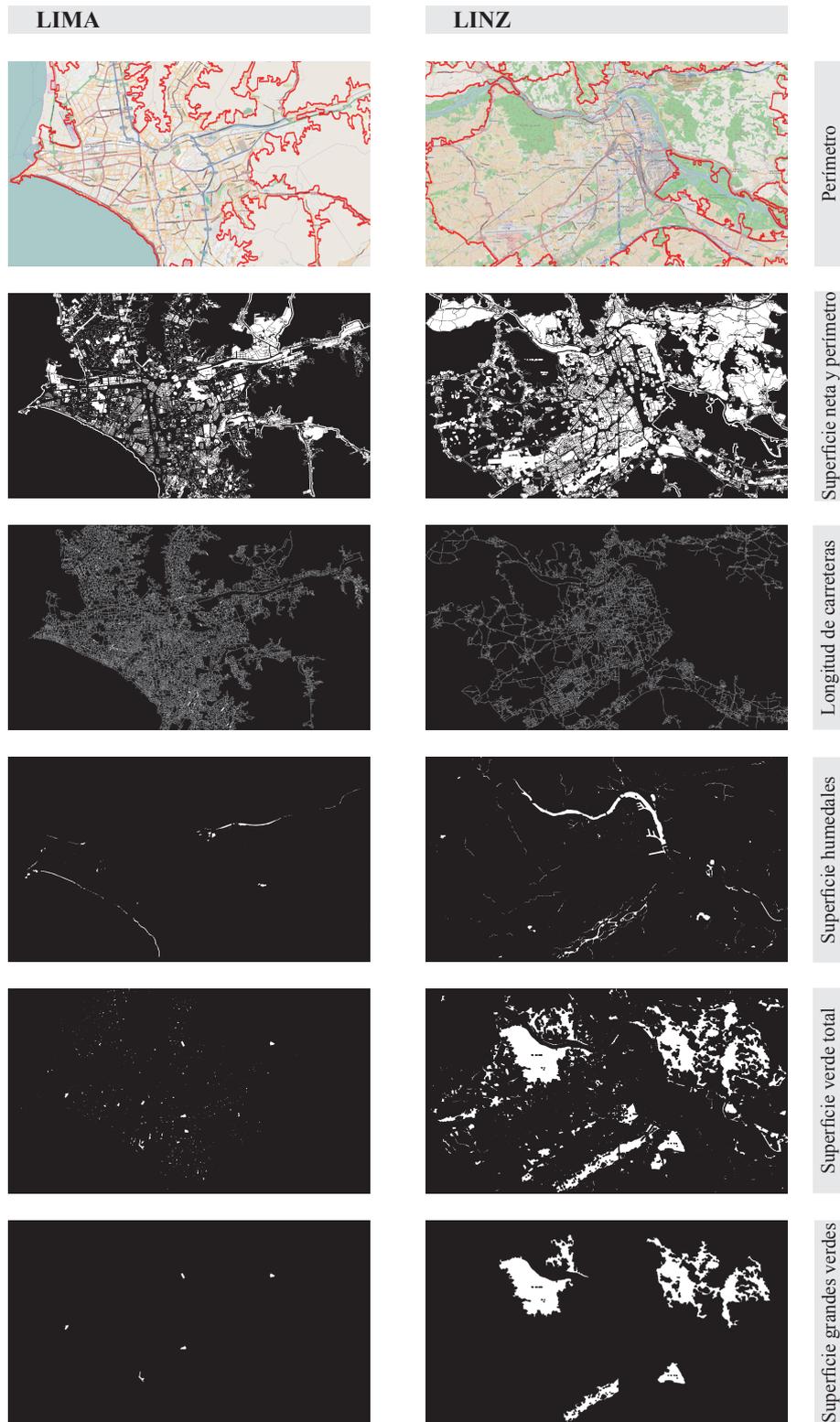


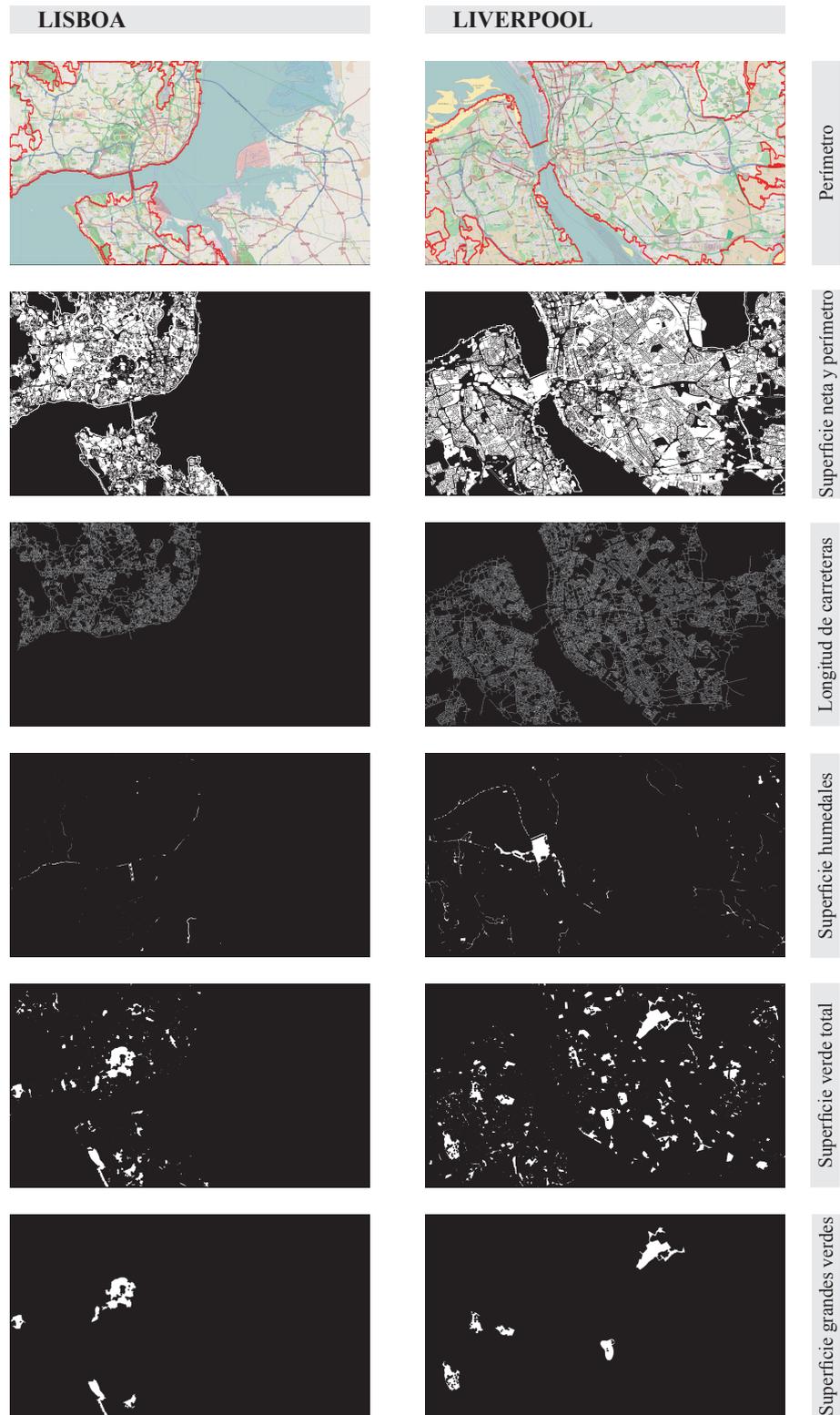


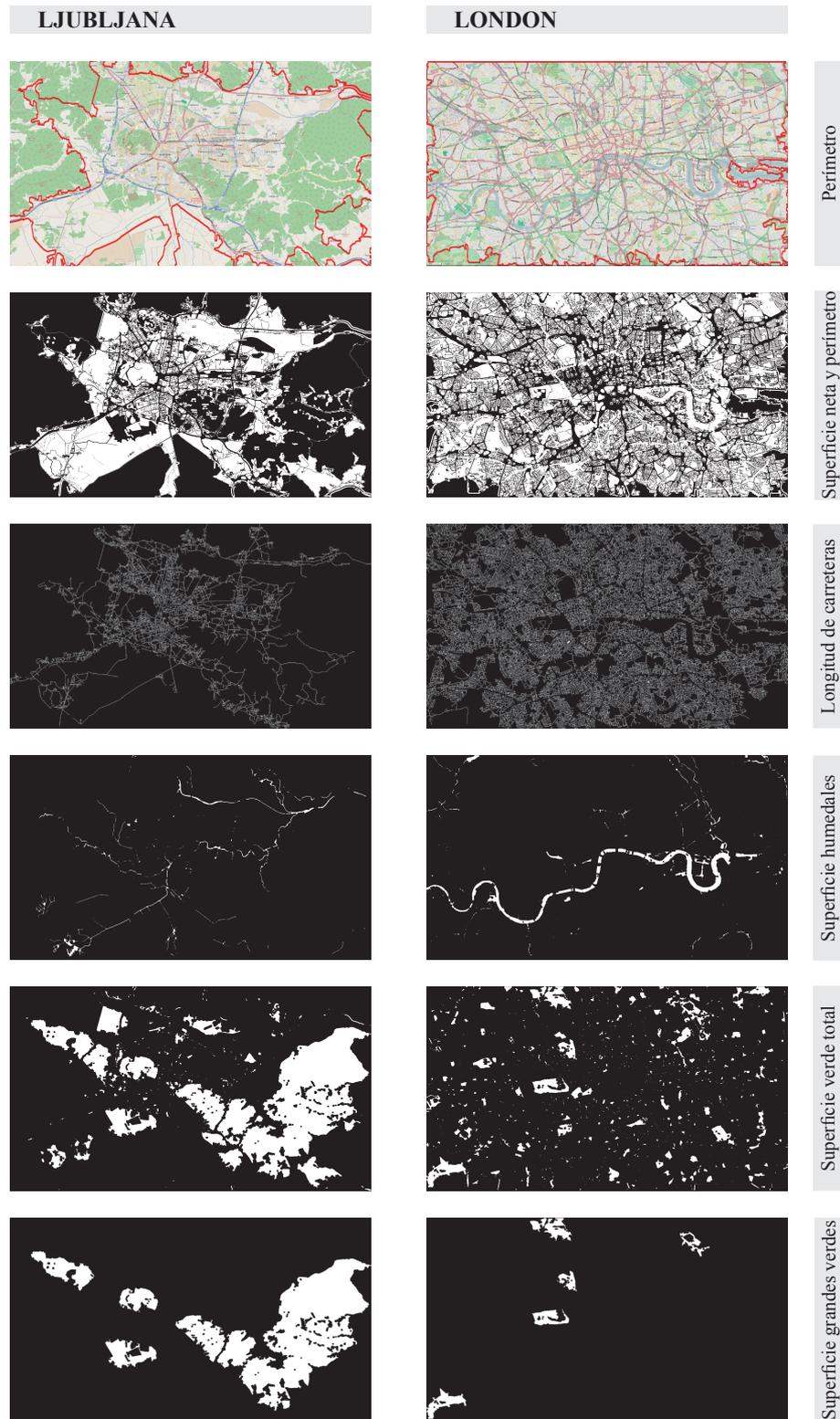


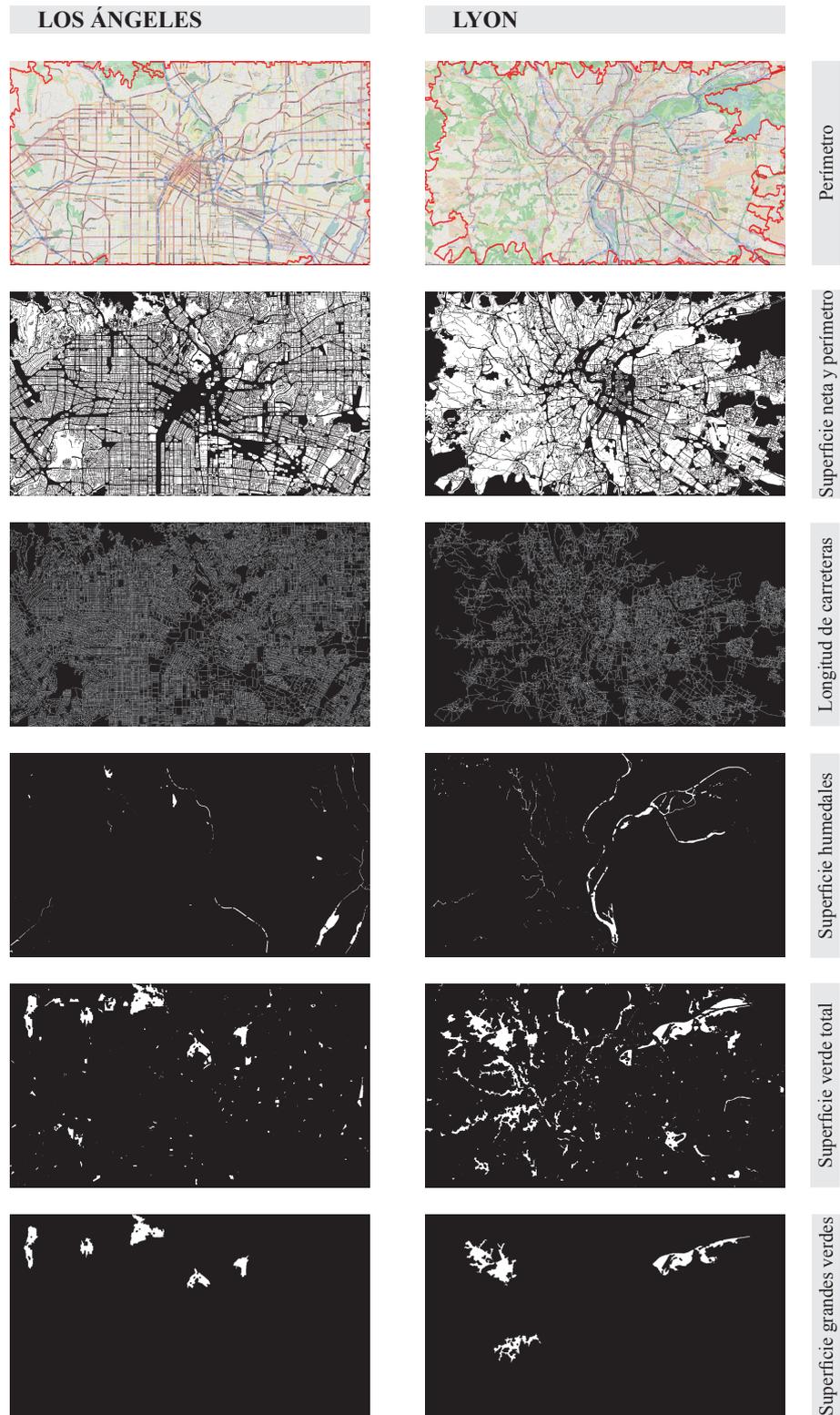


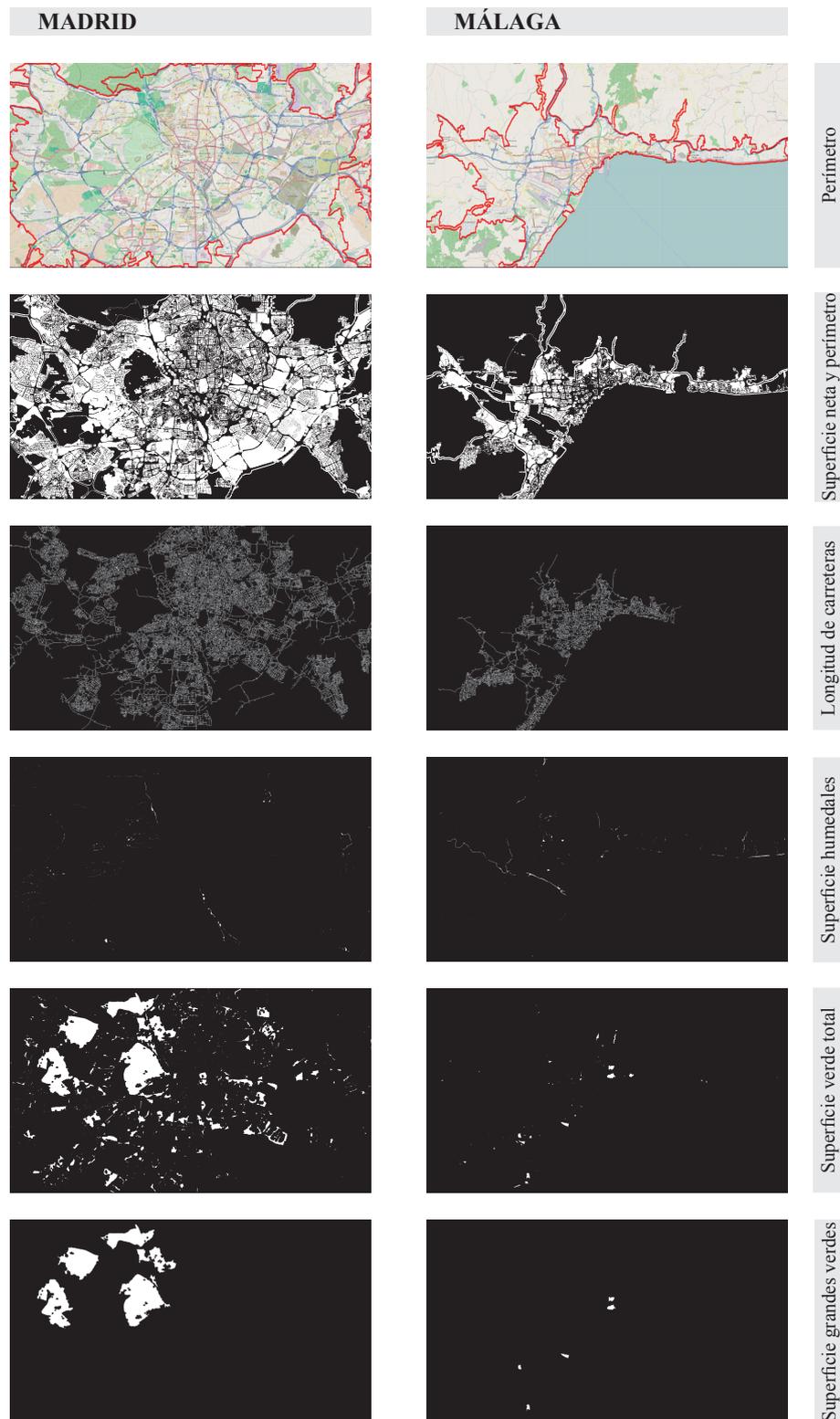


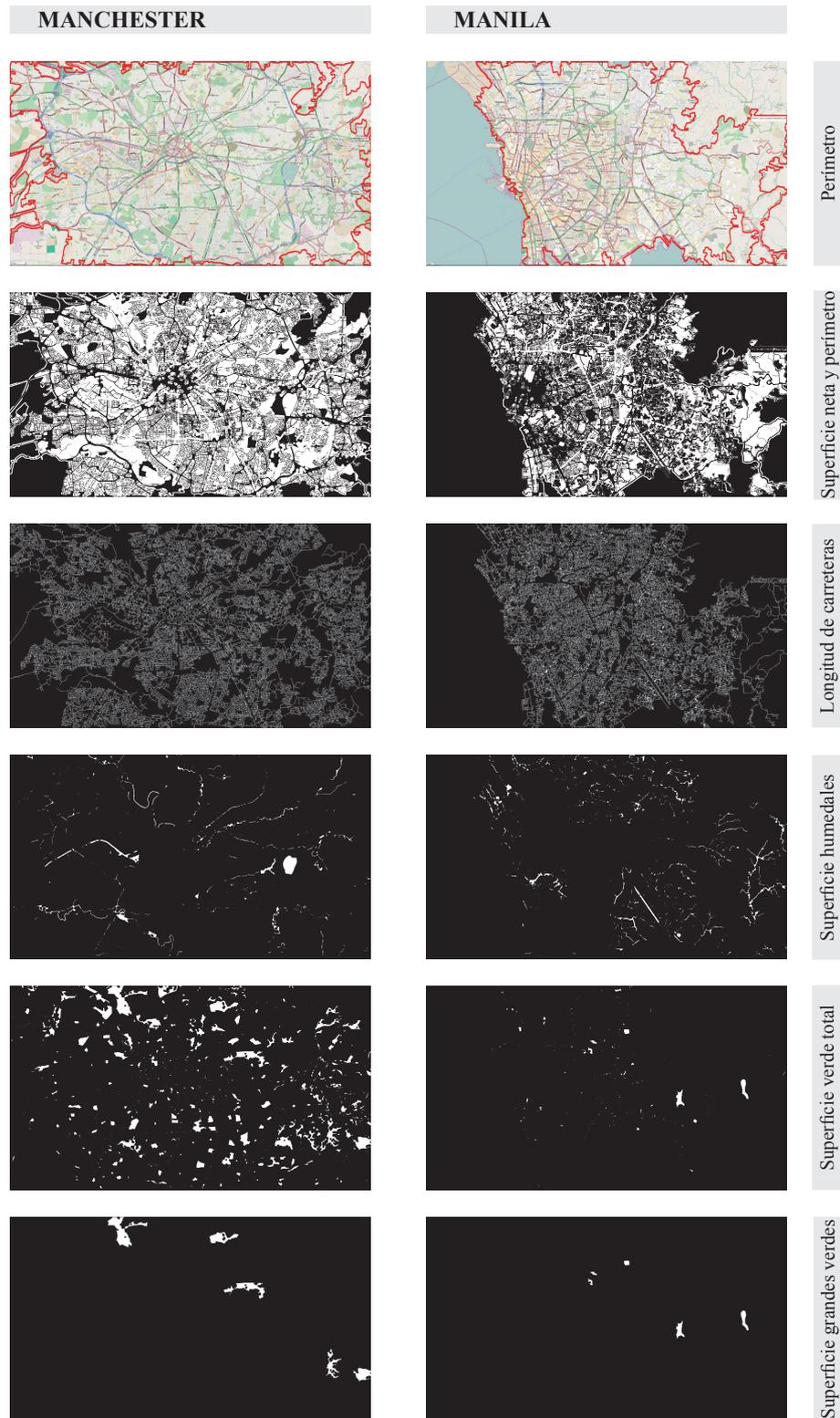


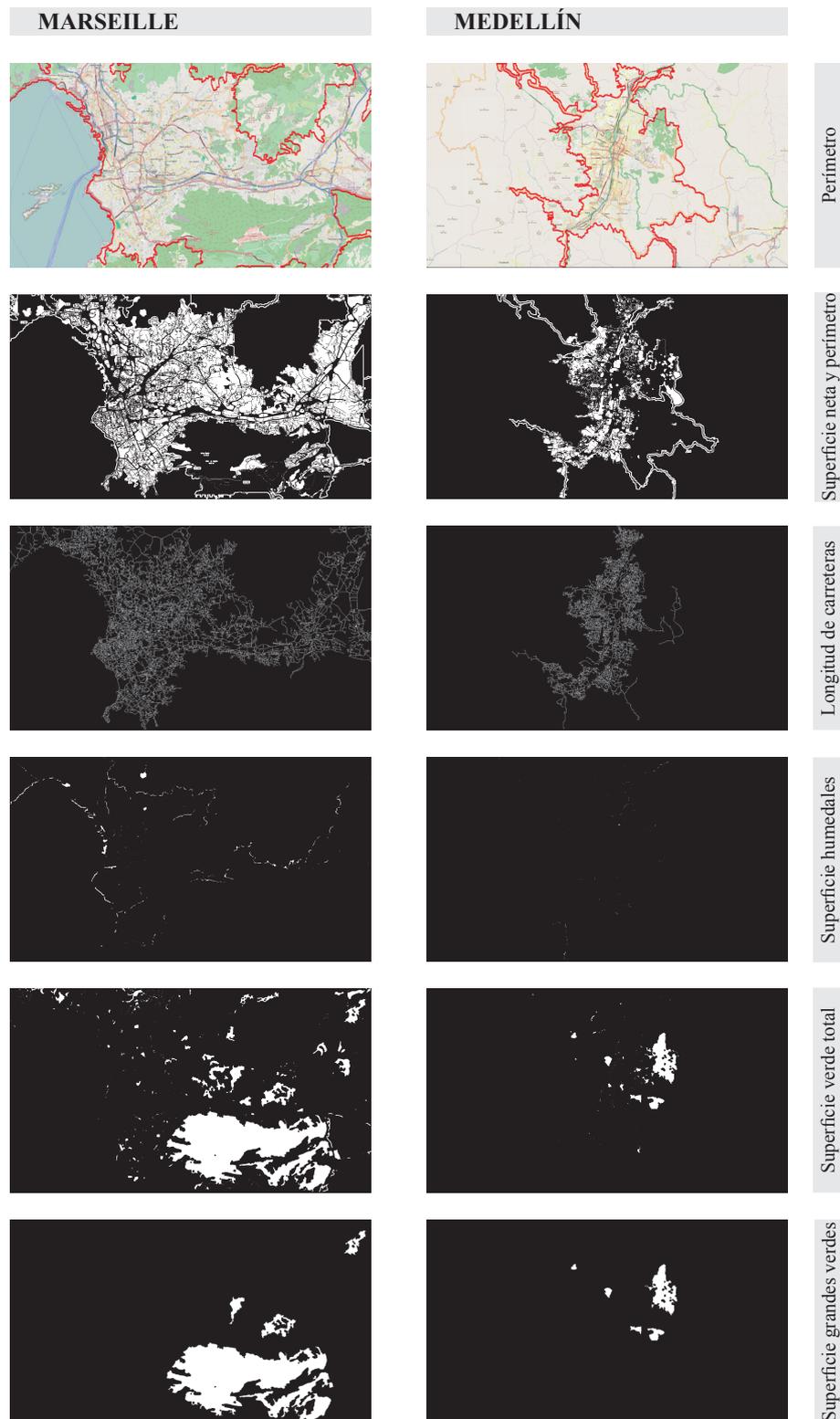


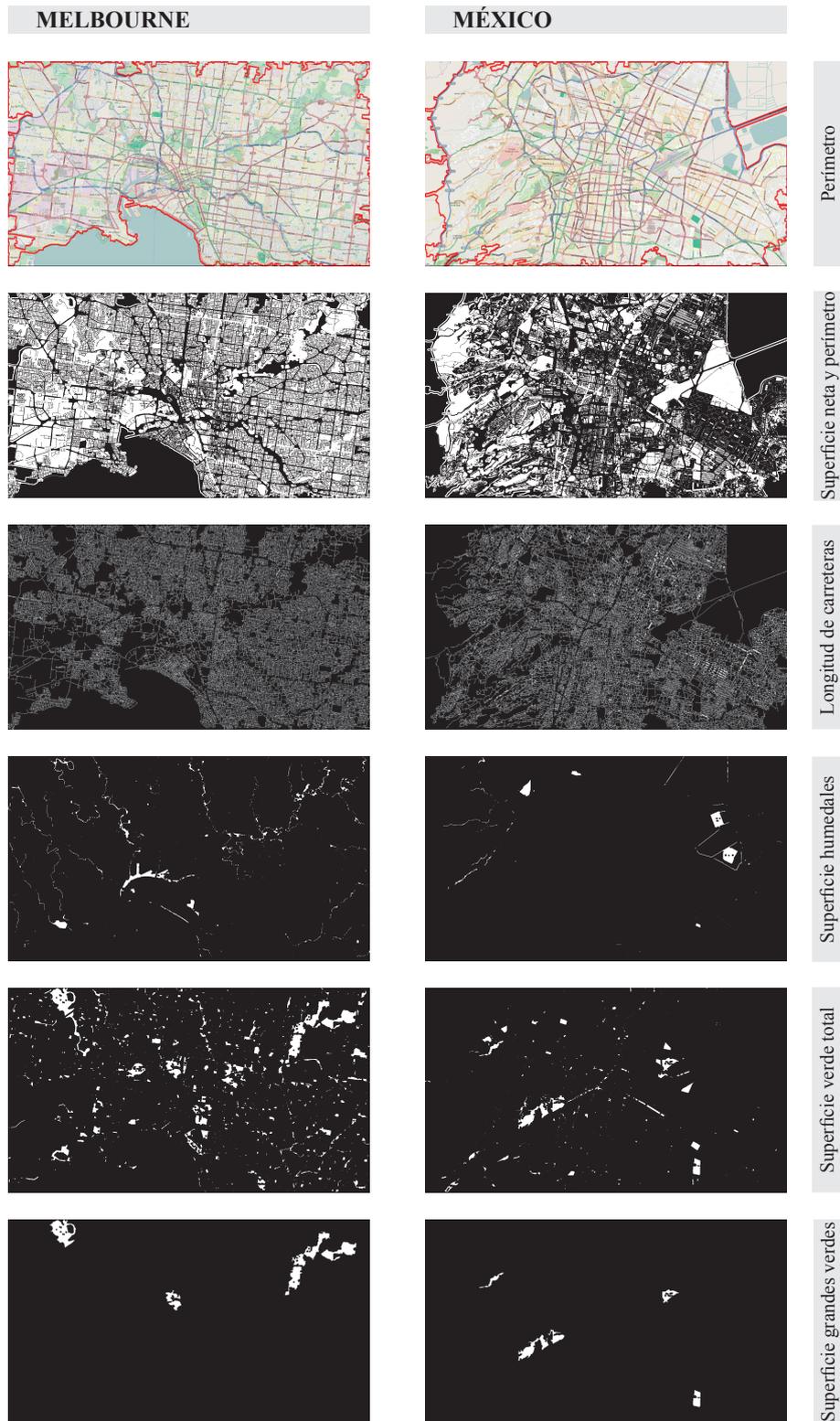




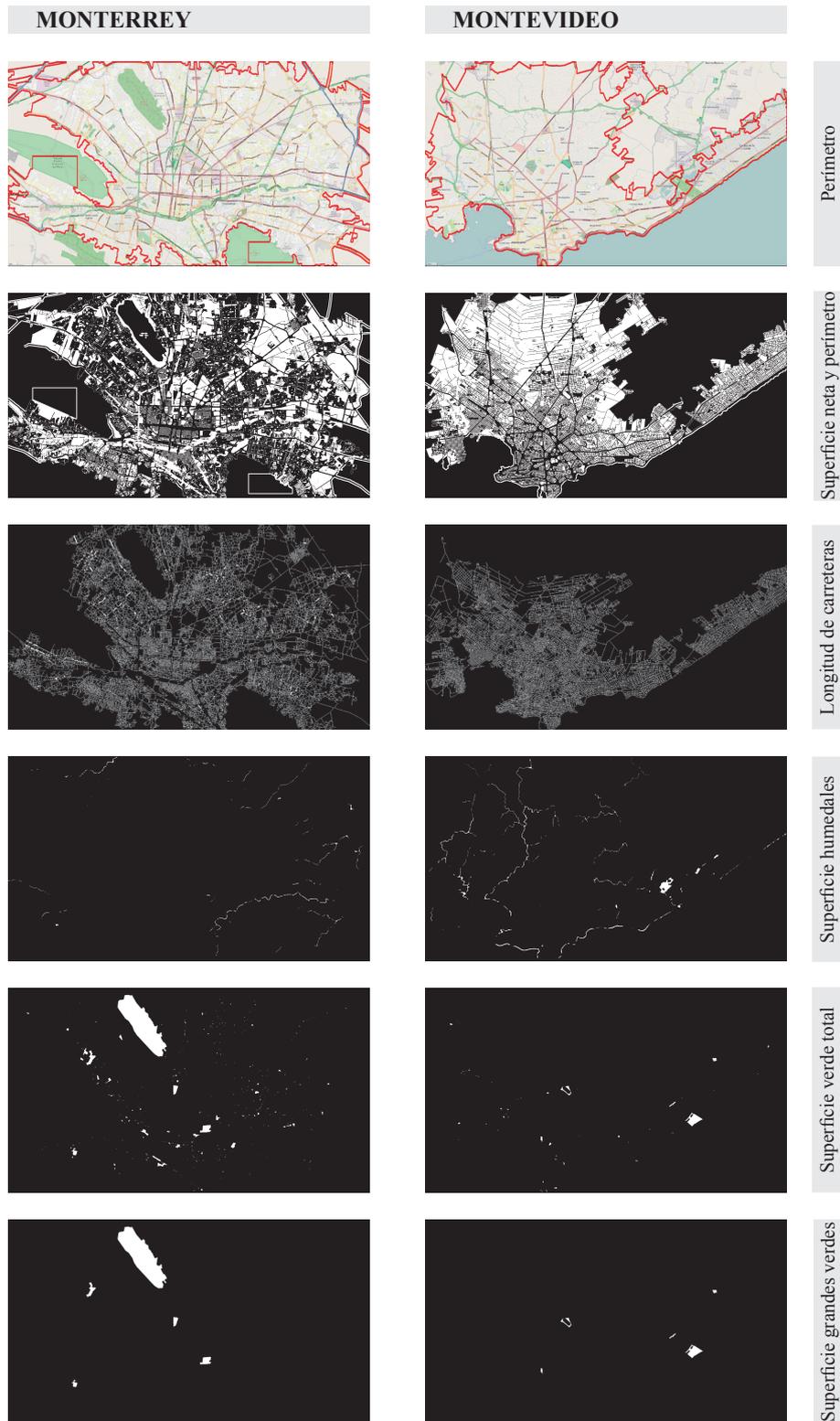


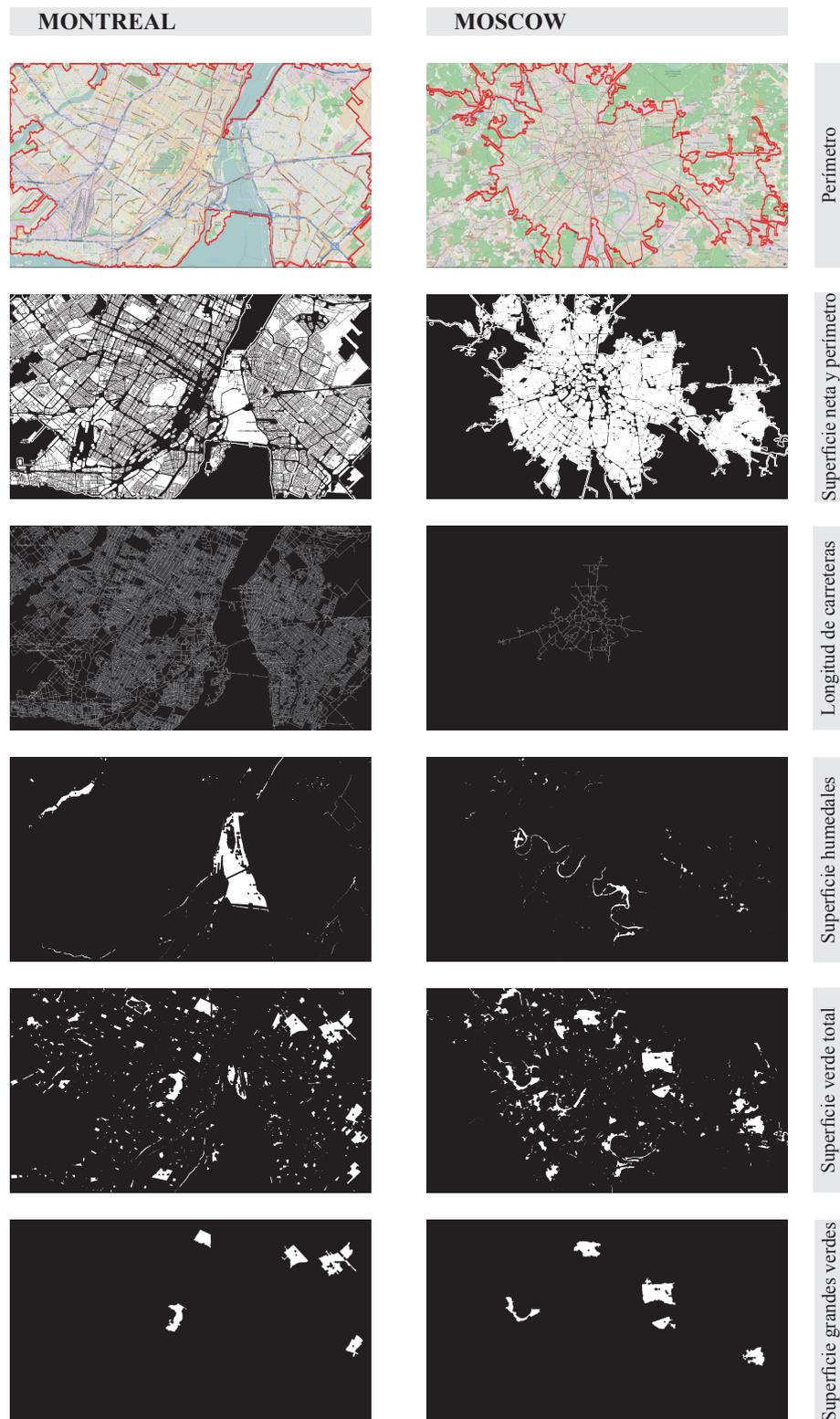


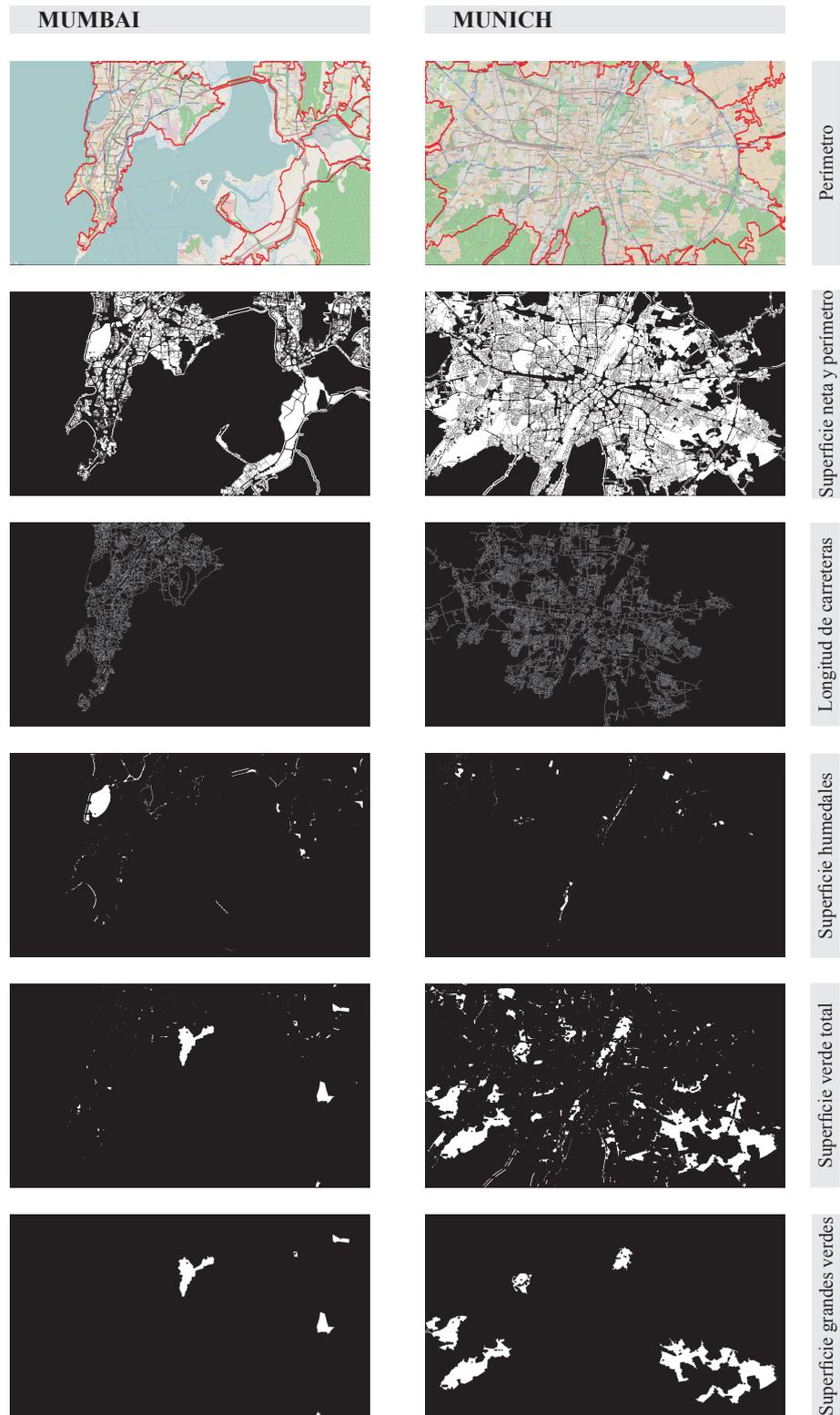


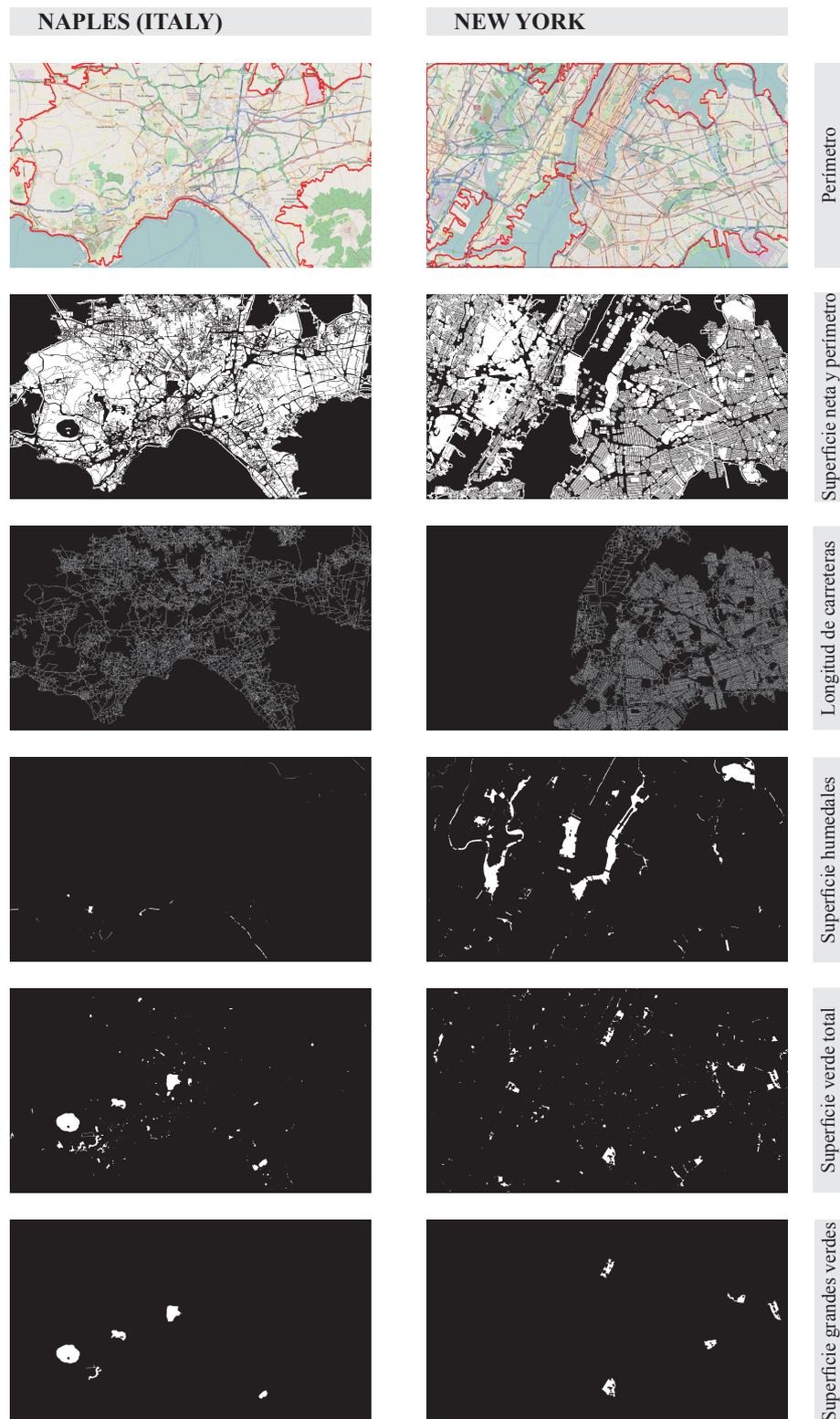


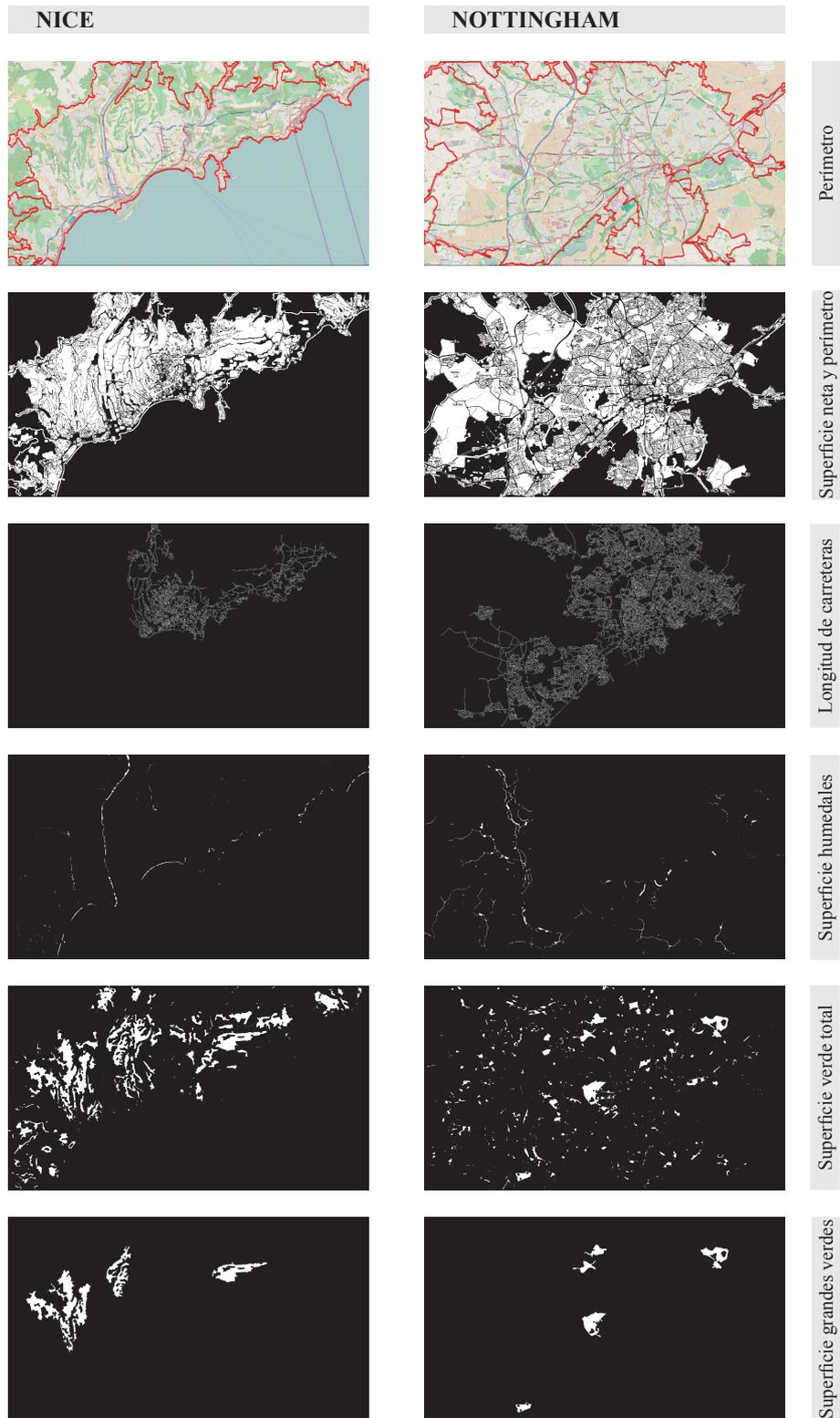


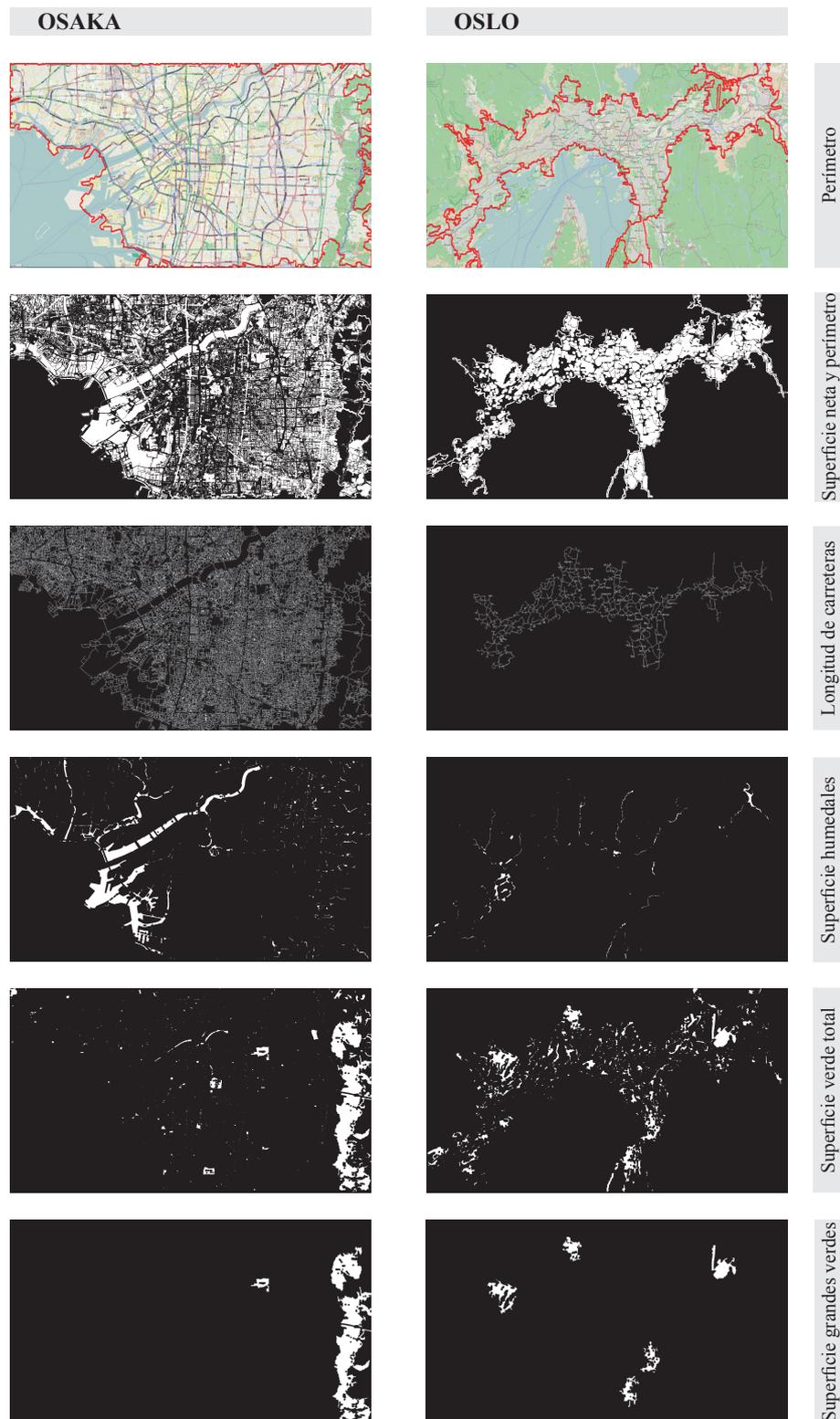


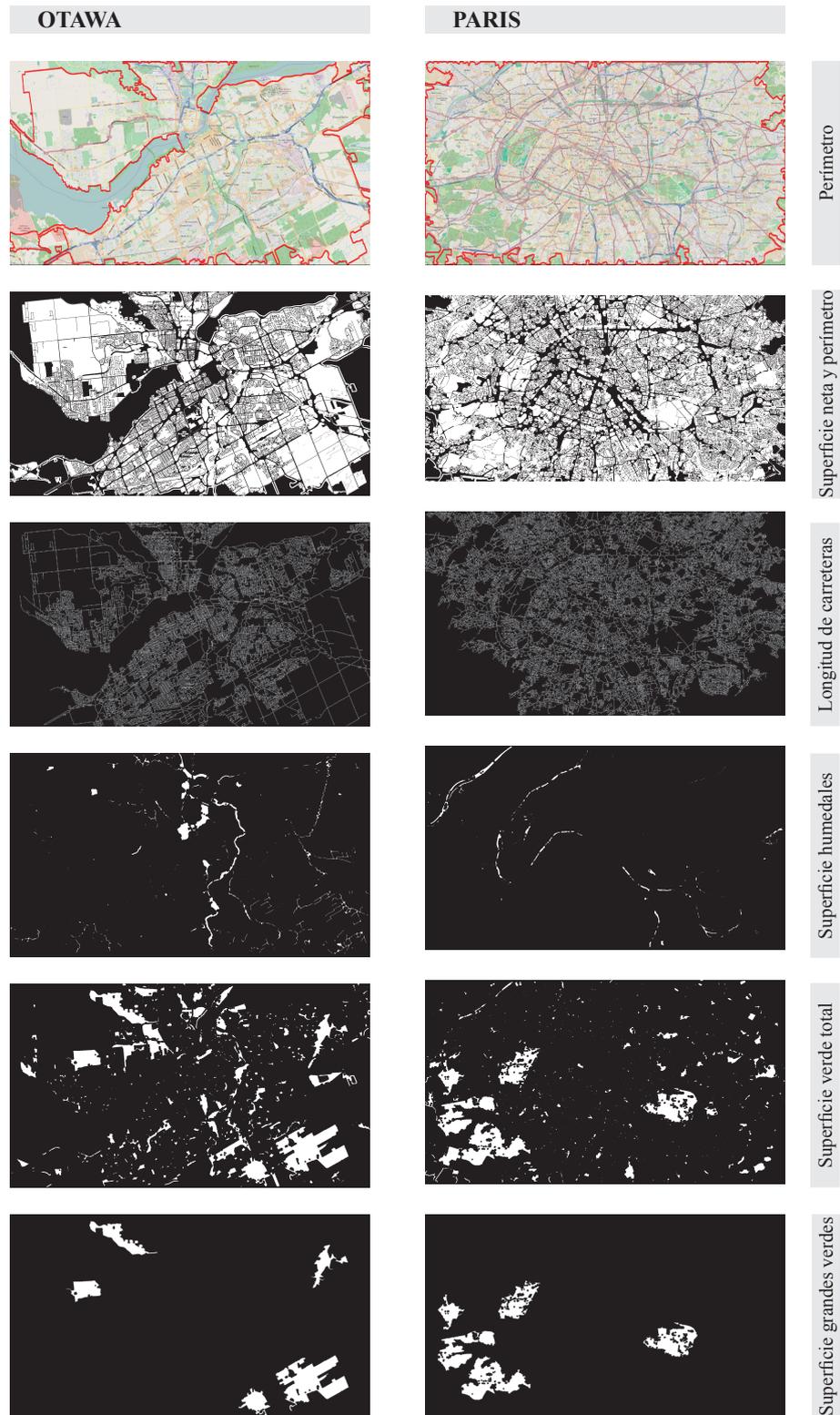


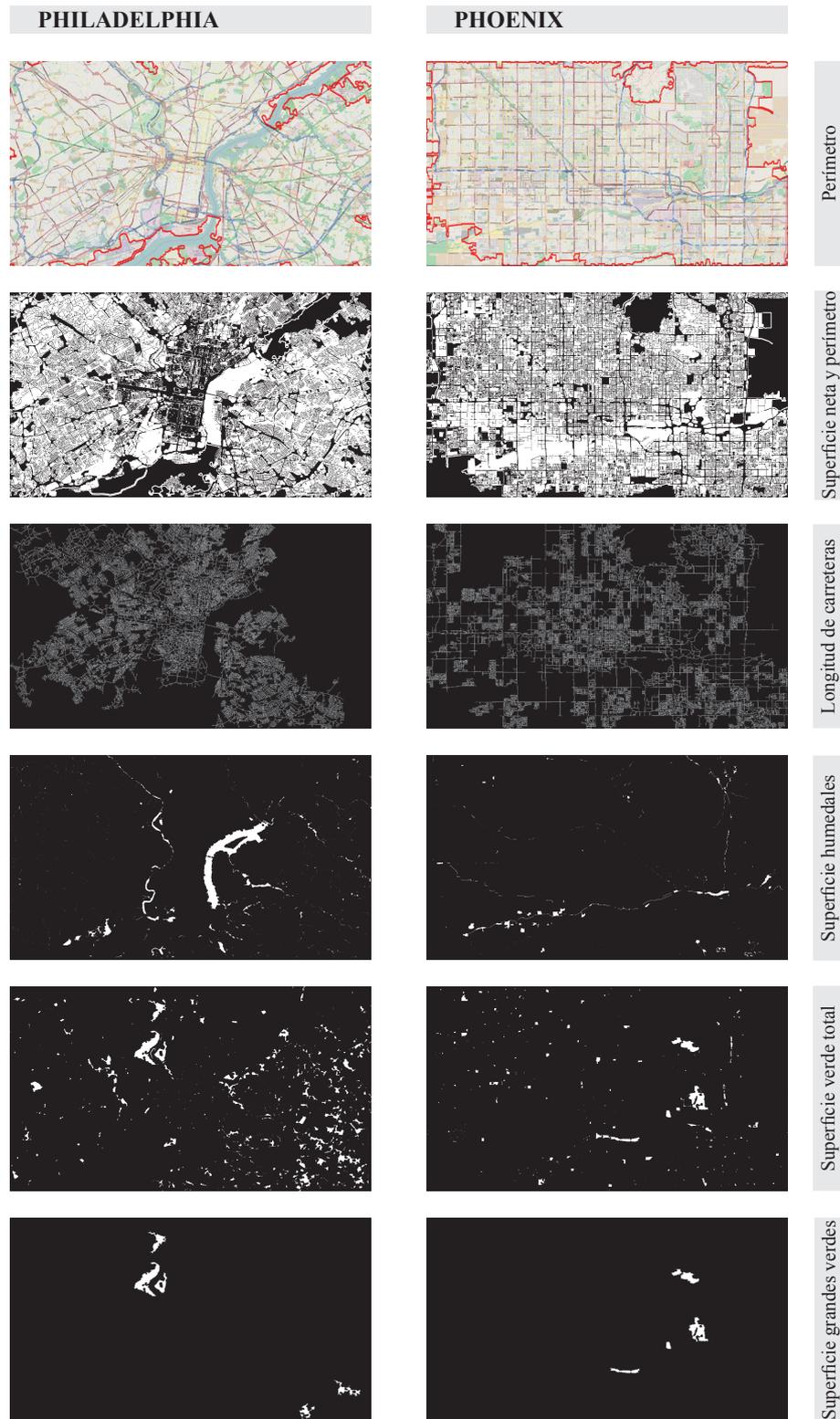


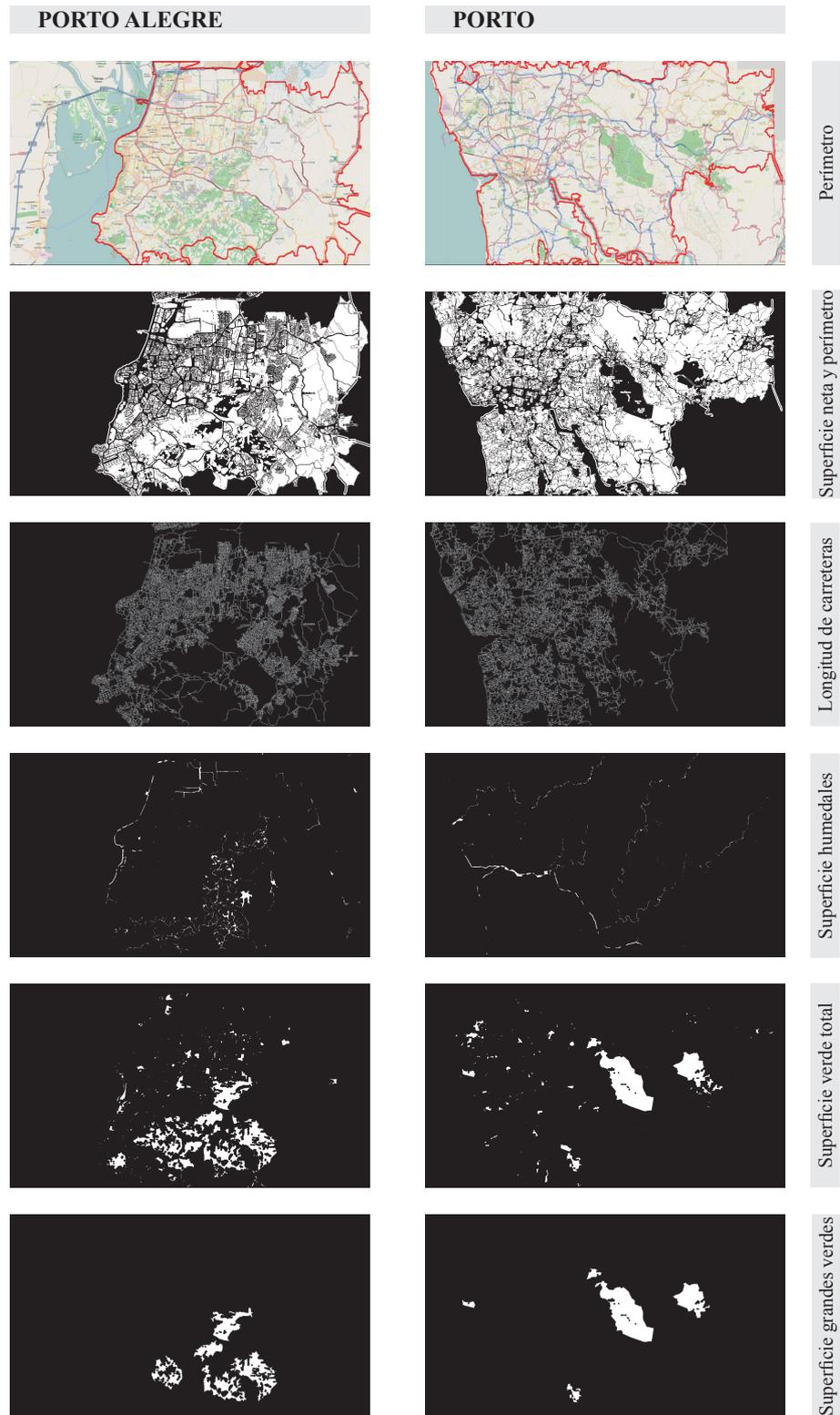


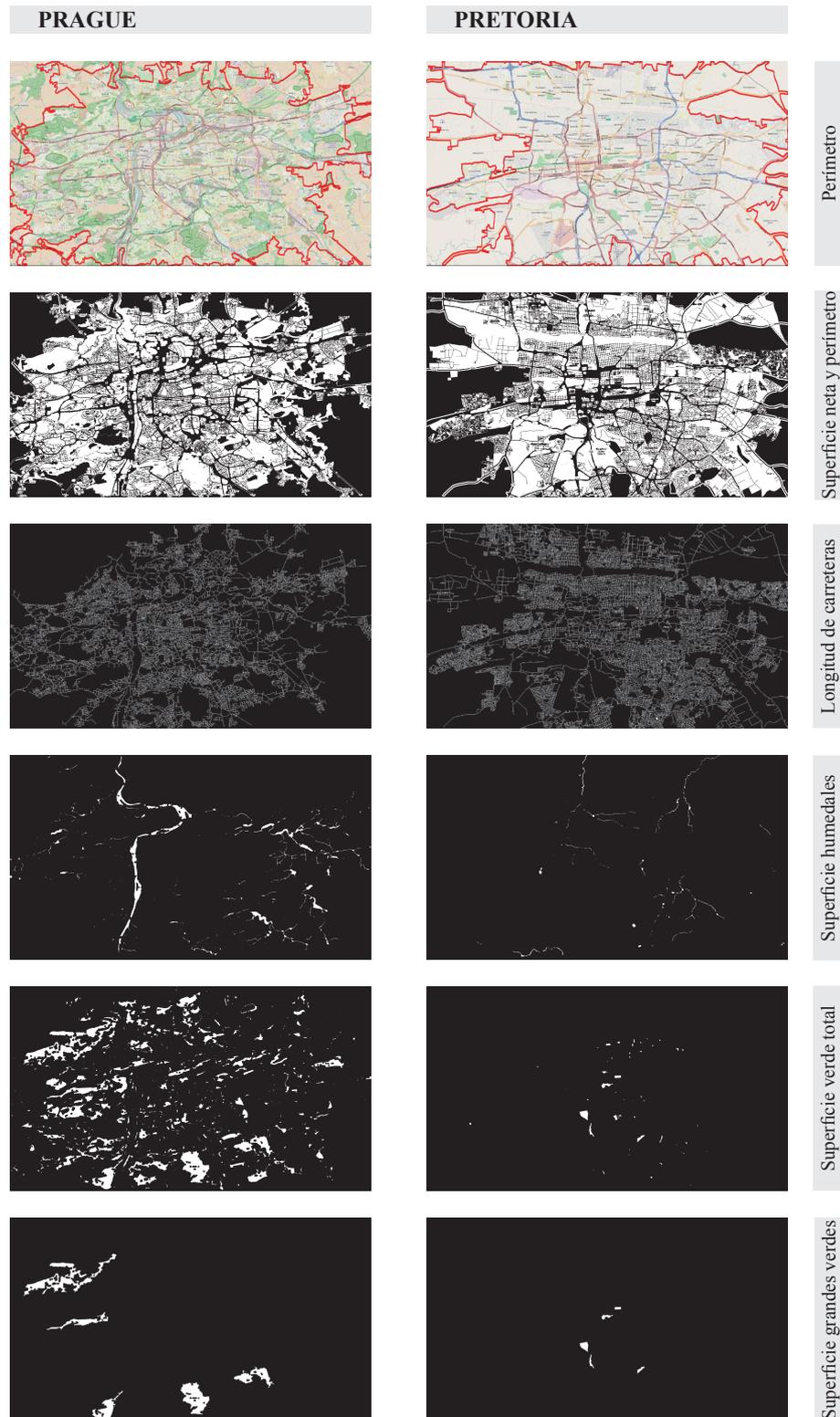


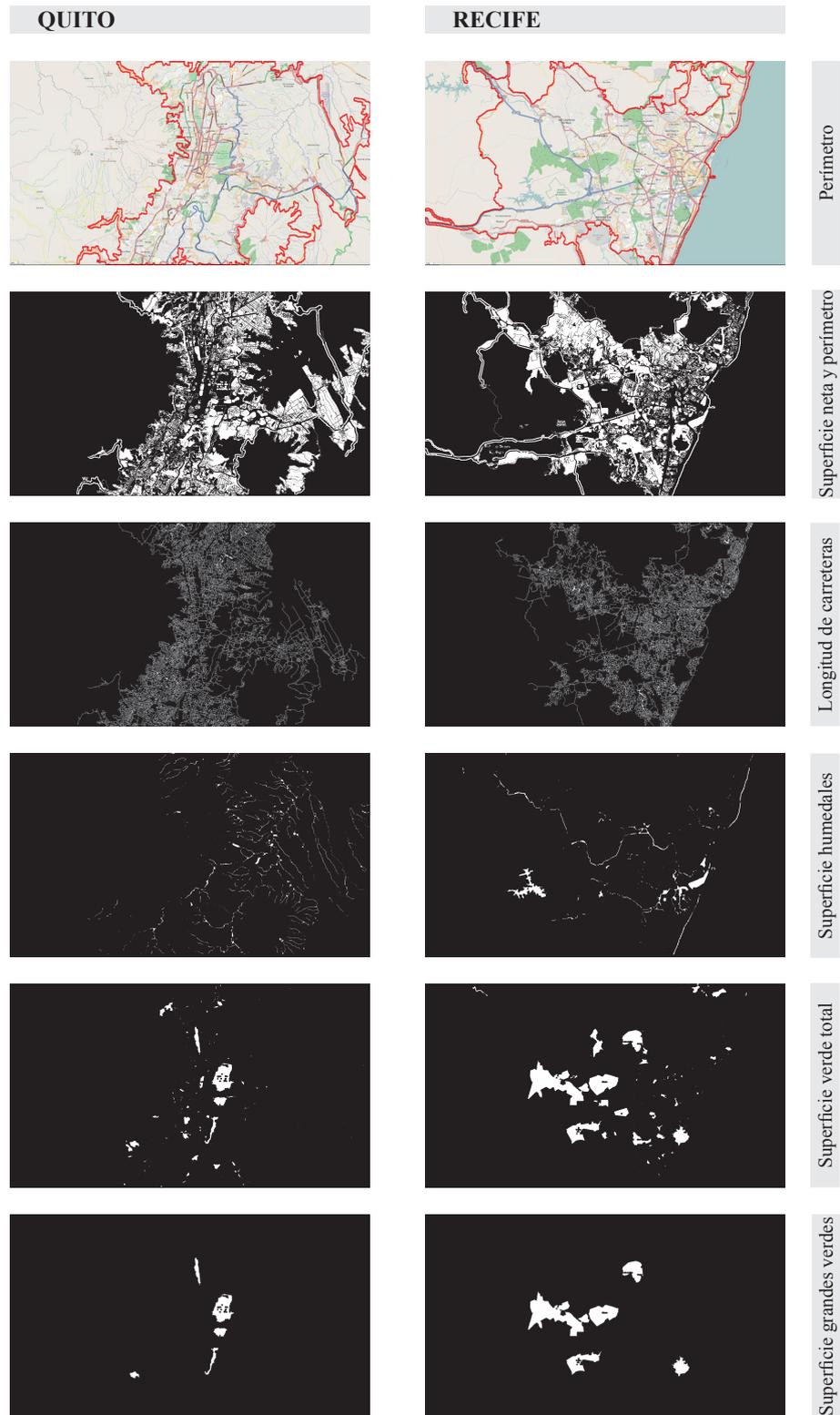


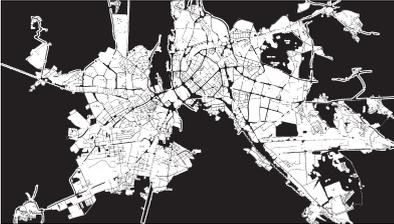
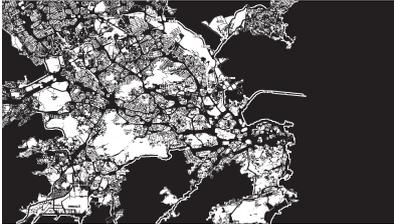
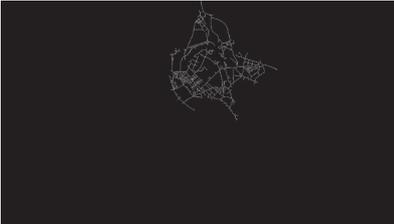
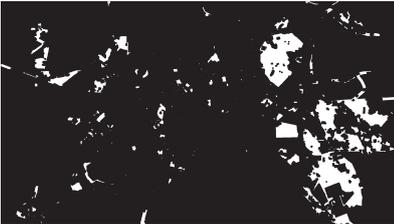
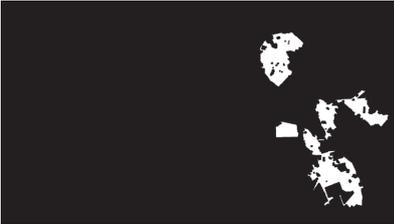


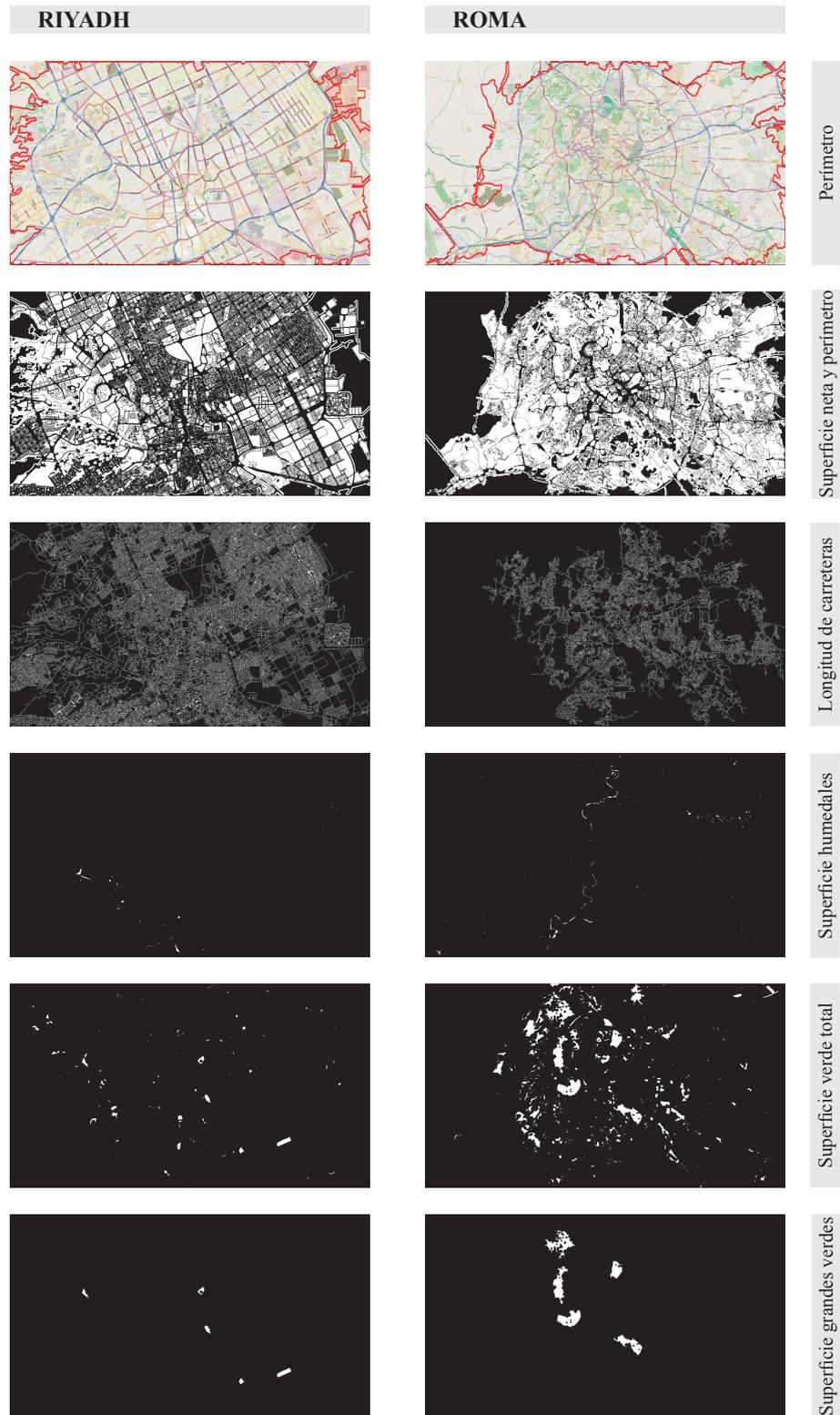


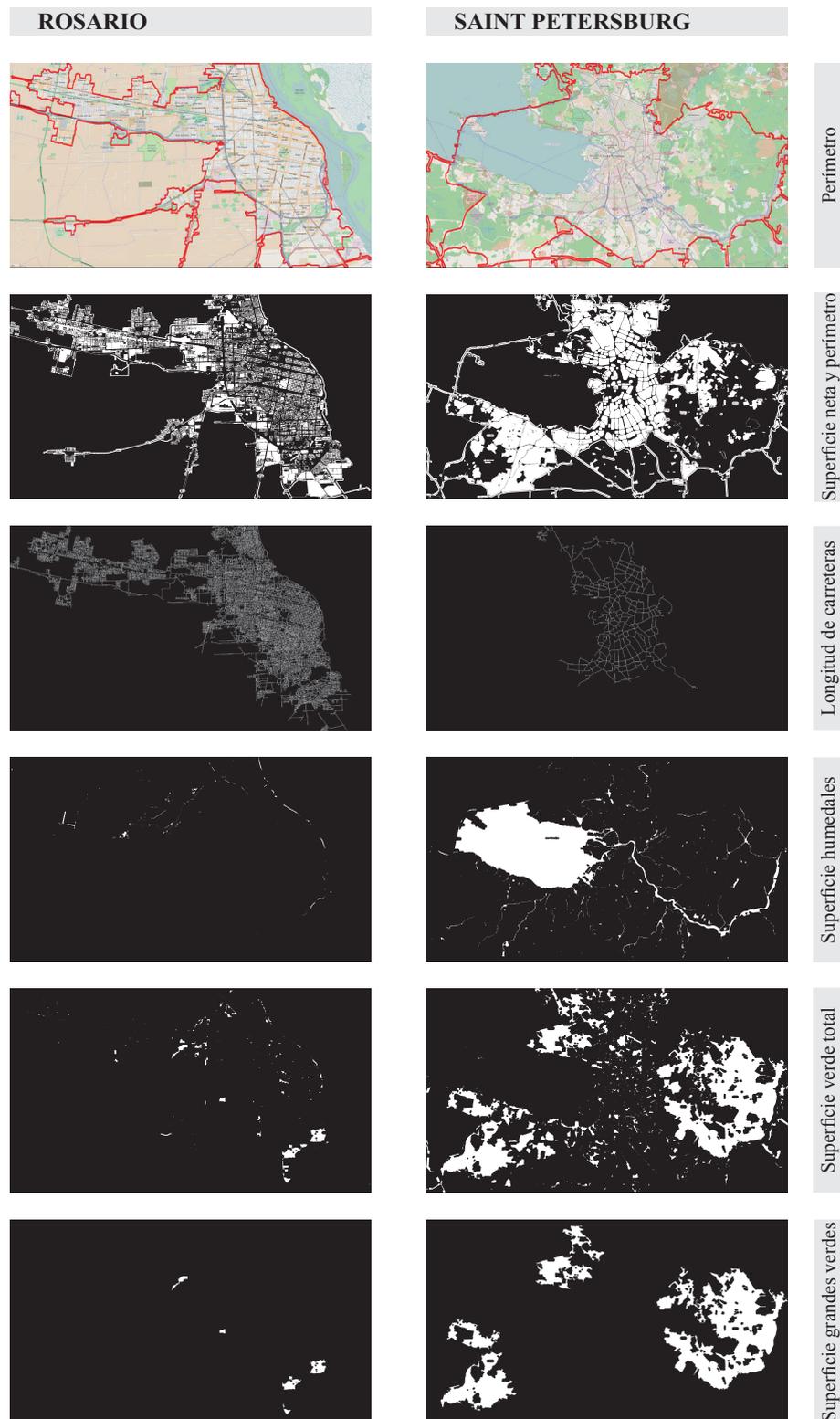




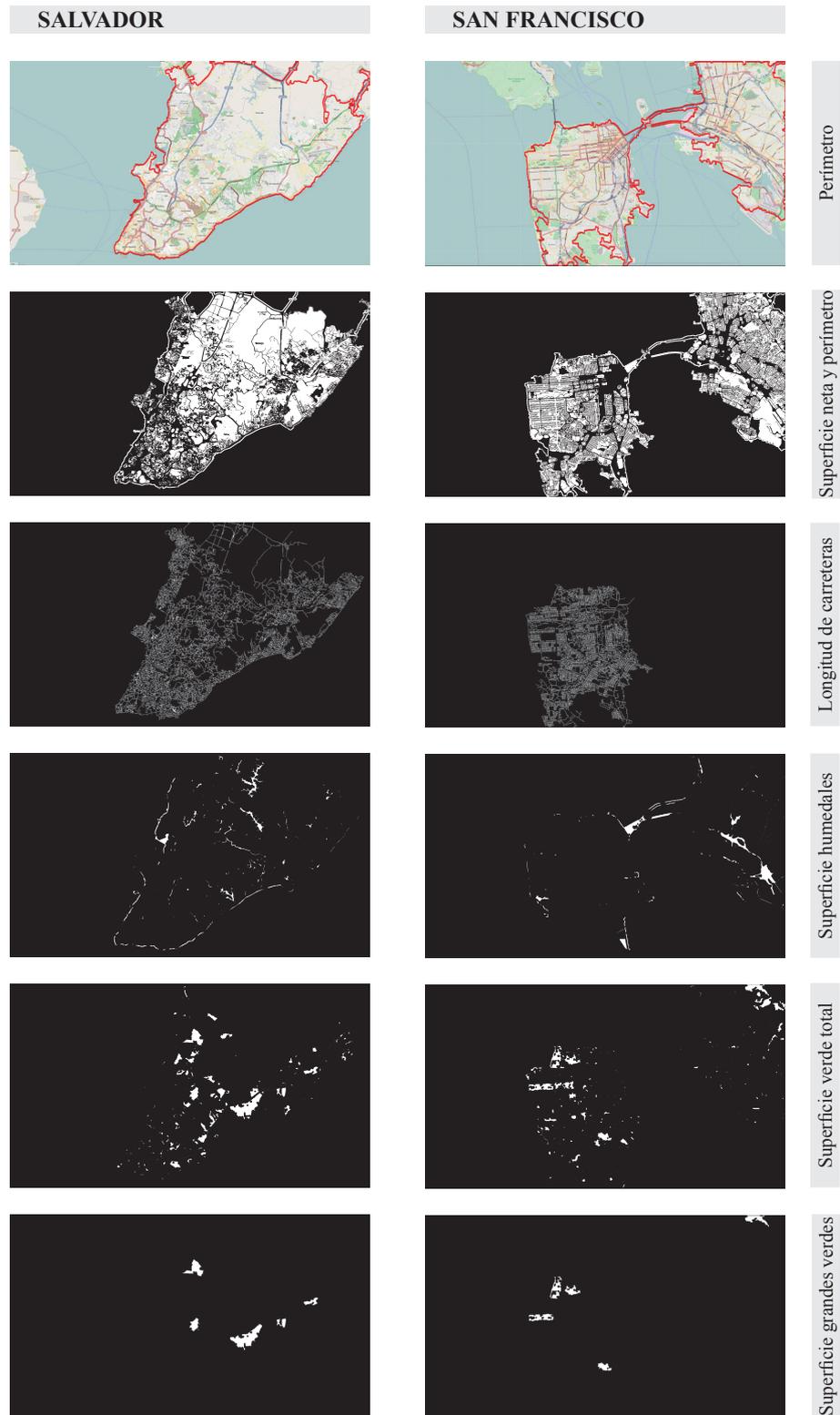


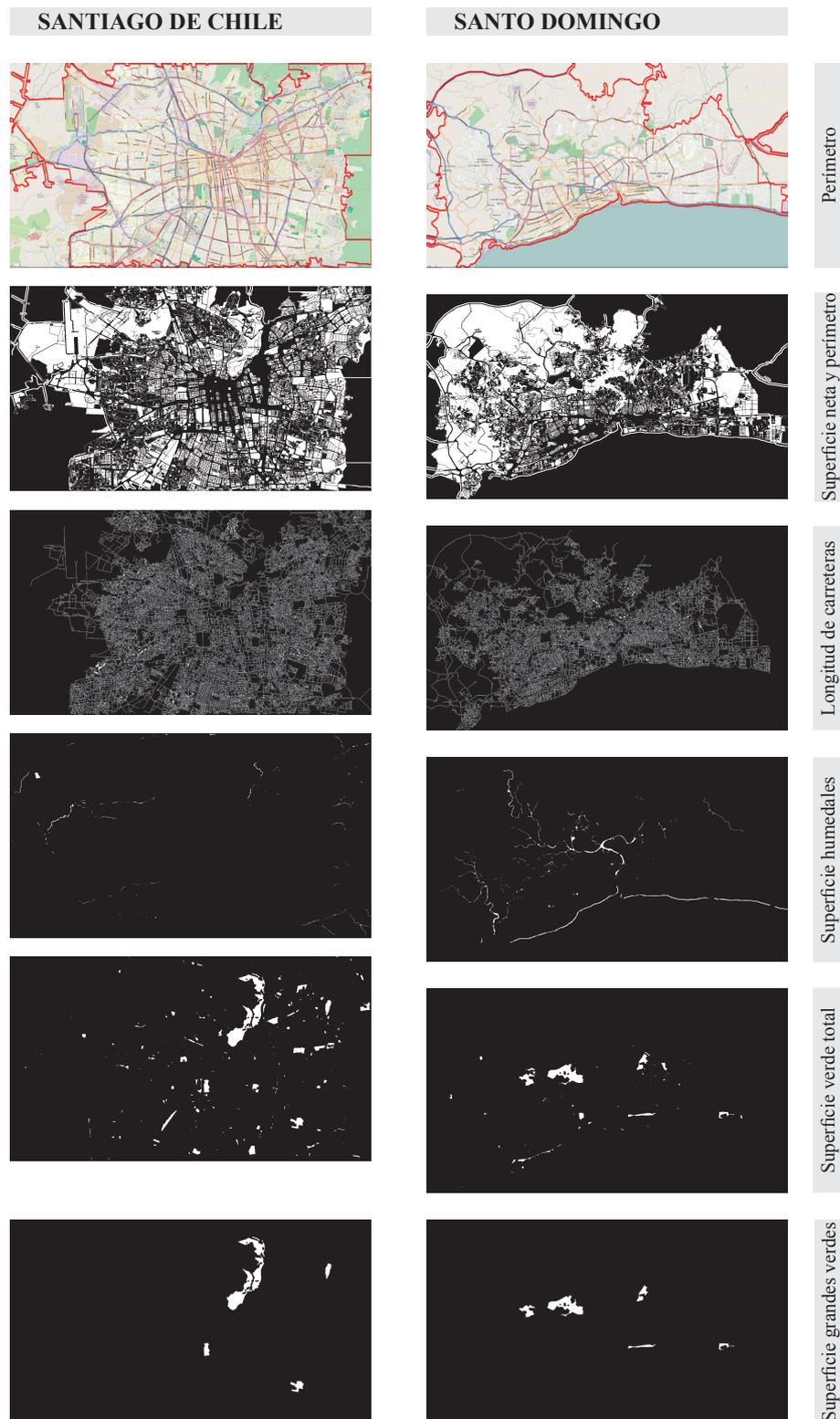
RIGA	RIO DE JANEIRO	
		Perímetro
		Superficie neta y perímetro
		Longitud de carreteras
		Superficie húmedales
		Superficie verde total
		Superficie grandes verdes

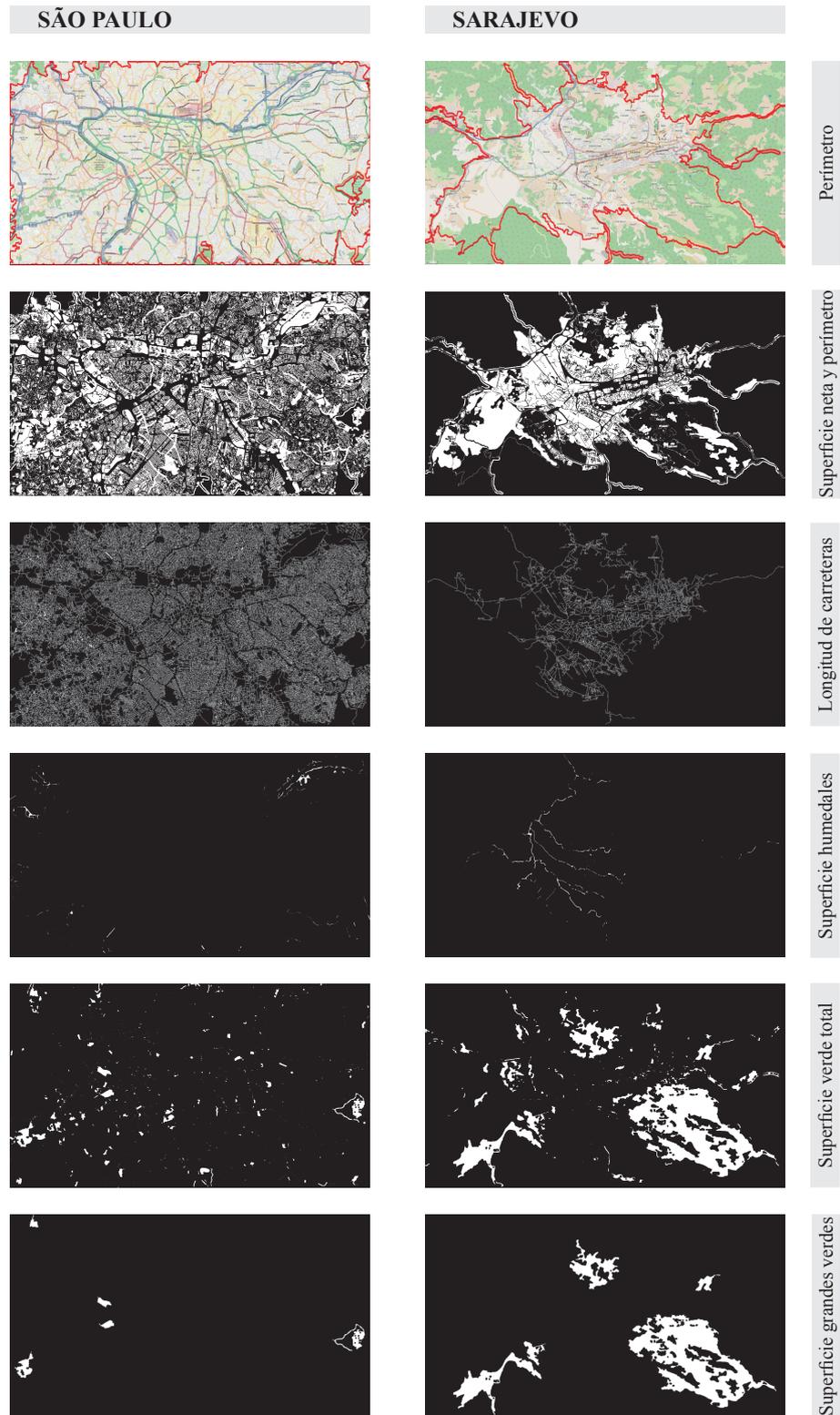


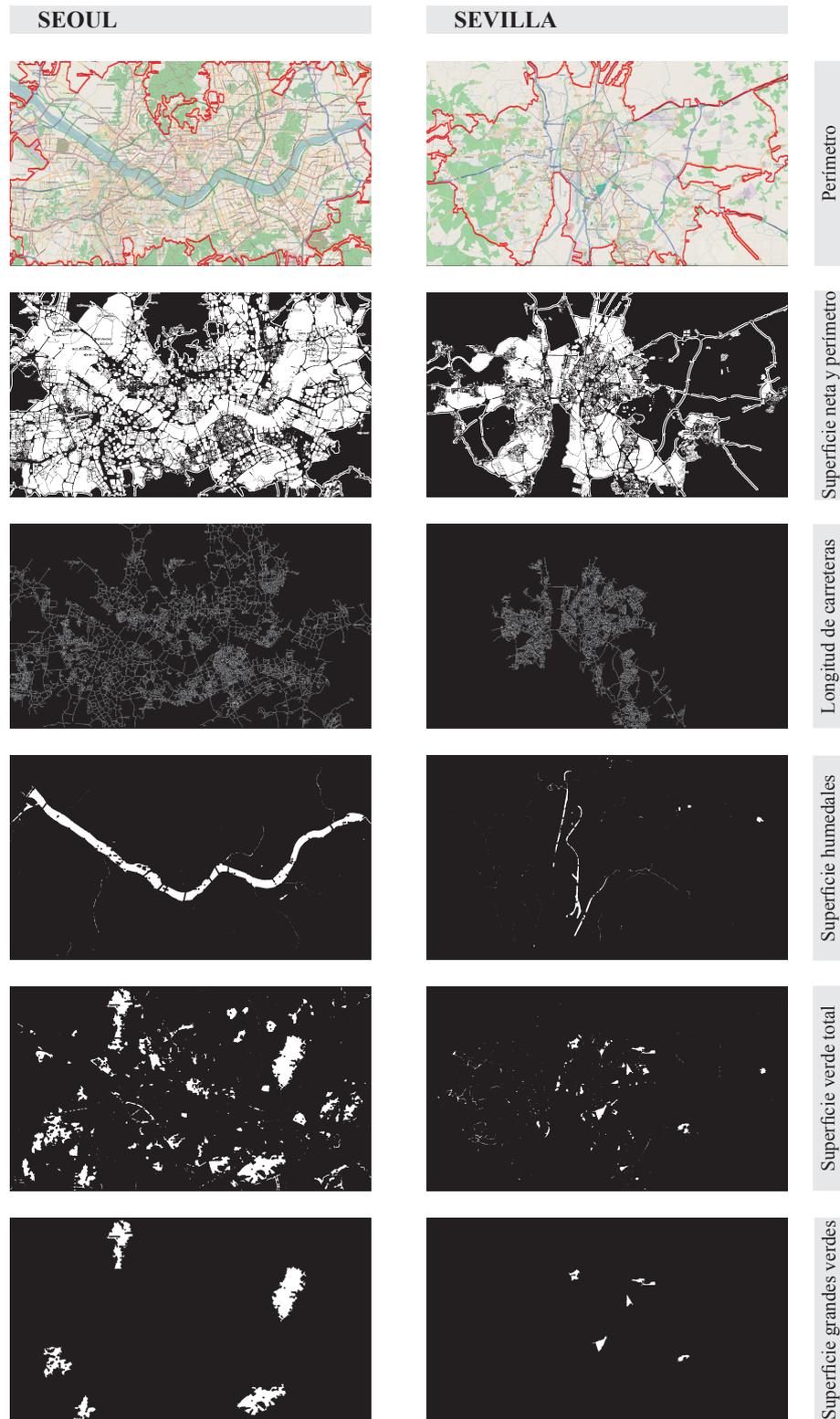


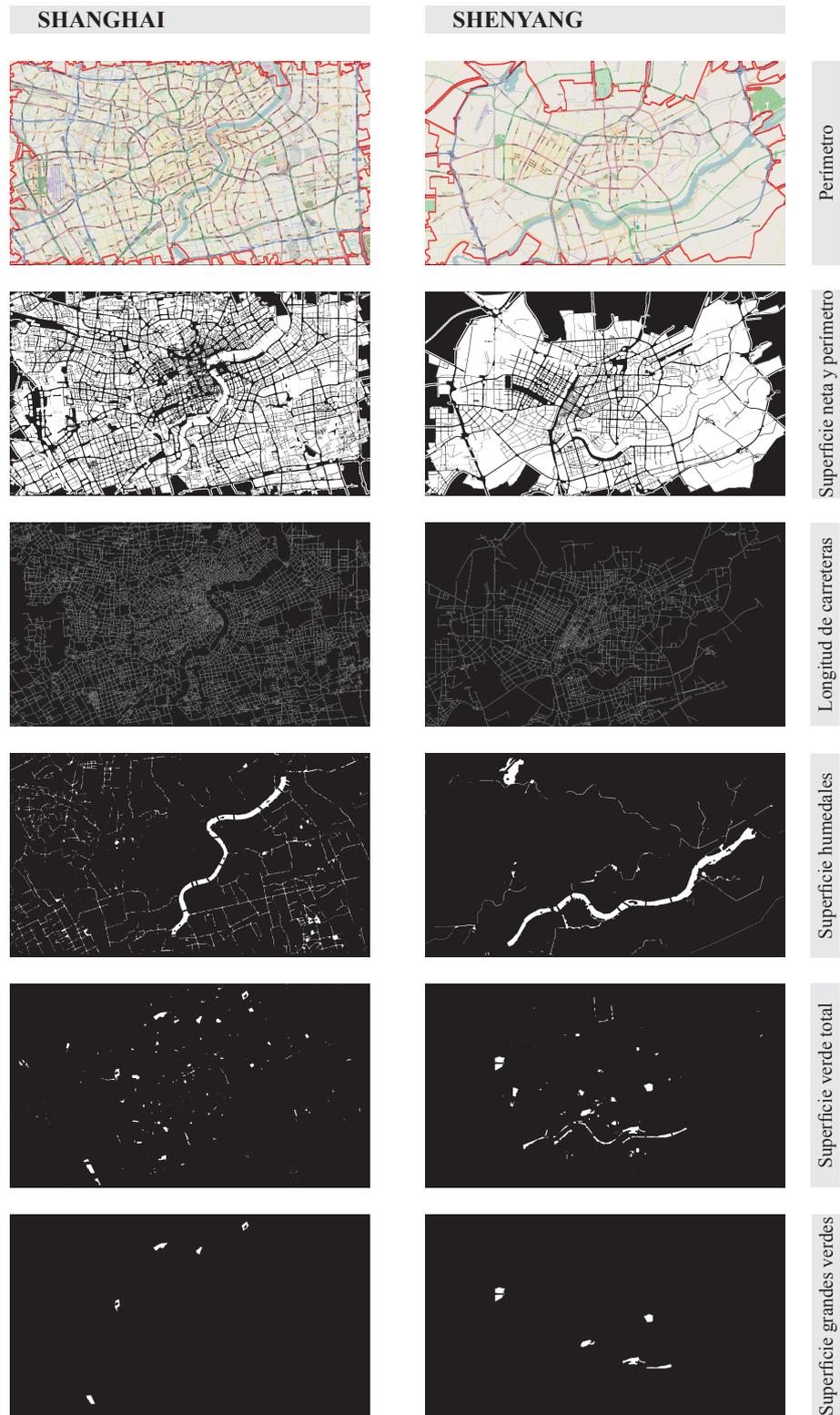
Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

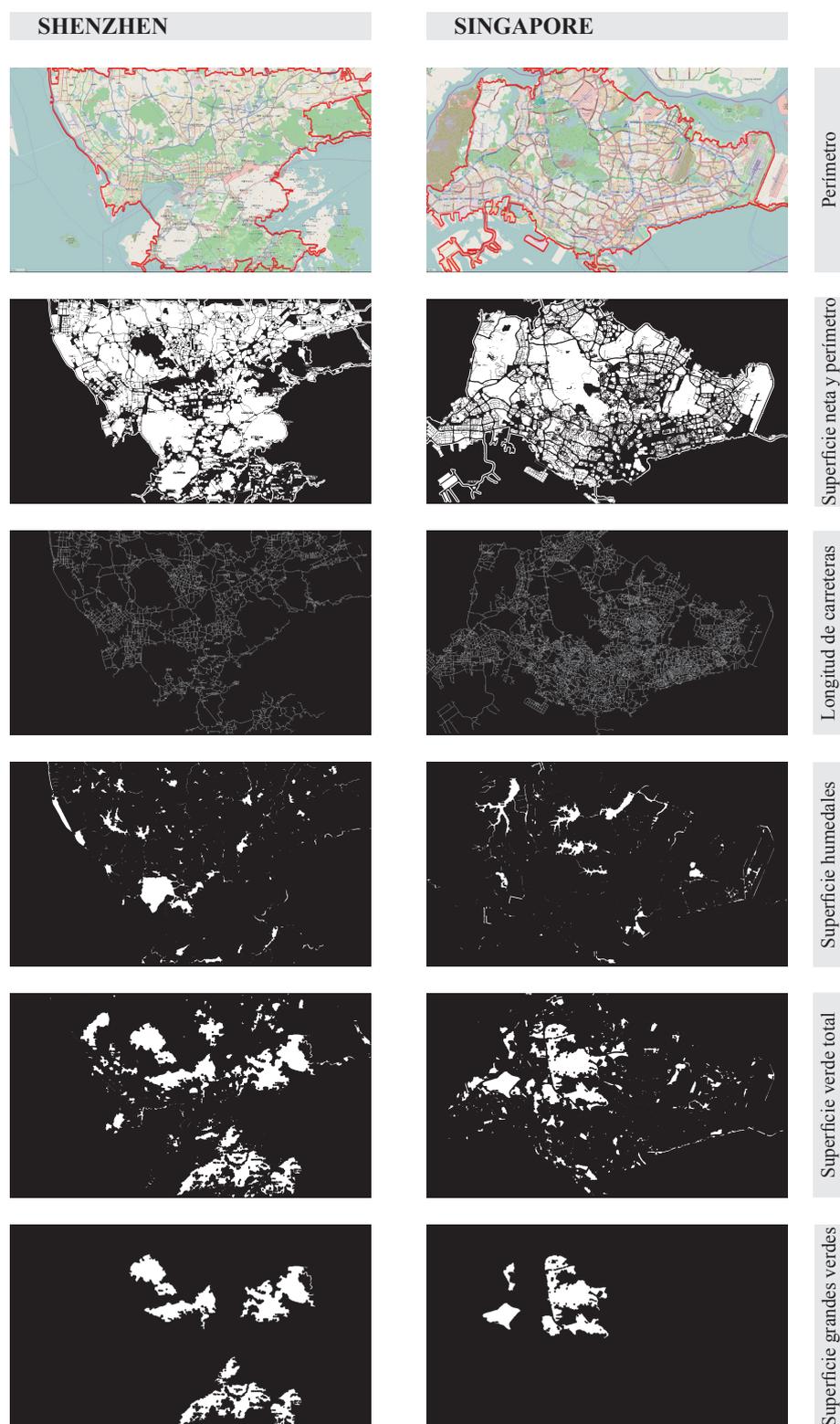












Parametrización de la forma urbana sostenible mediante el reconocimiento automático de patrones con técnicas de procesamiento de imágenes

